

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ISAC GONÇALVES DE OLIVEIRA

**FILMES BIOPOLIMÉRICOS ADITIVADOS COM EXTRATOS NATURAIS DE
FRUTAS VERMELHAS COM POTENCIAL PARA EMBALAGENS DE
ALIMENTOS**

Bagé

2024

ISAC GONÇALVES DE OLIVEIRA

**FILMES BIOPOLIMÉRICOS ADITIVADOS COM EXTRATOS NATURAIS DE
FRUTAS VERMELHAS COM POTENCIAL PARA EMBALAGENS DE
ALIMENTOS**

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

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Andressa Carolina Jacques

Co-orientadoras: Prof^ª. Dr^ª. Catarina Motta de Moura e Prof^ª. Dr^ª. Gabriela Silveira da Rosa

**Bagé
2024**

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) .

O48f Oliveira, Isac

Filmes biopoliméricos aditivados com extratos naturais de
frutas vermelhas com potencial para embalagens de alimentos /
Isac Oliveira.

71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 2024.

"Orientação: Andressa Jacques " .

1. Amora . 2. Framboesa . 3. Mirtilo . 4. Perda de massa .
5. Compostos Fenólicos . I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

ISAC GONÇALVES DE OLIVEIRA

**FILMES BIOPOLIMÉRICOS ADITIVADOS COM EXTRATOS NATURAIS DE FRUTAS
VERMELHAS COM POTENCIAL PARA EMBALAGENS DE ALIMENTOS**

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

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 16 de julho de 2024.

Banca examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Andressa Carolina Jacques
Orientadora
(UNIPAMPA)

Prof^ª. Dr^ª. Catarina Motta de Moura
Co-orientadora

(UNIPAMPA)

Prof^ª. Dr^ª. Gabriela Silveira da Rosa
Co-orientadora
(UNIPAMPA)

Prof^ª. Dr^ª. Caroline Costa Moraes
(UNIPAMPA)

Prof^ª. Dr^ª. Miriane Lucas Azevedo
(UNIPAMPA)



Assinado eletronicamente por **CATARINA MOTTA DE MOURA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 01/08/2024, às 19:38, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/08/2024, às 09:08, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CAROLINE COSTA MORAES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/08/2024, às 09:22, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **ANDRESSA CAROLINA JACQUES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/08/2024, às 10:28, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **MIRIANE LUCAS AZEVEDO, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/08/2024, às 10:38, 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 **1506851** e o código CRC **926D702F**.

Referência: Processo nº 23100.013196/2024-55 SEI nº 1506851

Dedico este trabalho aos meus avôs Jesus e Pedro (*in memoriam*) e as minhas avós Leontina e Maria Elaine (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por me dar a vida e a oportunidade de desfrutar dela de diversas formas.

Agradeço a minha base familiar, meu pai Luis Roberto, minha mãe Eveline e meu irmão Ezequias, que me ensinaram e incentivaram a estudar. Obrigado por me darem amor e sempre confiarem no meu potencial.

Agradeço meus avôs e minha avó paterna, em especial, ao meu avô materno Pedro, que independente das minhas decisões esteve comigo para todos os momentos e que infelizmente eu o perdi em 2021.

Agradeço as boas amizades que fiz ao longo da graduação, Márcio Lucas Carvalho, Gabrielle Raash, Lilian Rosas, Franciele Costa, Luísa Bataglin, Isabelle Ávila, Luiza Costa e Julia Thojahn. Sozinho, nada disso seria possível.

Agradeço a minha orientadora e amiga Prof^a Andressa, que inúmeras vezes me resgatou de volta ao curso em momento de crises e vontades de desistir. Por topar todas ideias de projetos e pesquisas ao longo destes anos de graduação.

Agradeço a minha co-orientadora Prof^a Cata por todos os cafés no laboratório e por todas as ideias incríveis que surgiram por conversas, por toda a paciência e disposição para este trabalho ser possível.

Agradeço a minha co-orientadora Prof^a Gabriela, por confiar no meu potencial acadêmico. Por idealizar o GPEPSP e tornar realidade pesquisas extremamente importante ao mundo e por agregar minha pesquisa ao grupo.

Agradeço as pessoas importantes da minha vida, Thaís Rocha, Heitor Mendes e Luiza Gonçalves, que mesmo distantes, estiveram presentes em momentos especiais da minha vida e vida acadêmica.

Agradeço aos professores do curso de Engenharia de Alimentos, por serem extremamente profissionais e humanos ao mesmo tempo. Sou grato por todo conhecimento adquirido através de vocês.

Por fim, agradeço a mim mesmo, que muitas vezes sentiu vontade de desistir e sair correndo e mesmo assim, chegou até o final. Por ter aproveitado todas as oportunidades da graduação e estar me tornando um pesquisador que acredita na ciência com excelência.

“Cause, baby, i could build a castle, out of
all the bricks they threw at me”

Taylor Swift

RESUMO

Com as novas tecnologias voltadas para as embalagens de alimentos, tem-se o estudo de filmes biopoliméricos e sua principal vantagem, o menor tempo de degradação quando comparados a filmes plásticos de polímeros sintéticos. Afim de tornar os filmes biopoliméricos com características bioativas, tem-se a incorporação de extratos naturais de frutas vermelhas. Sendo assim, este estudo objetivou obter filmes biopoliméricos de carragenana aditivados com extratos naturais de amora, framboesa e mirtilo com o intuito de propor materiais biopoliméricos para utilização em embalagens de alimentos frente a conservação de alimentos. Os extratos naturais foram obtidos através do método de maceração (80° C por 2h) e apresentaram altos teores de CFT, AT e AA. Os filmes foram obtidos através da técnica de *casting*. Os filmes foram avaliados quanto a cor, espessura, propriedades mecânicas, permeabilidade ao vapor d'água (PVA), índice de intumescimento e liberação controlada de CFT. Foi avaliada a perda de massa de morangos quando embalados com os filmes biopoliméricos controle e aditivados. Os dados experimentais foram analisados utilizando software estatístico aplicando testes de comparação de média como Teste de Tukey ao nível de significância de 5%. Os extratos naturais apresentaram uma faixa de 2268,71 a 2681,07 mgEAG/100g para compostos fenólicos totais, 192,27 a 347,56 mg cianidina-3-glicosídeo/100g para antocianinas e 482,62 a 576,31 $\mu\text{mol/g}$ Trolox para atividade antioxidante. Na caracterização dos filmes biopoliméricos a espessura variou de 0,038 a 0,049 mm, a porcentagem de alongação entre de 10,9 a 15,4 MPa, resistência à tração de 10,8 a 23,5 %, permeabilidade ao vapor d'água de $2,32 \cdot 10^{-11}$ a $2,59 \cdot 10^{-11}$ $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ e o índice de intumescimento de 90,86 a 93,84 %. Conforme a liberação controlada de compostos fenólicos, os filmes indicaram uma liberação para meio simulado ácido uma faixa de 30,86 a 74,47 mgEAG/100g. Na atividade antimicrobiana, o filme biopolimérico de mirtilo indicou uma forte tendência de inibição ao *S. aureus*. Quanto à perda de massa, houve uma faixa de perda de 12,9 a 15,4 % em morangos embalados por 10 dias. De modo geral, os filmes biopoliméricos desenvolvidos neste estudo apresentaram-se promissores, principalmente na sua caracterização com propriedades e características interessantes para utilização como materiais de embalagens de alimentos, com ênfase o filme biopolimérico com extrato de mirtilo, onde foi possível observar em diversas análises o seu potencial.

Palavras-Chave: Amora; Framboesa; Mirtilo; Perda de massa; Compostos fenólicos.

ABSTRACT

New technologies for food packaging have led to the study of biopolymer films and their main advantage is their shorter degradation time when compared to plastic films made from synthetic polymers. In order to make biopolymer films with bioactive characteristics, natural extracts of red fruits have been incorporated. Therefore, this study aimed to obtain biopolymeric carrageenan films with natural extracts of blackberry, raspberry and blueberry in order to propose biopolymeric materials for use in food packaging for food preservation. The natural extracts were obtained using the maceration method (80° C for 2 hours) and had high levels of TPC, TA and AA. The films were obtained using the casting technique. The films were evaluated for color, thickness, mechanical properties, water vapor permeability (WVP), swelling index and controlled release of TPC. The mass loss of strawberries when packaged with the control and additive biopolymer films was evaluated. The experimental data was analyzed using statistical software applying mean comparison tests such as Tukey's test at a 5% significance level. . The natural extracts showed a range of 2268.71 to 2681.07 mgEAG/100g for total phenolic compounds, 192.27 to 347.56 mg cyanidin-3-glucoside/100g for anthocyanins and 482.62 to 576.31 µmol/g Trolox for antioxidant activity. In characterizing the biopolymer films, the thickness ranged from 0.038 to 0.049 mm, the elongation percentage from 10.9 to 15.4 MPa, tensile strength from 10.8 to 23.5 %, water vapour permeability from $2.32 \cdot 10^{-11}$ to $2.59 \cdot 10^{-11}$ g.m⁻¹. Pa⁻¹. s⁻¹ and swelling index from 90.86 to 93.84 %. In terms of the controlled release of phenolic compounds, the films showed a release in simulated acidic media of between 30.86 and 74.47 mgEAG/100g. As for mass loss, there was a range of 12.9 to 15.4% loss in strawberries packed for 10 days. Overall, the biopolymeric films developed in this study showed promise, especially in their characterization with interesting properties and characteristics for use as food packaging materials, with emphasis on the biopolymeric film with blueberry extract, where it was possible to observe its potential in several analyses.

Keywords: Blackberry; Raspberry; Blueberry; Mass loss; Phenolic compounds.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema de embalagem ativa e compostos bioativos	21
Figura 2- Sensor de maturação - ripeseense	22
Figura 3 - Obtenção por técnica de casting	24
Figura 4- Obtenção por electrospinning	25
Figura 5- Pequenas frutas vermelhas, amora, framboesa e mirtilo, respectivamente	31
Figura 6- Pó de amora (1), pó de framboesa (2) e pó de mirtilo (3) moídos e peneirados	33
Figura 7- Morangos higienizados	34
Figura 8- Obtenção dos extratos naturais	35
Figura 9- Desenvolvimento dos filmes biopoliméricos	37
Figura 10- Análise de propriedades mecânicas - Texturômetro	39
Figura 11- Filmes biopoliméricos selados em tubos de permeação	40
Figura 12- Amostras imersas no fluido simulante após 4 h de incubação	42
Figura 13- A - Filme controle; B - Filme amora; C - Filme framboesa e D - Filme Mirtilo	43
Figura 14- Extrato de mirtilo (1), extrato de amora (2) e extrato de framboesa (3)	46
Figura 15- FBA (1), FBF (2) e FBM (3)	48
Figura 16- Perda de massa ao longo de 10 dias	53
Figura 17- Aspecto visual dos morangos após os 10 dias de armazenamento	55
Figura 18- (A): Filme controle; (B): Filme mirtilo S. aureus; (C): Filme mirtilo E. coli	56

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Biopolímeros, solventes, agentes plastificantes e aditivos naturais em embalagens biopoliméricas ativas e inteligentes	26
Quadro 2- Desenvolvimento de embalagens contendo carragenana aplicada a matrizes alimentares	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados da caracterização de cada pó de fruta	45
Tabela 2- Resultados da caracterização bioativos presente nos extratos obtidos	46
Tabela 3- Resultados obtidos na análise colorimétricas dos filmes biopoliméricos	49
Tabela 4- Resultados da caracterização dos filmes biopoliméricos	50
Tabela 5- Resultados da análise de liberação controlada de compostos fenólicos	52

LISTA DE ABREVIATURAS

AA - Atividade antioxidante
AT - Antocianinas totais
b.u. – Base úmida
CFT - Compostos Fenólicos Totais
dp – Diâmetro de partícula
DPPH – 2,2-difenil-1-picril-hidrazil
EAG - Equivalente ácido gálico
E. COLI – *Escherichia coli*
FBA - Filme Biopolimérico de Amora
FBC - Filme Biopolimérico Controle
FBF - Filme Biopolimérico de Framboesa
FBM - Filme Biopolimérico de Mirtilo
PC - Policarbonato
PCL - Policaprolactona
PM - Perda de Massa
PLA - Ácido polilático
PLGA- poliácido láctico e ácido glicólico
ppm - Partes por milhão
PVA – Permeabilidade ao vapor d'água
PVOH - Álcool polivinílico
S. AUREUS – *Staphylococcus aureus*

LISTA DE SIGLAS

FAO - Food and Agriculture Organization of United
GPEPSP – Grupo de Pesquisa Engenharia de Processos
UNIPAMPA - Universidade Federal do Pampa

SUMÁRIO

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS.....	20
3 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Embalagens de alimentos	21
3.1.1 Embalagens ativas	22
3.1.2 Embalagens inteligentes	23
3.2 Filmes biopoliméricos	24
3.3 Técnicas de desenvolvimento de filmes biopoliméricos	25
3.3.1 <i>Casting</i>	25
3.3.2 <i>Electrospinning</i>	26
3.4 Filmes biopoliméricos contendo extratos naturais	27
3.5 Carragenana.....	29
3.6 Técnicas de obtenção de extratos naturais.....	30
3.7 Pequenas frutas	31
4 METODOLOGIA.....	34
4.1 Materiais	34
4.1.1 Matriz alimentar: Morango.....	35
4.2 Extração por maceração.....	36
4.3 Caracterização bioativa dos extratos naturais.....	36
4.3.1 Compostos fenólicos totais	36
4.3.2 Antocianinas totais	37
4.3.3 Atividade antioxidante.....	37
4.4 Desenvolvimento dos filmes biopoliméricos aditivados	37
4.5 Caracterização dos filmes biopoliméricos aditivados	39

4.5.1 Cor	39
4.5.2 Espessura	39
4.5.3 Propriedades mecânicas.....	39
4.5.4 Permeabilidade ao vapor d'água.....	41
4.5.5 Índice de intumescimento	42
4.5.6 Liberação controlada de compostos fenólicos dos filmes biopoliméricos	42
4.7 Atividade antimicrobiana dos filmes biopoliméricos	43
4.8 Perda de massa da matriz alimentar	44
4.10 Análise estatística	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 Caracterização dos pós das frutas vermelhas	46
5.2 Caracterização bioativa dos extratos naturais.....	46
5.3 Caracterização dos filmes biopoliméricos	49
5.3.1 Aspecto visual dos filmes biopoliméricos aditivados	49
5.3.2 Cor	50
5.3.3 Espessura, propriedades mecânicas, PVA e índice de intumescimento	50
5.4 Liberação controlada de compostos fenólicos dos filmes biopoliméricos	53
5.5 Perda de massa	54
5.6 Atividade antimicrobiana dos filmes biopoliméricos controle e aditivado	56
6. CONCLUSÃO.....	58
7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

As embalagens de alimentos possuem funções como conservar e proteger o alimento embalado, além de estender a vida de prateleira, diminuindo riscos de contaminação química, física e microbiológica ao consumidor (JORGE, 2013). A grande maioria das embalagens de alimentos produzidos, são provenientes de fonte petroquímica (fonte não renovável), no qual resultam em problemas socioambientais de forma negativa (BRITO *et al.*, 2011). Neste contexto, novos conceitos de embalagens de alimentos têm surgido, como as embalagens biopoliméricas, desenvolvidas com biopolímeros que podem ser produzidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como carboidratos, proteínas e lipídios (SOUZA *et al.*, 2012).

A principal vantagem das embalagens biopoliméricas é a biodegradação, processo em que ocorre a desintegração de materiais por ação de microrganismos, principalmente sendo realizada em menor tempo, baixo custo de obtenção e a ecoeficiência. Além do desenvolvimento de embalagens a partir de biopolímeros, uma inovação nesse setor são as embalagens inteligentes e ativas que diferem das embalagens convencionais por possuírem apenas a função de proteger o alimento (LUCHESE, 2018). As embalagens inteligentes avaliam a conservação e a qualidade dos alimentos, geralmente é inserido algum tipo de sensor que comunica ao consumidor de forma visual as mudanças dos aspectos físico-químicos do alimento (TEIXEIRA; SOARES; STRINGHETA, 2021). As embalagens ativas interagem com o alimento de forma sistemática, liberando compostos que auxiliam na conservação do produto através de agentes antimicrobianos e antioxidantes, absorvedores de umidade e etileno e controladores de gás carbônico (REALINI; MARCOS, 2014).

Dentre as técnicas de desenvolvimento das embalagens biopoliméricas se destaca a técnica de *casting*, utilizada amplamente em escala laboratorial e tem como objetivo obter uma solução filmogênica que após sua completa secagem é capaz de formar uma membrana ou filme (ADILAH *et al.*, 2018). Para a obtenção de embalagens biopoliméricas são utilizados: biopolímero, solvente e a utilização de um agente plastificante quando utilizada a técnica de *casting*. Os biopolímeros são de fontes renováveis, encontrados na natureza podendo ser ou não biodegradáveis, dependendo da acessibilidade de micro-organismos ao material (SCHAEFFER, 2020). São exemplos de biopolímeros a carragenana, zeína, goma arábica, amido, quitosana e gelatina. A carragenana é um polissacarídeo extraído de algas vermelhas do

tipo *Rhodophyceae* e quando solubilizadas em fluidos quentes formam uma solução viscosa (ZIA *et al.*, 2017).

Tendo em vista a obtenção de embalagens biopoliméricas, em seu desenvolvimento podem ser incorporados aditivos naturais na forma de extratos, tornando as embalagens com propriedades ativas e inteligentes baseadas na composição bioativa presente nos extratos. Entre os métodos de extração comumente encontrados na literatura, destacam-se a extração assistida por ultrassom e a extração por maceração. A extração assistida por ultrassom possui como vantagem o menor tempo de extração justamente pelo colapso de moléculas através das ondas de som com baixa frequência (LUCAS, 2018). A extração por maceração baseia-se no método de envolver calor e agitação para aumentar a transferência de massa e melhor extração de compostos de interesse (TAKEUCHI *et al.*, 2008).

Apresentam-se como fonte promissora de extratos naturais as pequenas frutas da classe das frutas vermelhas como a amora (*Rubus spp.*), framboesa (*Rubus idaeus L.*) e mirtilo (*Vaccinium myrtillus*), no qual possuem altos teores de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante (SOUZA *et al.*, 2014). Cultivada em diversas regiões do Brasil, a amora apresenta alta porcentagem de umidade, vitaminas e compostos bioativos como as antocianinas que são responsáveis pelo pigmento avermelhado roxo da fruta e compostos fenólicos (CHEZINI, 2022). A framboesa, pertencente à família *Rosaceae*, é considerada uma fruta nutritiva por apresentar índices consideráveis de fibras, proteínas, lipídeos e carboidratos, além de apresentar efeitos benéficos a saúde humana através da sua composição bioativa contendo vitaminas, compostos fenólicos, carotenoides e antocianinas (VARA, 2020). O mirtilo, conhecido popularmente como *blueberry*, possui em sua casca coloração azul intensa e apresenta elevada atividade antioxidante quando comparado a outras pequenas frutas, além de possuir em sua composição compostos bioativos como os polifenóis, flavonoides e antocianinas (HWANG *et al.*, 2014; LUCAS, 2018).

Estudos científicos e tecnológicos desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa Engenharia de Processos em Sistemas Particulados (GPEPSP) da Universidade Federal do Pampa, relacionam a extração de compostos bioativos presentes em fontes vegetais na forma de aditivos naturais com a área de embalagens biopoliméricas de alimentos. Barreto (2021) e Ávila *et al.*, (2020) extraíram compostos bioativos presentes na casca de jabuticaba (*Plinia cauliflora*) para potencial aplicação em matriz alimentar utilizando quitosana e carragenana, respectivamente, como biopolímeros no desenvolvimento de embalagens biopoliméricas. Benvegnú (2022)

extraiu compostos bioativos da própolis marrom utilizando a técnica de extração assistida por ultrassom com potencial aplicação em embalagem de alimentos.

Diante do exposto, na busca de desenvolver filmes biopoliméricos aditivados com extratos de pequenas frutas vermelhas que não causem impactos ambientais, o presente estudo se justifica. Para isso, foram desenvolvidos filmes biopoliméricos de carragenana com a incorporação de extratos naturais de pequenas frutas vermelhas, amora, framboesa e mirtilo, com o intuito de aumentar a vida de prateleira da matriz alimentar embalada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver filmes biopoliméricos de carragenana aditivados com extratos naturais de pequenas frutas vermelhas com o intuito de propor materiais biopoliméricos para utilização em embalagens de alimentos frente a conservação de alimentos.

2.2 Objetivos específicos

- Obter extratos naturais de amora (*Rubus spp.*), framboesa (*Rubus idaeus L.*) e mirtilo (*Vaccinium myrtillus*);
- Caracterizar os extratos naturais quanto ao teor de compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante;
- Desenvolver filmes biopoliméricos de carragenana pela técnica de *casting* aditivados com os extratos naturais obtidos;
- Caracterizar os filmes biopoliméricos quanto às propriedades mecânicas, permeabilidade ao vapor de água, espessura, índice de intumescimento e cor;
- Avaliar a liberação controlada de compostos fenólicos nos filmes biopoliméricos aditivados em meio simulado para alimentos ácidos;
- Avaliar a perda de massa de morangos quando embalados com os filmes biopoliméricos;
- Avaliar a atividade antimicrobiana do filme biopolimérico aditivado com características adequadas para ser utilizado como embalagem ativa.

3 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Embalagens de alimentos

As embalagens desempenham um papel importante frente a conservação de alimentos, protegendo o alimento do meio externo contra contaminações físicas, químicas e biológicas minimizando perdas e desperdícios. De acordo com as classificações, as embalagens podem ser primárias, secundárias e terciárias. As primárias são aquelas que estão em contato direto com o alimento, as secundárias facilitam a manipulação e apresentação, além de proteger o produto e as terciárias protegem o produto embalado principalmente na etapa de transporte (LANDIM *et al.*, 2016). Além disso, as embalagens fazem parte do *marketing* e *layout* do produto ou alimento a ser comercializado para a atração do consumidor. Com isso, as embalagens de alimentos devem reduzir as trocas gasosas, serem atóxicas, resistentes, de baixo custo, flexível para manuseio e causar o mínimo de impacto ambiental (EVANGELISTA, 2018). Mudanças de hábitos dos consumidores nos últimos anos, através de novas tendências no setor alimentício, estão fazendo com que a indústria reflita sobre seus processos de industrialização vinculado à sustentabilidade, principalmente com a necessidade de reduzir o descarte inadequado de embalagens convencionais plásticas que demoram anos para sua completa degradação (FARIAS *et al.*, 2012). Segundo a Food and Agriculture Organization of United - FAO (2019), cerca de 70% do plástico utilizado no Brasil não é reciclado e grande parte desse lixo, mais precisamente os microplásticos, provenientes de sacolas plásticas e embalagens de alimentos, são depositados em rios e mares, gerando um acúmulo de resíduos plásticos no meio ambiente.

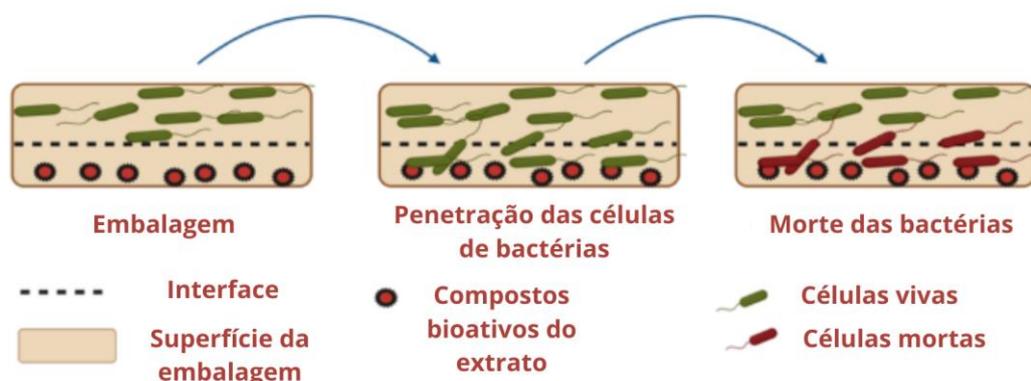
Existem diversas embalagens que protegem os alimentos como as metálicas, vidro, polimérica, celulósica e composta, em seus diferentes formatos (AZEREDO, 2012). Os plásticos convencionais são formados por polímeros, dentre as principais classes estão: termoplásticos, resinas, elastômeros ou borracha e os polímeros naturais, denominados biopolímeros (FELLOWS, 2006). Apesar dos avanços tecnológicos das embalagens convencionais que contribuem fortemente para a conservação dos alimentos, tem-se tornado uma alternativa de pesquisa e desenvolvimento as embalagens ativas e inteligentes para o melhoramento dos alimentos proporcionando o consumo mais seguro (TEIXEIRA, 2021).

3.1.1 Embalagens ativas

As embalagens ativas são aquelas que interagem de forma sistemática com o produto embalado, controlando ou absorvendo gases que possam ser emitidos do alimento durante seu processo de deterioração e liberando compostos de interesses que controlem a qualidade do produto, como por exemplo os agentes antioxidantes e antimicrobianos, que tem como função principal, prolongar a vida útil do alimento (MARTINS; CERQUEIRA; VICENTE, 2012), SOARES *et al.*, 2009).

Realini e Marcos (2014), exemplificam diferentes tipos de embalagens ativas, através de absorvedores de umidade, agentes antimicrobianos, agentes antioxidantes, emissores de gás carbônico, entre outros. Martiny (2020) obteve extratos naturais de folhas de oliveira (*Olea europaea*) para aplicação em embalagens biopoliméricas ativas com propriedades antimicrobianas diminuindo riscos de contaminação por microrganismos *E. coli* devido a ação protetora dos compostos bioativos presente nos extratos. Zidan *et al.*, (2023) desenvolveu embalagens ativas utilizando quitosana como biopolímero e extrato de tamareira como agente antimicrobiano aplicando a embalagem como revestimento em morango e estudando a conservação da fruta em tempos estabelecidos. Barreto (2021), obteve filmes biopoliméricos multicamadas compostas por quitosana e extrato da casca de jabuticaba (*Plinia cauliflora*), utilizando a técnica de *casting* com potencial aplicação em embalagens de alimentos. Na Figura 1, é esquematizado a utilização de compostos bioativos na forma de agentes antimicrobianos e antioxidantes em embalagens ativas, tais agentes inibem o crescimento e desenvolvimento de bactérias que causam a deterioração em alimentos.

Figura 1- Esquema de embalagem ativa e compostos bioativos



Fonte: Adaptado de Zidan *et al.* (2023)

3.1.2 Embalagens inteligentes

As embalagens inteligentes geralmente contêm um rótulo, sensor ou etiqueta que irá fornecer ao consumidor informações sobre a conservação do alimento embalado (CORRALES, M.; FERNÁNDEZ, A.; HAN, J.H. 2005). Essa tecnologia tem sido amplamente estudada devido a grande preocupação da população quanto ao desperdício de alimentos que é gerado, seja desperdício doméstico ou desperdício gerado por perdas na industrialização. Através de um sensor/etiqueta inteligente a embalagem seria capaz de monitorar a degradação do alimento evitando tais desperdícios (SOARES *et al.*, 2009). O desenvolvimento de sensores inteligentes nas embalagens deve seguir certos parâmetros como a estabilidade aos fatores extrínsecos, *design* compatível com a embalagem, concordância do sensor com a validade do produto e nível de sensibilidade com a substância a ser detectada no alimento (COFCEWICZ; SARANTOPOULOS, 2015).

Indicadores colorimétricos por mudança de pH do alimento embalado têm sido alvo de estudos para aplicação em embalagens inteligentes, como é o caso, de pesquisas relacionadas à utilização de aditivos naturais provenientes de extratos ricos em antocianinas, composto bioativo que muda sua coloração conforme variação de pH. Liu *et al.* (2019) desenvolveram embalagens biopoliméricas sensíveis a pH com incorporação de extrato de amora como indicadoras de degradação de alimentos e Luchese (2018), desenvolveu embalagens ativas e inteligentes com biopolímero amido, reaproveitando resíduo de suco de mirtilo utilizando a técnica de *casting*. O indicador Ripesense, conforme Figura 2, é um sensor colorimétrico utilizado para identificar níveis de maturação em frutas e hortaliças desenvolvido na Nova Zelândia, inicialmente o sensor possui coloração vermelha e à medida que o fruto amadurece o sensor gradativamente muda sua coloração para laranja e por fim amarelo (COFCEWICZ; SARANTOPOULOS, 2015).

Figura 2- Sensor de maturação - ripesense



Fonte: Cofcewicz; Sarantopoulos (2015)

Boa parte das embalagens de alimentos, sendo elas ativas, inteligentes ou convencionais, são provenientes de fonte petroquímica (fonte não renovável), no qual impactam o meio ambiente de forma negativa e não sustentável, neste sentido tem-se o estudo e desenvolvimento de filmes biopoliméricos, no qual sua matriz polimérica é um biopolímero, mais sustentável e biodegradável (BRITO *et al.*, 2011).

3.2 Filmes biopoliméricos

Os filmes biopoliméricos podem ser uma das soluções para o impacto ambiental negativo que vem acontecendo no meio ambiente, visto que tais filmes podem ser desenvolvidos com biopolímeros (fontes renováveis) que possuem tempo menor de degradação frente a embalagens convencionais (FABRA; LÓPEZ-RUBIO; LAGARON, 2016).

Para o desenvolvimento de filmes biopoliméricos é necessário obter uma solução filmogênica, formada por biopolímeros, agentes plastificantes e solventes. Dentre as vantagens dos filmes biopoliméricos, está a possibilidade de incorporar extratos naturais na forma de aditivos, como agentes antimicrobianos e agentes antioxidantes, possibilitando uma vida de prateleira mais prolongada (BATISTA, 2004).

Os biopolímeros são obtidos a partir de matérias-primas de fontes renováveis, como polissacarídeos, proteínas, lipídeos e possuem um tempo de vida menor quando comparado aos polímeros sintéticos. Alguns biopolímeros como a gelatina, zeína, quitosana, carragenana e amido possuem propriedades com grande potencial de substituição de polímeros de fontes fósseis, além de sua biodegradação em menor tempo (BRITO *et al.*, 2011). A importância da utilização de biopolímeros no desenvolvimento de novos materiais é algo que vem sendo estudado amplamente em pesquisas onde visam minimizar impactos ambientais causados por plásticos não biodegradáveis. Sua principal aplicação seria para uso de embalagens, no entanto, tais embalagens devem apresentar propriedades mecânicas e de barreiras semelhantes as embalagens convencionais quais iram competir (MIRI *et al.*, 2015)

Dentre os polímeros naturais, os polissacarídeos hidrossolúveis ou hidrocoloides se destacam por sua utilização no desenvolvimento de embalagens de alimentos biopoliméricas, pois apresentam características importantes como aumentar a viscosidade, criação de gel, controle de cristalização, inibem a sinérese e possibilitam a formação de filmes biopoliméricos (FERREIRA; GUIMARÃES; MAIA, 2009; ANDRADE, 2016).

3.3 Técnicas de desenvolvimento de filmes biopoliméricos

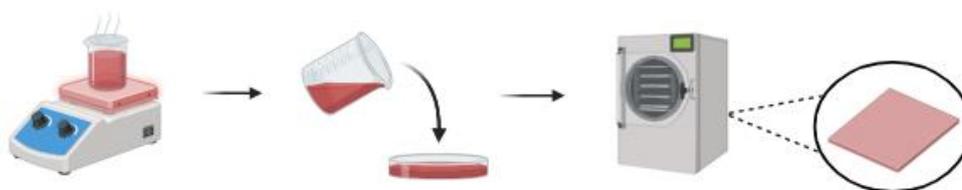
Existem diversos métodos de desenvolvimento e obtenção de filmes biopoliméricos como a técnica de *casting*, extrusão, *electrospinning* e sopro (FILIPINI, 2019). Neste estudo, será abordado sobre as técnicas de *casting* e *electrospinning*, bem como seu modo de uso, operação e obtenção de filmes biopoliméricos.

3.3.1 *Casting*

A técnica de *casting*, apresentada na Figura 3, é uma metodologia considerada simples e amplamente utilizada em escala laboratorial no desenvolvimento de membranas biopoliméricas. Inicialmente ocorre a solubilização do biopolímero através de um solvente, com adição de um agente plastificante, denomina-se como solução filmogênica (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1992). Após, essa solução filmogênica é vertida sobre uma placa de Petri e mantida sob aquecimento até completa evaporação do solvente, obtendo-se um filme biopolimérico (DENAVI *et al.*, 2009).

A operação de evaporação do solvente nesta técnica, tem como objetivo a concentração do biopolímero a fim de formar uma rede tridimensional de moléculas (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1992). Quando utilizada a técnica de *casting* para obtenção de embalagens, alguns parâmetros devem ser levados em consideração, como o nível da placa de Petri na evaporação, pois certos desníveis podem ocasionar diferenças na sua espessura, temperatura de obtenção da solução filmogênica e solubilidade do biopolímero (MARTINY, 2020; AVILA, 2020).

Figura 3 - Obtenção por técnica de *casting*



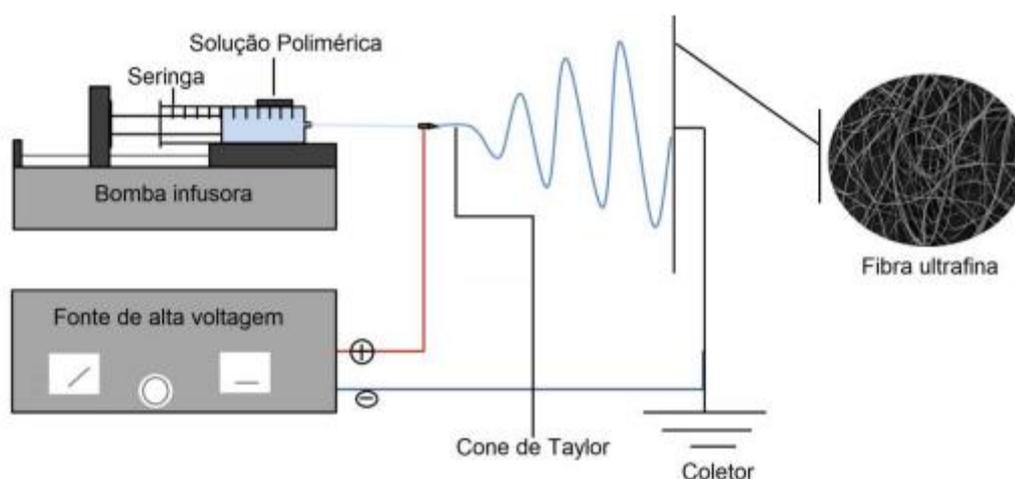
Fonte: Autor (2023)

Sendo assim, a técnica de *casting* torna-se uma opção prática e fácil de obtenção de embalagens biopoliméricas devido a sua facilidade de produção. Nichel (2020), obteve filmes biodegradáveis de amido e do pinhão e batata doce a partir da técnica de *casting* para potencial aplicação como revestimento de frutas. Sartori e Menegalli (2015) extraíram amido de banana para utilização como biopolímero e desenvolveram filmes biopoliméricos através da técnica de *casting* com incorporação de micropartículas lipídicas contendo ácido ascórbico como agentes antioxidantes.

3.3.2 *Electrospinning*

A técnica de *electrospinning*, também chamada de eletrofiação, consiste em aplicar a solução filmogênica em um campo elétrico através de uma bomba com alta voltagem (ANTUNES, 2016). O sistema é constituído por uma seringa, onde contém a solução polimérica ou filmogênica, bomba infusora, fonte de alta contagem e um coletor, conforme Figura 4. Durante seu processamento, inicialmente é formado uma gota na ponta da agulha, oriunda da solução filmogênica e conforme aumenta o campo elétrico, a gota sofre um alongamento conhecido como cone de Taylor ejetando em direção ao coletor formando uma fibra fina (AVILA, 2020).

Figura 4- Obtenção por *electrospinning*



Fonte: Avila (2020)

A técnica de *electrospinning* possui vantagem no desenvolvimento de embalagens ou membranas ultrafinas para aplicações em matrizes alimentares devido a sua área superficial.

Gonçalves (2015) produziu nanofibras por *electrospinning* de policaprolactona (PCL) com biopeptídeos microalgais para aplicação em embalagens ativas de alimentos. Liu *et al.* (2015), desenvolveram nanofibras de álcool polivinílico (PVOH) e quitosana com nanopartículas de prata para obtenção de membranas antibacterianas.

3.4 Filmes biopoliméricos contendo extratos naturais

No desenvolvimento de filmes com potencial de embalagem ativa e inteligente biopolimérica podem ser utilizados aditivos naturais na forma de extratos, como uma alternativa de obter embalagens que possam substituir insumos sintéticos na sua obtenção. Os aditivos naturais quando aplicados nessas embalagens podem desempenhar um papel fundamental no prazo de validade dos alimentos e potencial redução de risco por contaminação de patógenos através dos compostos bioativos presentes nos extratos como agentes antioxidantes e antimicrobianos (APPENDINI; HOTCHKISS, 2002).

Os aditivos naturais agregam características importantes às embalagens ativas e inteligentes, devido a sua composição bioativa, principalmente pelos compostos antioxidantes como as antocianinas, carotenóides e flavonóides e agentes antimicrobianos que inibem o crescimento microbiológico que causam deterioração em alimentos (SOUZA, 2014).

Diversos estudos, conforme Quadro 1, relatam o desenvolvimento de embalagens biopoliméricas com a incorporação de aditivos naturais.

Quadro 1- Biopolímeros, solventes, agentes plastificantes e aditivos naturais em embalagens biopoliméricas ativas e inteligentes

(continua)

Biopolímero	Solvente	Agente plastificante	Aditivo natural	Referência
Gelatina	Água	Glicerol	Farinha de casca de cenoura e beterraba	Iahnke (2015)
Amido	Água	Glicerol	Resíduo suco de mirtilo	Lechese (2018)

Quadro 1 – Biopolímeros, solventes, agentes plastificantes e aditivos naturais em embalagens biopoliméricas ativas e inteligentes.

(conclusão)

Biopolímero	Solvente	Agente plastificante	Aditivo natural	Referência
Carragenana	Água	Glicerol	Extrato de folha de Oliveira	Martiny <i>et al.</i> (2020)
Quitosana	Ácido acético	Polietilenoglicol e glicerol	Extrato de <i>cranberry</i>	Severo <i>et al.</i> (2021)
Carragenana	Água	Glicerol	Extrato de casca de jabuticaba	Avila <i>et al.</i> (2020)
Goma-Arábica e Nanocristais de celulose	Etanol 80% e HCl 1%	Glicerol	Extrato de casca uva, romã e pitaya	Kang <i>et al.</i> (2021)
Amido	Água	Glicerol	Bagaço de amora	Chezini (2022)
Quitosana	Ácido acético	Polietilenoglicol	Extrato de tamareira	Zidan <i>et al.</i> (2023)

Fonte: Autor (2024)

Conforme apresentado no Quadro 1, estudos no desenvolvimento de embalagens biopoliméricas fazem uso de diversas fontes de biopoliméricos e solventes, além de utilizar extratos naturais na forma de aditivos. Cada aditivo natural incorporado na embalagem desenvolvida irá dar a ela a característica desejada, seja embalagem ativa e/ou embalagem inteligente.

Podem ser utilizados em embalagens ativas aqueles aditivos que contenham propriedades que possam atuar como agentes antioxidantes e antimicrobianos, como extratos ricos em antioxidantes como compostos fenólicos e antocianinas e para as embalagens inteligentes aqueles aditivos com compostos como as antocianinas, que variam de cor de acordo com o pH do produto embalado. Para sua obtenção, existem técnicas que utilizam diferentes equipamentos e métodos que utilizam proporções de fonte vegetal e solventes variados.

3.5 Carragenana

Entre os polissacarídeos hidrossolúveis, se encontra a carragenana, obtida de algas marinhas vermelhas e formada por moléculas de monômeros de D-galactopirranose e 3,6-anidrogactose. As carragenanas são divididas em três tipos como λ (lambda), solúvel em água, forma soluções com alta viscosidade e não forma gel, κ (kappa), solúvel em água em determinados parâmetros e possuem capacidade de formar géis elásticos e flexíveis e ι (iota), possui a menor solubilidade em água e possui capacidade de formar géis quebradiços, cada tipo com propriedades distintas e classificadas conforme sua estrutura molecular (ANDRADE, 2016).

Assim, a carragenana possui potencial uso como biopolímero no desenvolvimento de embalagens biopoliméricas ativas e/ou inteligentes contendo agentes antioxidantes e antimicrobianos para potencial aplicação em matriz alimentar. O Quadro 2 apresenta pesquisas de desenvolvimento de embalagens utilizando a carragenana como biopolímero e agentes antimicrobianos e antioxidantes aplicados a matrizes alimentares de fonte vegetal e animal.

Quadro 2- Desenvolvimento de embalagens contendo carragenana aplicada a matrizes alimentares

Biopolímero	Agente antioxidante/antimicrobiano	Referência
Carragenana	Sorbato de potássio	Seol <i>et al</i> (2009)
	Extrato de folha de oliveira*	Martiny <i>et al</i> (2020)
	Extrato de polpa de amora*	Zhang <i>et al.</i> (2020)
	Óleo essencial de erva-limão	Wani <i>et al.</i> (2021)

* Agentes antioxidantes

Fonte: Autor (2024)

A utilização da carragenana no desenvolvimento de embalagens biopoliméricas é bastante ampla. Pesquisas como ilustradas no Quadro 2, evidenciam seu uso juntamente com aditivos naturais e aplicação em matrizes alimentares demonstrando sua efetividade na substituição de embalagens convencionais. Seol *et al.*, (2009) investigou uma membrana a base de carragenana e sorbato de potássio no prazo de validade e armazenamento a frio de peito de frango, alimento altamente perecível e suscetível a contaminação microbológica. Martiny *et al.*, (2020) desenvolveu uma embalagem biopolimérica de carragenana aditivada com extrato natural de folha de oliveira inibindo o crescimento de microrganismos em carne de cordeiro. Zhang *et al.*, (2020), utilizou extratos de polpa de amora como indicador de mudança de pH em embalagens biopoliméricas ativas de carragenana aplicadas para estudar a qualidade e frescor dos peixes. Wani *et al.*, (2021) estudou o efeito de embalagens biopoliméricas de goma arábica, xantana e carragenana contendo óleo essencial de erva-limão como agente antimicrobiano aplicadas em morango. Para tal desenvolvimento de embalagens biopoliméricas, faz-se o estudo das técnicas de obtenção, levando em consideração os parâmetros que cada método exige.

3.6 Técnicas de obtenção de extratos naturais

Diversas técnicas e alternativas são desenvolvidas para obtenção de extratos naturais com excelência, seja pelo método a ser aplicado ou pelo solvente utilizado na extração. Entre os métodos de extração comumente encontrados na literatura, destacam-se a extração assistida por ultrassom e a extração por maceração.

A extração assistida por ultrassom, tem como possibilidade menores tempos de extrações, justamente pelo método de colapsar moléculas através das ondas de som e a utilização de solventes mais sustentáveis (LUCAS, 2018). As ondas de som geradas no mecanismo de extração produzem efeitos na matriz vegetal, como a circulação do solvente no sistema e a turbulência pode aumentar a transferência de massa (SILVA; GARCIA; FRANCISCATO, 2016). O processo de extração ocorre em duas etapas, sendo a primeira denominada “lavagem”, onde ocorre a maior faixa de extração dos compostos bioativos da fonte vegetal e a segunda chamada de “extração lenta” com baixo rendimento de extração dos componentes presentes no meio (ŞAHIN E ŞAMLI, 2013). A obtenção de extratos com maiores concentrações de compostos bioativos na extração assistida por ultrassom é reportada no estudo de Gomes *et al.*, (2021).

A maceração é um método de extração sólido-líquido, a qual baseia-se em manter a fonte vegetal em um meio fechado em contato com o solvente extrator, sendo submetida a agitação ocasional com variação de temperatura durante determinado período de tempo (TOMASI, 2021). Certos parâmetros devem ser levados em consideração quando utilizado a maceração para obtenção de extratos naturais, como o teor de umidade e tamanho da partícula da fonte vegetal, volume de solvente extrator, pH, tempo e temperatura de extração (SONAGLIO *et al.*, 2010). Estudos para obtenção de extratos naturais ricos em compostos bioativos através da extração por maceração veem sido abordados na literatura. Alves (2022) obteve extratos naturais de folha de oliveira (*Olea europaea L.*) para aplicação em membrana biopolimérica como uso tópico no tratamento de feridas. Vara (2020) produziu extratos hidroetanólicos de framboesa (*Rubus idaeus*) para avaliação bioativa utilizando a extração por maceração.

Neste contexto, as frutas vermelhas como amora, framboesa e mirtilo, apresentam-se como potencial fonte de obtenção de aditivo natural para incorporação em filmes biopoliméricos ativos.

3.7 Pequenas frutas

As pequenas frutas vermelhas, apresentadas na Figura 5, chamadas também de bagas ou *berries*, são frutos carnosos e suculentos, consumidos normalmente *in natura* ou processados em produtos alimentícios como sucos, geleias, bebidas e doces (VARA, 2020). Entre as pequenas frutas vermelhas, destacam-se a amora (*Rubus spp.*), framboesa (*Rubus idaeus*) e o mirtilo (*Vaccinium corymbosum*), alvo de diversos estudos por apresentar altas fontes de compostos fenólicos como os ácidos fenólicos, flavonóides, estilbenos, taninos e antocianinas (SOUZA, 2014).

Figura 5- Pequenas frutas vermelhas, amora, framboesa e mirtilo, respectivamente



Fonte: Adaptado de Dreamstime (2023)

A amora-preta é uma fruta pertencente à família *Rosaceae*, sendo a cultivar Tupy, obtida através de um melhoramento genético, a mais cultivada no Brasil, possuindo coloração preta e sabor levemente equilibrado entre doce e ácido (ANTUNES, 2002). Cerca de 85% da sua composição é constituída por água e 10% de carboidratos, contendo teores significativos de fibras, minerais e vitaminas, além de conter compostos fenólicos que contribuem com a atividade antioxidante da fruta (NOGUEIRA, 2018). Na amora são encontrados fitoquímicos lipofílicos e hidrofílicos, promotores de saúde, associados ao baixo risco de mortalidade por doenças cardíacas devido a presença de compostos bioativos provenientes do metabolismo secundário da fruta (CHEZINI, 2022). Segundo Sousa (2007), tais compostos presente na amora, possuem atividade anti-inflamatória, antialérgica e antimicrobiana. Estudos como de Fan-chiang e Wrolstad (2005), encontraram teores de antocianinas de 70 a 201 mg/100 g de peso fresco em 18 cultivares diferentes de amoras-pretas (*Rubus spp.*) em países como Estados Unidos, França, Macedônia, Chile e México e Hirsch (2011), encontrou em 9 cultivares de amora-preta no Brasil, teores de antocianinas de 24 a 100,4 mg/100 g de peso fresco.

A framboesa vermelha (*Rubus idaeus L.*), pertencente à família *Rosaceae*, constituída por bagas, engloba cerca de 200 espécies e tem sido alvo de estudo de melhoramento genético, em ênfase à framboesa vermelha (VARA, 2020). Segundo Sousa *et al.*, (2007), sua composição centesimal é constituída por 85 g de água, 0,91 g de proteínas, 0,55 g de lipídeos e 3 g de fibra alimentar e vitaminas como ácido ascórbico, tiamina, vitamina B6 e vitamina A. Os benefícios à saúde, como prevenção a distúrbios inflamatórios e doenças cardiovasculares são associados a composição bioativa da framboesa, principalmente aos compostos fenólicos, incluindo as antocianinas. Frutos de bagas apresentam atividade biológica com alto teor de compostos

antociânicos, por exemplo, cianidina-3-glicosídeo, cianidina-3-rutinosídeo e pelargonidina-3-glicosídeo (SEERAM *et al.*, 2006). Em estudo desenvolvido por Noratto, Chew e Atienza (2017), identificou 50 compostos fenólicos em diferentes cultivares de framboesa.

O mirtilo, popularmente conhecido como *blueberry*, pertencente à família *Ericaceae*, é uma fruta de origem da América do Norte. Caracterizado pela sua coloração azul-escura tendo em média 1 a 2,5 cm de diâmetro e com sabor equilibrado entre acidez e doce (REQUE, 2012). Sendo seu consumo *in natura* ou em alimentos processados como sorvetes, doces, geleias, licores, entre outros. Segundo Sousa *et al.*, (2007), o mirtilo apresenta altas concentrações de minerais, açúcares, ácidos orgânicos e entre as pequenas frutas, é a que possui maior atividade antioxidante. Estudos acerca dos compostos bioativos presente no mirtilo apontam que os benefícios à saúde da fruta estão relacionados à presença das antocianinas, contendo cerca de 825 a 4200 mg Cianidina-3-glicosídeo por kg de fruta (REQUE, 2012).

Assim, as pequenas frutas vermelhas amora, framboesa e mirtilo podem ser utilizadas como aditivo natural no desenvolvimento de embalagens biopoliméricas ativas e/ou inteligentes devido às suas características bioativas. Nogueira (2018), obteve membranas biopoliméricas antioxidantes e comestíveis utilizando bagaço de amora-preta e avaliou a estabilidade da membrana em diferentes condições de pHs frente ao processo de esterilização, além de verificar a biodegradabilidade em compostagem orgânica. Um estudo realizado por Luchese *et al.*, (2019), desenvolveu embalagens biodegradáveis a partir do resíduo de mirtilo e amido, obtendo resultados de tensão de ruptura semelhantes às embalagens convencionais de polietileno de baixa densidade.

4 METODOLOGIA

4.1 Materiais

As pequenas frutas amora, framboesa e mirtilo foram adquiridas em comércio local na cidade de Bagé, Rio Grande do Sul e conduzidas até o laboratório de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - sala 2106, situado na Universidade Federal do Pampa - Campus Bagé, onde foram higienizadas a 100 ppm de cloro e armazenadas em *freezer* a -18°C. Posteriormente, as pequenas frutas foram submetidas a secagem por liofilização utilizando liofilizador de bancada (Terroni - LS300) no período de 72 h, mantidas em alto vácuo e temperatura de -50°C. As amostras liofilizadas foram moídas em moinho analítico (IKA® – A11BS32) e peneiradas em peneiras de mesh de diâmetro de 60 mm obtendo-se um pó de amora, pó de framboesa e pó de mirtilo ($d_p < 0,25$ mm). A Figura 6 ilustra os pós das pequenas frutas.

Figura 6- Pó de amora (1), pó de framboesa (2) e pó de mirtilo (3) moídos e peneirados



Fonte: Autor (2024)

A umidade do pó de cada fruta foi determinada utilizando o método gravimétrico em estufa a 105 °C por 24 h. O percentual de umidade em base úmida foi determinado em triplicata seguindo a Equação 1.

$$\% \text{Umidade} = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \quad (1)$$

onde mi é a massa inicial da amostra (g) e mf a massa final da amostra após a secagem (g).

4.1.1 Matriz alimentar: Morango

A matriz alimentar definida para a análise de perda de massa foi o morango, conforme Figura 7. As frutas foram adquiridas em comércio local na cidade de Bagé, Rio Grande do Sul e conduzidas até o laboratório de Operações de Processos da Indústria de Alimentos - sala 2104, situado na UNIPAMPA (Universidade Federal do Pampa) - Campus Bagé, onde foram higienizadas a 100 ppm de cloro.

Figura 7- Morangos higienizados



Fonte: Autor (2024)

4.2 Extração por maceração

Para o desenvolvimento e realização dos objetivos propostos, foram obtidos os extratos naturais de amora, framboesa e mirtilo, individualmente, ricos em compostos bioativos utilizando a metodologia de extração por maceração como esquematizado na Figura 8.

Figura 8- Obtenção dos extratos naturais



Fonte: Autor (2024)

As extrações foram realizadas segundo a metodologia de Avila (2020) com adaptações, em triplicatas utilizando banho metabólico (Dubnoff SL 157 – SOLAB), 1 g de amostra (pó de frutas) e 100 mL de solvente (etanol 40%) pelo período de 2 h à 80°C. Após a extração, o extrato foi filtrado a vácuo e reservado para posteriores análises.

4.3 Caracterização bioativa dos extratos naturais

4.3.1 Compostos fenólicos totais

Para a determinação de compostos fenólicos totais (CFT), foi utilizado o método Singleton e Rossi (1985) utilizando 0,5 mL de extrato, 10 mL de água destilada, 1 mL Folin-Ciocalteu em tubo de ensaio, após 3 min de reação, adicionou-se 8 mL de carbonato de sódio (Na_2CO_3) 7,5 %. As amostras foram mantidas em escuro por 2 h para reação colorimétrica de oxidação e redução, após o período, realizou-se a leitura das amostras em espectrofotômetro (UV 755B, EQUILAM) no comprimento de onda de 765 nm. Os resultados foram quantificados

a partir de uma curva padrão de ácido gálico, conforme Equação 2, em concentrações de 50 a 1000 mg.L⁻¹ e expressos em mg de EAG/100g.

$$y = 0,0031x \quad r^2 = 0,9995 \quad (2)$$

4.3.2 Antocianinas totais

O teor de antocianinas totais (AT) foi quantificado a partir da leitura direta dos extratos naturais em espectrofotômetro no comprimento de onda de 520 nm. Os resultados foram quantificados a partir de uma curva padrão, conforme Equação 3, de cianidina-3-glucosídeo com concentrações de 5 a 100 mg.L⁻¹ e os resultados expressos em mg de Cianidina-3-Glucosídeo equivalente por 100 g.

$$y = 49,472x \quad r^2 = 0,9999 \quad (3)$$

4.3.3 Atividade antioxidante

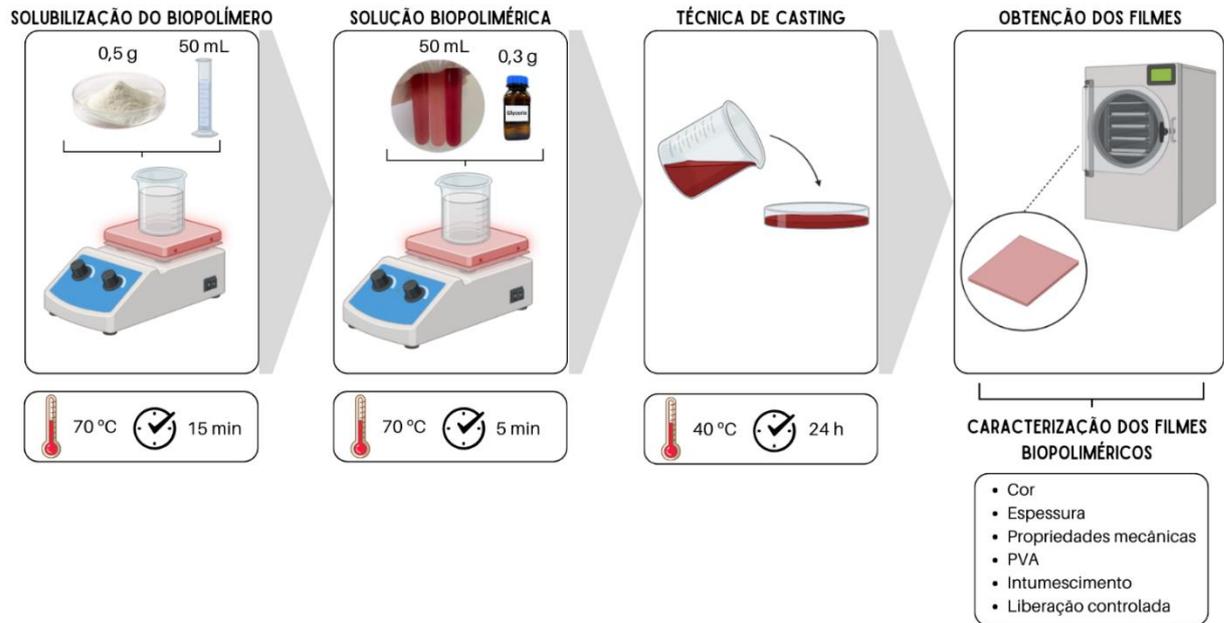
A atividade antioxidante (AA) dos extratos foi realizada seguindo a metodologia descrita por Brand-Williams, Cuvelier e Berser (1995), utilizando-se 0,2 mL do extrato com 7,8 mL de solução DPPH em repouso por 30 min sob ausência de luz. A leitura foi realizada em espectrofotômetro no comprimento de onda de 517 nm e o resultado quantificado através de curva padrão, conforme Equação 4, em equivalente de Trolox na faixa de concentração de 0 a 2000 μmol. L⁻¹.

$$y = 0,0006x - 0,0475 \quad r^2 = 0,9908 \quad (4)$$

4.4 Desenvolvimento dos filmes biopoliméricos aditivados

O desenvolvimento dos filmes biopoliméricos foi de acordo com a metodologia de Avila (2020) com adaptações, conforme a Figura 9.

Figura 9- Desenvolvimento dos filmes biopoliméricos



Fonte: Autor (2024)

A técnica utilizada para o desenvolvimento dos filmes biopoliméricos de amora, framboesa e mirtilo foi a de *casting*. Inicialmente, foi realizada a solubilização do biopolímero carragenana na proporção de 0,5:50 (m:v) à temperatura de 70 °C durante 15 min. Em seguida, foi incorporada à solução inicial, 0,3 g de glicerol e 50 mL de extrato de cada fruta individualmente e obtendo a solução biopolimérica contendo extrato. A solução biopolimérica contendo o extrato natural foi vertida sobre uma de placa de Petri com diâmetro de 15 cm e encaminhada a secagem em estufa durante 24 h à temperatura de 40 °C. Após completa evaporação do solvente, os filmes foram acondicionados em dessecadores com umidade relativa de 50% para posteriores utilizações e análises.

4.5 Caracterização dos filmes biopoliméricos aditivados

4.5.1 Cor

Para análise da cor nos filmes biopoliméricos foi utilizado o aplicativo em celular Android ColorGrab, no qual identifica os parâmetros de cor do sistema CIELAB. Os parâmetros colorimétricos obtidos foram o L^* , que corresponde a luminosidade; a^* que corresponde a coordenada do eixo vermelho/verde e b^* representando a coordenada do eixo azul/amarelo. Para quantificação da variação de cor foi utilizada a Equação 5.

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - Ls^*)^2 + (a^* - as^*)^2 + (b^* - bs^*)^2} \quad (5)$$

Onde: L^* é a variação de preto (0) a branco (100); a^* a variação de verde (-) a vermelho (+); b^* a variação de azul (-) a amarelo (+); o subíndice s corresponde ao filme controle e ΔE^* a diferença de cor.

4.5.2 Espessura

A espessura das embalagens biopoliméricas foi obtida com a utilização de micrômetro digital (Insize-IP65) realizando uma média com dez posições aleatórias sobre os filmes biopoliméricos.

4.5.3 Propriedades mecânicas

Para a avaliação das propriedades mecânicas dos filmes biopoliméricos aditivados foi utilizado o equipamento texturômetro (STABLE - MICRO SYSTEM TA.XT.plus) para auxílio das análises, conforme Figura 10. As análises seguiram a norma ASTM Standard D882-18 (2018).

Figura 10- Análise de propriedades mecânicas - Texturômetro



Fonte: Autor (2024)

A porcentagem de alongação foi determinada conforme a Equação 6 e a resistência à tração conforme a Equação 7.

$$\% \text{ Elongação} = \frac{dr}{di} * 100 \quad (6)$$

Onde, dr é a distância da ruptura percorrida pela garra (m) e di o afastamento inicial entre as garras (m).

$$T = \frac{Fm}{Amin} \quad (7)$$

Onde, T é a tensão máxima relacionada à tração (Pa), Fm a força máxima que antecede a ruptura (N) e $Amin$ a área da seção transversal inicial da embalagem (m²).

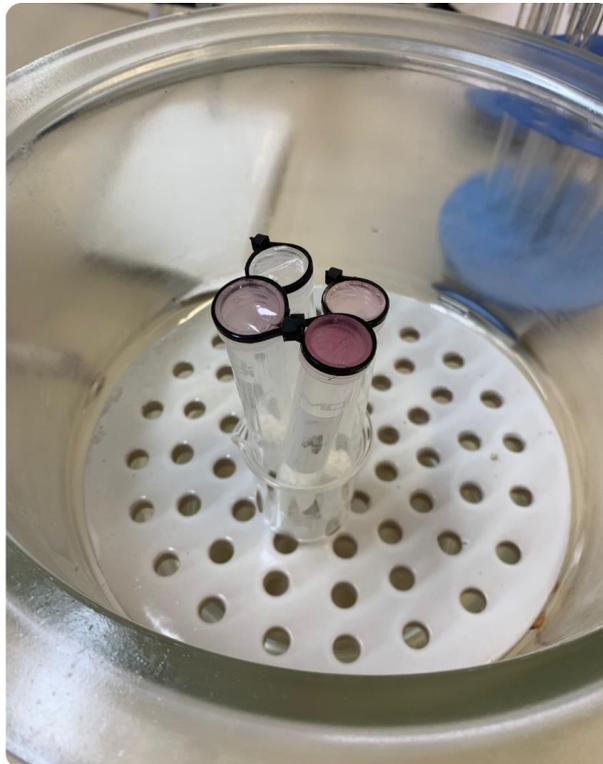
4.5.4 Permeabilidade ao vapor d'água

A análise de permeabilidade ao vapor d'água foi conduzida conforme o método ASTM E0096-00 (2016), em triplicata. As amostras dos filmes biopoliméricos foram seladas em tubos de permeação contendo cloreto de cálcio anidro (CaCl_2), conforme ilustra a Figura 11. Posteriormente, acondicionadas em dessecadores com umidade relativa de 50% em temperatura ambiente e controladas diariamente durante 10 dias. A permeabilidade ao vapor d'água foi calculada conforme a Equação 8.

$$PVA = \frac{mab.e}{t.A.\Delta P} \quad (8)$$

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

Figura 11- Filmes biopoliméricos selados em tubos de permeação



Fonte: Autor (2024)

4.5.5 Índice de intumescimento

O índice de intumescimento foi analisado de acordo com a metodologia adaptada de Bunhak *et al.* (2007). Os filmes biopoliméricos foram cortados em amostras de 2 cm² e inseridos em estufa a 60 °C para secagem por 2 h. Após, foi determinada a massa seca e os filmes biopoliméricos foram imersos em água destilada por 10 min. A água foi drenada, removendo o excesso e pesou-se novamente os filmes. O índice de intumescimento de cada filmes (amora, framboesa e mirtilo) foi quantificado seguindo a Equação 9.

$$I (\%) = \frac{m_f - m_i}{m_i} * 100 \quad (9)$$

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

4.5.6 Liberação controlada de compostos fenólicos dos filmes biopoliméricos

A análise de liberação controlada de compostos fenólicos foi realizada de acordo com a resolução RDC N°- 51, DE 26 DE NOVEMBRO DE 2010, onde dispõe sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos.

Para a análise de liberação controlada foi utilizado 0,3 g de amostra (filme biopolimérico) em contato com 15 mL de fluido simulante pelo período de 240 min sob incubação à temperatura de 25 °C, conforme Figura 12. Como fluido simulante foi utilizada solução ácido acético 3% (v/v) para alimentos aquosos ácidos. Esse parâmetro foi escolhido a partir da matriz alimentar definida. Após o término da análise da liberação controlada, o fluido simulante foi submetido a quantificação de compostos fenólicos conforme metodologia do item 4.2.4.1.

Figura 12- Amostras imersas no fluido simulante após 4 h de incubação



Fonte: Autor (2024)

4.7 Atividade antimicrobiana dos filmes biopoliméricos

Para a realização da atividade antimicrobiana, foi levada em consideração os resultados promissores referente a caracterização bioativa do extrato, caracterização do filme biopolimérico e análise de perda de massa do filme biopolimérico aditivado promissor.

A atividade antimicrobiana do filme foi avaliada frente a dois microrganismos, *Escherichia coli*, representando o grupo de bactérias Gram-negativas, e *Staphylococcus aureus* representando o grupo de bactérias Gram-positivas, conforme a ilustra a Figura 12. O potencial antimicrobiano do filme biopolimérico foi obtido utilizando a Norma M7-A6 (*Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically*; Approved Standard - Sixth Edition, 2003). Para realização da análise, uma alíquota de 0,1 mL de cultura microbiana (*Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*) foi padronizada com 12×10^8 unidades formadoras de colônia (UFC). mL^{-1} de acordo com a escala Mac Farland e então diluídos para a concentração de 1×10^5 UFC. mL^{-1} , onde foram posteriormente inoculadas sobre placas compostas de ágar Mueller Hinton para que o desenvolvimento microbiano ocorresse.

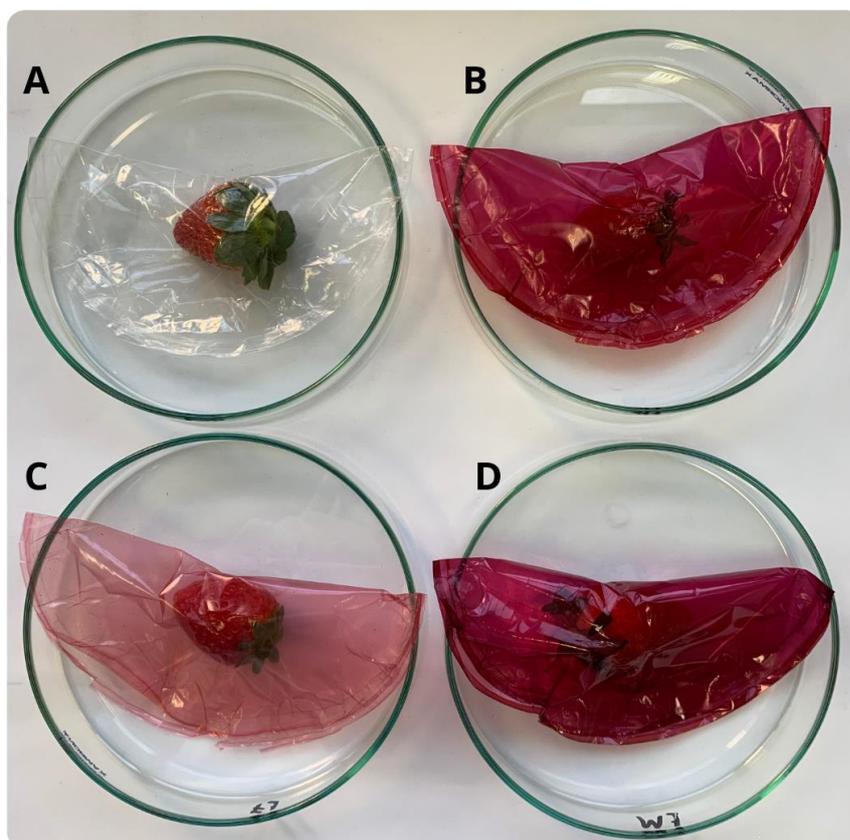
Após solidificação do ágar, foram adicionados os filmes biopoliméricos aditivados com extratos de mirtilo e filme controle desenvolvidos (cortados em 6 mm de diâmetro) para atuarem

como barreira antimicrobiana. As placas foram incubadas a 35°C por 24 h e a inibição foi considerada positiva quando halos compostos por uma zona clara foram observados.

4.8 Perda de massa da matriz alimentar

Após a higienização os morangos foram embalados individualmente, conforme Figura 13 e selados durante 10 s com o auxílio de uma embaladora manual portátil (FRESH PACK PRO -IM84). Os filmes biopoliméricos contendo a matriz alimentar foram armazenados sob refrigeração a 5°C e a massa quantificada pelo período de 10 dias.

Figura 13- A - Filme controle; B - Filme amora; C - Filme framboesa e D - Filme Mirtilo



Fonte: Autor (2024)

A perda de massa dos filmes biopoliméricos contendo a matriz alimentar foi realizada de acordo com Jridi *et al*, 2018. A perda de massa foi quantificada através da Equação 10.

$$PM(\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad (10)$$

Onde, PM é a perda de massa, mi a massa inicial da matriz alimentar e mf a massa final da matriz alimentar.

4.10 Análise estatística

Os resultados obtidos da caracterização dos pós das frutas vermelhas, caracterização do extrato, caracterização dos filmes biopoliméricos aditivados e perda de massa da matriz alimentar foram tratados estatisticamente em software estatísticos e aplicados testes de comparação de médias como Teste de Tukey ao nível de significância de 5%.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização dos pós das frutas vermelhas

Os resultados para os teores de umidade referente ao pó de amora, pó de framboesa e pó de mirtilo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1- Resultados da caracterização de cada pó de fruta

Amostra	Umidade % (b.u.)
Pó de amora	20,7 ^a ± 0,751
Pó de framboesa	19,4 ^b ± 0,286
Pó de mirtilo	14,5 ^c ± 0,131

Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias obtidas pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2024)

O teor de umidade é um dos fatores importantes de uma amostra, visto que a elevada quantidade de água presente pode desencadear a proliferação de fungos e bactérias contaminando a amostra antes mesmo dela ser utilizada para análises futuras (MOREIRA *et al.*, 2013). De acordo com a Resolução RDC n° 272 de 22 de setembro de 2005 da ANVISA, produtos de frutas secas ou desidratadas devem conter no máximo 25 % de umidade (BRASIL, 2005). Desta forma, ambas as amostras estão de acordo com o estabelecido visto que a variação de umidade foi de 14,5 a 20,7 % (b.u.). Conforme os resultados estatísticos para os pós das frutas, observou-se diferença estatística entre todos os pós das frutas vermelhas.

5.2 Caracterização bioativa dos extratos naturais

Na Figura 14 são ilustrados os extratos naturais obtidos através da extração por maceração.

Figura 14- Extrato de mirtilo (1), extrato de amora (2) e extrato de framboesa (3)



Fonte: Autor (2024)

Os resultados referentes às análises de compostos fenólicos totais - CFT, antocianinas totais - AT e atividade antioxidante - AA estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados da caracterização bioativos presente nos extratos obtidos

Extrato	Compostos Fenólicos Totais mgEAG/100g	Antocianinas Totais mg cianidina-3-glicosídeo/100g	Atividade Antioxidante μmol/g Trolox
Amora	2663,13 ^a ± 0,88	318,66 ^b ± 5,57	576,31 ^a ± 3,60
Framboesa	2268,71 ^b ± 0,93	192,27 ^c ± 2,60	557,62 ^b ± 1,97
Mirtilo	2681,07 ^a ± 0,09	347,56 ^a ± 1,05	482,62 ^c ± 3,54

Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias obtidas pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2024)

Diversos parâmetros podem influenciar na quantificação de compostos bioativos em frutas, como por exemplo, o método de extração, o solvente utilizado para extrair tais compostos, estrutura química da amostra, além das condições da fruta, como maturação, armazenamento e exposição ao sol (SERAFIM, 2013).

O presente estudo obteve como quantificação para os compostos fenólicos uma faixa de 2268,71 mgEAG/100g a 2681,07 mgEAG/100g. Vasco, Ruales e Kamal-Eldin (2008) classificaram os fenólicos de acordo com suas concentrações sendo classificados como baixo teor (<100 mg EAG/100 g), médio teor (100-500 mg EAG/100 g) e alto teor (>500 mg EAG/100 g), desta forma todos os extratos do presente estudo podem ser classificados em altos teores de composto fenólicos indicando que a amora, framboesa e mirtilo são excelentes fontes destes ativos. No presente estudo, os maiores teores de compostos fenólicos foram observados na amora e no mirtilo, que não diferiram estatisticamente entre si.

A quantificação de compostos fenólicos totais para a amora realizada por Machado, Pereira e Marcon (2013) foi de $92,85 \pm 2,22$ mg EAG/100 g sendo sua variedade não informada. Já o estudo realizado por Souza *et al.* (2014) obteve $850,52 \pm 4,77$ mg EAG/100 g para a amora preta, $357,83 \pm 7,06$ mg EAG/100 g para a framboesa e $305,38 \pm 5,09$ mg EAG/100 g para o mirtilo, utilizando como método de extração a maceração sem agitação pelo período de 1h à temperatura ambiente.

Dentre os compostos fenólicos, destacam-se as antocianinas, no presente estudo obteve-se para a amora $318,66 \pm 5,57$ mg cianidina-3-glicosídeo/100g, para a framboesa $192,27 \pm 2,60$ mg cianidina-3-glicosídeo/100g e para o mirtilo $247,56 \pm 1,05$ mg cianidina-3-glicosídeo/100g, tais resultados encontrados neste estudos são superiores aos estudos desenvolvidos por Souza *et al.* (2014) que obtiveram para a amora $58,61 \pm 2,19$ mg de cianidina-3-glicosídeo/100g e $14,69 \pm 2,03$ mg cianidina-3-glicosídeo/100g para a framboesa e Lucas (2018) que quantificou antocianinas totais em mirtilos utilizando métodos de extrações distintos, sendo encontrado uma faixa de $0,84 \pm 0,02$ à $11,9 \pm 0,76$ mg de cianidina-3-glicosídeo/g. Do total de compostos fenólicos totais presentes nos extratos naturais de amora, framboesa e mirtilo, 9,77%, 7,81% e 11,17%, respectivamente, são antocianinas totais.

Quanto à atividade antioxidante presente nos extratos naturais, o extrato de amora e framboesa obtiveram o melhor resultado, principalmente por possuir elevados teores de polifenóis, taninos e compostos antociânicos que contribuem para esta atividade antioxidante (SOUSA *et al.*, 2007). Estudo como de Balse *et al.* (2014) obtiveram para a atividade antioxidante de néctar de mirtilo $14,84 \mu\text{mol/g}$ Trolox utilizando como matéria prima a polpa

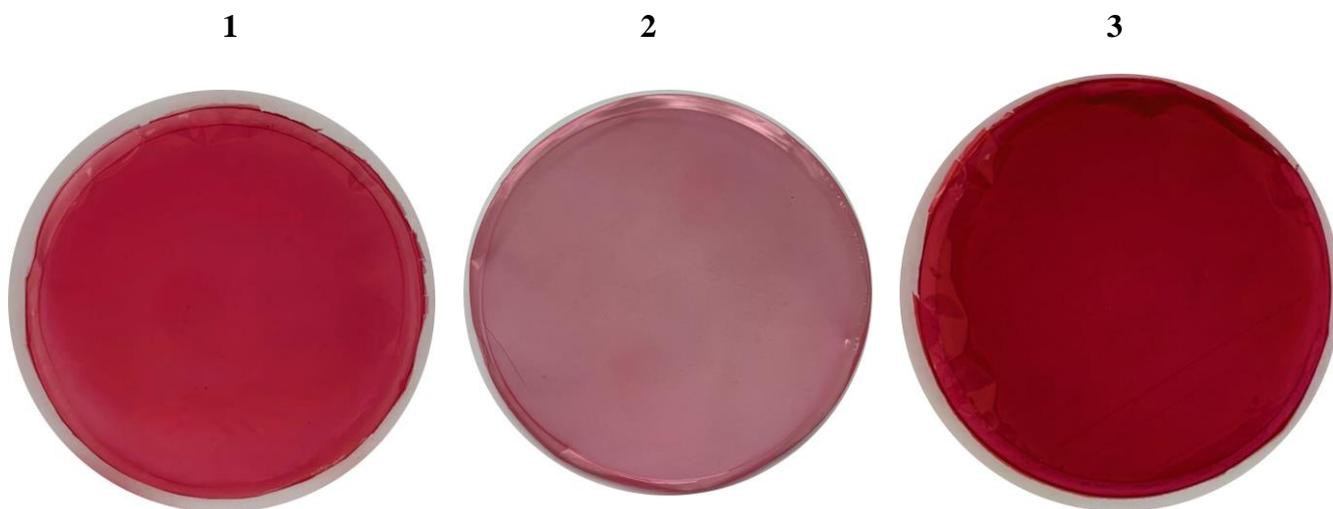
da fruta, tornando assim o resultado deste estudo, quando comparado ao autor citado, superior devido a extração por maceração realizada no pó de mirtilo para obtenção do extrato natural.

5.3 Caracterização dos filmes biopoliméricos

5.3.1 Aspecto visual dos filmes biopoliméricos aditivados

A Figura 15 ilustra os filmes biopoliméricos de amora (FBA), framboesa (FBF) e mirtilo (FBM). Como pode observar-se, o filme biopolimérico contendo extrato de mirtilo apresentou uma cor mais intensa em comparação ao filme de amora e framboesa. Todos os filmes apresentaram uma uniformidade na cor, sendo o filme de framboesa o com a cor menos intensa, o que já era esperado através dos extratos obtidos. O aspecto visual do filme biopolimérico controle (FBC) não foi observado quanto a sua coloração por ser transparente.

Figura 15- FBA (1), FBF (2) e FBM (3)



Fonte: Autor (2024)

5.3.2 Cor

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos dos parâmetros de cor L^* , a^* , b^* e ΔE do filme biopolimérico controle e dos filmes biopoliméricos aditivados.

Tabela 3- Resultados obtidos na análise colorimétricas dos filmes biopoliméricos

Filmes	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
FBC	57,9	-0,0	2,4	-
FBA	35,8	53,5	9,9	58,4
FBF	51,7	16,3	4,5	17,6
FBM	32,0	48,2	0,6	54,7

Fonte: Autor (2024)

Pode se perceber que a presença dos extratos de amora e mirtilo nos filmes biopoliméricos apresentaram resultados menores para o parâmetro L^* visto que tal parâmetro representa a luminosidade que pode chegar a 100, indicando uma coloração mais intensa e escura. O parâmetro a^* foi negativo no filme biopolimérico controle indicando a não presença da cor vermelha e o maior resultado deste parâmetro foi observado no filme de amora. No parâmetro b^* que representa a cor amarelo foi observado valores baixos em todos os filmes. A incorporação dos extratos naturais nos filmes proporcionou maior alteração (ΔE) nas formulações contendo amora e mirtilo. Barreto (2021) desenvolveu filmes biopoliméricos de carragenana com a adição de extrato de casca de jabuticaba e foi observado uma variação total de cor 63,5%.

5.3.3 Espessura, propriedades mecânicas, PVA e índice de intumescimento

Os resultados da espessura, propriedades mecânicas (alongamento à ruptura - E% e resistência à tração - MPa), permeabilidade ao vapor d'água (PVA) e índice de intumescimento estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4- Resultados da caracterização dos filmes biopoliméricos

Filmes	Espessura (mm)	σ (MPa)	E (%)	PVA (g.m ⁻¹ . Pa ⁻¹ . s ⁻¹)	Intumescimento (%)
FBC	0,038 ^b ± 0,004	15,4 ^a ± 0,22	10,8 ^c ± 0,82	2,59 ^a .10 ⁻¹¹ ± 2,87.10 ⁻¹⁴	93,87 ^a ± 1,27 ^a
FBA	0,045 ^a ± 0,007	11,1 ^b ± 0,40	16,9 ^b ± 0,29	1,13 ^a .10 ⁻¹¹ ± 3,06.10 ⁻¹²	92,07 ^a ± 0,51 ^a
FBF	0,049 ^a ± 0,006	10,9 ^b ± 0,31	17,6 ^b ± 0,39	2,37 ^a .10 ⁻¹¹ ± 1,81.10 ⁻¹³	90,86 ^a ± 0,73 ^a
FBM	0,047 ^a ± 0,005	12,1 ^b ± 0,04	23,5 ^a ± 2,46	2,33 ^a .10 ⁻¹¹ ± 5,82.10 ⁻¹³	91,87 ^a ± 0,89 ^a

Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas (p <0,05) entre as médias obtidas pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2024)

Os filmes biopoliméricos contendo os extratos naturais de amora, framboesa e mirtilo possuem valores de espessuras maiores ao filme controle não observando diferenças estatísticas. O filme controle obteve como espessura 0,038 mm e nos filmes aditivados houve uma variação de espessura de 0,045 a 0,049 mm. Essa maior espessura dos filmes aditivados em comparação ao filme controle, se dá devido aos componentes presentes nos extratos naturais, como as moléculas dos compostos bioativos que se agrupam com o biopolímero utilizado na formulação aumentando tal espessura (BENVEGNU, 2022).

O estudo de Luchese (2018), foi realizado desenvolvendo filmes biodegradáveis com extratos de subprodutos, dentre eles, resíduo de mirtilo, onde obteve um filme biopolimérico utilizando amido, como biopolímero na quantidade de 3 g e mirtilo como agente antioxidante, encontrando uma de espessura de 0,11 ± 0,02 mm para o filme biopolimérico controle e 0,26 ± 0,01 mm para o filme biopolimérico com amido e resíduo de mirtilo, demonstrando assim que ao incorporar o resíduo de mirtilo ao filme controle houve um aumento significativo de espessura no filme biopolimérico. Rasid *et al.* (2018) explicam que compostos fenólicos, mais precisamente, as antocianinas podem se ligar a matriz biopolimérica formando uma rede e promovendo um aumento na espessura de filmes biopoliméricos. Brackmann; Hunsche; Balem (1999) em sua pesquisa utilizando morangos, concluíram que filmes com espessura maior que 0,035 mm acumulam maior quantidade de CO₂ gás que é liberado no processo de respiração em organismos, diminuindo assim o processo de degradação de frutas como morangos. Considerando assim, conforme suas espessuras, que todos os filmes biopoliméricos desenvolvidos neste estudo, incluindo o filme controle, podem auxiliar na conservação de morangos.

A porcentagem de alongação (E%) trata-se da forma como o material pode deformar-se até a sua ruptura. Este parâmetro aumentou nos filmes biopoliméricos incorporados com os extratos naturais. Os resultados apresentados para os filmes de amora, framboesa e mirtilo diferem estatisticamente do filme controle. Esse resultado torna-se promissor quando o intuito é o desenvolvimento de um filme biopolimérico cuja atribuição é uso como embalagem de alimentos. Liu *et al.* (2019) observaram uma diminuição da alongação à ruptura de $14,49 \pm 1,78$ % para o filme controle de carragenana e $8,59 \pm 2,19$ % para filme de carragenana com extrato de amora. Quanto à resistência à tração, pode-se observar que a incorporação dos extratos naturais das frutas influenciou neste parâmetro. O mesmo comportamento foi observado por Barreto (2021), onde houve uma diminuição da resistência à tração de 11,02 MPa do filme biopolimérico controle para 4,41 MPa com a incorporação de extrato de casca de jabuticaba no filme biopolimérico.

A incorporação dos extratos naturais de amora, framboesa e mirtilo aos filmes biopoliméricos não influenciou estatisticamente a PVA quando comparados ao filme controle. Liu *et al.* (2019), em seu estudo utilizando extratos de amora em diferentes concentrações e carragenana como matriz biopolimérica encontraram valores para a permeabilidade ao vapor d'água na faixa de 3,86 a $7,83 \cdot 10^{-11}$ g.m⁻¹. Pa⁻¹. s⁻¹ resultados superiores ao encontrado para o filme biopolimérico de amora e carragenana deste estudo.

Em relação ao índice de intumescimento não foram observadas diferenças significativas nos resultados. A carragenana, que é a matriz biopolimérica nos filmes desenvolvidos, é hidrossolúvel, justificando a porcentagem acima de 90% em todos os filmes biopoliméricos desenvolvidos no presente estudo (ROVINA, *et al.* 2020). Os resultados obtidos para o índice de intumescimento dos filmes biopoliméricos neste estudo estão semelhantes ao estudo realizado por Avila (2020), no qual obteve para o filme biopolimérico de carragenana aditivado com extrato de casca de jabuticaba $94,02 \pm 1,51$ % de intumescimento

5.4 Liberação controlada de compostos fenólicos dos filmes biopoliméricos

Os resultados para a análise de liberação controlada de compostos fenólicos dos filmes biopoliméricos desenvolvidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Resultados da análise de liberação controlada de compostos fenólicos

Filmes biopoliméricos	Compostos Fenólicos Totais (mgEAG/100g)
FBC	NA
FBA	74,47 ^a ± 0,58
FBF	30,86 ^b ± 0,05
FBM	72,15 ^a ± 0,12

Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias obtidas pelo teste de Tukey.

NA= NÃO APLICÁVEL

Fonte: Autor (2024)

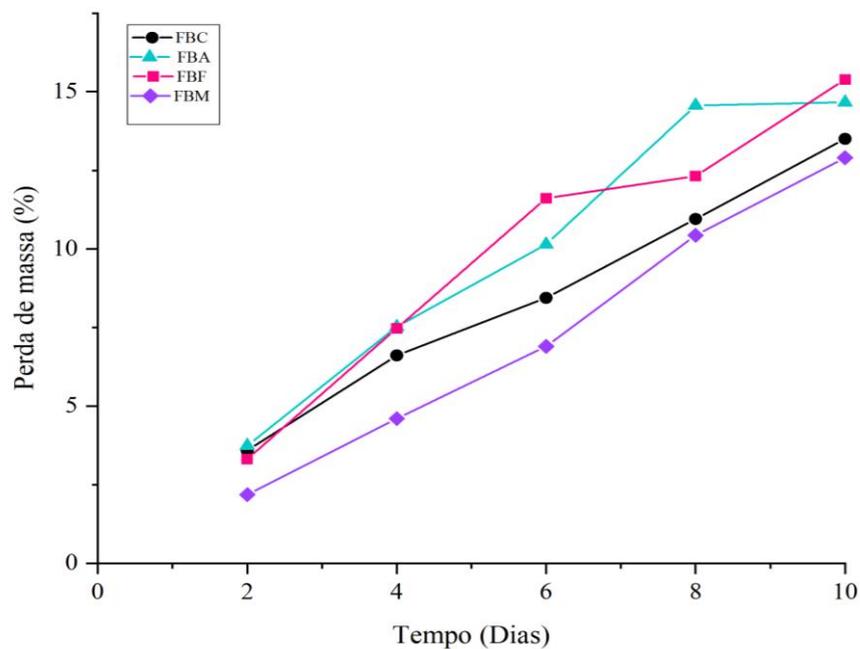
Os filmes biopoliméricos contendo extrato de amora e mirtilo apresentaram resultados promissores da liberação de compostos fenólicos, principalmente em relação ao fluido utilizado como simulante, demonstrando potencial utilização destes filmes biopoliméricos aditivados em alimentos ácidos. Isso justifica a escolha do presente estudo em avaliar os filmes utilizando como matriz alimentar os morangos.

Segundo Kuai *et al.* (2021), precisa ocorrer um equilíbrio entre a liberação de antioxidantes e a matriz alimentar. A liberação de compostos fenólicos no meio simulado ácido para a amora foi de $74,47 \pm 0,58$ mgEAG/100g e para o mirtilo $72,15 \pm 0,12$ mgEAG/100g em tempo de incubação de 4 h, o que pode ser esperado uma liberação ainda maior de compostos fenólicos, visto que os filmes biopoliméricos iram permanecer em contato com a matriz alimentar por um período maior caso seja adquirida por um consumidor.

5.5 Perda de massa

Os resultados da perda de massa ao longo dos 10 dias dos morangos embalados com os filmes biopoliméricos controle (FBC), filmes biopoliméricos aditivados com extrato natural de amora (FBA), filmes biopoliméricos aditivados com extrato natural de framboesa (FBF) e filmes biopoliméricos aditivados com extrato natural de mirtilo (FBM) estão ilustrados na Figura 16.

Figura 16- Perda de massa ao longo de 10 dias



Fonte: Autor (2024)

Pode-se perceber que o morango embalado com o filme biopolimérico com extrato de mirtilo foi o que menos perdeu massa ao longo dos 10 dias de análise, sendo o contrário observado para o morango embalado com o filme de extrato de framboesa. Para os resultados da perda de massa no 10º dia, a Tabela 7 mostra os resultados.

Tabela 7: Resultados da análise de perda de massa dos morangos

Filmes biopoliméricos	% Perda
FBC	13,5 ^a ± 3,94
FBA	14,3 ^a ± 4,17
FBF	15,4 ^a ± 4,19
FBM	12,9 ^a ± 3,90

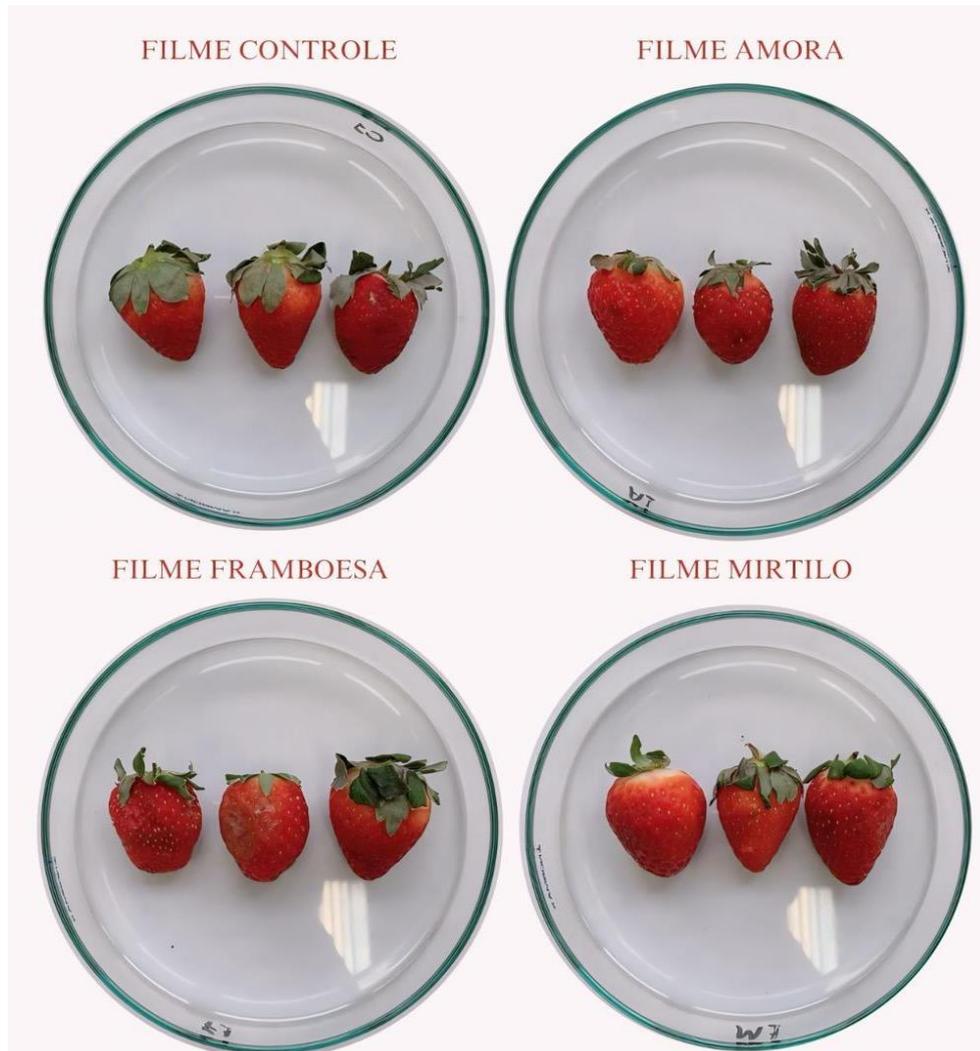
Letras diferentes na mesma coluna representam diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias obtidas pelo teste de Tukey.

Fonte: Autor (2024)

Os morangos que estavam embalados com os filmes biopoliméricos apresentaram uma perda de massa de 12,9% a 15,4 %. Vale salientar que os estudos para avaliar a perda de massa de morango devem ser realizados em ambientes com controle de temperatura e umidade relativa e que ambos parâmetros influenciam diretamente na taxa de respiração dos frutos (KUAI *et al.* 2021). Não foram encontrados na literatura estudos desenvolvidos utilizando filmes biopoliméricos de carragenana para perda de massa em morangos.

O estudo realizado por Alves *et al.* (2007), foi desenvolvido utilizando amido de milho, para revestimento comestível e estudo da perda de massa em morangos, encontrando resultados de 15% na perda de massa do morango ao longo de 7 dias de análise. De acordo com Molon (2013), o aspecto visual e aparência da fruta é um dos fatores mais importantes para aceitação do consumidor. Com exceção da amostra 2 do filme biopolimérico de framboesa, todas as amostras de morango permaneceram íntegras e sem deterioração mesmo após 10 dias, como ilustra a Figura 17.

Figura 17- Aspecto visual dos morangos após os 10 dias de armazenamento

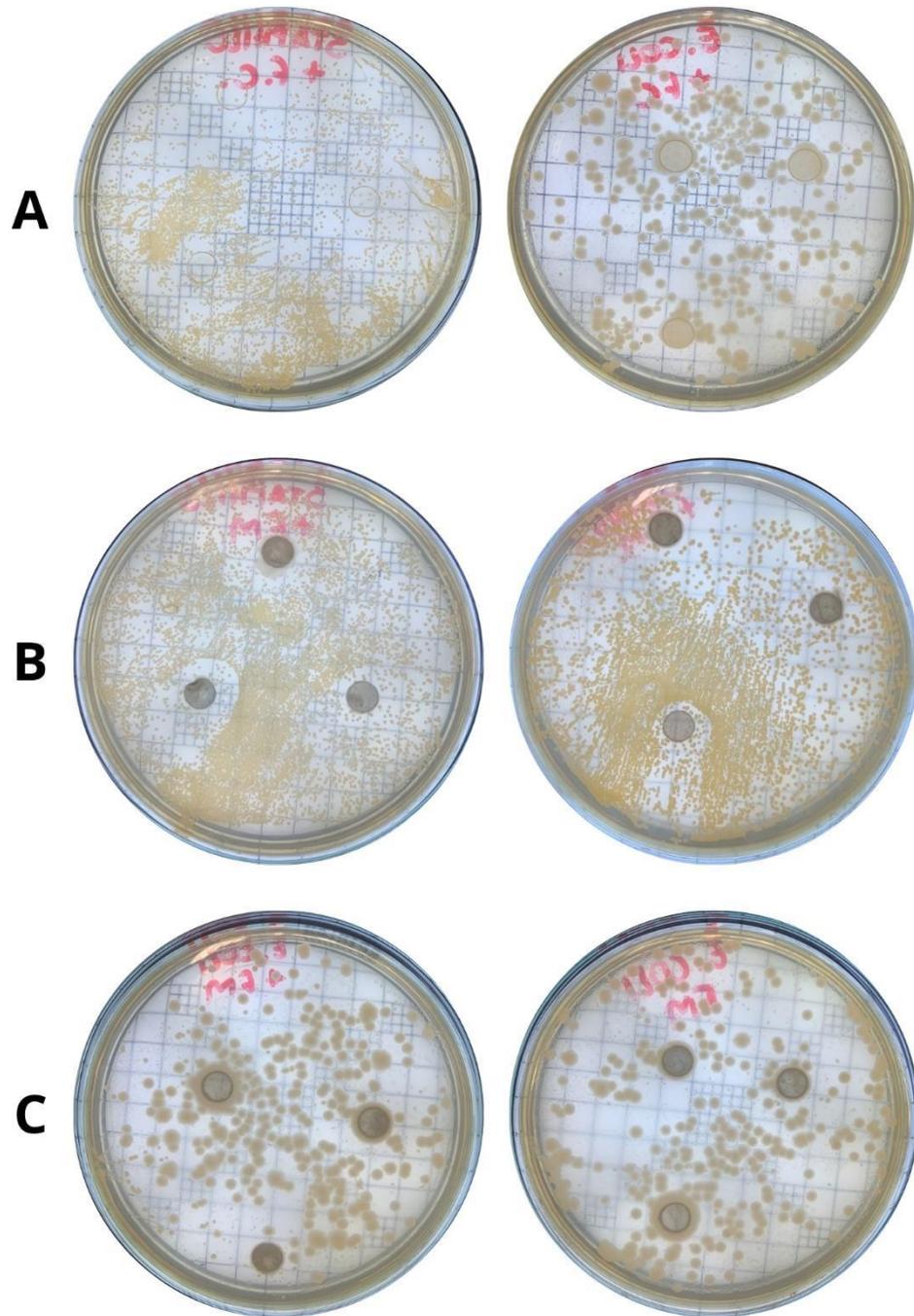


Fonte: Autor (2024)

5.6 Atividade antimicrobiana dos filmes biopoliméricos controle e aditivado

De acordo com a Figura 18, o filme controle não inibiu nenhum dos micro-organismos conforme esperado, por não conter ativos na sua formulação. Os resultados para o filme contendo mirtilo indicam que houve inibição do crescimento para o *S. aureus*. Embora os halos formados não possam ser utilizados para uma análise quantitativa, devido ao crescimento do micro-organismo na placa não ter sido homogêneo, eles indicam forte tendência de potencial antimicrobiano para esse filme ativo, o que confirma o potencial de aplicação para embalagens de alimentos ativas.

Figura 18- (A): Filme controle; (B): Filme mirtilo *S. aureus*; (C): Filme mirtilo *E. coli*



Fonte: Autor (2024)

6. CONCLUSÃO

Para obtenção dos extratos naturais de frutas vermelhas, a extração por maceração nas condições de 2 h à 80°C demonstrou-se satisfatória, visto que os extratos apresentaram altos teores de compostos ativos, sendo os compostos fenólicos encontrados na faixa de 2238,71 a 2681,07 mgEAG/100 g, antocianinas totais de 177,38 a 299,66 mg cianidina-3-glicosídeo/100 g e antioxidantes de 482,62 a 576,31 $\mu\text{mol/g}$ Trolox.

No desenvolvimento dos filmes biopoliméricos, a incorporação dos extratos naturais com a solução biopolimérica de carragenana foi bem sucedida, formando uma solução líquida e sem bolhas. A técnica de *casting* demonstrou-se adequada para obtenção de filmes.

Na caracterização dos filmes biopoliméricos a espessura variou de 0,038 a 0,049 mm, a porcentagem de alongação entre de 10,9 a 15,4 MPa, resistência à tração de 10,8 a 23,5 %, permeabilidade ao vapor d'água de $2,32 \cdot 10^{-11}$ a $2,59 \cdot 10^{-11}$ $\text{g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ e o índice de intumescimento de 90,86 a 93,84 %.

A análise de liberação controlada de compostos fenólicos indicou que o filme biopolimérico de amora liberou para o meio simulado de alimentos ácidos 74,47 mgEAG/100g, o filme biopolimérico de framboesa 30,86 mgEAG/100g e o filme biopolimérico de mirtilo 72,15 mgEAG/100g.

Para a perda de massa, foi possível observar que ao longo dos 10 dias do armazenamento de morangos embalados com os filmes, houve uma variação de 12,9 a 15,4 %. O filme biopolimérico de mirtilo foi analisado quanto a atividade antimicrobiana observando um possível potencial de inibição para o microrganismo *Staphylococcus aureus*.

De modo geral, os filmes biopoliméricos desenvolvidos neste estudo apresentaram-se promissores, principalmente na sua caracterização com propriedades e características interessantes para utilização como materiais de embalagens de alimentos, com ênfase o filme biopolimérico com extrato de mirtilo, onde foi possível observar em diversas análises o seu potencial.

7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestão, propõe-se:

- Atividade antimicrobiana para os extratos naturais;
- Métodos diferentes de quantificação de compostos bioativos, ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) e FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) para antioxidante e método de pH diferencial para antocianinas totais.
- Para a caracterização dos filmes biopoliméricos aditivados propõe-se o estudo de mais fluidos simulantes para a liberação controlada de compostos fenólicos e também uma caracterização quanto à morfologia dos filmes.
- Realizar novamente a atividade antimicrobiana do filme promissor, para *S. aureus* e *E. coli*.
- Desenvolver de uma embalagem 100% biopolimérica, com sua base obtida com biopolímeros em impressão 3 D e seu topo com filmes biopoliméricos aditivados.
- Avaliar os filmes biopoliméricos aditivados como potencial para embalagens inteligentes;
- Avaliar potencial antifúngico dos extratos e da embalagem;
- Realizar análise de opacidade através do espectrômetro.

REFERÊNCIAS

ADILAH, Z. A. M.; JAMILAH, B.; NUR HANANI, Z. A. Functional and antioxidant properties of protein-based films incorporated with mango kernel extract for active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 74, p. 207–218, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X17307725?via%3Dihub>. Acesso em: 21 set. 2023.

ALVES, R. C. **Membranas curativas de quitosana com princípio ativo de folhas de oliveira e potencial para aplicações tópicas no tratamento de feridas**. 63 f. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade Federal do Pampa. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/rii/7456>. Acesso em 15 out. 2023.

ALVES, A.I. *et al.* **Perda de massa em morangos revestidos**. XIV Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e X Encontro Latino Americano de Pós-Graduação. Anais eletrônicos. Paraíba, PB. 2007. Disponível em: https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2010/anais/arquivos/RE_0721_0561_01.pdf. Acesso em: 04 jul. 2024.

ANDERSEN, O. M.; JORDHEIM, M. Antioxidant Activity of Anthocyanins Extracted from Iraqi Iresine herbstii L. Flowers after Drying and Freezing. **American Journal of Analytical Chemistry**, v.6. n.5. Disponível em: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1442707>. Acesso em: 18 abr. 2023.

ANDRADE, R.M. **Carragenanas da alga marinha vermelha *Solieria filiformis*: caracterização estrutural e avaliação da atividade cicatrizante**. 80 f. 2016. Dissertação (Mestrado em Bioquímica). Universidade Federal do Ceará, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/21464>. Acesso em: 18 out. 2023.

ANTUNES, L.E.C. Blackberry: a new crop option to Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, 32,1, 151-158, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/qFKgqz35ZHCqPnQbvX4F/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 22 out 2023.

APPENDINI, P.; E HOTCHKISS, J. H. Review of antimicrobial food packaging. **Innovative Food Science e Emerging Technologies**, v. 3, p.113–126, 2002. Disponível em: [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1571197](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1571197). Acesso em: 08 out. 2023.

ARAÚJO, J. P., AGRAWAL, P., MÉLO, T. J. A. Blendas PLA/PEgAA: avaliação da reatividade entre os polímeros e da concentração de PEgAA nas propriedades e na morfologia, **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.10, n. 3, p. 118-127. 2015. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/475/354>. Acesso em: 22 nov. 2023.

ASTM International, **D882-18** (2018), Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting ASTM, v.2. 12p. Disponível em: <https://www.astm.org/d0882-18.html>. Acesso em: 25 nov. 2023.

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-temperatura>. Acesso em: 09 nov. 2023.

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. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/25/23/5563>. Acesso em: 22 set. 2023.

AZEREDO, H. M. C. Fundamentos de estabilidade de alimentos. 2. ed. [s.l.] Embrapa, 2012.

BARRETO, E.R. **Filme biopolimérico multicamada à base de quitosana incorporado com compostos bioativos da casca de jaboticaba (*plinia cauliflora*).** 2021. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal do Pampa. 2021. Disponível em: <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/5982>. Acesso em: 06 nov. 2023.

BALSE, K.R. *et al.* **Análise de compostos bioativos em néctar de mirtilo.** XXIII Congresso de Iniciação Científica, Pelotas. Anais eletrônicos. Pelotas, Rio Grande do Sul, 2014. Disponível em: https://cti.ufpel.edu.br/siepe/arquivos/2014/CA_02991.pdf. Acesso em: 22 abr. 2024.

BATISTA, J. A. **Desenvolvimento, Caracterização e Aplicações de Biofilmes a Base de Pectina, Gelatina e Ácidos Graxos em Bananas e Sementes de Brócolos.** 140 f. 2004. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, RS. 2004. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=461064>. Acesso em 03 out. 2023.

BRACKMANN, A; HUNSCHE, M; BALEM, T.A. Efeito de filmes de pvc esticável e polietileno no acúmulo de co2 e na manutenção da qualidade pós-colheita de morangos cv. tangi. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.5, n. 2, p. 89-92. 1999. Disponível em: <https://periodicos-old.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/274>. Acesso em: 25 abr. 2024.

BENVEGNU, I. A. **Filme biopolimérico utilizando extrato de própolis marrom como agente ativo.** 2022. 76 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal do Pampa. 2022. Disponível em: https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riu/7025?locale=pt_BR. Acesso em: 3 dez. 2023.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science Technology** 1995; v. 28, n. 1, p. 25–30. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5). Acesso em: 18 nov. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **RDC Nº 51, DE 26 DE NOVEMBRO DE 2010**. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_51_2010_COMP.pdf/1e3cd7f0-d50c-4693-9db4-0082132dfb6e. Acesso em: 22 abr. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC n. 272, de 22 de setembro de 2005. Dispõe sobre o **Regulamento Técnico para produtos de vegetais, produtos de frutas e cogumelos comestíveis**, Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/rdc0272_22_09_2005.html. Acesso em 23 abr. 2024.

BRITO, G. F. *et al.* Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127–139, 2011. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/222/204>. Acesso em: 21 set. 2023.

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: 19 abr. 2024.

CICALA, G. *et al.* Engineering thermoplastic for additive manufacturing: a critical perspective with experimental evidence to support functional applications, **Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials**, v.15, n.1, p. 10-18, 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28134971/>. Acesso em: 22 nov. 2023.

CHEZINI, A. **Bagaço de amora (*Rubus spp.*) e sua aplicação em materiais biodegradáveis à base de amido**. 82f. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2022. Disponível: <http://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3798>. Acesso em: 20 set. 2023.

COFCEWICZ; SARANTOPOULOS. Embalagens inteligentes para alimentos perecíveis. **Boletim de Tecnologia e Desenvolvimento de Embalagens**, v. 27, 2015. Disponível em: http://www.ital.agricultura.sp.gov.br/arquivos/cetea/informativo/v27n3/artigos/v27n3_artigo2.pdf. Acesso em: 13 out. 2023.

CONN, R.E. *et al.* Safety Assessment of Polylactide (PLA) for Use as a Food-contact Polymer. **Chemistry Toxic**, v. 33, n. 4, p. 273-283, out. 1995. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7737601/>. Acesso em 25 out. 2023.

CONTESSA, C.R. et al. Development of Active Packaging Based on Agar-Agar Incorporated with Bacteriocin of *Lactobacillus sakei*. **biomolecules**, v.11. 2021. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8699788/>. Acesso em: 22 maio 2024.

CORRALES, M.; FERNÁNDEZ, A.; HAN, J.H. Antimicrobial packaging systems. *In*: Han J. H. **Innovations in Food Packaging**. v. 2 p. 133-170. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263561497_Antimicrobial_Packaging_Systems. Acesso em 25 set. 2023.

DENAVI, G. *et al.* Effects of drying conditions on some physical properties of soy protein films. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 90, n. 3, p. 341–349, fev. 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877408003361?via%3Dihub>. Acesso em: 30 out. 2023.

DREAMSTIME. Banco de imagens - Frutas vermelhas. 2023. Disponível: <https://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-royalty-free-bagas-image5742985>. Acesso em: 13 out. 2023.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. São Paulo: Atheneu, p. 456–571, 2008.

FABRA, M. J.; LÓPEZ-RUBIO, A.; LAGARON, J. M. Use of the electrohydrodynamic process to develop active/bioactive bilayer films for food packaging applications. **Food Hydrocolloids**, [S. l.], v. 55, p. 11–18, abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.10.026>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X15301326?via%3Dihub>. Acesso em: 03 out. 2023.

FAN-CHIANG, H.; WROLSTAD, R.E. Anthocyanin pigment composition of blackberries. **Journal of Food Science**, Chicago, v.70, n.3, p.198-202, 2005.

FARIAS, M. G. *et al.* Caracterização físico-química de filmes comestíveis de amido adicionado de acerola (*Malpighia emarginata* D.C.). **Química Nova**, v. 35, n. 3, p. 546–552, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/ZPdkSmjtDhXzQSkyZdfKZrj/?lang=pt>. Acesso em 02 out. 2023.

FELLOWS, P. J. **Tecnologia do processamento de alimentos**. Artmed. v.2. p. 473-519.

FERREIRA, G. M. GUIMARÃES, M. J. O. C.; MAIA, M. C. A. Estudo das propriedades viscoelásticas de polissacarídeos em suspensão de polpa de fruta. *In*: **Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Foz do Iguaçu. 2009. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2009/PDF/287.pdf>. Acesso em: 21 out. 2023.

FILIPINI, G. S. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas a partir de polímeros e extrato natural de jambolão**. Dissertação (Mestrado em ciência de alimentos). Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2019. Disponível em: <http://repositorio.furg.br/handle/1/8384>. Acesso em: 03 out. 2023.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED. **Cinco maneiras de reduzir nossa dependência no uso do plástico**. 2019. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/1198198/>. Acesso em: 30 out. 2023.

GIBSON, I.; ROSEN, D.; STUCKER, B. **Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing**. Springer-Verlag, New York, XXI, 498p. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GOMES, B.M. *et al.* Extração assistida por ultrassom de compostos fenólicos da casca de bocaiúva (*Acrocomia aculeata*). **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 11. n. 2, p. 995-999, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18378/REBAGRO.V12I2.8776>. Disponível em: <https://gvaa.com.br/revista/index.php/REBAGRO/article/view/8776>. Acesso em: 21 set. 2023.

GONÇALVES, C. F. **Extração de biopeptídeos de origem microalgal e aplicação no desenvolvimento de nanofibras bioativas**. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2015.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible Wheat Gluten Films: Influence of the Main Process Variables on Film Properties using Response Surface Methodology. **Journal of Food Science**, [S. l.], v. 57, n. 1, p. 190–195, jan. 1992. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05453.x>. Acesso em: 28 out. 2023

HALIM, L. A. *et al.* Chitosan, gelatin and methylcellulose films incorporated with tannic acid for food packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 1119–1126. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.08.169>. Acesso em 22 jun. 2024.

HIRSCH, G. E. **Valor nutricional e capacidade antioxidante de diferentes genótipos de amora preta (*Rubus sp.*)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Santa Maria 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/5692>. Acesso em: 23 out. 2023.

HWANG, S.J. *et al.* Radical-scavenging- linked antioxidant activities of extracts from black chokeberry and blueberry cultivated in Korea. **Food Chemistry**, v. 146, p. 71-77, 2014. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24176315/>. Acesso em: 25 out. 2023.

IAHNKE, A.O.S. **Filmes biodegradáveis com propriedades funcionais produzidos a partir de resíduos industriais**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2015. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/129775>. Acesso em 03 out. 2023.

JRIDI, M. *et al.* Effects of active gelatin coated with henna (*L. inermis*) extract on beef meat quality during chilled storage. **Food control**, n. 84, p. 238-245. Disponível em: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/158054/1/Food%20Control-2018-Jridi.pdf>. Acesso em: 20 maio 2024.

JORGE, N. **Embalagens para Alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

KANG, S. *et al.* Development and evaluation of gum arabic-based antioxidant nanocomposite films incorporated with cellulose nanocrystals and fruit peel extracts. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 30. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289421001368>. Acesso em: 03 out. 2023.

KOZLOWSKA, J.; PAUTER, K.; SIONKOWSKA, A. Carrageenan-Based Hydrogels: Effect of Sorbitol and Glycerin on the Stability, Swelling and Mechanical Properties. **Polymer Testing**, v. 67, p. 7–11, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941817316689>. Acesso em: 23 set. 2023.

KUAI, L. *et al.* Controlled release of antioxidants from active food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 120. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X21004082>. Acesso em 30 jun. 2024.

LANDIM, A.P. M. *et al.* Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 26. p. 92-92. 2016. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/doi/10.1590/0104-1428.1897>. Acesso em: 18 jul. 2024.

LIU, Y. *et al.* Preparation of pH-sensitive and antioxidant packaging films based on κ -carrageenan and mulberry polyphenolic extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 134 p.993–1001. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141813019315314?via%3Dihub>. Acesso em 02 out. 2023.

LIU, Y.; LIAO, N.; CUI, F.; PARK, M.; KIM, H. Y. Fabrication and durable antibacterial properties of electrospun chitosan nanofibers with silver nanoparticles. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 79, p. 638–643, 2015.

LUCAS, B.N. **Extração sem solvente de compostos bioativos de mirtilo assistida por ultrassom**. 2018. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia em Alimentos). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/22997>. Acesso em: 23 set. 2023.

LUCHESE, C. L. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis a partir de amido contendo subprodutos provenientes do processamento de alimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/178251>. Acesso em: 24 set. 2023.

LIMA, E. M. F.; WINANS, S.C.; PINTO, U. M. Quorum sensing interference by phenolic compounds – A matter of bacterial misunderstanding. **Heliyon**, v. 9, n. 7, 2023. Disponível: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37449109/>. Acesso em: 22 abr. 2024.

MACHADO, W. M.; PEREIRA, A. D.; MARCON, M. V. Efeito do processamento e armazenamento em compostos fenólicos presentes em frutas e hortaliças.

Publicatio UEPG Exact and Earth Sciences, Ponta Grossa, v. 19, n. 1, p. 17-30, 2013.

Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/exatas/article/view/4802>. Acesso em: 10 abr. 2024.

MARTINS, J. T.; CERQUEIRA, M. A. VICENTE, A. A. Influence of α -tocopherol on physicochemical properties of chitosan-based films. **Food Hydrocolloids**, 2012; v. 27, p. 220–227. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/55618111.pdf>. Acesso em 18 jul. 2024.

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: 03 out. 2023.

MARTINY, T. R. *et al.* Bio-Based Active Packaging: Carrageenan Film with Olive Leaf Extract for Lamb Meat Preservation. **Foods** 2020, Vol. 9, p. 1759, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2304-8158/9/12/1759>. Acesso em: 30 out. 2023.

MIRI, N. E. *et al.* Bio-nanocomposite films reinforced with cellulose nanocrystals: Rheology of film-forming solutions, transparency, water vapor barrier and tensile properties of films. **Carbohydrate Polymers**, v. 129, p. 156-167, 2015. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26050901/>. Acesso em: 14 out. 2023.

MOLON, R. **Qualidade e composição físico química de frutas de morangueiro**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/170256?mode=full>. Acesso em: 25 jun. 2024.

MOREIRA, T. B. Comportamento das isoterms de adsorção de pó da polpa de manga liofilizada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.10, p.1093–1098, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/qwbHXbQRwBFjVg5dnmcpXyw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 jul. 2024.

NICHEL, S. **Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão e batata doce**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química). Universidade do Vale do Taquari. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/1f77e233-9c7d-4fc4-b69c-e27fe4d19dbf/content>. Acesso em: 18 jul. 2024.

NOGUEIRA, G.F. **Incorporação de polpa de amora como antioxidante em filmes comestíveis e biodegradáveis de amido de araruta**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=464270>. Acesso em 18 out. 2023.

NORATTO, G. D.; CHEW, B. P.; ATIENZA, L. M. Red raspberry (*Rubus idaeus L.*) intake decreases oxidative stress in obese diabetic (db/db) mice. **Food Chemistry**, v. 227, p. 305–314. 2017. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28274436/>. Acesso em: 23 out. 2023.

PRETULA, J.; SLOMKOWSKI, S.; PENCZEK, S. Polylactides - Methods of synthesis and characterization. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v.107, p. 3-16. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27174153/>. Acesso em: 28 nov. 2023.

RASID, N. A. M. *et al.* Rheological, functional and antioxidant properties of films forming solution and active gelatin films incorporated with *Centella asiatica (L.)* urban extract. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 18, p. 115–124. 2018. Disponível em: <https://oarep.usim.edu.my/jspui/handle/123456789/8681?mode=full>. Acesso em: 25 abr. 2024.

REALINI, C. E.; MARCOS, B. Active and intelligent packaging systems for a modern society. **Meat Science**. v. 98. p. 404–419, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174014001995?via%3Dihub>. Acesso em: 23 set. 2023.

REQUE, P. M. **Frutos de mirtilo (*Vaccinium spp.*) e produtos derivados: caracterização e estabilidade de suas propriedades bioativas**. 2012. 121 f. Dissertação (Mestrado Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/60384>. Acesso em: 23 out. 2023.

ROVINA, K. *et al.* Development of biodegradable hybrid polymer film for detection of formaldehyde in seafood products. **Sensing and Bio-Sensing Research**, v. 17. 2019. Disponível em: <https://doaj.org/article/df4314ebbb8f47ea800fff72e8e8c81>. Acesso em: 23 maio 2024.

ŞAHİN, S.; ŞAMLI, R. Optimization of olive leaf extract obtained by ultrasound-assisted extraction with response surface methodology. **Ultrasonics Sonochemistry**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 595–602, jan. 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350417712001757>. Acesso em: 22 out. 2023.

SARTORI, T.; MENEGALLI, F. C. Development and characterization of unripe banana starch films incorporated with solid lipid microparticles containing ascorbic acid. **Food Hydrocolloids**, v. 55, p. 210-219, 2016. Disponível em: 10.1016/j.foodhyd.2015.11.018 Acesso em: 18 jul. 2024.

SCHAEFFER, D. **Obtenção e caracterização de biopolímeros a partir de fécula de mandioca e amido de milho**. 2020. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química). Universidade do Vale do Taquari. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/3535dae1-0b36-47cc-882f-6041c86f4a8c/content>. Acesso em: 18 jul. 2024.

SEERAM, N. P. et al. Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells in vitro. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 54, v. 25, p. 9329–9339. 2006. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17147415/>. Acesso em 23 out. 2023.

SERAFIM, R. A. **Quantificação de compostos fenólicos e avaliação da ação antioxidante de extratos aquosos de erva-mate (*Ilex paraguariensis*)**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/12439>. Acesso em 23 out. 2023.

SEOL, K. H. et al. Antimicrobial effect of κ -carrageenan-based edible film containing ovotransferrin in fresh chicken breast stored at 5 °C. **Meat Science**, v. 83, n. 3, p. 479–483, 2009. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20416673/>. Acesso em: 30 out. 2023.

SEVERO, C. et al. Development of cranberry extract films for the enhancement of food packaging antimicrobial properties. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 28, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214289421000144>. Acesso em: 03 out. 2023.

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: 09 nov. 2023.

SILVA, C. GARCIA, V. S.; FRANCISCATO, L. S. Extração Assistida por Ultrassom de Compostos Bioativos das Cascas de Lichia (*Litchi Chinensis Sonn.*). **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Vol. 18, nº1. p. 81-96. 2016. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/3730>. Acesso em 19 out. 2023.

SOARES, N. F. F. et al. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Revista Ceres**.3438-5112-1-Pb. [S. l.], v. 56, n. 4, p. 370–378, jul./ago.2009. Disponível em: <http://www.ceres.ufv.br/ojs/index.php/ceres/article/view/3438>. Acesso em: 02 out. 2023.

SONAGLIO, Diva et al. Desenvolvimento tecnológico e produção de fitoterápicos. In: SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. (Org.) **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Florianópolis/Porto Alegre: Editora da UFSC/ UFRGS; 2010.

SONG, C. et al. My smartphone knows what you print: exploring smartphone-based side-channel attacks against 3D printers. In: **CCS '16: Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security**, p. 895-907. 2016. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2976749.2978300>. Acesso em: 22 nov. 2023.

SOUSA, M.B.; CURADO, T.; VASCONCELLOS, F.N.; TRIGO, M.J. Mirtilo: qualidade pós-colheita. **Folhas de Divulgação AGRO**, v. 556, n. 8, p. 1-33, 2007. Disponível em: https://www.inia.vpt/images/publicacoes/livros-manuais/mirtilo_qualidade_pos_colheita.pdf. Acesso em: 23 out. 2023.

SOUZA, V. R. *et al.* Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. **Food Chemistry**, v. 156, p. 362–368, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.125>. Acesso em: 21 set. 2023.

SOUZA, A. C. *et al.* Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. **LWT - Food Science and Technology**, v. 46, p. 110-117, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.10.018>. Acesso em: 22 set. 2023.

TAKEUCHI, T. M. *et al.* Low-pressure solvent extraction (solid-liquid extraction, microwave assisted and ultrasound assisted) from condimentar plants. *In*: MEIRELES, M. A. **Extracting Bioactive Compounds for Food Products**, [S. l.]: CRC Press. Cap. 4, p. 137 – 218, 2008. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/9780429189227/chapters/10.1201/9781420062397-11>. Acesso em: 20 set. 2023.

TEIXEIRA, S. C.; SOARES, N. F. F.; STRINGHETA, P. C. Development of colorimetric altered intelligent packaging incorporated with anthocyanins: A critical review. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, e2021033, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.03321>. Acesso em: 22 set. 2023.

TOMASI, M.L.M. **Aspectos relacionados ao desenvolvimento de um medicamento fitoterápico: preparação e avaliação biológica de extrato seco padronizado de erva mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. 2021. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Farmácia). Universidade Federal de Santa Catarina, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223713>. Acesso em 18 out. 2023.

TRAKUR, R. *et al.* Development and application of rice starch based edible coating to improve the postharvest storage potential and quality of plum fruit (*Prunus salicina*). **Scientia Horticulturae**, v. 237, p. 59-66, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423818302474>. Acesso em: 30 out. 2023.

VARA, A. L. C. **Framboesa vermelha (*Rubus idaeus* L.) composição química e nutricional e propriedades bioativas**. 2020. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Aplicadas à Saúde) - Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2020. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/23270/1/Vara_Ana%20Lu%C3%ADsa.pdf. Acesso: 21 set. 2023.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**, v. 111, n. 4. p. 816–823. Disponível em: [248510765_Total_phenolic_compounds_and_antioxidant_capacities_of_major_fruits_of_Ecuador](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.018). Acesso em: 15 abr. 2023.

WANI, S.M. *et al.* Effect of gum Arabic, xanthan and carrageenan coatings containing antimicrobial agent on postharvest quality of strawberry: Assessing the physicochemical, enzyme activity and bioactive properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 183, p. 2100-2008, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34102235/>. Acesso em: 30 out. 2023.

ZHANG, C.; SUN, G.; CAO, L.; *et al.* Accurately intelligent film made from sodium carboxymethyl starch/ κ -carrageenan reinforced by mulberry anthocyanins as an indicator. **Food Hydrocolloids**, v. 108, n. February, p. 106012, 2020. Disponível em: <https://www.x-mol.net/paper/article/1262894164479156224>. Acesso em: 30 out. 2023.

ZIA, K. M. *et al.* A Review on synthesis, properties and applications of natural polymer based carrageenan blends and composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 96, p. 282–301, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813016313873?via%3Dihub>. Acesso em 23 set. 2023.

ZIDAN *et al.* Modification of edible chitosan/polyethylene glycol films fortified with date palm fruit waste extract as promising antimicrobial food packaging materials for fresh strawberry conservation. **European Polymer Journal**. v. 194, 112171. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305723003543>. Acesso em: 03. out. 2023.