



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE  
MATERIAIS (PPGCEM-UFGA)



TAIANA DE SOUSA MATOS

**BLENDAS DE AMIDO DE GENGIBRE/ POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM  
EMULSÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO (*Protium heptaphyllum*)  
PARA POTENCIAL APLICAÇÃO ANTIMICROBIANA**

ANANINDEUA-PA

2025

TAIANA DE SOUSA MATOS

**BLENDAS DE AMIDO DE GENGIBRE/ POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM  
EMULSÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO (*Protium heptaphyllum*)  
PARA POTENCIAL APLICAÇÃO ANTIMICROBIANA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), do Campus Universitário de Ananindeua (CANAN), da Universidade Federal do Pará (UFPA), como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre(a) em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador(a): Prof. Dra. Verônica Scarpini Candido.

Coorientador (a): Prof. Dr. Marcos Vinícius da Silva Paula.

Área de concentração: Caracterização, desenvolvimento e aplicação de materiais.

Linha de Pesquisa: Tecnologia dos Materiais.

ANANINDEUA-PA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- D278b De Sousa Matos, Taiana.  
BLENDAS DE AMIDO DE GENGIBRE/ POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM EMULSÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO (*Protium heptaphyllum*) PARA POTENCIAL APLICAÇÃO ANTIMICROBIANA / Taiana De Sousa Matos. — 2025.  
127 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof.ª MSc. Verônica Scarpini Candido  
Coorientador(a): Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Campus Universitário de Ananindeua, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Ananindeua, 2025.
1. Biomaterial; Polímeros; Amido de gengibre; Óleo essencial de Breu Branco.. I. Título.

---

CDD 620

TAIANA DE SOUSA MATOS

**BLENDAS DE AMIDO DE GENGIBRE/ POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM EMULSÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO (*Protium heptaphyllum*) PARA POTENCIAL APLICAÇÃO ANTIMICROBIANA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM), do Campus Universitário de Ananindeua (CANAN), da Universidade Federal do Pará (UFPA), como parte dos requisitos para a obtenção do título de mestre(a) em Ciência e Engenharia de Materiais.

Área de concentração: Caracterização, desenvolvimento e aplicação de materiais.  
Linha de pesquisa: Tecnologia dos Materiais.

Data de aprovação: 17/03/2025.

Banca examinadora

PRESIDENTE: \_\_\_\_\_

**Profa. Dra. Verônica Scarpini Candido**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** VERONICA SCARPINI CANDIDO  
Data: 20/03/2025 09:13:47-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MEMBROS: \_\_\_\_\_

**Prof. Dr. Alisson Clay Rios da Silva**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ALISSON CLAY RIOS DA SILVA  
Data: 20/03/2025 09:15:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ANDERSON BENTES DE LIMA  
Data: 20/03/2025 09:49:06-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Anderson Bentes de Lima**

CANDIDATO: \_\_\_\_\_

**Taiana de Sousa Matos**

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** TAIANA DE SOUSA MATOS  
Data: 20/03/2025 09:24:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

## AGRADECIMENTOS

Neste momento, a palavra que melhor expressa o que sinto em relação a Deus é gratidão. Essa longa jornada foi marcada por uma montanha-russa de emoções: alegria, desânimo, superação, força de vontade, momentos de dúvida, sensação de incapacidade, perseverança, otimismo, tristeza, aprendizados profundos e uma fé inabalável.

Sou eternamente grato aos meus santos protetores e Nossa Senhora de Nazaré, que me sustentaram nos momentos mais difíceis.

Minha família foi meu alicerce emocional ao longo dessa fase de dedicação intensa aos estudos. Agradeço de coração ao meu pai, minha mãe e meus dois irmãos, bem como a toda a família Sousa.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), expresso meu grande agradecimento pela oportunidade de oferecer um ensino público e de excelência durante a minha pós-graduação.

À Profa. Dra. Verônica Scarpini, expresso minha profunda gratidão por ter aceitado o desafio de me orientar nessa etapa tão importante da minha vida acadêmica e pessoal.

Agradeço ao Prof. Dr. Alisson Rios pela disponibilidade no aceite da banca e da estufa para realização dos experimentos.

A Fundação Amazônia Paraense de Amparo à Pesquisa, (FAPESPA), pela contribuição financeira para o desenvolvimento desta pesquisa nesses doze meses de bolsa.

Meu muito obrigado ao Prof. Dr. Marcos Vinícius e Jorge Luis Pagliarini pela colaboração em realizar as análises química das minhas amostras e testes *in vitro*.

Aos colegas, pela colaboração no aprendizado, em especial aos meus amigos Cristina, Fabio, Bianca, Rayanne, Débora e Gilberto deixo meus mais sinceros agradecimentos por toda a convivência, apoio e aprendizado que compartilhamos ao longo dessa jornada. Cada um contribuiu de maneira única para o meu crescimento acadêmico e pessoal. Sou imensamente grato pelos momentos de troca de conhecimentos, pelas conversas enriquecedoras e pelas risadas que tornaram o ambiente mais leve e acolhedor, mesmo em meio aos desafios.

Ao meu amigo Fabio Brito agradeço pela parceria nos projetos, pela disposição em colaborar em diversos trabalhos e eventos que participamos juntos e pela paciência nos momentos difíceis que passamos.

Foi um privilégio compartilhar essa caminhada com vocês. Meu muito obrigado a cada um de vocês por fazerem parte dessa etapa tão especial da minha vida!

## RESUMO

A pesquisa sobre novos biomateriais para o tratamento de doenças tem despertado grande interesse devido à sua relevância social. Nesse contexto, o estudo de blendas poliméricas à base de amido de gengibre e poli(álcool vinílico) surge como uma abordagem promissora. O amido de gengibre é um recurso abundante e de fácil obtenção, enquanto o poli(álcool vinílico) é um polímero biocompatível, barato e atóxico, embora apresente limitações em suas propriedades mecânicas. A combinação desses materiais pode resultar em um biomaterial com características adequadas para o tratamento de doenças inflamatórias. Além disso, a incorporação de emulsão de óleo essencial de breu branco às matrizes poliméricas pode conferir propriedades adicionais, tornando o material ainda mais eficiente. No entanto, ainda não há dados conclusivos sobre o potencial anti-inflamatório e cicatrizante desse óleo. Neste estudo, foram investigadas, pela primeira vez, blendas de amido de gengibre e poli(álcool vinílico) contendo diferentes concentrações de emulsão de óleo de breu branco (0,1%, 0,5%, 1% e 5% v/v). Foram realizadas análises da emulsão de óleo essencial de breu branco, incluindo potencial zeta, cromatografia gasosa e ensaios *in vitro* para avaliar a atividade antibacteriana contra *S. aureus* e *E. coli*, além da ação antifúngica contra *C. albicans*. Os resultados indicaram que as emulsões apresentaram uma composição química característica do óleo e demonstraram capacidade de inibir o crescimento das cepas *S. aureus* e *E. coli*. As composições poliméricas foram desenvolvidas pelo método de casting e caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV), espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), análises térmicas (TGA/DTG/DSC), ensaio mecânico de tração, avaliação do intumescimento e determinação do teor de umidade. As micrografias obtidas por MEV revelaram que as blendas sem emulsão apresentavam uma superfície densa, enquanto aquelas contendo óleo de breu branco exibiram uma superfície heterogênea. Os testes de absorção de fluidos mostraram que o filme de amido de gengibre (AG) apresentou o maior índice de intumescimento, atingindo  $158\% \pm 0,24$  após 24 horas. A composição BP 0,5% demonstrou maior resistência à tração, com um valor de  $35 \text{ MPa} \pm 1,26$  e maior módulo de elasticidade  $143,2 \pm 3,36$ . Na análise de calorimetria diferencial exploratória (DSC), a adição da emulsão não alterou significativamente o perfil de degradação térmica, mantendo o maior pico de degradação da composição BP 0,5% em  $306 \text{ }^\circ\text{C}$ . Além disso, a emulsão influenciou o teor de umidade dos filmes, com a blenda BP 0,5% apresentando um valor de umidade de  $10\% \pm 0,06$ , sendo a menos

úmida entre as amostras analisadas. De modo geral, os resultados indicam que as composições desenvolvidas representam uma alternativa viável para possível aplicação antibacteriana e antimicrobiana, combinando propriedades mecânicas aprimoradas.

**Palavras-chave:** Biomaterial; Polímeros; Amido de gengibre; Óleo essencial de Breu Branco.

## ABSTRACT

Research on new biomaterials for the treatment of diseases has aroused great interest due to its social relevance. In this context, the study of polymer blends based on ginger starch and poly(vinyl alcohol) emerges as a promising approach. Ginger starch is an abundant and easily obtainable resource, while poly(vinyl alcohol) is a biocompatible, inexpensive and non-toxic polymer, although it has limitations in its mechanical properties. The combination of these materials can result in a biomaterial with characteristics suitable for the treatment of inflammatory diseases. In addition, the incorporation of breu branco essential oil emulsion into the polymer matrices can confer additional properties, making the material even more efficient. However, there is still no conclusive data on this oil's anti-inflammatory and healing potential. In this study, blends of ginger starch and poly(vinyl alcohol) containing different concentrations of branco breu oil emulsion (0.1%, 0.5%, 1% and 5% v/v) were investigated for the first time. Analyses of the branco breu essential oil emulsion, including zeta potential, gas chromatography and *in vitro* assays were performed to evaluate the antibacterial activity against *S. aureus* and *E. coli*, in addition to the antifungal action against *C. albicans*. The results indicated that the emulsions presented a chemical composition characteristic of the oil and demonstrated the ability to inhibit the growth of *S. aureus* and *E. coli* strains. The polymeric compositions were developed by the casting method and characterized by scanning electron microscopy (SEM), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), thermal analysis (TGA/DTG/DSC), mechanical tensile test, swelling evaluation and determination of moisture content. The micrographs obtained by SEM revealed that the blends without emulsion presented a dense surface, while those containing branco breu oil exhibited a heterogeneous surface. The fluid absorption tests showed that the ginger starch (GS) film presented the highest swelling index, reaching  $158\% \pm 0.24$  after 24 h. The BP 0.5% composition demonstrated the highest tensile strength, with a value of  $35 \text{ MPa} \pm 1.26$  and the highest elastic modulus  $143.2 \pm 3.36$ . In the differential scanning calorimetry (DSC) analysis, the addition of the emulsion did not significantly alter the thermal degradation profile, maintaining the highest degradation peak of the BP 0.5% composition at  $306 \text{ }^\circ\text{C}$ . Furthermore, the emulsion influenced the moisture content of the films, with the BP 0.5% blend presenting a moisture value of  $10\% \pm 0.06$ , being the least moist among the samples analyzed. Overall, the results indicate that the developed

compositions represent a viable alternative for possible antibacterial and antimicrobial application, combining improved mechanical properties.

**Keywords:** Biomaterial; Polymers; Ginger starch; Breu Branco essential oil.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Curativos inteligentes.....	23
Figura 2- Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b).....	29
Figura 3- Estrutura química de alguns compostos do gengibre .....	30
Figura 4- Micrografias de amido de gengibre (a) ampliação de 2000x e (b) 10.000x..	32
Figura 5- Reações para obtenção de PVA.....	33
Figura 6- Estrutura molecular do p-cimeno.....	35
Figura 7- Matéria-prima para obtenção de óleo essencial de breu branco .....	36
Figura 8- Estrutura de uma nanoemulsão estabilizada por tensoativo.....	38
Figura 9- Fluxograma experimental.....	42
Figura 10- Fluxograma das amostras com acréscimo de emulsão de óleo essencial .....	45
Figura 11- Máquina universal INTERMETRIC utilizada no ensaio de tração.....	52
Figura 12- (a) Filmes de AG, (b) Filme PVA, (c) Filme BP, (d) Blenda BP 0,1%, (e) Blenda BP 0,5%, (f) Blenda BP 1% e (g) Blenda BP 5%.....	61
Figura 13- Micrografia da amostra de pó de gengibre (a) e (b) Relação entre frequência e tamanho.....	67
Figura 14- Micrografia dos filmes obtidos com aumento de 1000x (a) amido de gengibre (AG), (b) Filme de (PVA) e (c) Blenda BP.....	68
Figura 15- Micrografia das blendas obtidas com aumento de 5000x Blenda BP 0,1% (a), Blenda BP 0,5% (b), Blenda BP 1% (c) e Blenda BP 5% (d).....	70
Figura 16- Micrografia dos filmes obtidos (a) amido de gengibre (AG) (1000x), (b) Filme de PVA (1000x) e (c) Blenda BP (1000x).....	71
Figura 17- Micrografia dos filmes obtidos (d) Blenda BP 0,1% (1000x), (e) Blenda BP 0,5 %, (1000x), (f) Blenda BP 1% e (g) (1000x) e Blenda BP 5% (1000x).....	72
Figura 18- FTIR do pó de gengibre (PG).....	73
Figura 19- FTIR das amostras (AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5% ).....	74
Figura 20- (a) Termograma das composições AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5% e (b) DTG das composições AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5%.....	76
Figura 21- Termogramas de calor diferencial exploratório (DSC) das composições AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5% respectivamente.....	78
Figura 22- Percentual de intumescimento das amostras.....	79
Figura 24- Percentual de umidade obtido.....	85
Figura 25- Percentual de solubilidade.....	88
Figura 26- Resultados de resistência a tração na ruptura dos corpos de prova.....	91
Figura 27- Comparação do gráfico do módulo de elasticidade.....	94
Figura 28- Gráfico do alongamento dos corpos de prova de diferentes composições.....	97

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição química do óleo essencial de breu branco em destaque os compostos majoritários.....	52
Tabela 2- Tamanho média da gota e índice de polidispersividade e potencial zeta.....	55
Tabela 3- Teste de atividade antifúngica e antibacteriana frente as cepas contendo <i>C. albicans</i> , <i>E.Coli</i> e <i>S. Aureus</i> .....	58
Tabela 4 – Parâmetros colorimétricos dos filmes estudados.....	62
Tabela 5- Análise de variância (ANOVA) para avaliar os valores de intumescimento *SQ – Soma dos quadrados, GL – Número de graus de liberdade, MQ – Quadrado médio.....	80
Tabela 6- Análise Tukey de intumescimento.....	82
Tabela 7- Resultado da análise de variância (ANOVA) para avaliar os valores de umidade dos filmes onde SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio.....	87
Tabela 8-Resultado da análise de variância (ANOVA) para avaliar os valores de solubilidade dos filmes onde SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio.....	89
Tabela 9- Teste de Tukey para solubilidade.....	90
Tabela 10- Resultado da análise de variância (ANOVA) para avaliar os valores de tração dos filmes onde SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio.....	93
Tabela 11- Teste de Tukey valores de tração.....	96
Tabela 12- Análise estatística do módulo de elasticidade onde SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio.....	96
Tabela 13 Teste de Tukey valores de módulo de elasticidade.....	98
Tabela 14- ANOVA do alongamento dos corpos de prova ensaiados em tração onde *SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio.....	98
Tabela 15- Teste de Tukey valores de alongamento.....	98

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Diferentes classificações dos biomateriais.....	25
Quadro 2- Materiais utilizados.....	43
Quadro 3- Descrição dos filmes e blendas obtidas.....	46

## LISTA DE SIGLAS

FTIR	Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier
GPCOMP	Grupo de pesquisa em materiais compósitos
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
PG	Pó de gengibre
AG	Amido de gengibre
PVA	Poli (álcool vinílico)
BP	Blenda pura

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1.1 Objetivos.....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	21
<b>2.1 Biomateriais</b> .....	21
<b>2.2 Biomateriais poliméricos</b> .....	23
2.2.1 Biomateriais poliméricos e aplicações .....	24
<b>2.3 Amido</b> .....	26
2.3.1 Amilose e amilopectina .....	27
<b>2.4 Gengibre</b> .....	28
<b>2.5 Amido de Gengibre</b> .....	30
<b>2.6 Poli (álcool vinílico) (PVA)</b> .....	31
<b>2.7 Óleos essenciais</b> .....	33
2.7.1 Óleo essencial de Breu Branco .....	34
<b>2.8 Método de emulsificação espontânea</b> .....	36
<b>2.9 Blendas</b> .....	37
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	41
<b>3.1 Material utilizado</b> .....	42
<b>3.2 Obtenção do pó de amido de gengibre</b> .....	42
<b>3.3 Obtenção de emulsão de óleo essencial de breu branco</b> .....	43
<b>3.4 Obtenção de filme de PVA e AG controle</b> .....	43
<b>3.5 Obtenção de blendas amido de gengibre/ PVA</b> .....	43
3.5.1 Obtenção das blendas com emulsão de óleo essencial de breu branco .....	44
<b>3.6 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO</b> .....	46
3.6.1 Cromatografia de fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM) ....	46
3.6.2 Teste de espalhamento dinâmico de luz (DLS) e potencial zeta .....	46
3.6.3 Teste <i>in vitro</i> da emulsão.....	46
<b>3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES</b> .....	47
3.7.1 Análise visual e cor.....	47
3.7.2 Colorimetria.....	47
3.7.3 Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) .....	48
3.7.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	48

3.7.5 Análise térmica (TGA/DTG/DSC) .....	49
3.7.6 Percentual intumescimento.....	49
3.7.7 Determinação da umidade .....	50
3.7.8 Determinação da solubilidade .....	50
<b>3.8 ENSAIO DOS FILMES .....</b>	<b>51</b>
3.8.1 Ensaio de tração.....	51
<b>3.9 Análise estatística .....</b>	<b>51</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMULSÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO.....</b>	<b>52</b>
4. 1.1 Cromatografia de fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM) ...	52
4. 1.2 Teste de Espalhamento dinâmico da luz (DLS) e potencial zeta da emulsão.....	55
4.1.3 Ensaio biológico da emulsão .....	58
<b>4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES.....</b>	<b>60</b>
4.3.1 Aspecto visual.....	60
4.3.2 Colorimetria.....	62
4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	65
4.3.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR).....	71
4.3.5 Análise termogravimétrica (TGA/DTG) .....	74
4.3.6 Calorimetria diferencial exploratória (DSC) .....	76
4.3.7 Intumescimento .....	78
4.3.8 Percentual de umidade.....	84
4.3.9 Percentual de solubilidade .....	88
<b>4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO DOS FILMES .....</b>	<b>91</b>
<b>5 ANÁLISE DE CUSTOS .....</b>	<b>102</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>104</b>
<b>7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>106</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os biomateriais têm se destacado como ferramentas essenciais no tratamento de doenças atingidas por cepas bacterianas multirresistentes, devido à sua capacidade de promover a regeneração tecidual e acelerar o processo de cura. Desenvolvidos a partir de materiais naturais ou sintéticos eles podem ser projetados para interagir de maneira funcional com os tecidos biológicos, sem causar danos como alergias (Obagi *et al.*, 2019).

Além disso, muitos biomateriais podem ser carregados com agentes terapêuticos, como antimicrobianos e fatores de crescimento, proporcionando tratamentos mais direcionados e eficazes. Esses avanços têm revolucionado a abordagem no tratamento de doenças, oferecendo alternativas inovadoras e personalizadas para os desafios da medicina (Weller, Team; Sussman, 2020; Montoya *et al.*, 2021).

Baseado nisso, o gengibre pode ser um material promissor para o tratamento de doenças inflamatórias. Ele contém compostos orgânicos, como gingeróis e shogaóis que, segundo a literatura, possuem potencial anti-inflamatório e contra vírus (Garza-cadena *et al.*, 2023; Yahyazadeh *et al.*, 2021).

Bischoff-kont; fürst (2021) avaliaram o 6-shogaol este foi capaz de reduzir significativamente as características da inflamação, como infiltração de leucócitos ou formação de edema e exibiu efeitos neuroprotetores. Além disso, para diferentes modos de ação inflamatória, a aplicação do 6-shogaol em diferentes tipos de células ou em modelos *in vivo* resultou na inibição bem-sucedida de marcadores comumente conhecidos e vias de sinalização da inflamação.

O 6-gingerol é um composto bioativo presente no gengibre, conhecido por suas propriedades medicinais, incluindo atividades anti-inflamatórias e antivirais. No estudo de Hayati *et al.*, (2021) os autores descobriram que o 6-gingerol tem a capacidade de inibir a infecção pelo vírus *Chikungunya*. Essa inibição ocorre porque o composto age suprimindo a replicação viral, ou seja, ele interfere no processo pelo qual o vírus se multiplica dentro das células do hospedeiro. Como resultado, a carga viral diminui, o que potencialmente reduz os danos causados pela infecção.

Além disso, materiais de composição polimérica são amplamente utilizados, pois podem ser obtidos de fontes naturais além de apresentar requisitos como manter a umidade, prevenir infecções e estimular a proliferação celular (Paranhos *et al.*, 2022).

O poli (álcool vinílico) PVA apresenta várias vantagens, como boas propriedades de formação de filme, estabilidade térmica, biocompatibilidade, atoxicidade, flexibilidade e transparência. Além disso, pode ser digerido por enzimas e microrganismos, tornando-se um potencial candidato para uso em curativos (De lima, 2022; Ghadiri *et al.*, 2023). A presença de grupos hidroxila no PVA e no amido resulta na formação de ligações de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares, o que contribui para a maior absorção de água dos filmes (Ghadiri *et al.*, 2023). As propriedades de resistência à água e a compatibilidade dos filmes de PVA/Amido de gengibre (PVA/AG) podem ser ainda mais aprimoradas pela adição de componentes como emulsões oleosas.

As emulsões oleosas são sistemas coloidais formados pela dispersão de gotículas de óleo em uma fase contínua, geralmente aquosa, estabilizadas por agentes emulsificantes (Pandey, 2024; Maurya, 2021). Essas emulsões têm ampla aplicação em diversas áreas, como cosméticos, alimentos e farmacêuticos, devido à sua capacidade de combinar propriedades hidrofílicas e hidrofóbicas em um único produto (Wei *et al.*, 2024). No contexto da indústria farmacêutica, as emulsões oleosas servem como veículos para liberação controlada de fármacos, melhorando a solubilidade de compostos lipofílicos e sua biodisponibilidade (Moghassemi *et al.*, 2022; Wei *et al.*, 2024).

Nesse contexto, ainda existem lacunas no tratamento de doenças causadas por microorganismos. Pesquisas focadas na combinação de polímeros com emulsões de breu são necessárias, dado que essa abordagem é pouco explorada na literatura. Recentemente, evidências têm sugerido o uso farmacológico do óleo de Breu Branco para diferentes aplicações.

Da Cruz *et al.*, (2021) observaram que a fumaça do breu branco pode ter efeitos benéficos no controle de cefaleias, embora mais pesquisas sejam necessárias para avaliar sua segurança e os efeitos da inalação.

Faustino *et al.*, (2021) identificaram o p-cimeno como o principal composto presente no óleo essencial de breu e desenvolveram uma emulsão para avaliar sua atividade biocida contra o mosquito *Aedes aegypti*. Os resultados demonstraram potencial promissor para o controle desse vetor. No entanto, a integração de diferentes concentrações do óleo em uma matriz polimérica ainda não foi explorada.

Adicionalmente, não há registros na literatura sobre a combinação de amido de gengibre (AG) e PVA. Dessa forma, o presente estudo emprega a combinação de ambos os polímeros por métodos de *casting* e emulsão espontânea, realizando a caracterização da emulsão oleosa por meio de espalhamento dinâmico de luz (DLS), potencial zeta e

testes *in vitro*. Pela primeira vez, foi investigada a interação entre a matriz polimérica e a emulsão de breu em diferentes concentrações, como uma estratégia para o desenvolvimento de novos materiais. Desta forma, este estudo teve como objetivo avaliar a influência da adição do óleo de breu branco na estabilidade da emulsão e das composições produzidas.

Essa abordagem integra as áreas de engenharia e saúde, com potencial para uso na indústria, além de representar uma proposta inovadora para pesquisas científicas nas áreas de biotecnologia, química e farmacologia.

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo Geral

Obter e caracterizar blendas à base de amido de gengibre, poli (álcool vinílico) (PVA), com adição de emulsão de óleo de breu branco, de modo a obter filmes poliméricos com melhores características para possível aplicação antimicrobiana.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a capacidade de inibição de crescimento antifúngico e antibacteriano das emulsões obtidas contra as cepas *C. albicans*, *E. coli*, *S. aureus*.
- Realizar a caracterização dos filmes de diferentes composições obtidos quanto às propriedades morfológicas, térmicas e espectroscópicas;
- Avaliar a capacidade de intumescimento, percentual de umidade por meio de análises gravimétricas.
- Conhecer as características de polidispersão (PDI) de emulsões de óleo em água (O/A) à base de óleo essencial de Breu Branco, através do teste de Espalhamento Dinâmico de Luz (DLS);
- Determinar as propriedades mecânicas dos filmes quando submetidos ao ensaio de tração;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Biomateriais

O conceito de biomateriais está em constante transformação, acompanhando os avanços no desenvolvimento da sociedade e as necessidades de aplicação. Atualmente, os biomateriais podem ser caracterizados, de forma geral, como substâncias ou combinações diversas. Eles possuem a capacidade de aumentar ou substituir, parcial ou totalmente, tecidos, órgãos ou funções do corpo, visando à manutenção ou melhoria da qualidade de vida do indivíduo. Vale ressaltar que esse conceito não inclui medicamentos, sejam eles de origem sintética ou natural (Bianchera *et al.*, 2020).

Além disso, o biomaterial é um material natural ou sintético utilizado em dispositivos ou terapias médicas para substituir, reparar ou regenerar tecidos biológicos danificados ou perdidos (Bianchera *et al.*, 2020). Esses materiais devem ser biocompatíveis, ou seja, não causar reações adversas no corpo e serem capazes de integrar-se ao tecido hospedeiro (Bianchera *et al.*, 2020).

Dentro da área de biomateriais, é possível encontrar diferentes classificações para respostas teciduais do corpo humano, incluindo os bioinertes, bioativos, absorvíveis e biocompatíveis. Os biomateriais bioinertes são caracterizados por uma resposta interfacial mínima, resultando na formação de uma fina camada fibrosa quase imperceptível entre o material e o tecido, embora não exibam respostas biológicas precisas, suas propriedades mecânicas são altamente valorizadas. Os exemplos incluem alumina, dióxido de titânio e zircônia (Bharadwaj, 2021).

Já os biomateriais bioativos têm uma interação mínima com o tecido, sem formação de camada fibrosa, e exemplos incluem hidroxiapatitas, vidros bioativos e fosfato tricálcico, que interagem com o tecido vivo (Romano *et al.*, 2022).

Em contrapartida, os absorvíveis, degradam-se pelo organismo após longos períodos de tempo em contato com os tecidos, neste caso, encaixa-se o fosfato tricálcico e poli (ácido lático) (Pires; Bierhalz; Moraes, 2015).

Os biomateriais podem interagir bem com os tecidos do corpo humano e estimular a regeneração celular. No entanto, os biomateriais nem sempre são bem tolerados pelo corpo humano, apresentando características tóxicas ou efeitos colaterais ao longo do

tempo como reações adversas, infecções, rejeições e outros problemas de saúde (Rodrigo-navarro *et al.*, 2021).

Para minimizar esses riscos, é importante que os biomateriais sejam cuidadosamente selecionados e testados para preencher uma série de requisitos como: biocompatibilidade, alergênico, não tóxicos, entre outros. Isso inclui avaliação de segurança e eficácia em ensaios clínicos (Zadpoor, 2020).

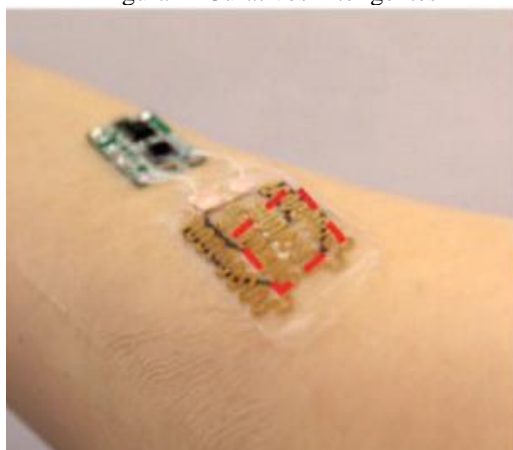
A escolha dos diferentes materiais citados acima tem como fator principal a necessidade do indivíduo e do custo gerado por cada dispositivo ou material (Biswas; Nadjena; Pradhan, 2020).

Nesse contexto, no campo dos biomateriais, também é importante considerar a biodegradabilidade e a sustentabilidade dos materiais utilizados. Com o aumento da consciência ambiental, mas atenção está sendo dada ao desenvolvimento de biomateriais ecologicamente corretos e renováveis, que podem ajudar a minimizar o impacto ambiental dos dispositivos médicos e de outras aplicações biomédicas (Joyce *et al.*, 2021).

Em geral, os biomateriais são uma área em constante evolução com mais pesquisas e desenvolvimento, eles têm o potencial de transformar a medicina moderna e melhorar a vida de milhões de pessoas em todo o mundo (Ratner; Zhang, 2020).

Na Figura 1, é possível observar um dispositivo de biomaterial inteligente que possui dispositivos de composição polimérica capazes de detectar variações de pH e fornecer antibiótico de maneira controlada.

Figura 1- Curativos inteligentes



Fonte: Faramarzi; Tamayol, (2021).

## 2.2 Biomateriais poliméricos

Os biomateriais classificados como poliméricos podem ser definidos como macromoléculas de alta massa molar compostas de ligação de unidades repetitivas menores (meros) ao longo da cadeia principal. Em relação às ligações entre os meros, essas são covalentes, porém, ligações de hidrogênio entre diferentes cadeias, assim como interações de van der Waals e reticulação por meio de ligações covalentes podem acontecer (Pires *et al.*, 2023).

Os biomateriais poliméricos são versáteis, pois podem ser modificados para atender a uma ampla gama de requisitos de desempenho e são geralmente usados para regeneração de tecidos, implantes e dispositivos médicos (Sun *et al.*, 2020).

Os biomateriais poliméricos, podem ser divididos em naturais e sintéticos. Os polímeros naturais incluem colágeno, gelatina e quitosana. Esses materiais são biocompatíveis e podem apresentar alta biodegradabilidade. Contudo, os polímeros sintéticos são mais comuns em dispositivos médicos, pois podem ser facilmente modificados para atender a requisitos específicos. Como exemplo, desses materiais há o poliuretano, silicone, polietileno, policarbonato, entre outros (Teodorescu; Bercea; Morariu, 2019).

Os biomateriais poliméricos apresentam diversas vantagens em relação a outros tipos de materiais para aplicação biomédica. Eles geralmente são mais leves, versáteis e mais fáceis de processar do que metais e cerâmicas, o que os torna ideais para aplicações de tecidos moles. Eles também podem ser projetados para liberar medicamentos ou fatores de crescimento, o que os torna úteis na regeneração de tecidos (Teodorescu; Bercea; Morariu, 2019).

No entanto, os biomateriais poliméricos também apresentam desvantagens, tais como: podem ser menos duráveis do que outros materiais, o que pode exigir substituição do dispositivo médico ou implante. Além disso, nem todos os biomateriais poliméricos apresentam biocompatibilidade, alguns podem apresentar inflamação tecidual, que pode levar a infecções ou rejeição do corpo ao material utilizado (Ter horst; Moiemem; Grover, 2019).

Recentemente, as pesquisas em biomateriais poliméricos têm se concentrado em desenvolver materiais que tenham uma resposta específica do sistema imunológico. Esses

materiais podem ajudar a reduzir a inflamação tecidual e melhorar a biocompatibilidade (Joyce *et al.*, 2021).

Outras pesquisas têm se concentrado em desenvolver materiais que possam resistir à degradação, para que os dispositivos biomédicos possam apresentar mais durabilidade em relação ao tempo. Além desses fatos, a necessidade de novas tecnologias com o avanço populacional, exige muitos investimentos e esforços por parte da sociedade (Ter horst; Moiemmen; Grover, 2019).

Vale ressaltar que em termos de composição e de características, a utilização de biomateriais pode ser dividida em metais, cerâmicas, polímeros e compósitos, conforme o Quadro 1, sendo amplamente aplicados na medicina.

Quadro 1- Diferentes classificações dos biomateriais

Tipo de biomaterial	Característica	Aplicações
Polímero	Simplicidade de fabricação (partículas, filmes, fios, dentre outros), Preço aceitável, diversidade de materiais com propriedades mecânicas e físicas desejadas para aplicações específicas.	Resinas dentárias, Curativos, Lentes de contato, Sistemas de liberação de medicamentos e curativos.
Cerâmico	Baixa resistência ao impacto, Resistência à flexão, Tenacidade e resistência ao desgaste erosivo.	Próteses articulares e ortopédicas, implantes dentários, válvulas cardíacas, traqueias artificiais e preenchimentos ósseos.
Metálico	Excelente performance mecânica, elevada resistência à fadiga e à fratura.	Fios, Implantes dentários, próteses e Parafusos.
Compósito	Boa biocompatibilidade, Resistência à corrosão, propriedades mecânicas aprimoradas.	Válvulas do coração, Implantes de joelho e articulações artificiais.

Fonte: Adaptado de Chen e Liu (2016).

### 2.2.1 Biomateriais poliméricos e aplicações

Os biomateriais poliméricos são amplamente utilizados na medicina devido às suas propriedades biocompatíveis, podendo ser aplicados em próteses, curativos, sistemas de liberação de fármacos e engenharia de tecidos. No tratamento de doenças causadas por microorganismos, os biomateriais desempenham um papel importante (Venkataprasanna *et al.*, 2020).

O âmbito da engenharia de tecidos tem experimentado um notável crescimento, em parte devido à diversidade de características e aplicações dos biomateriais poliméricos. A integração interdisciplinar das ciências químicas, biológicas, físicas e de materiais é essencial para avançar o entendimento atual sobre biomateriais e criar inovações no cuidado de doenças (Venkataprasanna *et al.*, 2020; Arif *et al.*, 2021).

Embora o corpo possa naturalmente reparar tecidos danificados, o processo é demorado especialmente para os pacientes com diabetes, úlceras e câncer. Nesse contexto, se destaca o uso de polímeros para aplicação como curativos é essencial para proteger contra infecções e acelerar a cicatrização de feridas (Obagi *et al.*, 2019).

Atualmente, tratamentos de feridas agudas e crônicas têm se beneficiado significativamente do uso de curativos poliméricos, como filmes, espumas, hidrogéis, scaffolds, alginatos, hidrocoloides e fibras, destacando o potencial desses biomateriais na resolução de desafios clínicos (Arif *et al.*, 2021).

Por exemplo, a gaze convencional, feita de poliéster ou algodão, derivados de fibras de celulose vegetal é bastante utilizada no tratamento de feridas (Arif *et al.*, 2021). Porém, é menos absorvente e tipicamente não é adequada para feridas altamente exsudativas (Hodge *et al.*, 2022).

Concomitantemente, Yuk *et al.*, (2017) destaca que, ao integrar sensores eletrônicos em películas poliméricas aplicadas ao corpo humano, é preferível que os dispositivos sejam flexíveis e suaves, permitindo melhor adaptação ao ambiente. Embora o produto ainda não esteja em fase de comercialização, algumas das primeiras aplicações sugerem seu potencial uso no tratamento de queimaduras, dada a necessidade de cobertura, monitoramento e cuidado contínuo.

Os filmes à base de polímeros foram inicialmente introduzidos na engenharia de tecidos devido à sua fácil preparação. Com o tempo, esses filmes demonstraram grande potencial para uso em curativos oclusivos no tratamento de feridas. Tanto polímeros naturais quanto sintéticos têm sido amplamente estudados como materiais para curativos (Kalirajan *et al.*, 2021).

Os curativos poliméricos podem ser classificados em duas categorias: passivos e interativos. Os filmes feitos de polímeros naturais são geralmente interativos e oclusivos, enquanto os sintéticos podem ser passivos ou interativos. Os curativos passivos, ou não oclusivos, têm a função de simplesmente cobrir a ferida, enquanto os interativos ou oclusivos atuam como barreiras contra microrganismos e contribuem para o processo de cicatrização (Kalirajan *et al.*, 2021).

Além disso, os filmes poliméricos apresentam vantagens como são capazes de absorver o exsudato da ferida e manter um ambiente úmido no leito da ferida, o que favorece a cicatrização e regeneração dos tecidos. Esses filmes também permitem a troca de gases, garantindo a ventilação adequada do local lesionado (Kalirajan *et al.*, 2021)

Os biomateriais poliméricos podem ser usados para encapsular e liberar antibióticos de forma controlada, melhorando a eficácia do tratamento e reduzindo efeitos colaterais. Exemplos incluem materiais de composição polimérica podem ser projetados para evitar a adesão bacteriana e formação de biofilmes, um grande desafio em dispositivos médicos como cateteres e próteses (McDonald *et al.*, 2023).

### 2.3 Amido

O amido é o principal polissacarídeo de armazenamento das plantas e oferece características interessantes por ser um polissacarídeo natural, biocompatível, biodegradável e renovável. Além disso, sua composição apresenta um grande número de unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas (Adewale; Yancheshmeh; Lam, 2022). Podem ser obtidos da batata, milho, mandioca, arroz e sagu (Cui *et al.*, 2021).

Este polímero pode ser encontrado em forma de grânulos com diferentes características, variando em formato e tamanho (Adewale; Yancheshmeh; Lam, 2022). Entre os polímeros naturais existentes, o amido é o segundo mais abundante no mundo, perdendo apenas para a celulose (Adewale; Yancheshmeh; Lam, 2022).

A síntese de filmes de amido está principalmente ligada às propriedades de retrogradação do amido. Após a gelatinização dos grânulos de amido, eles são fundidos em um molde e secos, resultando na união dos grupos hidroxila entre os amidos por meio de ligações intermoleculares de hidrogênio para originar uma película de amido (Cui *et al.*, 2021).

O amido se classifica como um material renovável que, após um processo de decomposição, retorna à natureza na forma de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e água sem contaminar o meio ambiente (Wang *et al.*, 2021). Em sua composição, apresenta carboidratos, também chamados de açúcares, nutrientes indispensáveis que desempenham papel central em diversas funções, inclusive na nutrição celular dos organismos vivos (Apriyanto; Compart; Fettke, 2022).

Entretanto, para aplicações que necessitem de esforços mecânicos, os amidos derivados de fontes naturais possuem limitações, como estabilidade térmica inadequada e baixa resistência, o que restringe suas aplicações, sendo necessárias novas pesquisas (Li *et al.*, 2020).

Nesse contexto, existem duas divisões para este tipo de polímero: o amido retirado de plantas, designado de amido nativo e o amido modificado, que passou por alguma forma de transformação biológica, química ou física (Adewale; Yancheshmeh; Lam, 2022).

O amido está amplamente disponível e tem um perfil ideal em termos de degradabilidade, mas sofre de baixa resistência mecânica e alta hidrofilicidade. Por esta razão, o amido puro sem aditivos com função antifúngica, antimicrobiana e antivirais não é considerado muito adequado para aplicações biomédicas, sendo utilizado principalmente em uma de suas formas quimicamente modificadas ou em associação com outros polímeros (Fonseca *et al.*, 2019).

Dentre as propriedades físico-químicas e funcionais específicas, estes possuem baixa estabilidade, rápida degradação e modificação por processamento. As modificações realizadas em estudos são muito importantes para melhorar suas propriedades e entender sua aplicação em diversos domínios de interesse (Ogunsona; Ojogbo; Mekonnen, 2018). Além disso, quimicamente, o amido é composto por dois tipos de moléculas: amilose e amilopectina, que serão melhor discutidas abaixo (Mohd nizam *et al.*, 2021).

### **2.3.1 Amilose e amilopectina**

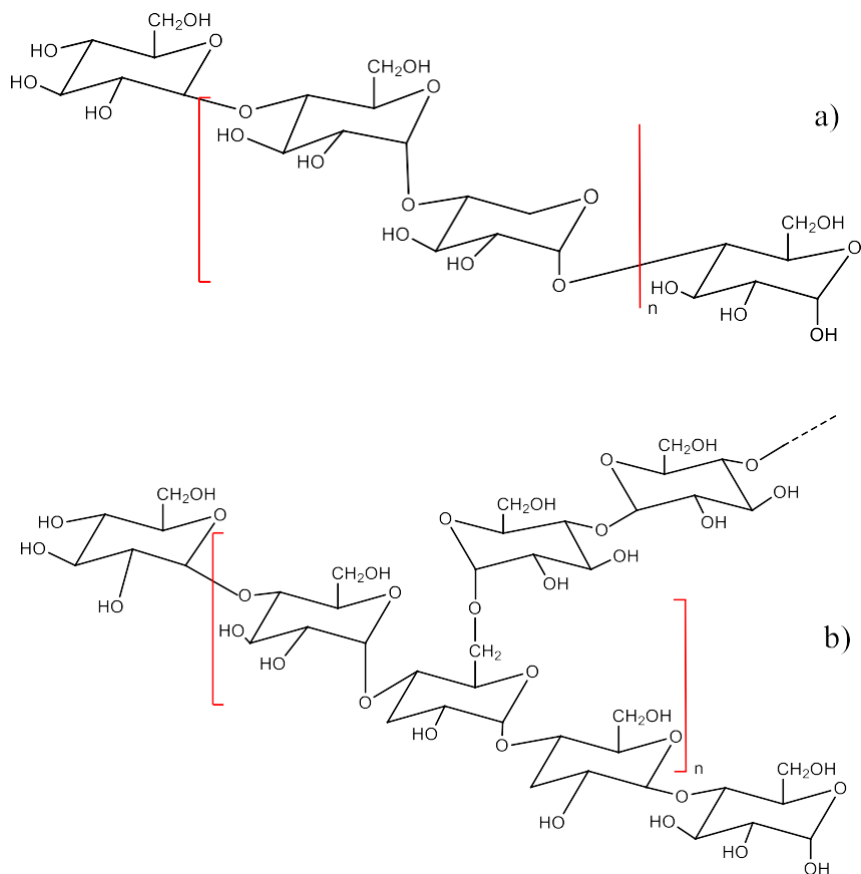
O amido é constituído da combinação de duas moléculas: amilose e amilopectina. A amilose possui as seguintes características: é um polímero linear que apresenta ligações glicosídicas compostas por unidades de d-glicose ligadas por ligações  $\alpha$ -(1→4) agindo com menos de 1% de suas ramificações em  $\alpha$ -(1→6) (Apriyanto; Compart; Fettke, 2022).

Nesse contexto, vale ressaltar as características de conformação desta molécula como helicoidal com interior hidrofóbico, devido ao arranjo das unidades de glicose, onde suas propriedades conformacionais e lineares são singulares para formação de filmes e complexos com álcoois, ácidos e lipídios (Adewale; Yancheshmeh; Lam, 2022).

Por outro lado, a amilopectina é uma das maiores biomoléculas conhecidas, é um polímero altamente ramificado, formada por unidades de D-glicose ligadas através de

ligações  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4) com aproximadamente 5% de suas ramificações em  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6) (Zhu, *et al.*, 2020). Na Figura 2, estão exemplificadas as estruturas moleculares de ambas.

Figura 2- Estrutura química da amilose (a) e amilopectina (b)



Fonte: Adaptado de Adewale; Yancheshmeh; Lam (2022).

Sobre as características cristalinas deste material a estrutura da matriz de grânulos semicristalinos é composta principalmente por amilopectina, em que cadeias adjacentes formam duplas hélices organizadas em lamelas cristalinas. A amilose, que constitui menos de 35% da maioria dos amidos naturais, não é essencial para a formação desses grânulos sendo composta por longas cadeias lineares  $\alpha$ -1,4, presumivelmente localizadas em regiões amorfas do grânulo (Adewale; Yancheshmeh; Lam, 2022).

## 2.4 Gengibre

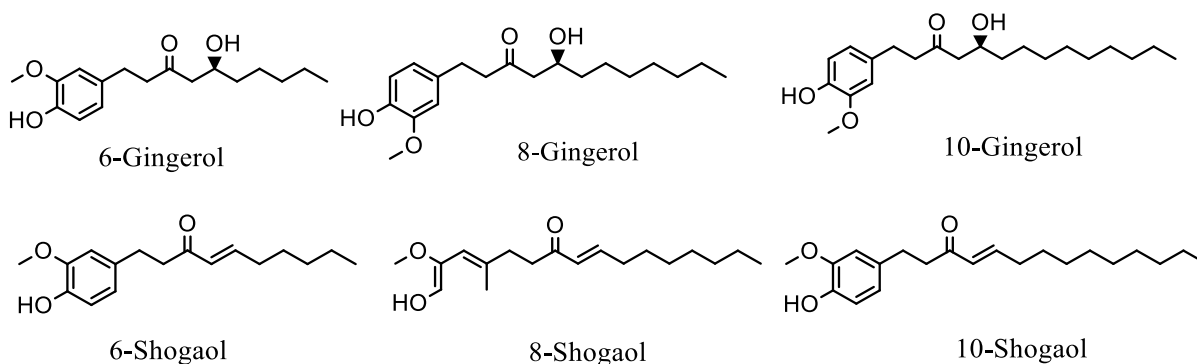
O gengibre, pertencente à família *Zingiberaceae*, é uma planta herbácea perene com raízes amplamente cultivadas em todo o mundo. É uma das especiarias alimentares mais populares com sabor singular, além de ser prescrito como uma medicina fitoterápica tradicional chinesa bem conhecida (Sariningsih; Handayani; Kusumaningsih, 2019).

Além disso, é um rizoma pertencente à família das *Zingiberaceae*, com aplicações na indústria farmacêutica, é muito utilizada na medicina popular para o tratamento de doenças estomacais, artrites, reumatismo, dores musculares, febre, gripe, cólicas e bronquites, além de possuir propriedades anti-inflamatórias, atividades imunomoduladoras, antimicrobianas, anticarcinogênicas e antioxidantes (Oliveira, 2019).

Os rizomas de gengibre são coletados de plantas herbáceas e perenes com longa história de cultivo, com aproximadamente um metro de altura, que possui 40% de amido em base seca, seus rizomas são lisos, de cor marrom-avermelhado ou branco, e tamanho entre 15 e 25 cm de comprimento (Sariningsih; Handayani; Kusumaningsih, 2019).

O gengibre contém compostos orgânicos como gingeróis e shogaóis, representados na Figura 3, os quais desempenham um papel nos benefícios à saúde. Esses componentes apresentam propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas, indicando que o amido de gengibre pode ser empregado para abordar diversas enfermidades (Sharma *et al.*, 2023).

Figura 3- Estruturas químicas de alguns dos compostos no gengibre.



Fonte: Adaptado de Arcusa *et al.*, (2022); Sharma *et al.*, (2023).

Além disso, baseado na Figura 5 o gingerol e shogaol apresentam diferentes composições. Durante a secagem ou aquecimento o gingerol se transforma em shogaols por reação de desidratação. Essa variação de composição acontece mediante excitação térmica com a utilização de temperaturas. Além disso, diversas pesquisas mostram que os gingeróis e os shogaols são mutagênicos por natureza, porém ainda não é esclarecido o

porquê, sendo necessárias novas pesquisas para esclarecer como ocorre essa diversidade de sua composição (Sharma *et al.*, 2023).

Arcusa *et al.*, (2022) relatam algumas das aplicações do *Zingiber officinale* rico em 6-gingerol, para seu possível uso em doenças neurodegenerativas, especificamente Alzheimer. Estudos clínicos mostraram que o uso de gengibre aumentou a expressão do fator de crescimento nervoso (FCN), exercendo um papel fundamental na melhoria da função de memória, simplificando o realce hipocampal a longo prazo e acelerando o crescimento de neuritos.

Nos suplementos alimentares, o gengibre é frequentemente usado como um anti-inflamatório natural, pela sua capacidade de reduzir a dor e a inflamação, a raiz também auxilia na digestão, colaborando na absorção de nutrientes (Ferreira *et al.*, 2023).

Para a medicina tradicional chinesa, o gengibre é amplamente utilizado por suas propriedades tonificantes, tônicas e antitóxicas. É utilizado contra náuseas, vômitos e flatulências, bem como para tratar resfriados, gripes e dores de cabeça. A planta também é conhecida como um digestivo eficaz e melhora o apetite, além de ajudar no combate à constipação (Li *et al.*, 2020).

Outrossim, Ballester *et al.*, (2022) mostram, em seu artigo de revisão, que o gengibre vem sendo estudado contra o câncer, o gengibre e seu composto 6-gingerol, podem estar ligados a um risco reduzido de desenvolvimento de câncer. Diversos autores descreveram a ação anti-inflamatória do extrato de gengibre em modelos de câncer *in vivo* em animais que reduziram significativamente o câncer de fígado em ratos.

Em resumo, o gengibre é um rizoma versátil que pode ser utilizado para a culinária e para fins medicinais. Com suas propriedades anti-inflamatórias, antioxidantes e antimicrobianas, o gengibre auxilia no tratamento de uma variedade de condições de saúde (Sousa *et al.*, 2020).

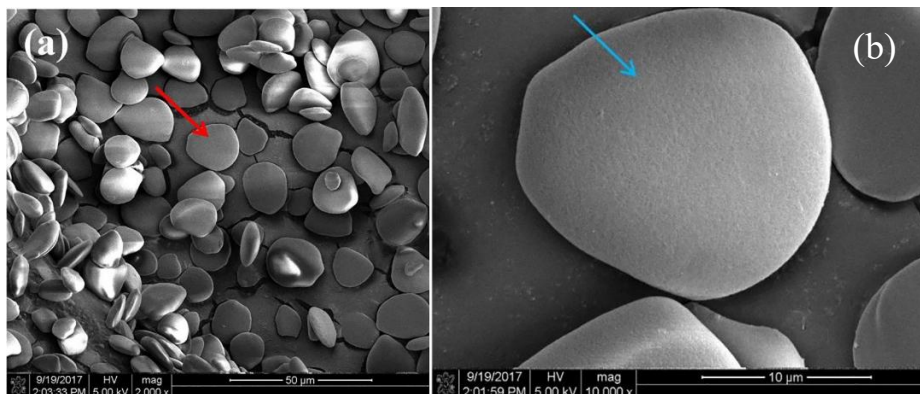
## **2.5 Amido de Gengibre**

O gengibre apresenta teor significativo de amido (40-59% do peso seco), se revelando como uma fonte de biomassa interessante (Oluba *et al.*, 2021). No entanto, a pesquisa moderna concentrou-se em extrair ingredientes ativos de pequenas moléculas dessas plantas, sendo frequentemente processado por seu conteúdo ricos em oleorresina e óleo essencial, resultando na geração de resíduos na indústria de fitoterápicos e bebidas.

Esses resíduos são considerados uma valiosa biomassa para a produção de amido devido ao seu elevado teor de peso seco (Li *et al.*, 2020; Rahmasari; Yemiş, 2022).

A morfologia microestrutural característica de amido de gengibre é apresentada na Figura 4 a seguir. As setas apontam para o formato triangular escamoso com superfícies lisas com variações de tamanho ovoide (Li *et al.*, 2020).

Figura 4- Micrografias de amido de gengibre (a) aumento de 2000× e (b) 10.000×.



Fonte: Li *et al.*, (2020).

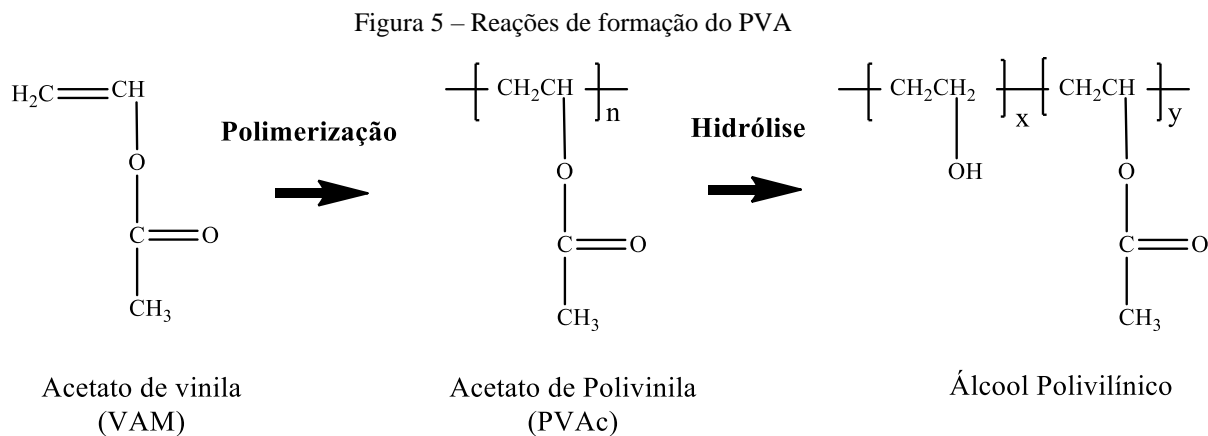
Existem estudos como de Oluba *et al.*, (2022) que obtiveram biocompósitos para embalagens em alimentos bem sucedidos através da mistura de amido/queratina a partir de resíduos de penas de frango e amido de gengibre. Os resultados apresentaram baixo teor de umidade, opacidade ou transparência, bem como reduzido percentual de solubilidade em água. Além de propriedades mecânicas desejáveis, como alta resistência à tração e alongamento na ruptura, contribuindo assim para a sua estabilidade.

## 2.6 Poli (álcool vinílico) (PVA)

O poli (álcool vinílico), é um polímero sintético amplamente empregado na indústria devido às suas propriedades diversas e únicas, seu uso se dá desde o início da década de 1930 e desde então, é manipulado em muitas aplicações, como embalagens, adesivos, revestimentos, filmes, fibras entre outros (Kumar, 2022).

A formação de PVA é resultado da polimerização do monômero acetato de vinila, formando poli(acetato de vinila) (PVAc), seguida pela hidrólise dos grupos acetato, gerando uma cadeia polimérica com grupos hidroxilas pendentes. No entanto, a hidrólise

não é completa, resultando em polímeros com diversos graus de hidrólise, conforme ilustrado na Figura 5 a seguir (Kumar, 2021).



Fonte: Silva (2021).

O poli (álcool vinílico) é um polímero que pode ser aplicado para tratar doenças de pele. Devido características como transparência, biocompatibilidade e hidrofílicidade, alguns estudos apontam também a possibilidade da sua ação em manter a ferida com ambiente úmido. Contudo, por ter baixa elasticidade e resistência mecânica, pesquisadores optam por reticulá-lo quimicamente ou fisicamente com outros polímeros visando melhorar suas propriedades (Silva, 2021).

A reticulação física forma ligações de hidrogênio fortes na cadeia polimérica, enquanto a reticulação química utiliza o grupo hidroxila do PVA para formar ligações covalentes. No entanto, essa técnica pode deixar resíduos tóxicos que interferem na sua aplicação médica (Lima; Passos, 2022).

Ainda, conforme estudado, uma das principais características do PVA é a sua solubilidade em água, tornando-o um eficiente material para aplicações relacionadas ao meio ambiente, uma vez que é biodegradável. Além disso, o PVA é um polímero termoplástico, ou seja, pode ser moldado quando aquecido e resfriado, além da possibilidade de ser digerido por enzimas e microrganismos (Teodorescu; Bercea; Morariu, 2019).

## 2.7 Óleos essenciais

Os óleos essenciais podem ser descritos como misturas naturais extremamente complexas que podem conter mais de 20 componentes em diferentes concentrações (Almeida; Almeida; Gherardi, 2020). A complexidade destes óleos é atribuída aos hidrocarbonetos terpênicos (Almeida; Almeida; Gherardi, 2020).

Terpenos, terpenóides, componentes aromáticos e alifáticos são os principais constituintes dos óleos essenciais, representando 20-70% da concentração total (Malick; Baba; Diadioly; Seni, 2021; Dajic Stevanovic *et al.*, 2020).

Os terpenos são álcoois (linalool, geraniol, carveol, citronelol, terpineol, mentol, borneol e bisabolol), aldeídos (citral e citronelal), grupos fenóis (timol e carvacrol) e cetonas (carvona e cânfora), éteres (eucaliptol) e hidrocarbonetos (cimeno, pineno, limoneno e felandreno) (Masyita *et al.*, 2022).

Apesar do termo "óleo", estes não contêm gordura, e apresentam densidade inferior a  $1\text{g/cm}^3$  (Malick; Baba; Diadioly; Seni, 2021). Porém, para Haro-González *et al.*, (2021) existem exceções de óleos essenciais mais pesados que a água, como os óleos essenciais de pimenta, canela, cravo e alho.

Ademais, a composição química dos óleos essenciais vegetais varia conforme o tipo de espécie vegetal e sua localização geográfica, seu ambiente e estágio de maturidade e o método utilizado para obtenção de tais óleos (Haro-González *et al.*, 2021).

Além de todos esses fatos, diversas estratégias são necessárias para manter a atividade biológica dos óleos essenciais durante o processamento. Os óleos essenciais são voláteis à temperatura ambiente e podem ser facilmente degradados por variações de oxigênio e temperatura (Dajic Stevanovic *et al.*, 2020).

Portanto, há necessidade de métodos para aumentar a estabilidade e a atividade dos óleos essenciais, e a pesquisa de novas técnicas, como encapsulamento, uso de revestimentos comestíveis e embalagens ativas, podem resolver essas questões (Guimarães *et al.*, 2019).

Embora o efeito antibacteriano dos óleos essenciais tenha sido objeto de vários estudos nos últimos anos, o número de investigações e pesquisas publicadas sobre os efeitos antifúngicos, antibacterianos e antimicotoxigênicos ainda não atingiu níveis suficientes (Da Cruz *et al.*, 2021)

Adicionalmente, a indústria tem explorado compostos naturais, como óleos essenciais, em substituição a aditivos antimicrobianos sintéticos que podem estar

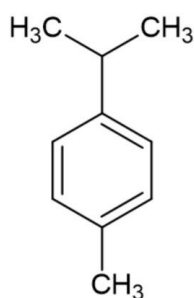
associados ao desenvolvimento de câncer em diversos tipos de tecidos. Exemplos incluem os parabenos, associados ao câncer de mama, e os nitritos, com propriedades cancerígenas que influenciam doenças como câncer de pulmão, intestino, fígado e estômago (Mutlu-Ingok *et al.*, 2020; Guimarães *et al.*, 2019).

### 2.7.1 Óleo essencial de Breu Branco

O óleo essencial de breu branco é localizado normalmente em regiões tropicais e subtropicais do mundo, contendo cerca de 700 espécies pertencentes a 18 gêneros, derivado de uma árvore Amazônica que pode atingir até 30 metros de altura (Marques *et al.*, 2010). Essa árvore é vista como especial devido à produção da resina perfumada em formato de rocha sólida, bastante aromática (Almeida, 2021).

Pode-se ressaltar que o Breu Branco é rico em P-cimeno, conforme a Figura 6, e um composto único e não esclarecido ainda, o que torna este óleo essencial tão especial (Faustino *et al.*, 2020). Existem relatos na medicina popular latino-Americana nos quais as oleorresinas produzidas pelas espécies nativas *Protium*, *Bursera* e *Trattinnickia* são utilizadas em forma de defumação, rapadas ou aplicadas topicamente para alívio da cefaleia (Rocha *et al.*, 2022).

Figura 6- Estrutura molecular do p-cimeno



Fonte: Faustino *et al.*, (2021).

Além disso, a partir da resina, se obtém o óleo essencial, originado do processo de metabólito secundário das plantas, o óleo essencial de breu branco é rico em triterpenos e diferentes substâncias químicas, apresentando grande interesse para farmacologia e

biologia, devido à crescente exportação de diferentes óleos essenciais (Nogueira *et al.*, 2019).

Ainda, destaca-se que o óleo essencial de breu branco oferece amplo interesse por ser considerado um recurso natural e renovável. A resina oleosa e aromática é liberada através da perfuração, da árvore breu branco que depois endurece sobre sua casca sem agredir a natureza. A matéria-prima do óleo essencial de breu branco está na Figura 7 (Rocha, 2022).

Figura 7- Matéria-prima para obtenção de óleo essencial de Breu Branco



Fonte: Autor (2025).

Da cruz *et al.*, (2021) analisou o óleo como atividade antifúngica antibacteriana, anticâncer e no tratamento de doenças. A fumaça da pedra de breu branco obteve evidências farmacológicas sobre a composição química das fumaças e recomendam seu possível efeito benéfico no tratamento da cefaleia, contudo a realização de mais pesquisas e imprescindível para analisar os reais efeitos sobre a inalação, bem como sua segurança.

Reis e Passos (2022) estudaram a encapsulação do óleo essencial de breu- branco (*Protium heptaphyllum*) por gelificação iônica com possível aplicação na biotecnologia no processo de produção das cápsulas, a altura de gotejamento, concentração do agente de reticulação e do polímero se mostraram parâmetros importantes na homogeneidade e esfericidade das cápsulas. As cápsulas de alginato de sódio com óleo essencial de breu-branco apresentaram bons resultados já que sua encapsulação apresentou características com formato esférico e flexibilidade.

## 2.8 Método de emulsificação espontânea

As emulsões podem ser definidas como sistemas heterogêneos compostos por dois líquidos não miscíveis com uma fase dispersa interna ou descontínua e uma fase dispersante externa ou contínua (Assolini *et al.*, 2020). Devido à combinação de água e óleo apresentar instabilidade termodinâmica, é necessária a inclusão de mais um componente, o agente emulsionante, para estabilizar esses sistemas e produzir uma única fase (Assolini *et al.*, 2020).

A técnica de emulsificação espontânea é utilizada para produzir nanoemulsões oleosas e apresenta diversas vantagens como simplicidade, rapidez, além de não necessitar de altas temperaturas, apresentar pouco consumo de energia e baixo custo (Akran *et al.*, 2021).

O método acontece por meio de uma fase oleosa com um tensoativo que demonstre afinidade pela fase orgânica. Emprega-se um solvente orgânico para dissolver a fase oleosa, e subsequente a isso, essa fase é transferida para uma fase aquosa, composta por água e um tensoativo hidrofílico, enquanto ocorre agitação (Solans; Morales; Homs, 2016).

As vantagens deste método têm chamado a atenção da indústria cosmética, farmacêutica e biotecnológica, pois apresentam características como alta estabilidade cinética, perfil de liberação prolongada e boa permeação da derme (Liew *et al.*, 2020).

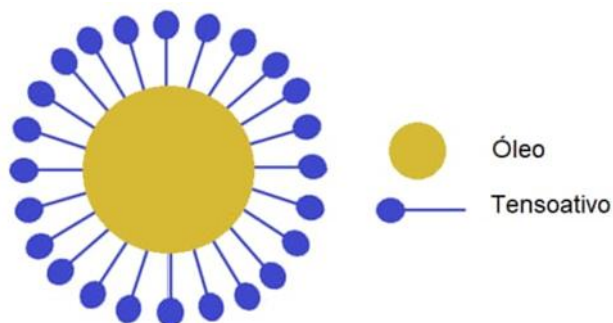
Ademais, as emulsões podem apresentar nanogotículas com distribuição de tamanho médio (20–200 nm) e também podem ser divididas em emulsões submícron, mini- e ultrapequenas. Suas aplicações variam abraçando áreas como a biomedicina, farmácia e cosméticos (Barradas; De Holanda e Silva, 2021).

As emulsões, quando alcançam escala nanométrica, apresentam vantagens enormes, incluindo área interfacial, absorção mais ágil e a capacidade de aprimorar a solubilidade do fármaco, conseqüentemente, a biodisponibilidade. Também exibem notável estabilidade cinética devido ao seu tamanho reduzido (Moghassemi *et al.*, 2022).

A espontaneidade do processo de emulsificação é fortemente influenciada pelas seguintes variáveis: estrutura do tensoativo, composição da fase oleosa, adição de co-surfactante, solvente não aquoso, e temperatura (Akran *et al.*, 2021).

A Figura 8 representa o conceito de nanoemulsão do seguinte modo, quando estabilizadas por tensoativos, formam uma fase contínua, criando gotículas de emulsão com tamanho muito pequeno na média de nanômetros (Solans; Morales; Homs, 2016).

Figura 8- Estrutura de uma nanoemulsão estabilizada por tensoativo



Fonte: Ferreira *et al.*, (2022).

Os óleos apresentam propriedades hidrofóbicas, logo, o método de emulsificação espontânea pode possibilitar filmes com uma distribuição mais homogênea na superfície. Simultaneamente, uma das vantagens da fabricação de potenciais nanoemulsões é a dimensão das partículas as quais podem ser em nanômetros. Beneficiando a atividade biológica do óleo, assim como as características físicas e químicas dos polímeros (Nunes *et al.*, 2018).

Ghadiri *et al.*, (2023) estudaram a incorporação da nanoemulsão de óleo de amêndoas em filmes à base de PVA para formar filmes antioxidantes. A investigação sugeriu que as nanoemulsões podem atuar como ativos farmacêuticos para aplicações antioxidantes, além de diminuição no teor de umidade.

Destacam-se ainda as pesquisas de Kong *et al.*, (2020), que obtiveram um filme ativo a partir de amido de milho/poli (álcool vinílico) (PVA) e nanoemulsões de carvacrol (CNE). As micrografias encontradas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelaram a distribuição de poros no filme favorecendo a atividade biológica. Dessa forma, os resultados indicaram que os filmes podem ser usados como embalagens de alimentos e materiais com boas atividades antioxidantes e antimicrobianas.

## 2.9 Blendas

As blendas poliméricas são materiais compostos por dois ou mais polímeros diferentes que são misturados fisicamente ou por mistura mecânica, sem reação química

intencional entre a mistura. A interação molecular entre as cadeias poliméricas pode ser majoritariamente secundária (intermolecular) (Fredri; Dorigato, 2024).

A separação de uma blenda pode ser feita por meio de processos físicos através de solubilização e precipitação fracionada. Elas apresentam uma série de vantagens, como a possibilidade de combinar as melhores propriedades de cada polímero em um único material, além da melhora nas propriedades físicas e mecânicas, como a resistência ao impacto, rigidez, resistência ao calor, entre outras (Cobo *et al.*, 2021).

No geral, as blendas poliméricas são uma opção interessante para a produção de materiais com propriedades físicas e mecânicas superiores aos polímeros isolados (Ponte *et al.*, 2019).

As blendas podem ser divididas em três formas: primeiramente em imiscíveis, sendo caracterizadas por uma microestrutura morfológica com separação de fase. Além de caracterizadas por alta tensão interfacial e fraca adesão entre as fases, procedendo em baixas propriedades. Sendo que, para suprir essa necessidade, utilizam-se os chamados agentes compatibilizantes, acarretando maior custo para o processo (Silva *et al.*, 2016).

O segundo tipo de blendas designadas compatibilizadas proporciona propriedades físicas macroscopicamente uniformes, sendo as mais desejadas para aplicações em engenharia. Essas características são decorrentes da interação química forte (contudo ditas sem reação) entre os polímeros, proporcionando uma forte adesão entre as fases. A terceira e última categoria, as miscíveis, oferecem apenas uma fase em sua estrutura morfológica, sendo bastante interessantes, pois podem apresentar maior adesão e alta resistência mecânica (Ponte *et al.*, 2019).

Consoante a isto, Delavari *et al.*, (2022) obtiveram materiais transparentes à base de amido/poli (álcool vinílico)/ácido cítrico/glicerol preparados pelo método de fundição modificado. Os resultados alcançados demonstraram boa dispersão, homogeneidade, boas propriedades mecânicas, transparência, propriedades antibacterianas em ambiente úmido, para revigorar as melhores técnicas possíveis de cicatrização.

Outrossim, Altaf *et al.*, (2021) concentraram sua pesquisa na elaboração e caracterização de curativos poliméricos com propriedades antibacterianas. A blenda de PVA/ Amido e óleos essenciais (óleo de cravo, melaleuca e orégano) desempenhou função antibacteriana. Os resultados destacaram a habilidade dos hidrogéis preparados em criar um ambiente úmido, resultando numa significativa redução na transmissão de umidade proveniente do leito da ferida. Esses resultados notáveis indicam sua eficácia potencial como curativos pós-operatórios para queimaduras.

Zhao *et al.*, (2023) estudaram blendas de PVA/ Amido com emulsão de Pickering. O material exibiu, alta transparência, pequena variação de cor e eficácia na inibição do crescimento e reprodução tanto de *Escherichia Coli* quanto de *Staphylococcus aureus*. Quando aplicado em carne suína fresca, o filme antimicrobiano permitiu sua preservação por um período adicional de 6 a 10 dias, evidenciando seu potencial para a conservação de carne suína.

Nesta fase do trabalho, foram exploradas as principais fontes de pesquisa contemporâneas que forneceram a base teórica necessária para o desenvolvimento do estudo. Foram abordados os temas centrais relacionados à proposta, os quais ajudaram a ampliar o entendimento sobre o assunto em questão.

A proposta de blendas à base de amido de gengibre e poli (álcool vinílico), incorporados com emulsão de óleo essencial de breu branco (*Protium heptaphyllum*), como inovação amazônica para tratamento de doenças inflamatórias, apresenta um grande potencial ao combinar recursos naturais da biodiversidade brasileira com novas metodologias de produção.

O gengibre, conhecido por suas propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes, ainda é pouco explorado na forma de amido, o que abre novas possibilidades para tratamentos de doenças causadas por microorganismos. Contudo, a utilização do poli (álcool vinílico) como matriz polimérica exige uma análise cuidadosa, pois, embora sua função como formador de filme seja benéfica devido ao baixo custo, ele apresenta baixa resistência à tração e tende a sofrer intumescimento excessivo em contato com os fluidos da ferida, o que pode prejudicar o processo de cicatrização.

Por outro lado, o uso do breu branco, uma resina com propriedades antimicrobianas e cicatrizantes, é um campo pouco explorado, mas com forte potencial, especialmente devido ao seu uso no saber tradicional das comunidades amazônicas. Este óleo essencial pode acelerar a recuperação inflamatória, promovendo uma abordagem promissora que integra o conhecimento ancestral com a pesquisa científica moderna. A região amazônica, com sua rica flora, tem sido uma fonte inesgotável de substâncias com potencial terapêutico, e a utilização de óleos essenciais, como o breu branco, além de reviver o conhecimento tradicional, coloca a Amazônia no centro de uma nova abordagem para o tratamento da saúde, fortalecendo a economia das populações locais.

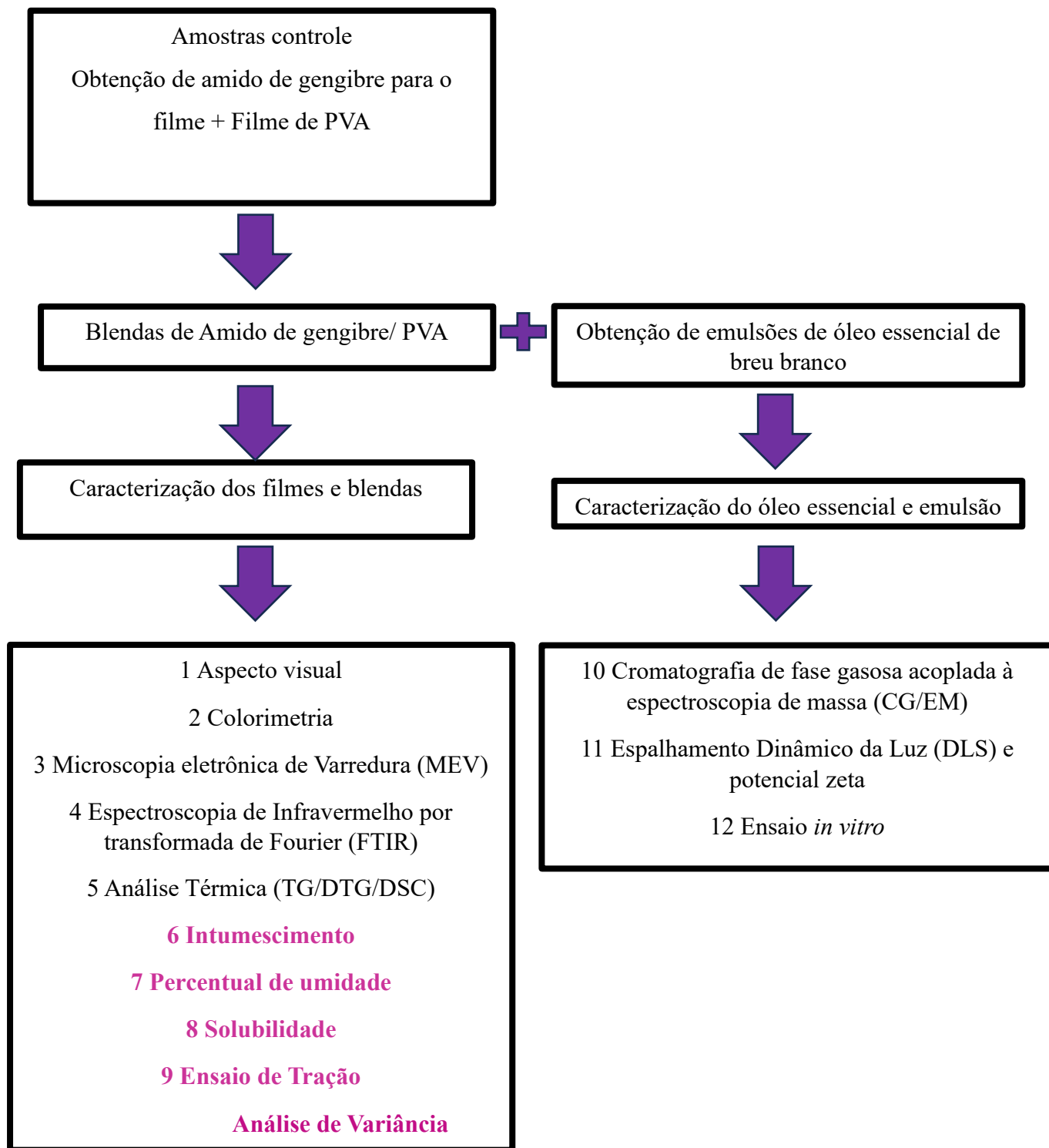
No entanto, a estabilidade e segurança da emulsão com óleo essencial de breu branco ainda carecem de comprovação científica robusta. Apesar do grande potencial das terapias alternativas amazônicas, é fundamental que mais estudos clínicos e testes de

segurança sejam realizados para validar a eficácia dessa combinação e garantir que ela possa ser aplicada de forma segura e eficaz com efeito antimicrobiano.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma ilustrado na Figura 9 apresenta de maneira geral e resumida a metodologia adotada no presente trabalho.

Figura 9- Fluxograma experimental



### 3.1 Material utilizado

A descrição do material e reagentes utilizados neste estudo está apresentada no Quadro 2.

Quadro 2– Materiais utilizados

Material	Descrição	Fornecedor
Pó de PVA	Peso Molecular 72.000, Viscosidade 44,4 e Máximo de 0, 5% de outros.	ACS científica
Óleo essencial de breu branco	Líquido, Marrom e aromático.	Terra flor
Tween 80 (Polissorbato)	Chemical Abstracts Service (CSE): 9005-65-6	Êxodo Científica (São Paulo, Brasil)
Etanol	CAS 64-17-5, peso molecular 46,07 g/mol	Êxodo Científica (São Paulo, Brasil)

Fonte: Autor (2025).

### 3.2 Obtenção do pó de amido de gengibre

Os rizomas de gengibre que seriam descartados foram adquiridos no mercado local em Ananindeua-Pará. Em seguida, os rizomas de gengibre foram descascados, e triturados em liquidificador, doméstico com, aproximadamente, 100 mL de água para cada 50 g de rizoma. Posteriormente, a mistura foi peneirada, passando pela decantação do amido, separando-se a parte líquida da parte fibrosa. Seguindo, para posterior lavagem em etanol até o amido apresentar coloração branca. A metodologia foi realizada com adaptações do trabalho de De souza *et al.*, (2021).

O pó de amido de gengibre (PG) foi obtido no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Pará, Campus de Ananindeua.

### 3.3 Obtenção de emulsão de óleo essencial de breu branco

A obtenção das emulsões foi realizada utilizando 40 mL de água destilada, 2 mL de Polissorbato Tween 80 e 2 mL do óleo essencial de breu branco. O polisorbato foi dissolvido na fase oleosa (óleo essencial de breu branco) e posteriormente adicionado à água (gota a gota), mantido a mistura em agitador magnético, por 20 min, em temperatura ambiente

As emulsões de óleo essencial de breu branco foram preparadas no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Pará, Campus de Ananindeua.

### 3.4 Obtenção de filme de PVA e AG controle

A síntese dos filmes de PVA e dos filmes de AG, baseou-se no estudo de Shrestha *et al.*, (2023) com adaptações. Os filmes foram obtidos, separadamente, a partir do método *casting*. Para tanto, utilizou-se 1 g de PVA em 100 mL de água destilada (PVA+H<sub>2</sub>O) e 1 g de AG em 100 mL de água destilada (AG+H<sub>2</sub>O). As misturas de PVA+H<sub>2</sub>O e AG+H<sub>2</sub>O foram mantidas sob agitação em agitador magnético durante 5 minutos, a 45°C, e, em seguida, vertidas em placa de Petri. A etapa de secagem foi realizada em estufa com circulação de ar, modelo SX 1.2, da marca Sterilifer por 24 h, à 45 °C.

A obtenção de ambos os filmes de PVA e AG aconteceu no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Pará, Campus de Ananindeua.

### 3.5 Obtenção de blendas amido de gengibre/ PVA

As blendas de amido de gengibre/poli (álcool vinílico) (PVA) foram produzidas pelo método *casting*. Para isso, 0,5g de PVA foi acrescentado em 50 mL de água destilada (condutividade 1,5 µS/cm), a 45°C. A mistura foi mantida sob agitação magnética por 5 minutos e, em seguida, acrescentou-se 0,5 g de AG e mais 50 mL de água destilada. A mistura foi mantida sob agitação em 45°C durante 15 minutos. Em seguida, a emulsão foi vertida em placas de Petri para secagem do filme em estufa sem circulação de ar da marca Sterifiller a 45°C por 24 horas.

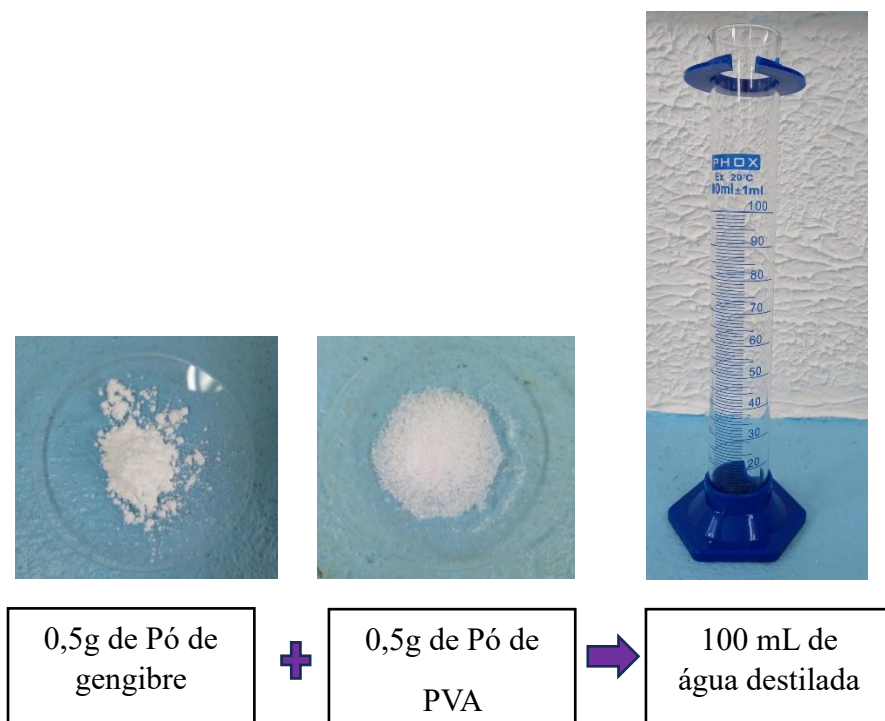
A obtenção do filme da blenda de amido de gengibre/ PVA (BP) ocorreu no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Pará, Campus de Ananindeua.

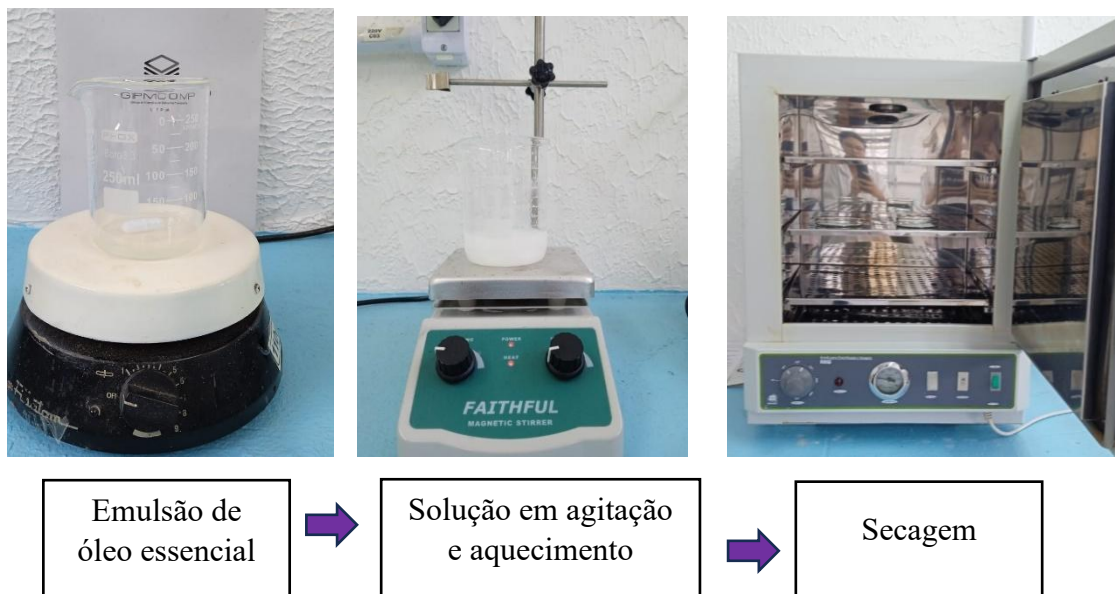
### 3.5.1 Obtenção das blendas com emulsão de óleo essencial de breu branco

Para obtenção das blendas com acréscimo de emulsão de óleo de breu branco, foi realizado o mesmo procedimento detalhado no item 3.5 sendo acrescentado 0,1%, 0,5%, 1% e 5% (v/v) de emulsão de óleo de Breu Branco com a mistura permanecendo em agitação magnética em 45°C durante 20 minutos.

A solução, então, foi vertida em placas de Petri e posteriormente levada para secagem em estufa analógica modelo SX 1.2 da marca Sterilifer, a 45°C, por 24h as blendas obtidas neste trabalho foram baseadas no trabalho de Altaf *et al.*, (2021) as etapas resumidas estão contidas na Figura 10.

Figura 10- Fluxograma das amostras com acréscimo de emulsão de óleo essencial





Fonte: Autor (2025).

A obtenção do filme da blenda de amido de gengibre/ PVA (BP) ocorreu no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Pará, Campus de Ananindeua.

O Quadro 3 abaixo descreve todas as amostras obtidas nesta dissertação.

Quadro 3- Descrição dos filmes obtidos

Sigla	Componentes
AG	Amido de gengibre + água destilada
PVA	PVA+ água destilada
BP	Amido de gengibre + PVA + água destilada
BP 0,1 %	Amido de gengibre + PVA+ 0,1% de emulsão
BP 0,5 %	Amido de gengibre+ PVA+ 0,5% de emulsão
BP 1%	Amido de gengibre+ PVA+ 1% de emulsão
BP 5%	Amido de gengibre/ PVA + 5% de emulsão

Fonte: Autor (2025).

### 3.6 CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO

#### 3.6.1 Cromatografia de fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM)

Os constituintes presentes no óleo essencial foram identificados através da técnica de cromatografia em fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM) em sistema Shimadzu QP-2010 Plus equipado com coluna capilar RTx-5MS (30 m × 0,25 mm; 0,25 µm de espessura de filme) nas seguintes condições operacionais: gás de arraste: hélio, em velocidade linear de 36,5 cm/s; tipo de injeção: sem divisão de fluxo (1 µL da solução preparada com 2 µL do óleo essencial e 1 mL de hexano UV/HPLC 99%); temperatura do injetor: 250°C; programa de temperatura do forno: 60–250°C (3°C/min); espectrômetro de massas: impacto eletrônico, 70 eV; temperatura da fonte de íons e partes de conexão: 220°C. A identificação química foi realizada através da comparação dos espectros de massas e índices de retenção com os de substâncias padrão existentes nas bibliotecas do sistema e com dados da literatura.

Esta análise foi realizada no laboratório Adolpho Ducke (LAD) do Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém-PA, Campus Guamá, UFPA.

#### 3.6.2 Teste de espalhamento dinâmico de luz (DLS) e potencial zeta

O tamanho médio das gotículas e a distribuição de tamanho da suspensão coloidal ou índice de polidispersividade e potencial zeta das emulsões formuladas, foi realizada através do analisador da marca Anton Paar.

Esta análise foi realizada no Laboratório de Compostos Híbridos Interfaces e Colóides, do Departamento de Química Fundamental, da Universidade Federal de Pernambuco.

#### 3.6.3 Teste *in vitro* da emulsão

A cultura pura de *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Candida albicans* (Ruth Brazão, Belém-PA) foi utilizada como bactérias e fungo de teste. As bactérias e fungos foram primeiro inoculadas em ágar cérebro-coração-infusão (BHI) (Ruth Brazão,

Belém-PA) e incubadas a 37 °C por 24 h. Após a incubação, várias colônias das bactérias foram selecionadas e suspensas em caldo Mueller-Hinton (MHB).

O caldo MHB com bactérias foi então incubado a 37 °C por mais 24 h. As cepas foram ativadas e obtidas em uma concentração de  $10^5$  UFC/mL da suspensão celular por diluição seriada.

Para o teste antimicrobiano *in vitro*, discos de papel de filtro nº4 com 6mm de diâmetro, estéreis foram impregnados com 0,01 mL de emulsão de breu e colocados em placas de Petri contendo *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* e *Candida albicans* previamente inoculado com as cepas bacterianas e fúngica. As placas foram incubadas a 37 °C por 24 h após a incubação, o diâmetro da zona de inibição ao redor dos discos foi medido em milímetros. A medição para cada amostra foi feita em triplicata nos tempos t-0, t-3 e t-7 dias. Todo o ensaio *in vitro* foi realizado no Laboratório Ruth Brazão, Belém-PA.

### 3.7 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

#### 3.7.1 Análise visual e cor

Os filmes produzidos foram submetidos às análises visuais e táteis para avaliar: cor, continuidade (ausência de rupturas e fraturas após a secagem), homogeneidade (ausência de partículas insolúveis ou visíveis a olho nu, ou zonas de opacidade ou de cores diferenciadas) e manuseabilidade (possibilidade de ser manuseado sem riscos de ruptura).

As amostras foram analisadas no laboratório de Engenharia de alimentos da UFPA, Campus Belém-Pará.

#### 3.7.2 Colorimetria

A cor foi avaliada em colorímetro portátil (Konica Minolta, CR 400), sendo determinados os parâmetros  $L^*$  (luminosidade),  $b^*$  (intensidade do amarelo),  $C^*$  (vermelhidão). Foram utilizados filmes com 16 cm de diâmetro colocados na superfície de uma placa de leitura branca padrão as medições foram realizadas em 5 pontos aleatórios.

Os parâmetros colorimétricos obtidos, seguem o sistema CIELAB, sendo  $L^*$  que representa a luminosidade e pode variar de 0 para o preto absoluto a 100 para o branco total,  $a^*$  a coordenada que varia do verde (-) ao vermelho (+) e  $b^*$  a coordenada que varia do azul (-) ao amarelo (+).

As amostras foram analisadas no laboratório de Engenharia de alimentos da UFPA, Campus Belém-Pará.

### 3.7.3 Microscopia eletrônica de Varredura (MEV)

A análise morfológica foi realizada por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando microscópio TESCAN, modelo Mira3, com canhão de elétrons tipo FEG (field emission gun). As amostras foram fraturadas em nitrogênio líquido por 30 segundos e metalizadas com ouro (Au) por 2 minutos, formando um revestimento sobre a amostra com espessura média de 10 a 15 nm. As imagens foram geradas por detecção de elétrons secundários, utilizando aceleração de voltagem de 5kV e distância de trabalho variando entre 25 e 10 mm.

A micrografia da amostra (PG) foi transferida para o software *Image J*, versão 1.51n (National Institute Health, Nova York, NY, EUA) para medição do tamanho de partículas foi adotada a medição de 50 partículas.

A micrografia de cada amostra foi obtida no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura do Museu Emílio Goeldi do Pará (MPEG).

### 3.7.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

As amostras foram analisadas por FTIR e, como pré-tratamento, as amostras foram secas a 60°C por 24 horas. Os espectros no infravermelho das amostras requeridas foram obtidos por espectrofotômetro (FTIR), marca BRUKER referente ao modelo VERTEX 70v na região espectral de 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ , 100 scans e resolução de 8  $\text{cm}^{-1}$ .

Esta análise foi realizada no laboratório de Espectroscopia vibracional e altas pressões localizado no Programa de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Pará (PPGF/UFPA).

### 3.7.5 Análise térmica (TGA/DTG/DSC)

O comportamento térmico dos filmes foi investigado por análise termogravimétrica (TGA/DTG) e por Calorimetria diferencial exploratória (DSC) em um analisador térmico simultâneo da Hitachi, NEXTA STA 300, em fluxo de 100 mL/min de N<sub>2</sub>, uma faixa de temperatura de 25 a 800°C e taxa de aquecimento de 10 °C/min.

Esta análise aconteceu no laboratório localizado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Recursos Naturais da Amazônia da Universidade Federal do Pará (PRODERNA/UFPA).

### 3.7.6 Percentual intumescimento

O percentual de intumescimento dos filmes (PI) foi realizado em amostras com diâmetro de 2 cm com água destilada (pH = 8,0) com o total de quatro medidas para cada composição.

O comportamento de intumescência foi avaliado em 1, 2, 3 e 24h. As amostras inicialmente foram pesadas em balança analítica digital (ChyoBrand, modelo JK 200, Tokio, Japão) e, em seguida, imersas em placas de Petri com 10 mL de água destilada. Após cada período de análise, os filmes úmidos foram removidos do meio, e o excesso de líquido removido da superfície com papel filtro.

A capacidade de absorção foi determinada por meio da diferença das amostras úmidas em relação às amostras secas conforme a equação (1):

$$PI (\%) = \left( \frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

Onde PI é o percentual de intumescimento (%), Mi: Massa inicial antes do intumescimento (g), Ms: Massa final após o intumescimento (g).

Este teste foi obtido no Laboratório Caracterização de Materiais da UFPA (LACMAT), do Campus Ananindeua-Pará, adotando como medida para este resultado o total de quatro amostras para cada composição.

### 3.7.7 Determinação da umidade

O percentual de umidade (*PU*) dos filmes foi determinado pelo método gravimétrico, através da pesagem da massa inicial ( $m_i$ ) e da massa final ( $m_f$ ) das amostras de cada filme, após 24 horas em estufa analógica (Sterilifer -modelo SX 1.2) a 105 °C, após esse período foi obtida a massa final, de acordo com a equação (2):

$$PU(\%) = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

A determinação do percentual de umidade dos filmes aconteceu no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFPA, Campus Ananindeua-Pará, também foi adotado como medida para este resultado o total de quatro amostras para cada composição.

### 3.7.8 Determinação da solubilidade

Os filmes de diferentes composições contendo medidas 1,5 cm x 4 cm foram secos em estufa sem circulação de ar (SolidSteel) a 100 °C por 24 horas e pesados inicialmente com balança analítica. As amostras desidratadas foram imersas em 50 mL de água destilada e mantidas em repouso por 24 horas em temperatura ambiente. Após esse período, o excesso de água e removido e as amostras são novamente secas em 100 °C por 24 horas.

A determinação da solubilidade foi calculada de acordo com a equação (3):

$$\%S = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \% \quad (3)$$

%S: Solubilidade

Mi: massa inicial (g).

Mf: massa final (g).

Este teste foi realizado no Laboratório de Caracterização de Materiais da UFPA (LACMAT), Campus Ananindeua-Pará, adotou-se como medida para este resultado o total de quatro amostras para cada composição.

### 3.8 ENSAIO DOS FILMES

#### 3.8.1 Ensaio de tração

Obedecendo os critérios da ASTM D882-18 foram preparados os corpos de prova dos filmes com dimensões de 25,0 mm de largura e 75,0 mm comprimento. Para realização do ensaio foi utilizado a máquina universal INTERMETRIC iM50 conforme a Figura 11, com célula de carga de 5 kN, a uma taxa de carregamento com velocidade de 2 mm/min.

Figura 11- Máquina Universal INTERMETRIC utilizada no ensaio de tração



Fonte: Autor (2025).

O ensaio foi realizado no laboratório de Caracterização dos Materiais (LACMAT), da Universidade Federal do Pará, Campus Ananindeua o ensaio utilizou seis corpos de prova para cada composição.

### 3.9 Análise estatística

Os resultados de colorimetria, intumescimento, umidade, solubilidade e ensaio de tração das amostras foram validados por meio da análise de variância (ANOVA), com significância verificada pelo teste de Tukey a 95% ( $p < 0,05$ ) utilizando o software PAST versão 14.0.0.15 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMULSÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO

#### 4.1.1 Cromatografia de fase gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM)

Os componentes químicos voláteis do óleo essencial de breu branco do estudo em questão estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química do óleo essencial de breu branco. Os componentes majoritários estão indicados pelo asterisco (\*) e coloração azul

Identificação	%
$\alpha$ -Tujeno	0,78
<b><math>\alpha</math>-Pineno</b>	<b>9,56 (*)</b>
Canfeno	1,09
Sabineno	1,87
$\beta$ -Pineno	1,57
<b>p-Mento-3-eno</b>	<b>2,91 (*)</b>
Mirceno	0,25
<b>p-Mento-2-eno</b>	<b>6,79 (*)</b>
$\alpha$ -Felandreno	2,91
3-Careno	0,87
$\alpha$ -Terpineno	2,56
p-Mento-1-eno	1,13
<b>p-cimeno</b>	<b>39,98 (*)</b>
<b>D-Limoneno</b>	<b>12,23 (*)</b>
Eucaliptol	1,02
$\gamma$ -Terpineno	1,23
$\alpha$ -Terpinoleno	3,86
Fenchol	0,46
p-Mentano-8-ol	3,56
Terpinen-4-ol	1,68
p-Cymen-8-ol	0,37

$\alpha$ -Terpineol	0,55
Copaeno	0,25
Compostos minoritários (< 0,20 %)	1,58
Compostos não identificados	3,40

Fonte: Autor (2025).

Foram identificados 23 componentes no óleo essencial, conforme apresentado na Tabela 1. Os principais constituintes foram o p-cimeno (39,93%), o D-limoneno (10,79%), o  $\alpha$ -pineno (9,71%), o p-mento-2-eno (6,76%) e o p-mento-3-eno (2,90%). Os demais compostos apresentaram quantidades menores, porém são relevantes para comparação com outros estudos.

Os resultados obtidos estão em conformidade com os dados reportados na literatura. Rocha *et al.*, (2022), por exemplo, analisaram os óleos essenciais de *Protium heptaphyllum* e identificaram os monoterpenos como os compostos predominantes. Entre eles, o p-cimeno apresentou a maior concentração, seguido por  $\alpha$ -terpineol,  $\alpha$ -pineno e  $\alpha$ -felandreno.

Mendes *et al.*, (2019) identificaram no *Protium heptaphyllum* resinas ricas em monoterpenos voláteis, cuja composição química pode variar ao longo do tempo. Essas variações foram atribuídas a mudanças em fatores ambientais, como umidade, temperatura e características do solo. No presente estudo, o óleo essencial de *Protium heptaphyllum* apresentou 97,4% de monoterpenos, com destaque para o  $\beta$ -felandreno (60,68%) e o p-cimeno (13,63%).

Com base nisso, o p-cimeno, identificado como o principal marcador químico em maior concentração nos óleos essenciais de breu branco, é um monoterpeno monocíclico amplamente estudado por sua bioatividade. Além disso, é classificado como "Generally Recognized as Safe" (GRAS) pela Administração de Alimentos e Medicamentos dos Estados Unidos (FDA), conforme relatado por Tian *et al.*, (2018).

Diferentes estudos têm explorado a presença do p-cimeno em relação às suas atividades biológicas. Sharifi-Rad *et al.*, (2017), por exemplo, investigaram o potencial antiviral de nanoemulsões contendo p-cimeno contra o vírus *Herpes simplex* tipo 1. Os resultados demonstraram que o composto foi capaz de inibir a replicação viral em concentrações inferiores a 0,1% do óleo.

Tian *et al.*, (2018) estudaram a atividade antiaflatoxigênica do composto p-cimeno contra *Aspergillus flavus*, revelando suas propriedades antifúngicas e antiaflatoxigênicas. Esses resultados são particularmente relevantes para o uso seguro do p-cimeno em seres humanos, que frequentemente estão expostos à contaminação por diversos agentes.

Faustino *et al.*, (2021) também identificaram o p-cimeno (27,70%) como o composto predominante nos óleos essenciais, seguido pelo  $\alpha$ -pineno (22,31%). Além disso, desenvolveram uma nanoemulsão à base de *Protium heptaphyllum* e avaliaram sua atividade biocida contra diferentes estágios de desenvolvimento do mosquito *Aedes aegypti*, alcançando resultados promissores para o controle químico desse vetor.

Enquanto, Da Cruz Albino *et al.*, (2021) investigaram o uso de fumos medicinais derivados das oleorresinas de breu da família *Burseraceae*, cuja composição química é predominantemente terpenoide. Esses compostos são transferidos para a fumaça sem alterações por meio da volatilização direta da resina bruta. Evidências farmacológicas sugerem que esses componentes podem ter efeitos benéficos no controle da cefaleia, embora mais estudos sejam necessários para avaliar os efeitos reais da inalação e sobre a segurança da inalação.

Concomitante, a isso percebe-se variações nos percentuais dos compostos químicos identificados nos óleos essenciais em relação aos estudos existentes estas podem ser atribuídas a fatores intrínsecos à planta, como a localização geográfica, as condições climáticas, o estágio de desenvolvimento ou a idade da planta, entre outros. Além disso, fatores como a volatilidade dos componentes, a oxidação e os métodos de extração também podem influenciar esses resultados (Haro-González *et al.*, 2021).

#### 4. 1.2 Teste de Espalhamento dinâmico da luz (DLS) e potencial zeta da emulsão

Na Tabela 2, são mostrados os valores do tamanho médio das gotas e o índice de polidispersividade (PDI) e potencial zeta da emulsão.

Tabela 2- Tamanho médio da gota e polidispersividade da emulsão do óleo de breu branco e potencial zeta.

<b>Amostras</b>	<b>Tamanho médio das gotículas (nm)</b>	<b>Índice de Polidispersividade (PDI)</b>	<b>Potencial zeta (mV)</b>
Resultado	120,495 (±13,3148)	0,277 (±3,516153)	-6,533 (±2,9501)

Fonte: Autor (2025).

Mediante a Tabela 2, a emulsão produzida apresentou um tamanho médio de partículas de  $120,495 \pm 13,31482$  nm e índice de polidispersidade (PDI) de  $0,277 \pm 3,516153$  nm respectivamente.

Segundo Alqarni *et al.*, (2023) o pequeno tamanho das partículas confere à emulsão uma alta relação superfície/volume, valores de PDI próximos de 0 sugerem uma fase dispersa mais homogênea e estável assim como boa uniformidade e tamanho de partículas.

O tamanho médio das partículas de 120,4 nm tem um impacto significativo na absorção, no corpo humano partículas próximas de 100 nm indicam excelente biocompatibilidade e bioatividade (Alqarni *et al.*, 2023).

Faustino *et al.*, (2021) prepararam nanoemulsões através do método de inversão de fase sem aquecimento, contendo óleo de breu (*Protium heptaphyllum*), com tamanho de gotícula de  $109 \pm 0,75$  nm e PDI de  $0,29 \pm 0,007$  logo após a produção. Os resultados mostraram liberação bioativa e efeito ótimo dos terpenos de *Protium heptaphyllum* em meio aquoso, além de entrega satisfatória o efeito repelente de produtos naturais de plantas foi identificado como uma forma eficaz de prevenir a proliferação de mosquitos.

De acordo com Campolo *et al.*, (2020) ao produzir nanoemulsões através do método de emulsificação espontânea de óleo em água (óleo/água) utilizando sete óleos

comerciais (anis, artemísia, erva-doce, lavanda, hortelã-pimenta, alecrim, sálvia), e diferentes surfactantes não iônicos (Tween-20 e Tween-80) com o objetivo de identificar parâmetros para produzir nanoformulações estáveis. Os resultados sugerem que essas nanoformulações apresentaram boa estabilidade ao longo do tempo, com aumentos relativamente pequenos nos valores de PDI e tamanho de gotículas.

Segundo Sharma, Farmaha e Kaur (2020), a produção de uma nanoemulsão de óleo essencial de *Eucalyptus globulus* demonstrou que a redução no tamanho das partículas facilita uma maior penetração nas células bacterianas. Esse processo potencializa a atividade antibacteriana do óleo essencial de eucalipto, aumentando sua eficácia sem comprometer a integridade da membrana celular.

Esse efeito antibacteriano está alinhado com os achados de Ghavidel *et al.*, (2021), que prepararam uma nanoemulsão óleo/água de própolis e, por meio de análise de DLS, identificaram partículas de 134,6 nm com PDI de 0,301. A nanoemulsão apresentou alta atividade antibacteriana contra *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*, reforçando que o controle do tamanho e da uniformidade das partículas é crucial para a eficácia antibacteriana em diferentes sistemas nanoestruturados.

Portanto, a emulsão de óleo essencial de breu branco apresenta vantagens em termos de menores tamanhos de gotículas e maior homogeneidade no material, o que contribui para sua possível estabilidade e eficácia.

Com base na Tabela 3, o resultado do potencial zeta próximo a zero sugere aglutinação das partículas devido às forças de Van der Waals em interação dipolo-dipolo. Tal resultado também foi observado por Wei *et al.*, (2024), que observaram que o método de produção influencia na eletronegatividade ao utilizarem óleo essencial de canela estabilizado com surfactante não iônico. Os autores observaram também uma eletronegatividade negativa, possivelmente devido ao uso de ultrassom, que induziu grupos ionizáveis na superfície do óleo essencial (Wei *et al.*, 2024).

Maillard *et al.*, (2021) discutiram o potencial zeta em sistemas bacterianos e no desenvolvimento de novos antimicrobianos, enfatizando a importância desse parâmetro. Apesar da complexidade de estudar cargas superficiais em organismos vivos, estudos apoiam o uso proposto desta técnica para explorar processos de superfície em bactérias e comparar seu potencial antimicrobiano através desta técnica.

Faustino *et al.*, (2022) utilizando o método de inversão de fase sem aquecimento, avaliou o potencial zeta da nanoemulsão de *Protium heptaphyllum* o qual apresentou um

valor de  $-21,7 \pm 1,10$  mV após a produção e de  $-29,63 \pm 3,46$  mV após 14 dias a nanoemulsão foi recomendada para controle de vetor aéreo devido sua estabilidade.

Ercin *et al.*, (2022) observaram que as nanoemulsões oleosas apresentaram valores negativos e baixos de potencial zeta devido às interações eletrostáticas entre as partículas. Um potencial zeta negativo, como o observado nas nanopartículas de óleo essencial de *Laurus nobilis* L. ( $-10,5 \pm 0,4$  mV) e de *Cinnamomum* ( $-7,87 \pm 1,15$  mV), sugere que as partículas possuem carga superficial negativa, o que pode resultar em maior repulsão entre elas e contribuir para a estabilidade da dispersão. No entanto, valores baixos de potencial zeta também indicam que a repulsão eletrostática não é suficientemente forte para garantir estabilidade coloidal duradoura, tornando as nanoemulsões mais suscetíveis à floculação ou coagulação sob determinadas condições.

Wei *et al.*, (2024) observaram que o método escolhido para produção de nanoemulsão influencia na eletronegatividade pois ao utilizar óleo essencial de canela estabilizada com surfactante não iônico registrou eletronegatividade negativa, possivelmente devido ao uso de ultrassom, que induziu grupos ionizáveis na superfície do óleo essencial.

Metayi *et al.*, (2022) identificaram que a nanoformulação de olíbano apresentou um potencial zeta negativo de  $-29,8$  mV. O autor descreve critérios importantes onde a estabilidade coloidal é influenciada pelo valor do potencial zeta sendo valores entre 0 e 5 indicam coagulação ou floculação rápida, entre 10 e 30 sugerem instabilidade inicial, entre 30 e 40 indicam estabilidade moderada e valores de 40 a 60 indicam boa estabilidade.



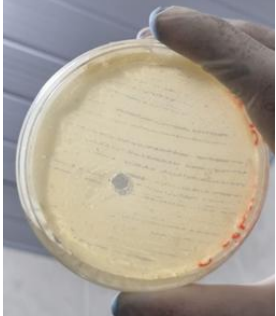
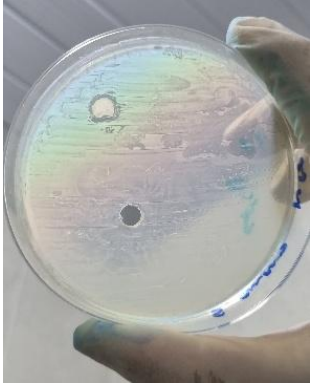
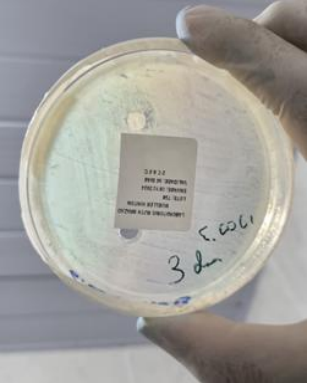
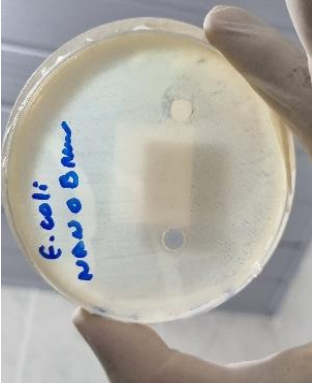


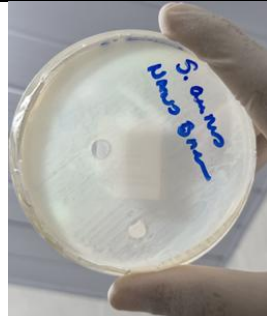
Guo *et al.*, (2024) notou ainda que os óleos essenciais de lavanda alteram significativamente o potencial zeta das membranas da bactéria *E. coli*, o que está associado ao aumento da permeabilidade da membrana. A medição do potencial zeta pode ser um parâmetro importante que reflete o estado metabólico bacteriano e os potenciais de membrana das bactérias com valores negativos mais altos indicando uma maior taxa de crescimento.

Em resumo, um valor de potencial zeta de  $-6,53$  mV sugere que as partículas em suspensão possuem carga negativa, o que implica em certa repulsão entre elas. Os resultados indicam que existe repulsão, no material e pode ser necessário adotar medidas para aumentar a estabilidade da suspensão, dependendo da aplicação e tempo de armazenamento.

### 4.1.3 Ensaio biológico da emulsão

A atividade antifúngica e antibacteriana, foi testada frente a cepas *C. Albicans*, *E. coli*, *S.aureus*, obtidas através de emulsão estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3- Teste de atividade antifúngica e antibacteriana frente as cepas contendo *C. albicans*, *E.Coli*, *S.aureus*.

Cepas	0 dia	3 dias	7 dias
<i>C.albicans</i>			
	0	0	0
<i>E.Coli</i>			
	7,366667 ( $\pm 0,11547$ )	6,733333 ( $\pm 0,46428$ )	6,2 ( $\pm 0,08165$ )
<i>S.aureus</i>			
	7,7 ( $\pm 0,360555$ )	7,933333 ( $\pm 0,152753$ )	7,166667 ( $\pm 0,64291$ )

Fonte: Autor (2025).

Nota-se que a ação antifúngica não foi observada, sugerindo que o óleo de breu, não atua contra as atividades do fungo *C. albicans*, porém ainda pode ser investigada sua ação contra outras colônias de fungos.

Baseado nisto a formulação da emulsão pode não conter o princípio ativo antifúngico adequado ou em concentração suficiente para inibir o crescimento do fungo. Além disso, o excipiente ou os componentes da emulsão podem interagir negativamente com o princípio ativo, reduzindo sua eficácia emulsão pode não conseguir penetrar na membrana celular do fungo ou na barreira da matriz extracelular fúngica, o que impede o princípio ativo de atingir seu alvo (Berto *et al.*, 2018).

Por outro lado, ao avaliar a capacidade antibacteriana da emulsão, percebe-se que a ação tanto para *E. coli* quanto com *S. aureus* é positiva, uma vez que foram observadas zonas de inibição.

Com 7 dias, comparando todas as cepas estudadas, a *S. aureus* apresentou maior atividade antibacteriana quando comparada com as cepas restantes, seguido da *E. Coli* e *C. albicans* que não apresentou resposta.

Além disso, é possível inferir que a emulsão apresentou melhor ação antibacteriana contra bactérias Gram-positivas (cepas sensível e resistente de *S. aureus*) do que em bactérias Gram-negativas (cepas sensíveis e resistentes de *E. coli*). Uma hipótese para essa diferença de sensibilidade é levantada por Balakrishnan *et al.*, (2014), sendo associada a diferenças estruturais e de composição da membrana desses dois grupos. As bactérias Gram-negativas possuem uma membrana externa que serve como uma barreira impermeável para pequenas moléculas, podendo impedir a ação das partículas da emulsão (Balakrishnan *et al.*, 2014).

Guo *et al.*, (2020) comparou a eficácia antimicrobiana do óleo de tomilho isolado versus a nanoemulsão de tomilho revelando eficácia dez vezes mais forte do que a do óleo essencial puro. O encapsulamento do óleo essencial através do método de nanoemulsão permitiu que as moléculas hidrofóbicas do óleo essencial tivessem maior contato com a superfície das membranas celulares de *E. coli*, permitindo sua ruptura e vazamento de constituintes celulares. Foi possível concluir que o óleo essencial puro não conseguia interagir facilmente com a superfície da membrana celular devido à sua hidrofobicidade.

Guo *et al.*, (2024) estudaram a combinação de eucaliptol e cefradina e presumiu que as propriedades antibacterianas dos óleos essenciais são devidas à sua capacidade de romper membranas bacterianas. Estes relataram que os óleos essenciais da árvore do chá

podem causar vazamento de material intracelular e fluxo de íons de potássio em *E. coli* e *S. aureus* indicando melhor atividade antibacteriana.

A importância do teste *in vitro* realizado neste trabalho consiste na relevância da bactéria gram-positiva *S. aureus* um dos patógenos integrantes do grupo ESKAPE (grupo de bactérias multirresistentes e altamente virulentas, reconhecidos como os principais causadores de infecções relacionadas aos cuidados de saúde em nível global, com significativa resistência aos antimicrobianos (Mosallam *et al.*, 2023).

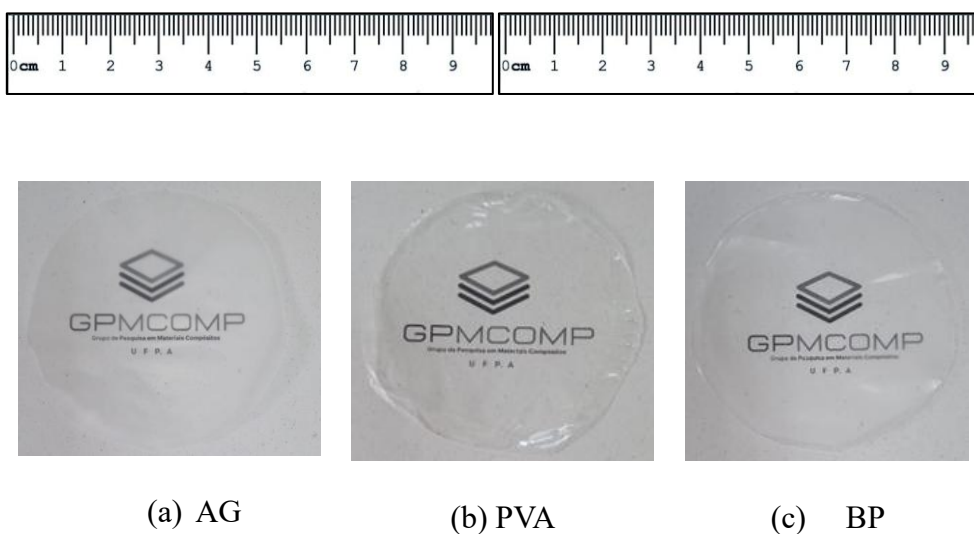
Bactérias resistentes representam um desafio mundial, especialmente devido à redução contínua no número de novos antibióticos eficazes e seguros. Uma alternativa para combater infecções persistentes é a realização de novos testes buscando materiais que possam realizar atividade antibacteriana, o que pode reduzir o tempo e os custos associados ao desenvolvimento de novos fármacos (Mosallam *et al.*, 2023).

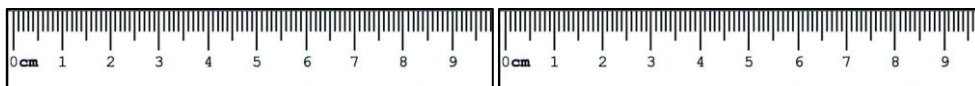
### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES

#### 4.3.1 Aspecto visual

Na Figura 12 são apresentados os resultados obtidos quanto aos aspectos visuais dos filmes em amostras controle e dos filmes com diferentes porcentagens de emulsão.

Figura 12- (a) Filme de AG, (b) Filme de PVA, (c) Blenda Pura, (d) Blenda BP 0,1%, (e) Blenda BP 0,5 %, (f) Blenda BP 1% e (g) Blenda BP 5%





(d) BP 0,1%



(e) BP 0,5%



(f) BP 1%



(g) BP 5%

Fonte: Autor (2025).

As amostras controle amido de gengibre (AG), poli (álcool vinílico) e blenda pura sem adição de óleo (BP), denominadas como (a), (b) e (c) respectivamente, apresentaram superfícies lisas, homogêneas e sem bolhas. Em relação ao manuseio, as amostras mencionadas foram facilmente removidas das placas de poliestireno, sem que houvesse o rompimento do material e se destacaram pela transparência nítida e superfície incolor.

Os filmes com acréscimo de 0,1% de emulsão (BP 0,1%) e 0,5% de emulsão (BP 0,5%), denominadas (d) e (e), respectivamente, exibiram superfícies homogêneas, sendo que a BP 0,1% (d) apresentou um aspecto mais brilhante, sem bolhas, e fácil manuseio, quando comparada à BP 0,5% (e) (Wang; Chen e Xie, 2022).

Ao incorporar a emulsão do óleo essencial de Breu Branco, observou-se visualmente uma ligeira diferença na coloração dos filmes, especialmente nas amostras com maior concentração de óleo. Esse efeito foi mais evidente nas amostras BP 1% (f) e BP 5,0% (v/v) (g) da emulsão oleosa, que apresentaram uma cor branca mais pronunciada, aparência menos homogênea e, na análise tátil, mostraram-se de difícil manuseio. Os

resultados obtidos neste estudo são semelhantes aos relatados por Wang; Chen e Xie (2022).

Os dados indicam que a metodologia utilizada pode ter levado à formação de gotículas de óleo em pequena escala, resultando em uma distribuição mais homogênea do óleo no polímero. Isso contribuiu para uma melhor interação entre a emulsão com a matriz polimérica, como observado por Paranhos *et al.*, (2022).

Além disso, os filmes apresentaram um aspecto incolor, o que é fundamental para facilitar a visualização da condição da ferida no curativo aplicado à pele Paranhos *et al.*, (2022).

Os filmes BP 1% e BP 5% apresentaram resultados semelhantes por Zhou *et al.*, (2021), que indicaram que a infiltração de óleo essencial de canela poderia alterar a cor dos filmes, resultando em amarelecimento ou escurecimento. Essas mudanças na cor dos filmes foram provavelmente atribuídas ao óleo essencial de canela.

Mehdizadeh *et al.*, (2020) também relataram que o uso de óleos essenciais pode causar escurecimento nos filmes. O estudo demonstrou que as interações entre a água e as gotículas de óleo na estrutura do filme de quitosana (CH) afetam a transparência total do material, e que óleos com propriedades hidrofóbicas podem reduzir a transparência.

#### 4.3.2 Colorimetria

A cor dos filmes foi realizada através da técnica de colorimetria e estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros colorimétricos dos filmes estudados

<b>Parâmetros</b>	<b>AG</b>	<b>PVA</b>	<b>BP</b>	<b>BP 0,1%</b>	<b>BP 0,5%</b>	<b>BP 1%</b>	<b>BP 5%</b>
L*	46,41 ±0,04	52,64 ±0,34	68,82 ±0,55	68,06 ±0,03	51,32 ±0,07	48,69 ±0,01	54,65 ±0,43
b*	3,6106 ±0,01	2,572 ±0,01	2,59 ±0,01	3,024 ±0,01	2,536 ±0,24	2,91 ±0,01	2,374 ±0,01
a*	0,798 ±0,01	2,918 ±0,01	2,304 ±0,18	2,314 ±0,01	2,766 ±0,01	2,52 ±0,01	2,85 ±0,01

Fonte: Autor (2025).

A Tabela 4 acima apresenta os parâmetros de colorimetria sendo L\* (luminosidade), b\* (intensidade amarela), a\* (vermelhidão).

Para o parâmetro L\* (luminosidade), foi observado que o filme AG apresentou o menor índice de luminosidade, com um valor de 46,41. Em contraste, a blenda BP apresentou os maiores valores, sendo 68,82 para BP e 68,06 para BP 0,1%. Já a blenda BP 1% registrou um valor relativamente baixo de luminosidade 48,69 o que a caracteriza como uma amostra mais escura.

O parâmetro L\* representa a luminosidade no sistema de cores, onde valores próximos de 0 indicam tonalidades mais escuras, enquanto valores próximos de 100 correspondem a tonalidades mais claras.

Adicionalmente, os valores de L\* observados neste estudo revelam uma tendência predominante à luminosidade branca, indicando que, apesar das diferentes composições utilizadas, os filmes mantiveram características de maior clareza (Sanchez *et al.*, 2022).

Enquanto, os valores do parâmetro b\* (intensidade amarela) indicam que o filme AG, com um valor de 3,6106 apresentou a tonalidade mais amarelada, enquanto o filme BP 5%, com um valor de 2,374 exibiu a menor intensidade de amarelo entre as composições analisadas.

O parâmetro b\* reflete a variação de cor azul (-) e amarela (+), o parâmetro b\* manteve-se praticamente estável em diferentes concentrações de emulsão oleosa, indicando cor amarela nos filmes (Sanchez *et al.*, 2022).

Para o parâmetro a\* (tonalidade vermelho-verde) analisando as composições registrou-se maior valor para o PVA (2,918), enquanto o AG (0,798) exibiu menor valor para este parâmetro.

O parâmetro a\* é analisado através de coordenadas onde valores positivos (+) indicam tonalidade verde e valores negativos (-) indicam tonalidade vermelha.

Para todas as composições analisadas, o parâmetro a\* apresentou médias positivas, mas próximas de zero, indicando uma leve tendência à coloração verde. Essas variações nos parâmetros colorimétricos podem ser atribuídas às alterações estruturais e químicas ocorridas nos filmes (Nieto-Suaza *et al.*, 2019).

Resultados semelhantes foram relatados por Sanchez *et al.*, (2022), que investigou filmes comestíveis ativos à base de amido de banana e nanoemulsões incorporados com curcumina. Nesse estudo, os valores de luminosidade (L\*) apresentaram alteração estatística com o aumento da concentração da nanoemulsão.

De forma semelhante, Zhou *et al.*, (2023) produziram filmes antimicrobianos compostos por amido de batata e poli (álcool vinílico) incorporados com óleo essencial de cravo. Esses filmes apresentaram valores de luminosidade próximos de 100, trazendo uma coloração mais clara, e também exibiram alterações estatísticas nos parâmetros avaliados devido a incorporação da emulsão.

Singh *et al.*, (2023) analisaram nanocompósitos biodegradáveis à base de amido de milho reforçados com nanoemulsão de óleo de capim-limão e nanocristal de amido. Os filmes carregados com nanocristais de amido foram preparados reforçando com 0,5, 1 e 2% p/v em mistura de amido/glicerol com diferentes concentrações estudadas foi observada alteração estatística significativa também.

A partir disso, concluiu-se que o método gel *casting* alterou significativamente o parâmetro L\* indicando forte tendência a cor clara.

Sanchez *et al.*, (2022) também obtiveram cores positivas para o parâmetro b\* relacionado cor amarelo natural esse efeito foi relacionado a cor obtida na nanoemulsão oleosa e alteração significativa.

Farajpour (2020) atribuiu a tonalidade amarela dos filmes à presença de azeite de oliva e partículas de zeína, que intensificam essa coloração. A zeína, devido à sua composição química, apresenta um pigmento amarelo marcante, além de conter uma fração menor de xantofilas. Esses fatores podem estar relacionados aos resultados observados, indicando a influência da composição química, na intensificação da coloração amarelada dos filmes.

Nieto-Suaza *et al.*, (2019) relataram para o parâmetro b\* comportamento similar ao presente estudo ao incorporar óleo vera e curcumina nanoencapsulada a presença da cor amarela se intensificou. Esse comportamento pode ser atribuído à cor amarelo-alaranjada natural da emulsão obtida que pode ser atribuída a altos valores positivos do parâmetro b\* indicando que a emulsão de breu possui está tendência.

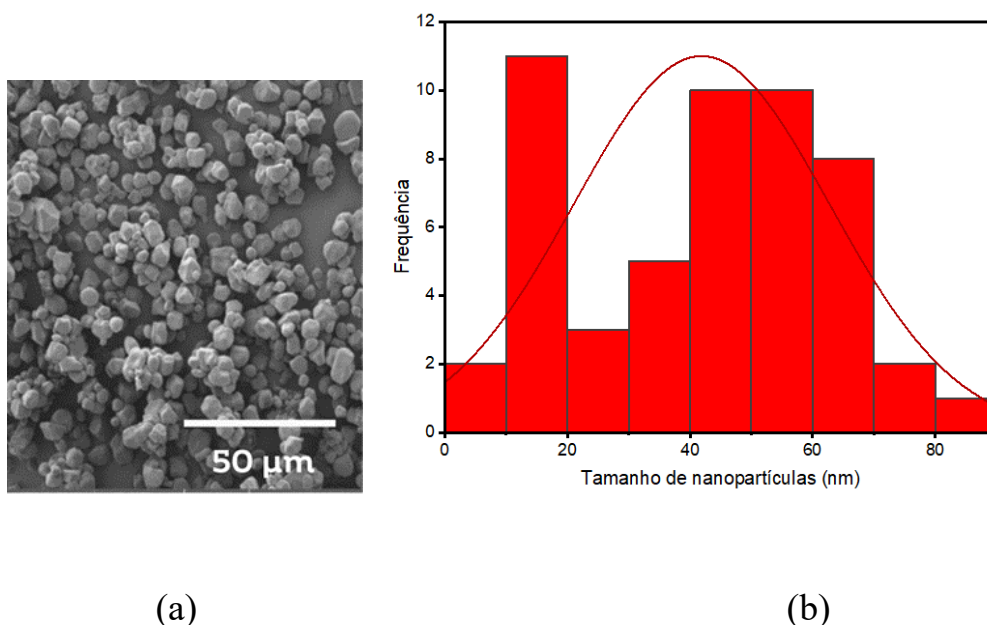
Os resultados foram análogos com Sanchez *et al.*, (2022) identificou o parâmetro a\* notou aumento significativo do filme controle ( $0,27 \pm 0,21$ ) para  $2,08 (\pm 0,28)$  conforme a concentração da nanoemulsão aumentou indicando que o parâmetro e bastante sensível ao aumento de nanoemulsão na matriz polimérica.

Nota-se que, devido ao seu pequeno tamanho de partícula, as emulsões incorporadas em filmes não têm efeito significativo na transparência do filme, pois seu pequeno tamanho de partícula não tem um efeito significativo na transmissão de luz através do filme, mantendo assim a transparência do filme (Oliveira *et al.*, 2019)

### 4.3.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A micrografia da amostra de pó de gengibre (PG), na Figura 13 (a) foi obtida através de Microscopia eletrônica de Varredura (MEV) com aumento de 1000x enquanto a Figura 13 (b) apresenta a frequência e tamanho de partículas da micrografia para medição de 50 partículas.

Figura 13- Micrografia da amostra de pó de gengibre com aumento de 1000x (a) e (b) Relação entre frequência e tamanho de partículas.



Fonte: Autor (2025).

A micrografia da Figura 13 (a) exibiu grânulos com configuração poliédrica predominante. Sua superfície varia entre lisa e ocasionalmente rugosa, apresentando ausência de rachaduras, indicando semelhança com matrizes proteica densa. Alguns grânulos mostraram-se com uma forma arredondada, possivelmente atribuída ao elevado teor de amilose, resultado semelhante com o estudo de De Souza *et al.* (2021).

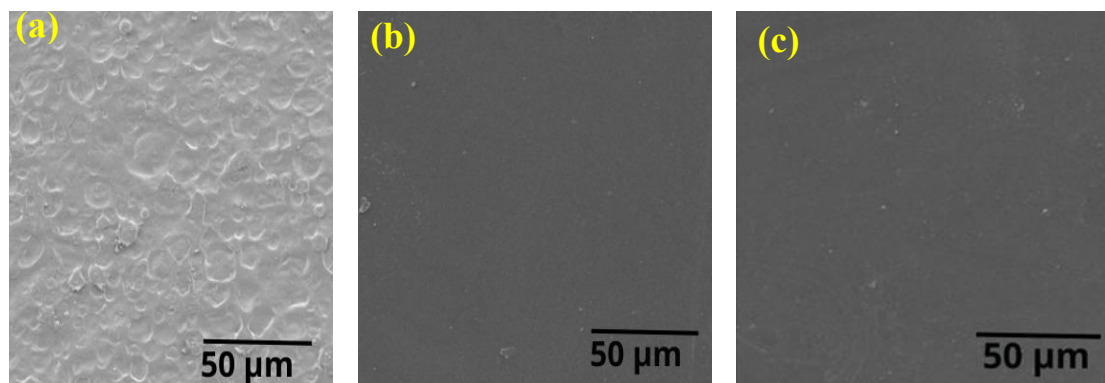
Enquanto, no gráfico da Figura 13 (b) e possível observar que para uma população de 50 medidas a média de partículas apresenta tamanho irregular e distribuição aleatória

de aglomerados em escala nanométrica com média aritmética de 41,88522 nanômetros (nm) ( $\pm 4,3951$ ).

O benefício de adquirir nanopartículas em dimensões nanométricas reside na maior eficácia antibacteriana, que se manifesta notavelmente mais intensa em comparação com partículas tradicionais, mostrando-se favorável para o tratamento de doenças causadas por bactérias (Baig; Kammakakam; Falath, 2021).

A morfologia das amostras poliméricas controle sem emulsão de óleo essencial de Breu Branco foi avaliada por microscopia eletrônica de varredura e apresentadas na micrografia da Figura 14.

Figura 16- Morfologia do pó de gengibre e dos filmes investigados (a) amido de gengibre (AG) (1000x), (b) Filme de PVA (1000x), (c) Blenda BP (1000x)



Fonte: Autor (2025).

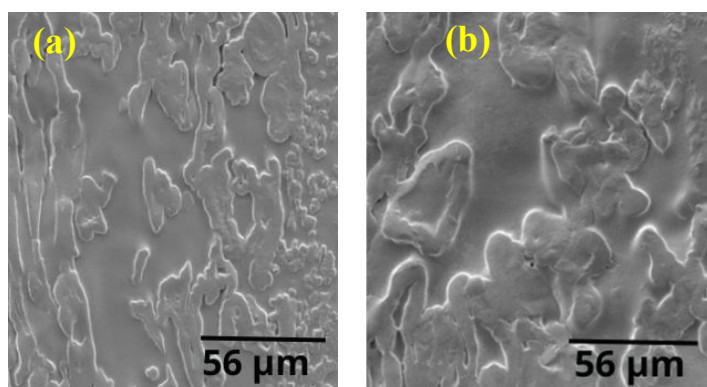
A micrografia da Figura 14 (a) exibiu grânulos ligeiramente inchados, resultado da dissolução parcial do amido, apresentando uma configuração externa semelhante aos grânulos iniciais de amido. Essas configurações são denominadas envelopes granulares (Atikin; Abeseykera; Robards, 1998).

Nota-se na micrografia 14 (b) de PVA morfologia homogênea e lisa no filme e raros agregados (partículas) na matriz polimérica. Enquanto, na micrografia da Figura 14 (c) nota-se predominantemente superfície lisa, sem rachadura ou fissura. Nota-se ainda poucas aglomerações, provavelmente de amido de gengibre ou PVA não solubilizado.

A interação positiva entre os polímeros era esperada devido ao caráter hidrofílico tanto do amido quanto do PVA, e confirmada pela técnica de FTIR conforme observado por Zanela *et al.*, (2019).

A morfologia das amostras poliméricas com emulsão de óleo essencial de Breu Branco foi analisada por microscopia eletrônica de varredura e apresentadas na micrografia da Figura 15.

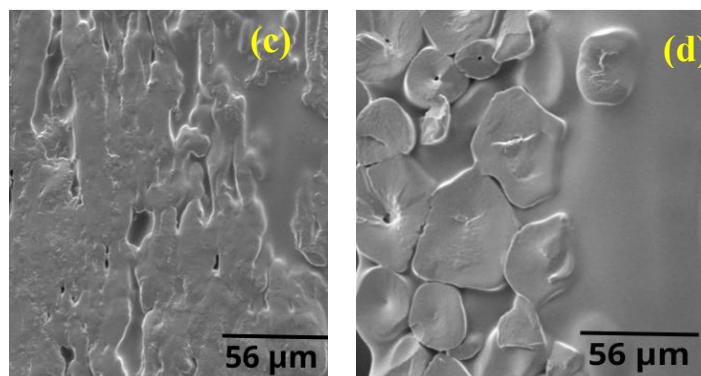
Figura 15- (a) Blenda BP 0,1% (5000x), (b) Blenda BP 0,5 % (5000x), (c) Blenda BP 1,0% (5000x) e (d) Blenda BP 5,0% (5000x)



Fonte: Autor (2025).

A micrografia da Figura 15 (a) a composição BP 0,1% de emulsão oleosa apresentou superfície com irregularidades de tamanhos variados, possivelmente atrelada a separação de fase com a inclusão de conteúdo oleoso na mistura. Para a composição BP 0,5% da figura 15 (b) a blenda com acréscimo de 0,5% de emulsão oleosa exibiu macrovazios relacionada a rápida evaporação do óleo na matriz polimérica.

Enquanto, a micrografia 15 (c) da blenda com acréscimo de 1% apresenta comportamento de separação de fase e notória devido à maior incorporação da emulsão de óleo essencial. Já a composição BP 5,0 % da Figura 15 (d) nota-se partículas de óleo mais definidas na superfície.



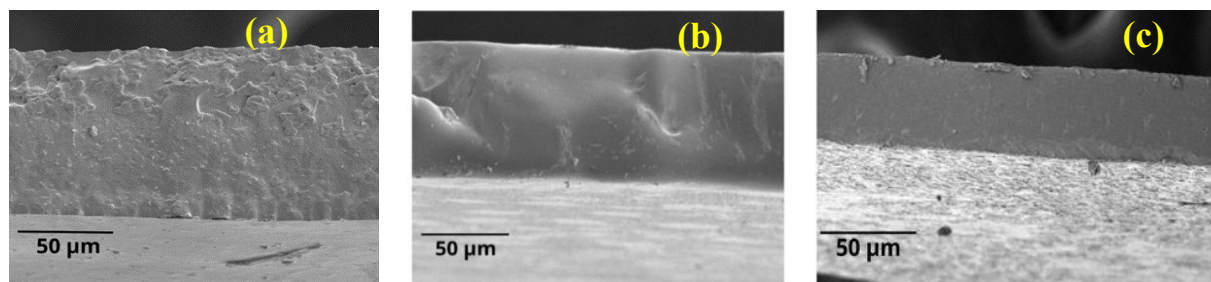
Fonte: Autor (2025).

Concomitantemente a isto, Altaf *et al.*, (2021) observa também que as partículas insolúveis do óleo se tornam visíveis com o acréscimo de óleo essencial. Isso ocorre porque em concentrações mais elevadas o grupo hidroxila torna-se menos eficiente e o grupo fenólico torna-se dominante, o que não é adequado para solventes polares.

Ainda segundo Altaf *et al.*, (2021) as blendas apresentam comportamento de superfície densa, esse tipo de superfície restringe qualquer passagem e aproximação de bactérias à ferida. Além disso, como os óleos são hidrofóbicos por natureza e imiscíveis em água, suas partículas são vistas na superfície.

As amostras obtidas por microscopia eletrônica de varredura fraturadas com nitrogênio líquido são apresentadas da Figura 16.

Figura 16- Micrografia dos filmes obtidos (a) amido de gengibre (AG) (1000x), (b) Filme de PVA (1000x) e (c) Blenda BP (1000x), Blenda BP 0,1% (d) (1000x), Blenda BP 0,5 %, (e) (1000x), Blenda BP 1% (f) (1000x) e Blenda BP 5% (g) (1000x)

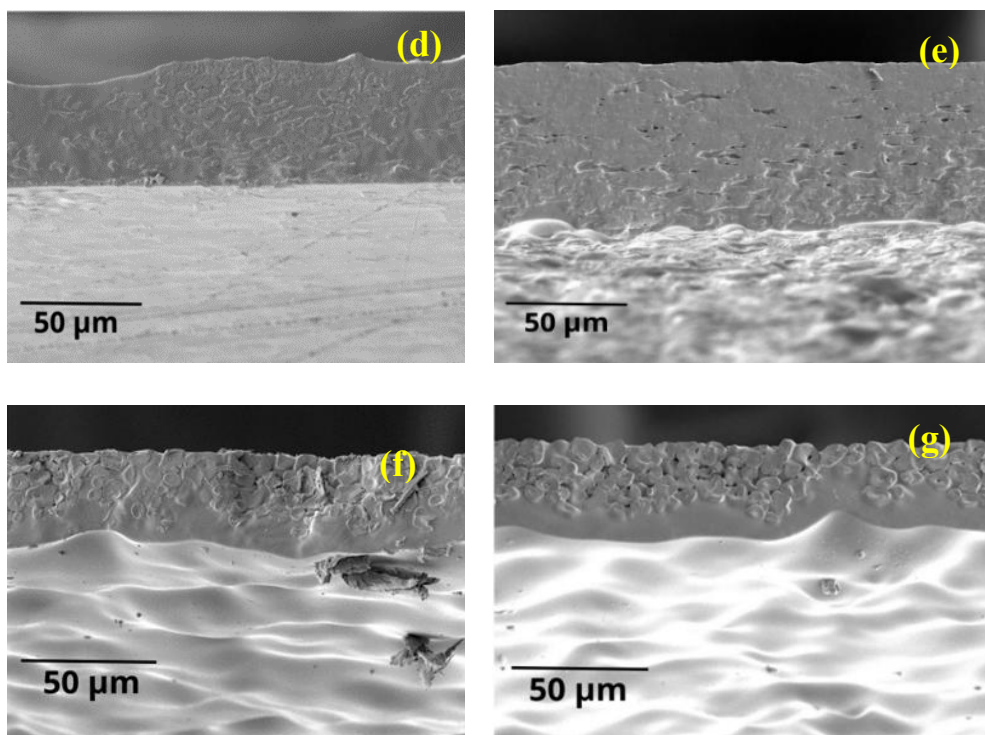


Nota-se que amido puro micrografia da Figura 16 (a) apresentou superfície rugosa. Enquanto a micrografia da Figura 16 (b) o filme de PVA apresentou uma morfologia superficial com relevos. Além disso, a micrografia da Figura 16 (c) composição amido/PVA apresentou superfície predominantemente lisa com algumas partículas não solubilizadas.

Resultados semelhantes a micrografia da Figura 16 (c) foram relatados por Tian *et al.*, (2017). A excelente compatibilidade do amido gengibre e PVA ajuda a melhorar o comportamento mecânico dos filmes, o que mostra uma concordância com os resultados das propriedades mecânicas obtidos neste estudo os quais a mistura de ambos os polímeros apresentou resistência mecânica superior que os filmes isolados (AG e PVA).

As micrografias da Figura 17 apresenta as amostras obtidas por microscopia eletrônica de varredura fraturadas com nitrogênio líquido com emulsão.

Figura 17- Micrografia dos filmes obtidos (d) (1000x), Blenda BP 0,5 %, (e) (1000x), Blenda BP 1% (f) (1000x) e Blenda BP 5% (g) (1000x)



Fonte: Autor (2025).

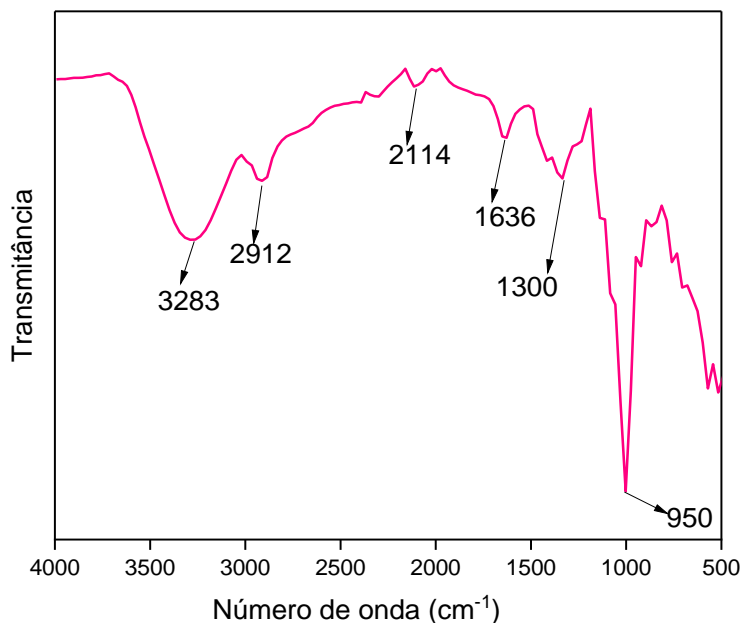
Nas micrografias da Figura 17 (d, e, f e g) foram identificados microporos distribuídos ao longo da matriz dos filmes. Isso ocorre devido ao processo de produção por casting, em que a evaporação gradual da água, ao atravessar a estrutura dos filmes, dá origem às microestruturas observadas (Brandelero; Almeida; Alfaro, 2015).

Além disso, é provável que o óleo essencial tenha influenciado a seleção de regiões mais polares na matriz do filme para a passagem do vapor, contribuindo para o aumento no diâmetro de regiões definidas. Resultados semelhantes foram descritos por (Brandelero; Almeida; Alfaro, 2015), que produziram membranas sem óleo as quais apresentavam porosidade menor, enquanto os filmes com óleo essencial mostraram um aumento no tamanho de partículas na matriz conforme a concentração do óleo aumentava, efeito associado ao processo de secagem dos filmes.

#### 4.3.4 Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR)

Os espectros do pó de gengibre (PG) obtidos por FTIR estão apresentados no gráfico da Figura 18.

Figura 18 - FTIR pó de gengibre (PG)

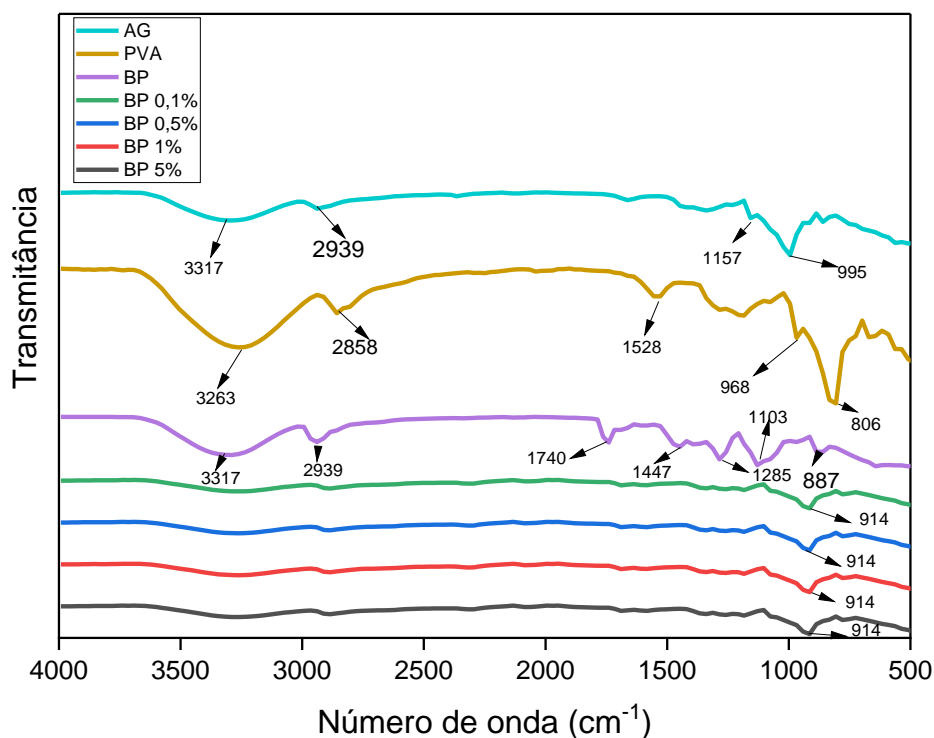


Fonte: Autor (2025).

Observa-se uma banda larga na região de 3283  $\text{cm}^{-1}$  correspondente à absorção de grupos hidroxilas do amido. Enquanto, as bandas de absorção em 2912-2114  $\text{cm}^{-1}$  indicam estiramento das ligações C-H. As bandas de absorção em 1636  $\text{cm}^{-1}$  correspondem a presença de água residual dos grupos funcionais C-C que sugerem a presença de cristalinidade do polissacarídeo. Bandas localizadas em aproximadamente 1300  $\text{cm}^{-1}$  e 950  $\text{cm}^{-1}$  são designadas como vibrações características dos grupos C-OH (De Souza *et al.*, 2021; Silverstein; Webster.; Kiemle, 2010).

A Figura 20 compara os espectros na região do infravermelho das amostras controle sem emulsão e com emulsão.

Figura 19- FTIR das amostras AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5% respectivamente



O filme de amido de gengibre (AG) apresentou uma banda extremamente ampla devido a grupos hidroxila ligados por hidrogênio em  $3421\text{ cm}^{-1}$ . A banda em  $2912\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao sinal -CH para vibrações -CH<sub>2</sub>. A banda em  $1633\text{ cm}^{-1}$  corresponde a vibração de flexão típica da ligação de hidrogênio. A banda em  $1159\text{ cm}^{-1}$  é referente ao alongamento da ligação C-O. Bandas de absorção características adicionais apareceram em  $992\text{ cm}^{-1}$  associadas às vibrações de alongamento do anel de anidroglicose inteira (Sousa *et al.*, 2020).

Para o espectro de PVA, uma banda larga típica do PVA é observada em  $3300\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento O-H das ligações intermoleculares e intramoleculares de hidrogênio. A banda vibracional observada em  $2926\text{ cm}^{-1}$  refere-se ao alongamento C-H dos grupos alquílicos. A banda em  $1721\text{ cm}^{-1}$  é associada a ligação C-O. A banda em  $1082$

$\text{cm}^{-1}$  e relativa a vibrações de alongamento de C-O. Enquanto, em  $840 \text{ cm}^{-1}$  corresponde a ligações C-H (Abral *et al.*, 2020; Mirsharifi *et al.*, 2023).

Os espectros de FTIR das misturas amido de gengibre/PVA apresentaram em  $3317 \text{ cm}^{-1}$ , grupos hidroxilas O-H. Porém, em algumas regiões observam-se diferenças que podem estar relacionadas ao amido ou às interações entre PVA e amido. Há presença de bandas em  $2939 \text{ cm}^{-1}$ , das bandas de amido de gengibre, indicando a presença de hidrocarbonetos hibridizados  $\text{Sp}^3$  (Kong *et al.*, 2020). Em  $1740 \text{ cm}^{-1}$  notam-se vibrações características de flexão da ligação de hidrogênio. A banda em  $1447 \text{ cm}^{-1}$  corresponde ao alongamento C-H de PVA e grupos fosfato em amido (Kong *et al.*, 2020).

O pico em  $1285 \text{ cm}^{-1}$  corresponde a bandas de éter (C-O) e anel acetal (C-O-C) — reação de reticulação do PVA. A banda atribuída a  $1285 \text{ cm}^{-1}$  corresponde aos estiramentos C-O advindo de PVA. Enquanto, o pico de  $887 \text{ cm}^{-1}$  é atribuído ao alongamento C-O do grupo funcional álcool (Shrestha *et al.*, 2023). Enquanto as blendas com emulsão (BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5%) apresentaram pico único em  $914 \text{ cm}^{-1}$  característico da vibração de alongamento C-O (Shrestha *et al.*, 2023).

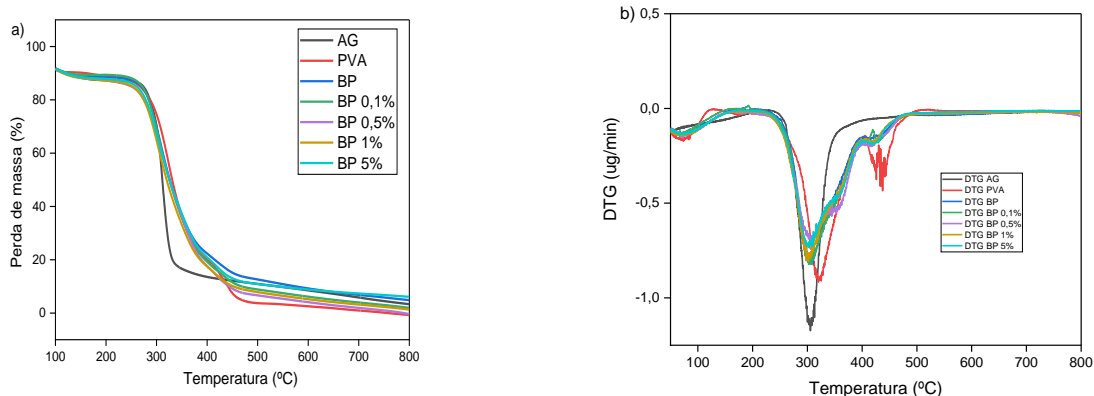
Logo, conclui-se que a concentração do óleo na solução pode ser extremamente pequena, este fato pode ter sido preponderante na visualização das bandas de vibração do breu branco. Neste caso, sugere-se o estudo da interação polímero-óleo por outras técnicas de caracterização, como a espectroscopia RAMAN (Silverstein; Webster; Kiemle, 2010).

Além disso, o óleo pode ter interagido quimicamente ou se dispersado de maneira homogênea na matriz, alterando suas bandas de absorção ou mascarando-as, sugerindo a presença de reações químicas como reticulação ou formação de complexos (Silverstein; Webster; Kiemle, 2010).

### 4.3.5 Análise termogravimétrica (TGA/DTG)

As composições elaboradas neste estudo foram caracterizadas quanto à estabilidade térmica e estão apresentadas na Figura 20.

Figura 20- (a) Termograma das composições AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5% e (b) DTG das composições AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5%



Fonte: Autor (2025).

A Figura 21a mostra que o amido de gengibre (AG) apresenta uma perda de massa inicial de 10% a 180 °C, atribuída à evaporação da água presente no material. A 304 °C, ocorre uma degradação térmica significativa, com perda de massa de 60%, associada à decomposição do amido, incluindo a perda de umidade e grupos hidroxila (OH) da cadeia do polímero por meio de reações de eliminação. Após 350 °C, o resíduo restante é composto pelos constituintes orgânicos e inorgânicos naturalmente presentes no amido de gengibre (Sousa *et al.*, 2021).

O PVA sofre uma perda de massa de 2% na faixa de 160 °C, atribuída à evaporação ou desidratação do material. A 313 °C, ocorre uma perda significativa de 66%, resultante da degradação térmica da cadeia principal e da decomposição de compostos químicos, como aldeídos, cetonas, etanol, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e monóxido de carbono (CO).

Finalmente, a 432 °C, observa-se uma perda adicional de 12%, associada à degradação térmica das cadeias poliméricas restantes .

Além disso, o termograma da composição do BP (amido de gengibre/PVA) mostra um único evento de degradação a uma temperatura máxima de 305 °C. A perda de massa de 73% neste intervalo corresponde à eliminação de grupos hidroxila resultantes da degradação térmica das ligações glicosídicas presentes na matriz polimérica, totalizando uma perda de massa de 77% (Abral *et al.*, 2020).

Ao analisar o termograma das amostras com adição de emulsão de óleo essencial de breu branco, observou-se que não houve interferência significativa na estabilidade térmica das composições poliméricas. As temperaturas máximas de degradação para as composições BP 0,1%, 0,5%, 1,0% e 5,0% foram de 302 °C, 306 °C, 300 °C e 301 °C, respectivamente, apresentando perdas de massa de 67%, 63%, 70% e 68% (Kong *et al.*, 2020; Amaralj *et al.*, 2020; Thakur, 2020).

Com base nesses resultados, resultados semelhantes foram obtidos por Zhou *et al.*, (2021) que investigaram os efeitos do óleo essencial de canela nas propriedades de filmes comestíveis à base de amido de mandioca. Os resultados mostraram múltiplas etapas de perda de massa nas curvas TG e DTG, com a degradação térmica dos filmes ocorrendo predominantemente entre 369–600 °C. Observou-se que os filmes compostos apresentaram uma redução na temperatura de degradação máxima em relação ao filme controle, indicando menor estabilidade térmica devido à redução da cristalinidade da matriz polimérica.

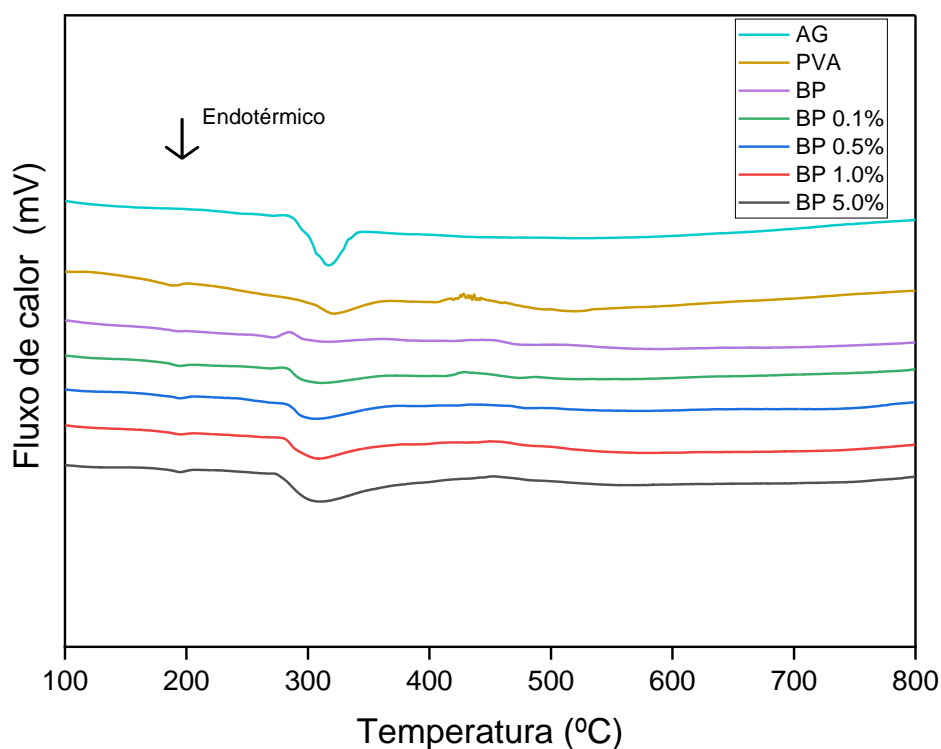
Já Nwabor *et al.*, (2020) avaliou a estabilidade térmica de filmes de poli (álcool vinílico)-quitosana contendo nanopartículas de prata. O estudo não identificou alterações significativas nos padrões de degradação térmica ao adicionar as nanopartículas, sugerindo boa compatibilidade entre os polímeros e as nanopartículas, conforme evidenciado pela manutenção do padrão do termograma.

Por fim, conclui-se que a interação entre o óleo essencial e o amido favoreceu a formação de ligações de hidrogênio, dificultando a cristalização e reduzindo a mobilidade das cadeias poliméricas, o que influenciou a estabilidade térmica dos filmes. Em síntese, o estudo sugere que a incorporação de óleos essenciais e sistemas de emulsão não comprometeu de forma significativa a estabilidade térmica dos filmes (Oliveira, 2019).

#### 4.3.6 Calorimetria diferencial exploratória (DSC)

Os termogramas obtidos por DSC das composições poliméricas deste estudo são apresentados na Figura 21.

Figura 21- Termogramas de calor diferencial exploratório (DSC) das composições AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5% respectivamente



Fonte: Autor (2025).

No termograma do amido de gengibre (AG), representado pela curva azul claro, é identificado um único pico endotérmico em torno de 320 °C. Este evento está relacionado a uma reação endotérmica atribuída à evaporação da água adsorvida ou interações moleculares no polímero. Esse comportamento é característico de biopolímeros que possuem elevada capacidade de retenção de água (Li; Chang; Zhang, 2020).

Na composição de PVA, ilustrada pela curva amarela, foi identificado um pico endotérmico em cerca de 318 °C, associado à fusão cristalina do polímero. Tal comportamento está relacionado à presença de intensas interações de hidrogênio entre as

cadeias poliméricas (Zhang *et al.*, 2020). Após a fusão, não foram observados eventos exotérmicos, indicando uma estabilidade térmica elevada, compatível com descrições anteriores que destacam o PVA como um material resistente a variações térmicas, ideal para aplicações que exigem controle térmico (Abral *et al.*, 2020).

Para a composição BP amido de gengibre/PVA (curva roxa) observa-se uma modificação no comportamento térmico da matriz polimérica. A leve redução na temperatura de fusão, para 284 °C, sugere uma diminuição na cristalinidade do material, possivelmente resultante de alterações nas interações intermoleculares da mistura (Amaralj *et al.*, 2020; Thakur *et al.*, 2019).

Na composição contendo BP 0,1% (curva verde), o termograma mostra um pico endotérmico em 277 °C, associado à fusão da matriz. A intensidade e a temperatura do evento térmico apresentaram uma leve redução, indicando que, em baixas concentrações, a emulsão promove pequenas modificações estruturais, interferindo minimamente na organização cristalina do polímero (Amaralj *et al.*, 2020; Thakur *et al.*, 2019).

Com o aumento da concentração para BP 0,5% (curva azul), foi identificado um único evento endotérmico em 303 °C, maior do que na composição anterior. Isso indica que a emulsão intensificou as interações intermoleculares entre as cadeias de PVA e AG, tornando a matriz polimérica menos ordenada (Amaralj *et al.*, 2020; Thakur *et al.*, 2019).

Nas composições com maiores concentrações de emulsão, BP 1% (curva vermelha) e BP 5,0% (curva preta), os perfis térmicos são semelhantes, com picos endotérmicos registrados em 306 °C e 305 °C, respectivamente. O maior pico endotérmico foi identificado para a composição BP 5%, em 305 °C, sugerindo que a emulsão do óleo favoreceu alterações estruturais que influenciam a estabilidade térmica (Amaralj *et al.*, 2020; Thakur *et al.*, 2019).

Esses diferentes efeitos térmicos, associados a leves reduções de temperatura, podem estar relacionados à menor cristalinidade das composições contendo emulsão. Isso resulta em uma maior desorganização estrutural, facilitando a degradação térmica do material (Zhang *et al.*, 2020; Amaralj *et al.*, 2020; Thakur *et al.*, 2019).

Ao comparar os métodos de síntese, conclui-se que o método por emulsão foi mais eficaz em melhorar a estabilidade térmica da blenda BP (284 °C). Isso sugere maior interação entre os componentes oleosos e o polímero, demandando temperaturas mais elevadas para a eliminação do composto.

Zhang *et al.*, (2020) destacaram que as concentrações de óleo não aumentaram proporcionalmente a temperatura de degradação do material. Por exemplo, com maiores

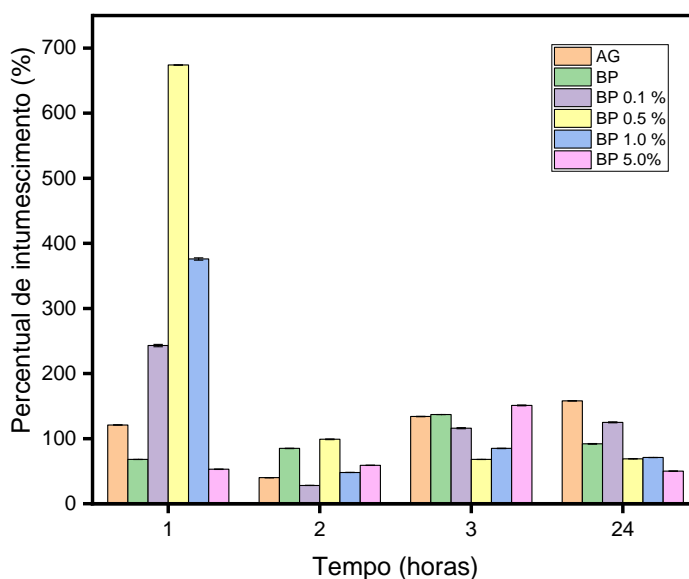
quantidades de nanoemulsão, a temperatura de degradação atingiu um pico de 292 °C, enquanto as demais composições exigiram temperaturas menores para eliminação. Tais variações estão ligadas à menor cristalinidade das composições, favorecendo a degradação pela desorganização estrutural.

Amalraj *et al.*, (2020) também observaram que a natureza dos óleos essenciais influencia o comportamento térmico. Picos endotérmicos adicionais foram identificados em torno de 206 °C e 292 °C para diversas composições, com exceção do filme contendo óleo essencial de pimenta-do-reino-PVA/goma arábica/quitosana, em que o segundo pico endotérmico indicou a degradação das matrizes do filme ou a fusão dos componentes poliméricos.

#### 4.3.7 Intumescimento

Os valores obtidos para o intumescimento em fluido de água destilada estão apresentados na figura 22.

Figura 22- Percentual de intumescimento das amostras



Fonte: Autor (2025).

As características de intumescimento dos filmes foram analisadas por parâmetros associados à quantidade de água destilada absorvida pela matriz polimérica em função do tempo. Ressalta-se que o filme de PVA se desintegrou em água destilada e todos os filmes se desintegraram em solução salina tamponada com fosfato (PBS), impossibilitando sua pesagem e análise e, conseqüente, apresentação dos resultados.

Os resultados obtidos demonstraram que as composições analisadas apresentaram boa capacidade de absorção de fluidos, especificamente em água destilada.

Para o grupo AG foi obtido percentual de intumescimento com considerável aumento de  $121\% \pm 0,22$  para  $158\% \pm 0,24$  após 24 horas.

Ainda, para o grupo BP composto de AG/PVA o intumescimento em água destilada apresentou aumento expressivo  $68\% \pm 0,912$  e decréscimo após 24 horas  $92\% \pm 0,51$ .

A BP 0,1%, por outro lado, em água destilada com menor adição emulsão apresentou  $243\% \pm 1,54$  e redução percentual de  $125\% \pm 0,73$ .

Para a amostra BP 0,5%, nota-se um decréscimo expressivo durante a análise tendo os valores de  $674\% \pm 0,37$ ;  $69\% \pm 0,37$ .

O grupo BP 1% apresentou  $378\% \pm 0,80$  na primeira hora e redução percentual na última hora de ensaio  $78\% \pm 0,08$ .

Por fim, o grupo BP 5% apresentou na primeira hora  $53\% \pm 0,31$  e leve diminuição na última hora  $50\% \pm 0,23$ .

Ao comparar as horas de análise de maneira geral, na primeira hora de análise, a composição BP 0,5% apresentou o maior percentual de absorção  $674\% \pm 0,37$ . Esse padrão se manteve na segunda hora, com uma absorção de  $99\% \pm 0,48$ . Contudo, na terceira hora, a composição BP 5,0% destacou-se com o maior intumescimento, atingindo um valor de  $151\% \pm 0,65$ .

Após 24 horas, verificou-se que a composição AG registrou a maior taxa de absorção ( $158\% \pm 0,24$ ), seguida pela composição BP 0,1%, que apresentou um aumento considerável na absorção  $125\% \pm 0,73$ . A composição BP 0,1% destacou-se, particularmente após 24 horas de imersão, superando os valores observados nas primeiras horas e apresentando a segunda maior taxa de intumescimento ao longo do período analisado.

O teste de variância (ANOVA), com fator único, foi realizado para verificar a existência de diferença estatística significativa entre os percentuais de intumescimento dos filmes. Os dados gerados pelo teste estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise de variância (ANOVA) para avaliar os valores de intumescimento \*SQ – Soma dos quadrados, GL – Número de graus de liberdade, MQ – Quadrado médio.

Fonte da variação (1h)	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1136636	5	227327,1	19,98878	8,88E-07	2,772853
Dentro dos grupos	204709,3	18	11372,74			
Total	1341345	23				

Fonte da variação (2h)	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	14596,38	5	2919,275	3,952013	0,013556	2,772853
Dentro dos grupos	13296,25	18	738,6806			
Total	27892,63	23				

Fonte da variação (3h)	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	21212	5	4242,4	1,866158	0,150622	2,772853
Dentro dos grupos	40920	18	2273,333			
Total	62132	23				

Fonte da variação (24h)	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	32869	5	6573,8	4,34145	0,009099	2,772853
Dentro dos grupos	27255,5	18	1514,194			
Total	60124,5	23				

Fonte da variação (Todos os grupos)	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1738529	23	75588,21	19,01716	4,63E-22	1,680281
Dentro dos grupos	286181	72	3974,736			
Total	2024710	95				

Fonte: Autor (2025).

Na Tabela 5, para o intumescimento na primeira hora, observa-se que o valor de F calculado (19,98) é superior ao valor crítico de F (2,772853). Dessa forma, rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias, considerando um nível de confiança de 95%. Na segunda hora, o F calculado (3,952013) também excede o valor crítico de F (2,772853), rejeitando também a hipótese de igualdade. Após três horas de ensaio o F calculado (2,866158) é superior ao valor crítico de F (2,772853), indicando que há evidências para rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias na terceira hora. Após 24 horas, o F calculado (4,34145) novamente supera o valor crítico de F (2,772853), confirmando a rejeição da hipótese de igualdade entre as médias nesse intervalo. Além disso, foi realizada a análise de variância para todas as composições em relação ao tempo onde o F calculado (19,01716) foi maior que o F crítico (1,680281) novamente.

A análise de variância, ANOVA, com  $p < 0,05$  indica também diferença estatisticamente significativa entre os grupos durante as horas de análise.

Com base na ANOVA, foi necessário aplicar o teste de Tukey para investigar o comportamento das composições ao longo do tempo e identificar quais delas foram mais eficazes em provocar mudanças significativas nas propriedades de absorção de fluidos durante o ensaio.

O teste de Tukey foi aplicado para identificar quais grupos apresentaram diferenças significativas nas propriedades de absorção. A diferença mínima significativa (d.m.s) apresentou valores distintos ao longo do tempo. Na primeira hora valor de 63,540 segunda hora valor de 31,016 e após 24 horas resultado de 18,761. Esses resultados indicam variações no comportamento do intumescimento ao longo do período observado.

Na Tabela 6 abaixo, o teste de Tukey sugere diferença estatisticamente significativa entre o tempo de análise de 1h, 2h e 24h.

**Tempo de 1 hora**

	AG	BP	BP 0,1%	BP 0,5%	BP 1%	BP 5%
AG	0	19,530	31,602	12,564	36,985	9,361
BP	7,951	0	6,830	32,165	21,630	<b>65,23</b>
BP 0,1%	22,531	23,285	0	29,872	5,231	63,266
BP 0,5%	10,274	30,363	31,023	0	21,125	8,156
BP 1%	5,632	48,251	8,975	9,632	0	7,768
BP 5%	9,942	7,236	26,574	<b>66,163</b>	17,940	0
	<b>d.m.s</b>	<b>63,540</b>				

**Tempo de 2 horas**

	AG	BP	BP 0,1 %	BP 0,5%	BP 1,0%	BP 5,0%
AG	0	1,295	9,089	6,390	6,541	5,785
BP	6,238	0	0,070	<b>37,753</b>	2,657	6,855
BP 0,1%	9,851	5,150	0	18,970	5,259	<b>33,228</b>
BP 0,5%	4,053	4,012	5,168	0	4,914	3,290
BP 1%	24,810	11,514	9,840	4,364	0	6,237
BP 5%	27,819	8,325	7,420	8,013	4,137	0
	<b>d.m.s</b>	<b>31,016</b>				

**Tempo de 24 horas**

	AG	BP	BP 0,1%	BP 0,5%	BP 1,0%	BP 5,0%
AG	0	7,525	<b>19,658</b>	4,235	5,073	8,050
BP	13,401	0	2,291	5,267	7,03	5,839
BP 0,1%	6,853	8,013	0	8,398	9,389	7,621
BP 0,5%	12,35	<b>20,08</b>	9,938	0	2,023	<b>20,759</b>
BP 1%	8,564	4,139	4,753	6,347	0	9,456
BP 5%	11,045	15,146	7,578	13,156	14,789	0
	<b>d.m.s</b>	<b>18,761</b>				

Fonte: Autor (2025).

A composição BP 0,5% ao relacionar com a análise de FTIR apresentou uma matriz polimérica altamente hidrofílica. Isso pode ocorrer devido a uma maior disponibilidade de grupos funcionais capazes de interagir com a água, aumentando a absorção (Abedi-Firoozjah *et al.*, 2023).

De maneira geral, o comportamento de absorção da blenda contendo emulsão de óleo de breu parece ser influenciado após 24 horas, especialmente nas concentrações de 0,5% e 5,0%, que apresentaram os menores valores de intumescimento, registrando  $69\% \pm 0,01$  e  $50\% \pm 0,23$ , respectivamente.

O alto nível de absorção do amido de gengibre (AG) após 24 horas pode ser explicado pela presença de ligações de hidrogênio que facilitam a interação com moléculas de água. A afinidade do amido pela umidade está diretamente relacionada à presença de grupos –OH em suas cadeias poliméricas, como demonstrado por estudos de FTIR e relatado por Altaf *et al.*, (2021).

A composição BP também apresentou a segunda maior porcentagem de absorção de água após 24 horas. De acordo com estudos (Thakur; Rajhans; Kandasubramanian,

2019), essa habilidade está relacionada às interações intermoleculares do polímero, que favorecem uma maior absorção devido à presença de grupos hidrofílicos originados das hidroxilas encontradas tanto no PVA quanto no amido.

Por outro lado, a formulação com maior concentração de emulsão oleosa (BP 5,0%) apresentou menor grau de intumescimento após 24 horas. Altaf *et al.*, (2021) relataram resultados semelhantes, indicando que a incorporação de óleo na matriz polimérica tende a reduzir o inchaço, possivelmente devido à menor densidade de reticulação e à redução da interação entre as cadeias poliméricas. Essa diminuição na densidade reticulada aumenta a quantidade de grupos hidroxila livres (-OH), resultando, por outro lado, em uma maior capacidade de absorção (Thakur, Rajhans; Kandasubramanian, 2019; Wang *et al.*, 2021; Baghaie *et al.*, 2017).

Materiais com elevada capacidade de absorção são especialmente indicados para doenças inflamatórias que liberem exsudado, pois ajudam a manter um ambiente úmido equilibrado, prevenindo infecções e evitando a maceração do tecido (Paranhos *et al.*, 2022). O grau de intumescimento é um parâmetro crucial para determinar a eficácia do material em contato com agentes externos. Esse comportamento pode ser afetado por diversos fatores, como pH, temperatura, composição química, condições do ambiente da ferida e o nível de reticulação da matriz polimérica (Thakur *et al.*, 2019; Rajhans; Kandasubramanian, 2019).

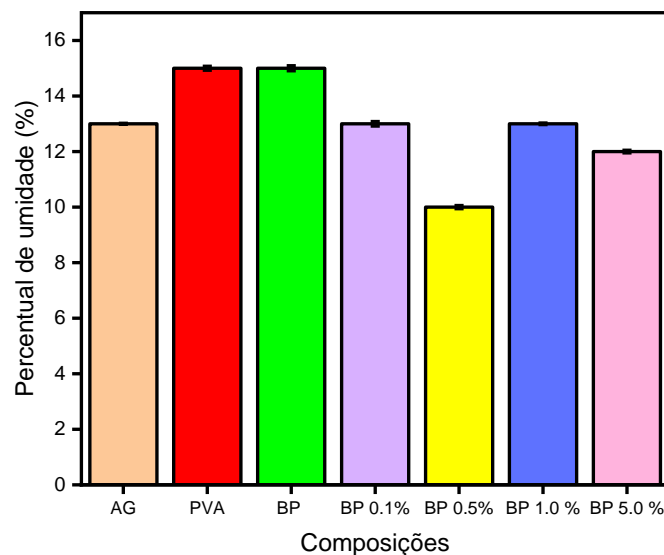
Esses achados são promissores para materiais utilizados em contato com doenças que liberem fluidos após 24 horas. No caso de aplicação em doenças, os dados sugerem que as composições BP 0,1% e BP 1% podem ser mais adequadas para doenças como as feridas com maior nível de exsudato purulento como as feridas diabéticas e pós- cirúrgicas contaminadas por bactérias. Por exemplo, em situações de feridas secas, como úlcera arterial esse material pode exigir maior nível de hidratação para proporcionar superfície mais úmida favorecendo o processo de cicatrização (Paranhos *et al.*, 2022).

As composições BP 0,5% e BP 5,0% mostram-se potencialmente indicadas para feridas com menor nível de exsudação, auxiliando no controle da umidade local. Essa característica pode prevenir o agravamento da lesão, evitando a maceração do tecido devido ao acúmulo de exsudato (Ferreira *et al.*, 2022).

#### 4.3.8 Percentual de umidade

A Figura 23 apresenta os valores do percentual de umidade obtido.

Figura 23- Percentual de umidade obtido



Fonte: Autor (2025).

Nota-se, que dentre as composições, o filme AG  $13\% \pm 0,02$  apresentou menor teor de umidade. Enquanto o PVA  $15\% \pm 0,07$  e BP  $15\% \pm 0,09$  apresentaram o mesmo percentual de umidade.

Enquanto, para as composições poliméricas com emulsão observaram-se os valores respectivamente para BP 0,1%  $13\% \pm 0,08$ , BP 0,5%  $10\% \pm 0,06$ , BP 1%  $13\% \pm 0,05$  e BP 5%  $12\% \pm 0,05$ . Infere-se que o teor de umidade diminuiu nas composições com emulsão de óleo essencial quando comparado a composição controle BP tornando-as menos úmidas.

Ao comparar a amostra de amido de gengibre (AG) com o PVA, observa-se redução do percentual de umidade para o PVA, que pode estar relacionado com o fato do PVA ter uma maior capacidade de formar ligações de hidrogênio com moléculas de água, aumentando sua retenção de umidade. Isso faz com que ele possa absorver e reter mais umidade em comparação ao amido, que, embora também possa interagir com a água, não tem a mesma capacidade de absorção (Abedi-Firoozjah *et al.*, 2023).

No entanto, é possível relacionar que a umidade para a composição BP (amido de gengibre / PVA) é semelhante devido a presença de grupos polares contendo grupos hidroxila OH (Abedi-Firoozjah *et al.*, 2023).

Para a composição BP observa-se maior percentual de umidade que a BP 0,1% e BP 0,5% isso pode ter ocorrido devido à ausência de adição de emulsão facilitando a absorção de umidade devido à ausência de interações entre as moléculas para impor barreiras como as emulsões (Severo; Fook; Leite, 2022; Nešović *et al.*, 2019).

A presença de alguns óleos pode ter interferência direta no percentual de umidade dos filmes. Wang *et al.*, (2021) notaram resultado parecido com o presente estudo pois com o aumento do nível de óleo volátil de folha de bambu, o teor de umidade das amostras de filme à base de amido de milho diminuiu progressivamente, de  $(13,12 \pm 0,04$  para  $11,41 \pm 0,35\%)$  quando comparado com as amostras controle também. Esse resultado sugere que a adição de óleo pode reduzir a umidade em filmes de amido de milho devido à interação entre os grupos presentes no óleo e os grupos hidroxila do amido de milho, o que enfraquece as ligações entre as moléculas de água e os grupos hidroxila do amido.

Adicionalmente, a pesquisa conduzida por Wang *et al.*, (2021) apontou que o teor de umidade dos filmes de amido apresenta uma diminuição progressiva à medida que a concentração de óleo essencial aumenta.

Esse efeito ocorre devido à interação entre o óleo essencial e os grupos hidroxila presentes no polímero o que enfraquece a interação entre esses grupos hidroxila e as moléculas de água, levando a redução no teor de umidade dos filmes (Wang *et al.*, 2021).

Lee *et al.*, (2020) investigaram filmes comestíveis à base de amido de feijão-mungo, enriquecidos com goma guar e óleo de semente de girassol. Os autores observaram redução significativa na umidade dos filmes conforme a concentração de óleo de semente de girassol aumentava. Esse resultado indica que a incorporação do óleo, por ser hidrofóbico, reduziu a capacidade dos filmes de reterem água. Especificamente, o aumento das cadeias hidrofóbicas na matriz do filme limitou os locais disponíveis para ligação com as moléculas de água, resultando em menor absorção de umidade.

Singh *et al.*, (2023) constatou que a presença maior de óleo essencial restringe a alta absorção de água, pois os ácidos graxos presentes e o grupo ativo do amido interagem entre si, levando à formação limitada de ligações de hidrogênio entre o amido e moléculas de H<sub>2</sub>O.

O teste de variância (ANOVA), fator único, foi realizado para verificar a existência de diferença estatística significativa entre os percentuais de umidade dos filmes. Os dados gerados pelo teste estatístico estão descritos na tabela 7.

Tabela 7- Resultado da análise de variância (ANOVA) para avaliar os valores de umidade dos filmes onde SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,020291	5	0,004058	1,003771	0,432524	2,533555
Dentro dos grupos	0,12129	30	0,004043			
Total	0,141582	35				

Fonte: Autor (2025).

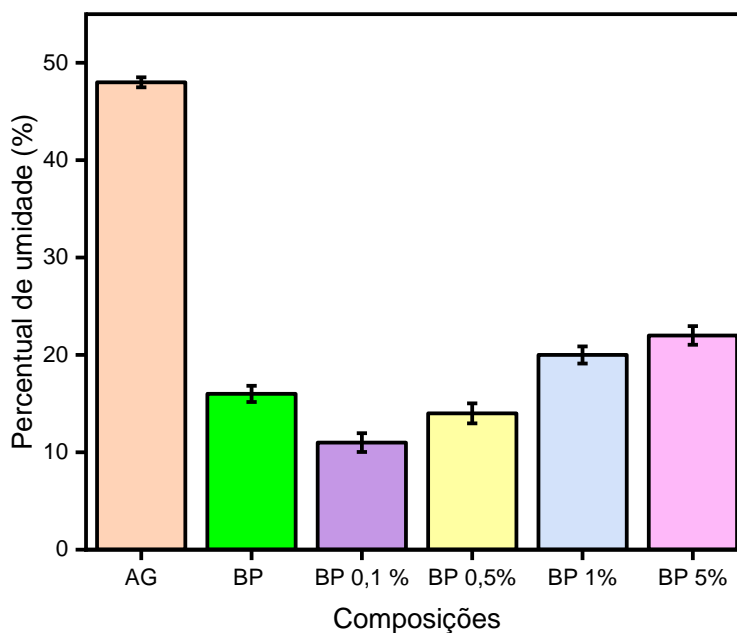
O resultado mostra que o F calculado foi menor que o F crítico, com nível de significância a 5%. Conclui-se, que não existe diferença significativa estatisticamente entre os percentuais de umidade.

Com base nos resultados do presente teste, para as sete composições diferentes, conclui-se que os filmes formados por emulsão de breu, especialmente na concentração de 0,1% de emulsão, podem sugerir uma maior possibilidade de capacidade hidratante e liberação de bioativos assim como manutenção da umidade da ferida, aspecto fundamental no processo de cicatrização.

#### 4.3.9 Percentual de solubilidade

Os valores obtidos nesta análise estão contidos no gráfico de barras da Figura 24.

Figura 24- Percentual de solubilidade



Fonte: Autor (2025).

A solubilidade dos filmes controle sem emulsão composto unicamente por AG exibiu maior porcentagem atingindo o valor de 49,54%  $\pm$ 0,21, seguido da BP 16 $\pm$ 0,35. Enquanto, a composição do PVA não resistiu ao teste de solubilidade desintegrando-se. Para os filmes com adição de emulsão observou-se uma redução na solubilidade em água para as composições com menor teor de emulsão 0,1% e 0,5%, quando comparado com a composição controle BP (amido de gengibre/PVA).

O filme AG (amido de gengibre) apresentou maior solubilidade quando comparado a composição BP (amido de gengibre/PVA). A maior solubilidade do AG pode estar relacionada a presença do comportamento hidrofílico da composição devido à maior presença de grupos hidroxila (OH) na matriz do filme (Gómez-Aldapa *et al.*, 2020). Enquanto, a BP apresentou solubilidade mais reduzida a interação das amostras nesse tipo

de análise indica que essa a interação química da composição apresenta comportamento menos hidrofílico (Gómez-Aldapa *et al.*, 2020).

Khazaei *et al.*, (2021) observaram um comportamento semelhante em blendas de PVA e amido de feijão carioca. Esse efeito é atribuído principalmente à formação de ligações de hidrogênio entre os grupos amilose e amilopectina do amido e os grupos -OH do PVA. Essa interação molecular promoveu a reorientação dos grupos hidrofóbicos da cadeia polimérica do PVA, resultando em um aumento da hidrofobicidade dos filmes produzidos e na redução da quantidade de grupos -OH livres na matriz polimérica.

Ao analisar as composições nota-se que com o maior teor de emulsão 1% e 5% maior percentual de solubilidade indicando reduzida natureza hidrofóbica da emulsão do óleo essencial de breu branco quando comparado com a BP 0,1% e BP 0,5% (SHAH *et al.*, 2015).

Nesse sentido, Sousa *et al.*, (2023) avaliaram filmes compostos por nanocelulose e óleo de buriti, com a mesma concentração de nanocelulose, mas diferentes concentrações de óleo. Os resultados mostraram um aumento na solubilidade, variando de 34,44% para 35,40% com o incremento da concentração de óleo. Esse comportamento pode ser explicado pela redução na capacidade de diluição do óleo de buriti na matriz polimérica, o que resulta em uma diminuição na interação entre o óleo e a matriz.

O teste de variância (ANOVA), fator único, foi realizado para verificar a existência de diferença estatística significativa entre os percentuais de solubilidade dos filmes. Os dados gerados pelo teste estatístico estão descritos na tabela 8. O resultado mostra que o F calculado foi maior que o F crítico, com nível de significância a 5%. Foi possível, inferir que existe diferença significativa estatisticamente entre as amostras.

Tabela 8- Resultado da análise de variância (ANOVA) para avaliar os valores de solubilidade dos filmes onde SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,700086	5	0,140017	8,774671	0,000234	2,772853
Dentro dos grupos	0,287225	18	0,015957			
Total	0,987311	23				

Fonte: Autor (2025).

A partir do teste de variância (ANOVA) nota-se existência de diferença significativa estatisticamente entre as amostras. Foi calculado a diferença mínima significativa do (d.m.s) com valor de 0,09170.

Logo, foi necessário a realização do teste de Tukey conforme a Tabela 9 para comparação das médias de cada composição e identificação da diferença entre elas. Esses resultados estão expressos na Tabela 9 abaixo todas as composições apresentaram diferença significativa.

Tabela 9- Teste de Tukey para solubilidade

	AG	BP	BP 0,1%	BP 0,5%	BP 1%	BP 5%
AG	0	<b>3,425</b>	<b>4,100</b>	<b>3,925</b>	<b>3,331</b>	<b>2,850</b>
BP	<b>4,250</b>	0	<b>6,726</b>	<b>5,000</b>	<b>1,257</b>	<b>5,750</b>
BP 0,1%	<b>4,115</b>	<b>6,726</b>	0	0,0750	0,0800	<b>1,253</b>
BP 0,5%	0,022	0,020	0,062	0	0,0250	<b>1,075</b>
BP 1%	<b>3,300</b>	<b>1,250</b>	<b>6,210</b>	<b>6,250</b>	0	<b>4,220</b>
BP 5%	<b>2,850</b>	<b>5,755</b>	<b>1,221</b>	<b>1,713</b>	<b>4,500</b>	0
d.m.s	0,091					

Fonte: Autor (2025).

O resultado da análise Tukey revela que as diferenças mínimas significativas (d.m.s) para a solubilidade de 0,091. Estes resultados confirmam que todas as composições diferiram. Essa diferença confirma que o maior teor de emulsão impactou a solubilidade.

Resultados semelhantes a este estudo foram obtidos por Zhou *et al.*, (2021) ao estudar a influência do óleo de canela na matriz polimérica a solubilidade em água dos filmes, diminuiu consideravelmente com o aumento da quantidade de óleo essencial de canela (concentrações menores que 0,1% e 0,5%) causando alteração significativa. Essa melhoria foi atribuída à redução da hidrofobicidade da membrana, provocada pela adição do óleo essencial de canela, que é hidrofóbico. Além disso, a interação entre os compostos do óleo essencial e os grupos hidroxila presentes nos filmes diminuiu a interação desses grupos com as moléculas de água, resultando em uma menor solubilidade dos filmes.

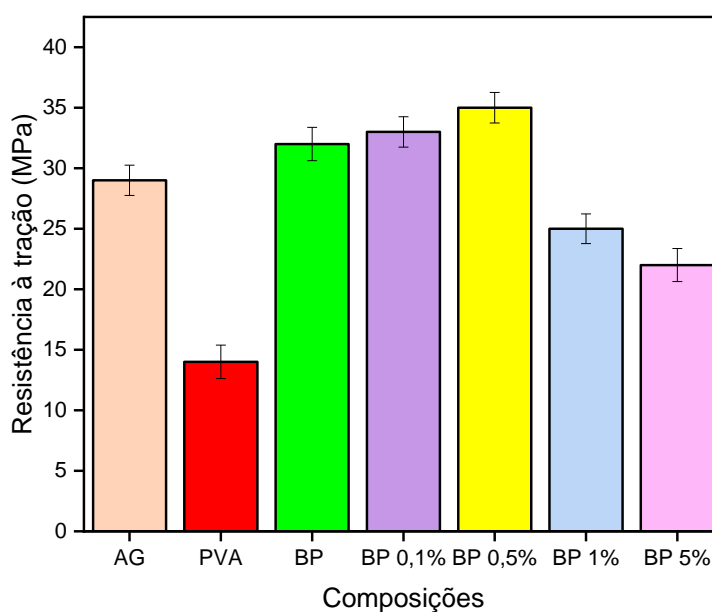
Amalraj *et al.*, (2020) estudou os filmes de PVA/goma arábica/quitosana óleo essencial de pimenta relatando que os componentes hidrofílicos tendem a aumentar os

valores de solubilidade, enquanto os componentes hidrofóbicos diminuem a solubilidade. Em seu trabalho os resultados indicaram que a solubilidade em água dos filmes diminuiu consideravelmente após a adição óleos essenciais. Resultados diferentes dos obtidos para BP 1% e BP 5% indicando que ambas as composições possuem comportamento com tendência hidrofóbica e alteração significativa.

#### 4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO DOS FILMES

A Figura 25 apresenta resultados dos ensaios de resistência à tração na ruptura para os filmes.

Figura 25– Resultados de resistência à tração na ruptura para os corpos de prova



Fonte: Autor (2025).

O filme AG apresentou resistência de 29 MPa  $\pm$ 1,25, enquanto, as amostras de PVA apresentaram uma resistência de 14 MPa  $\pm$ 1,38, valor consideravelmente inferior ao do filme AG. Já, as amostras de composição BP (amido de gengibre/PVA) mostraram um desempenho superior ao do PVA e AG, alcançando uma resistência de 32 MPa  $\pm$ 1,45. Esse valor coloca a composição BP como o material mais resistente entre as amostras sem emulsão testadas, superando tanto o AG quanto o PVA.

Enquanto, na Figura 27 nota-se que os filmes BP 0,1% e 0,5% leve aumento de resistência a tração quando comparado com os filmes BP 1% e 5%. Os resultados apresentados mostram que, ao comparar as diferentes composições, com emulsão o filme BP 0,5% apresentou maior resistência a tração com valor médio de 34 MPa  $\pm$ 1,26.

Nota-se também que ao adicionar maior porcentagem de emulsão oleosa na matriz polimérica, ocorreu redução gradual da resistência à tração para os filmes BP 1% e BP 5% em relação ao filme BP (amido/PVA) a adição de maior teor de óleo pode ter provocado um enfraquecimento molecular da cadeia polimérica, ocasionando menor resistência.

Infere-se que as emulsões modificaram a resistência a tração das composições. Os resultados obtidos estão alinhados com a literatura existente. Segundo Lee e Lee (2020), em estudos que incorporaram óleo à matriz polimérica, observou-se uma redução na resistência à tração acompanhada de um aumento no alongamento. Esse comportamento pode ser atribuído ao efeito plastificante do óleo, que substitui parcialmente as fortes interações polímero-polímero por interações mais fracas entre o polímero e o óleo. Como resultado, a estrutura do filme torna-se mais heterogênea e apresenta descontinuidades. Esse processo reduz a coesão das forças na rede polimérica e amplia as regiões amorfas da matriz, influenciando diretamente suas propriedades mecânicas.

De maneira semelhante, Hasheminya e Dehghannya (2021) observaram que a adição de nanoemulsões acima de 0,5% contendo óleos essenciais reduz a força molecular do filme polimérico, enfraquecendo as conexões intermoleculares nas cadeias da matriz. A presença de compostos oleosos, como óleos essenciais, impede as interações entre as cadeias poliméricas, diminuindo a interação entre as moléculas da matriz e, conseqüentemente, a resistência à tração. Os autores atribuíram essa redução ao enfraquecimento das ligações de hidrogênio na matriz, o que compromete a coesão e destrói a rede interna do material.

O teste de variância (ANOVA), fator único, foi realizado para verificar a existência de diferença estatística significativa entre os valores de tração dos filmes. Os dados gerados pelo teste estatístico estão exibidos na tabela 9. O resultado mostra que o F calculado foi maior que o F crítico, com nível de significância a 5%. Portanto, existe diferença significativa estatisticamente entre os valores de tração.

Tabela 9- Resultado da análise de variância (ANOVA) para avaliar os valores de tração dos filmes onde

SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,024298	6	0,00405	4,380372	0,001284	2,290432
Dentro dos grupos	0,045301	49	0,000925			
Total	0,0696	55				

Fonte: Autor (2025).

A partir da Tabela 9, infere-se que é necessário a realização do teste de Tukey inicialmente foi estimado o valor do d.m.s de 1,274. De posse deste valor foi possível realizar a correta identificação da composição responsável pela diferença nos resultados. Nota-se que todas as composições apresentaram diferença significativa.

Tabela 10- Teste de Tukey valores de tração

	AG	PVA	BP	BP 0,1%	BP 0,5%	BP 1%	BP 5%
AG	0	<b>4,965</b>	<b>7,234</b>	<b>8,541</b>	<b>5,63</b>	<b>5,78</b>	<b>1,95</b>
PVA	<b>2,521</b>	0	3,269	<b>7,492</b>			
BP	1,030	<b>4,321</b>	0	<b>2,547</b>	<b>3,86</b>	<b>4,86</b>	<b>9,67</b>
BP 0,1%	<b>7,54</b>	<b>1,972</b>	<b>1,531</b>	0	0,59	<b>2,98</b>	<b>8,35</b>
BP 0,5%	<b>9,05</b>	<b>11,25</b>	<b>5,252</b>	0,23	0	<b>8,36</b>	<b>6,92</b>
BP 1%	<b>11,22</b>	<b>12,23</b>	<b>2,369</b>	<b>3,431</b>	<b>9,13</b>	0	<b>9,21</b>
BP 5%	0,97	0	<b>6,251</b>	0,596	<b>8,08</b>	<b>6,97</b>	0
d.m.s		1,274					

Fonte: Autor (2025).

Ao analisar os dados da tabela, podemos constatar que a diferença entre as médias identificadas pela ANOVA é influenciada pela presença de diferentes interações químicas. Indicando que para as composições AG, PVA e BP ocorreram a presença de ligações distintas as composições de maneira separada as ligações apresentaram fraca interação e conseqüentemente baixa resistência a tração quando comparado com os filmes restantes.

Wei *et al.*, (2024) também observaram que a resistência à tração dos filmes com adição de maior teor emulsão apresentou significativa redução com adições de 7,5 mL e 10 mL. Esse efeito é atribuído ao fato de que a presença de uma quantidade significativa de nanoemulsão interfere fortemente nas interações intermoleculares e resulta em uma estrutura mais heterogênea, com maiores descontinuidades.

A partir, do teste estatístico nota-se que a redução da resistência à tração com maior teor de emulsão 1% e 5% pode ser associado à formação de uma estrutura matricial

mais heterogênea nos filmes com emulsão, em comparação ao filme controle (sem adição de óleo), devido à presença da fase dispersa de lipídios (Norcino *et al.*, 2020). Esse comportamento foi corroborado pelas micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura (ver tópico 4.2).

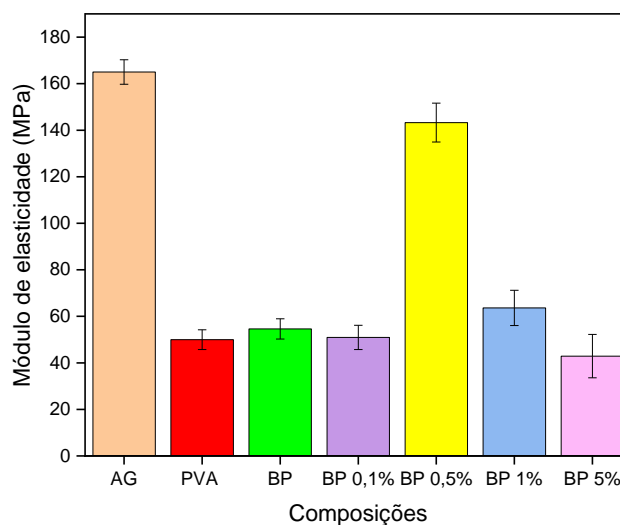
Zhou *et al.*, (2021) atribuíram a redução da resistência à tração à adição de óleo essencial de canela, que penetra facilmente na rede de biopolímeros, reduzindo as interações intra e intermoleculares. Esse processo enfraquece a matriz contínua do filme, substituindo parcialmente as interações intermoleculares mais fortes do polímero por interações polímero-óleo, que são mais fracas.

Além disso, os óleos essenciais atuam como um plastificante, facilitando o movimento das cadeias poliméricas e aumentando a flexibilidade do filme, o que resulta em maior alongamento até a ruptura. De forma semelhante, a adição de óleo essencial de *Zataria multiflora* também foi associada ao aumento do alongamento na ruptura de filmes de gelatina (Zhou *et al.*, 2021).

Por fim, Yang *et al.*, (2024) relataram que os filmes contendo óleo essencial de *Zanthoxylum bungeanum* apresentaram resistência à tração mais baixa em comparação com as amostras controle. No entanto, o filme com óleo e surfactante Tween-80 exibiu o maior valor de alongamento. Percebeu-se que a adição de óleo essencial resultou em uma diminuição da resistência à tração e um aumento do alongamento.

A Figura 26, representa os valores obtidos para o módulo de elasticidade obtido por meio do ensaio de tração.

Figura 26- Módulo de elasticidade das composições AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5%



Fonte: Autor (2025).

Para o módulo de elasticidade, o filme AG exibiu valor médio de 165 MPa  $\pm$ 5,15. Enquanto, o PVA e BP apresentou reduzido módulo de elasticidade. Ao adicionar as emulsões à matriz polimérica, percebeu-se que houve a diminuição do módulo de elasticidade para os demais filmes exceto para o BP 0,5% com valor médio de 155 MPa  $\pm$ 3,20.

O filme AG apresentou o maior módulo de elasticidade, indicando uma estrutura mais rígida e resistente à deformação indicando maior densidade e presença de ligações cruzadas (Abedi-Firoozjah *et al.*, 2023).

Já o PVA tem um módulo significativamente menor, possivelmente devido à sua estrutura mais flexível e capacidade de absorver umidade, o que reduz sua rigidez (Abedi-Firoozjah *et al.*, 2023).

A composição BP também apresenta valores reduzidos, sugerindo que sua estrutura tem menor coesão intermolecular ou menor densidade de ligações cruzadas, tornando-o menos rígido (Abedi-Firoozjah *et al.*, 2023).

Ghadiri *et al.*, (2023) explicaram que os resultados observados podem ser atribuídos a ligação de hidrogênio formada entre a matriz polimérica de PVA e as gotículas de emulsão, as gotículas de nanoemulsão, juntamente com os ácidos graxos, penetraram nas cadeias de PVA, funcionando como plastificantes. Esse fenômeno resulta na diminuição das interações de reticulamento, enfraquecimento das ligações de

hidrogênio e redução das forças de coesão dentro da matriz do filme e consequente redução do módulo de elasticidade.

O teste de variância (ANOVA), fator único, foi realizado para verificar a existência de diferença estatística significativa do módulo de elasticidade das composições. Os dados gerados pelo teste estatístico estão descritos na tabela 11.

O resultado mostra que o F calculado foi maior que o F crítico, com nível de significância a 5%. Logo, existe diferença significativa estatisticamente entre as amostras para a propriedade de tração obtida.

Tabela 11- Análise estatística do módulo de elasticidade onde SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	62000,68	6	10333,45	11778,84	6,62E-36	2,572712
Dentro dos grupos	18,42307	21	0,877289			
Total	62019,1	27				

Fonte: Autor (2025).

A partir deste resultado foi realizado o teste de Tukey com nível de segurança de 5%, a fim de realizar a comparação entre as médias, e a partir desta comparação identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados. Para realizar o teste de Tukey, inicialmente foi estimado o valor do d.m.s de 1,845.

De posse deste valor foi possível realizar a correta identificação da composição responsável pela diferença nos resultados. Na Tabela 12, é mostrado o resultado do teste de Tukey, ao comparar as médias todas as composições apresentaram diferença significativa.

Tabela 12- Teste de Tukey valores de módulo de elasticidade

	AG	PVA	BP	BP 0,1%	BP 0,5%	BP 1%	BP 5%
AG	0	<b>5,534</b>	<b>3,473</b>	<b>5,035</b>	<b>2,181</b>	<b>1,964</b>	2,438
PVA	<b>4,971</b>	0	<b>5,690</b>	<b>3,014</b>	<b>5,250</b>	<b>3,259</b>	<b>4,530</b>
BP	<b>6,350</b>	1,562	0	<b>3,756</b>	1,059	0,05	1,293
BP 0,1%	<b>3,123</b>	<b>3,014</b>	<b>2,915</b>	0	<b>4,101</b>	<b>5,785</b>	<b>5,899</b>
BP 0,5%	1,280	<b>1,914</b>	1,556	<b>3,451</b>	0	<b>4,890</b>	<b>4,253</b>

BP 1%	<b>2,569</b>	<b>2,671</b>	<b>3,269</b>	1,036	1,256	0	<b>4,267</b>
BP 5%	<b>4,786</b>	<b>4,561</b>	<b>6,325</b>	<b>7,975</b>	<b>3,221</b>	<b>4,921</b>	0
	<b>d.m.s</b>	<b>1,845</b>					

Fonte: Autor (2025).

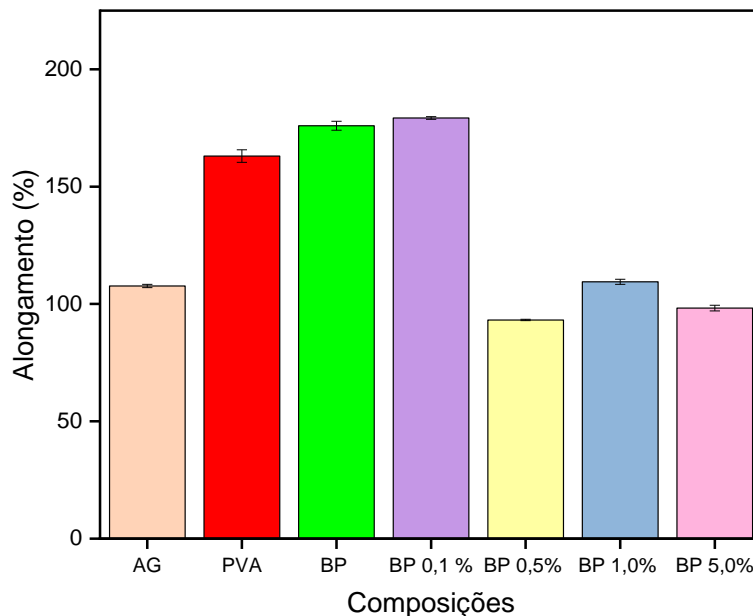
Musa e Hameed (2020) associaram o aumento do módulo de elasticidade às partículas rígidas de amido incorporadas na matriz de PVA e à alteração das características do composto polimérico. Contudo, observaram que o módulo de Young diminuiu em amostras com 30% e 40% em peso de amido, evidenciando uma relação inversa entre o módulo de Young e o alongamento na mistura de ambos os polímeros.

Nota-se que com exceção da BP 0,5% redução do módulo de elasticidade das amostras com emulsão oleosa. Sobre isto Costa *et al.*, (2022) relataram que o emulsificante teve um efeito negativo sobre o módulo de elasticidade dos filmes à base de fécula de mandioca, indicando que uma maior concentração de emulsificante resultou em um valor reduzido do módulo de elasticidade.

Resultados semelhantes foram obtidos por Wang, Chen e Xie (2022) o qual demonstraram que a adição de óleo essencial de orégano de Metaxa melhorou a resistência e a rigidez do filme, ao mesmo tempo em que reduziu sua flexibilidade. Esse efeito foi atribuído a ligações de hidrogênio, que fortaleceram a rede do filme e diminuiu a mobilidade das cadeias moleculares de amido e PVA.

A Figura 27, representa os valores obtidos do alongamento obtido por meio do ensaio de tração.

Figura 27 – Gráfico do alongamento dos corpos de prova de diferentes composições AG, PVA, BP, BP 0,1%, BP 0,5%, BP 1% e BP 5%



Fonte: Autor (2025).

Os resultados apresentados mostram que ao comparar as diferentes composições. Os filmes controles (AG, PVA e BP) apresentaram menor valor de alongamento comparado com a BP 0,1%. Nota-se também que adicionar maior porcentagem de emulsão oleosa (0,5%, 1% e 5%) na matriz polimérica, ocorreu redução gradual no alongamento dos filmes com óleo respectivamente em relação a composição BP (amido de gengibre/PVA).

As composições PVA, BP e BP 0,1% apresentam os maiores valores de alongamento, sugerindo que essas composições possuem maior capacidade de deformação antes da ruptura. O alongamento diminui gradativamente com o aumento da concentração de BP (de 0,5% a 5,0%), indicando que uma maior adição de emulsão pode reduzir a ductilidade do material (Khazaei *et al.*, 2021).

Foi realizado tratamento estatístico nos dados obtido no ensaio de tração a fim de validar o mesmo. A tabela 13 apresenta a análise de variância (ANOVA). Análise realizada a fim de identificar a existência de diferença significativa entre as médias de alongamento das composições.

Tabela 13 - ANOVA do alongamento dos corpos de prova ensaiados em tração onde \*SQ: soma dos quadrados; gl: grau de liberdade; QM: quadrado médio

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	35503,48	6	5917,247	888,5306	3,87E-24	2,572712
Dentro dos grupos	139,8513	21	6,659587			
Total	35643,33	27				

Fonte: Autor (2025).

A ANOVA apresentada na tabela aponta valores estatísticos de F-calculado estimado em 888,5306 e o F-crítico estimado em 2,572712. Com o F-calculado sendo superior ao F-crítico rejeita-se a hipótese de igualdade entre as médias para um nível de significância de 5%. Este resultado aponta os percentuais de emulsão têm efeitos distintos no alongamento dos corpos de prova ensaiados.

A partir deste resultado foi realizado o teste de Tukey com nível de segurança de 5%, a fim de realizar a comparação entre as médias, e a partir desta comparação identificar quais composições são responsáveis pelas diferenças nos resultados. Para realizar o teste de Tukey, inicialmente foi estimado o valor do d.m.s de 5,083.

Após a obtenção do valor de d.m.s foi possível realizar a correta análise das composições responsáveis pela diferença nos resultados. Todas as composições apresentaram diferença significativa indicando que todas as amostras apresentaram diferença na sua estrutura.

Tabela 14- Teste de Tukey valores de alongamento

	AG	PVA	BP	BP 0,1%	BP 0,5%	BP 1%	BP 5%
AG	0	<b>5,367</b>	<b>8,267</b>	<b>7,600</b>	<b>9,533</b>	1,833	<b>5,433</b>
PVA	<b>5,3</b>	0	<b>6,020</b>	<b>12,9</b>	<b>6,233</b>	3,951	<b>5,301</b>
BP	<b>8,267</b>	2,915	0	3,402	<b>6,767</b>	<b>6,433</b>	<b>7,700</b>
BP 0,1%	1,232	<b>6,233</b>	3,333	0	2,402	<b>9,767</b>	<b>8,033</b>
BP 0,5%	<b>5,033</b>	<b>9,667</b>	<b>7,767</b>	<b>5,433</b>	0	1,262	<b>5,364</b>
BP 1%	1,833	<b>5,533</b>	<b>6,433</b>	<b>6,767</b>	<b>6,200</b>	0	2,036
BP 5%	<b>6,433</b>	<b>5,236</b>	<b>7,700</b>	<b>8,033</b>	4,467	1,267	0
	<b>d.m.s</b>		<b>5,083</b>				

Fonte: Autor (2025).

Oluba *et al.*, (2021) obtiveram resultados de  $33.3\% \pm 0$  para o alongamento para o amido de gengibre com a incorporação de fibras de pena de galinha. O resultado obtido neste trabalho foi superior. Pois, segundo o autor as fibras induziram maior fragilidade da microestrutura devido a formação de ligações/interações intermoleculares entre os grupos hidroxila presentes no amido e os grupos funcionais (grupos carboxila e amino) presentes nos aminoácidos da queratina.

Resultados semelhantes foram obtidos por Khazaei *et al.*, (2021) ao observar que os filmes incorporados com óleo essencial de canela apresentaram valores de alongamento consideravelmente superiores (indicando maior flexibilidade) em comparação ao filme controle. O alongamento aumentou de 197%, no caso do filme controle puro, para 281% no filme contendo 3% de óleo essencial de canela. Esse comportamento pode ser atribuído à presença do óleo essencial de canela e do Tween 80 na formulação, os quais são capazes de se deformar facilmente, a microestrutura polimérica do material contribuindo para a maior extensibilidade do material.

Os valores de alongamento semelhantes foram obtidos por Kong *et al.*, (2020) ao incorporar nanoemulsão de carvacrol na matriz polimérica de amido/PVA, notou-se que elevação do alongamento de 23% para 133%. Esse efeito pode ser explicado por dois fatores primeiro, o pequeno tamanho das nanopartículas da emulsão reduz a interferência nas cadeias poliméricas e segundo, o Tween 80 facilitou a penetração do plastificante nos grânulos de amido, diminuindo a quantidade desses grânulos no interior e na superfície do filme.

Guo *et al.*, (2024) notou que a incorporação de emulsões de 0,1% na matriz formadora de filme resultou em um aumento significativo no alongamento dos filmes compostos, superando os valores observados nos filmes em branco. Esse aumento pode ser atribuído ao efeito plastificante das emulsões e dos óleos essenciais, que atuaram para melhorar a flexibilidade dos filmes.

Enquanto, Castro *et al.*, (2023) verificou uma ligeira diminuição no módulo de elasticidade, mas um aumento na resistência à tração e alongamento. Isso pode ser devido à presença de mais grupos carboxila livres disponíveis, que hidrolisam o amido, resultando em uma ligeira diminuição no desempenho em comparação com a amostra.

Baseado nisto, conclui-se que a composição BP 0,1% apresenta atributos excelentes pois o alongamento desempenha um papel crucial no desempenho para aplicações como os curativos de feridas para pacientes diabéticos, especialmente em

regiões do corpo sujeitas a movimentos constantes, como articulações. Curativos elásticos são capazes de se adaptar dinamicamente às alterações volumétricas do tecido, como edemas e retrações, garantindo proteção contínua e conforto ao paciente (Li *et al.*, 2020).

Além disso, a elasticidade reduz o risco de traumas durante as trocas de curativo, ao minimizar a aderência excessiva aos tecidos em regeneração, e promove uma melhor distribuição da pressão, essencial para o manejo de feridas complexas, como úlceras venosas (Li *et al.*, 2020). Essas características não apenas otimizam o processo de cicatrização, mas também melhoram a experiência do paciente, tornando a elasticidade um atributo fundamental no desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de feridas.

A partir das caracterizações realizadas neste estudo, as composições mostraram potencial para utilização em feridas, porém a composição BP 0,1% se destaca uma vez que apresentam propriedades adequadas para a formulação de biomateriais. Essas características incluem boa capacidade de absorção, aspecto visual favorável, retenção eficiente de líquidos e propriedades hidratantes, e maior estabilidade térmica indicando uma possível aplicação no processo de cicatrização. No entanto, é imprescindível realizar mais pesquisas, especialmente com foco em análises biológicas, para aprofundar o conhecimento sobre essas composições.

## 5 ANÁLISE DE CUSTOS

O quadro explicita os valores estimado para o custo inicial da composição 0,1%.

Quantidade	Marca (referência)	Custo	Valor (total)
500 g de PVA	Dinâmica	65,34	65,34
0,5 Kg de gengibre	Mercado	19,98	9,99
Agitador com aquecimento	Mercado livre ID (FAITHFUL)	900,00	900,00
5 L Óleo essencial	Amazon	93,49 x5	467,45
Custo de energia (Estufa e agitador)	Base em Kw/h da empresa equatorial	185,68	185,68
Total	-	-	3.328,47/500 unidades = 6,65694

Nota-se para cada 500g produz-se 500 filmes a proporção de óleo considera 0,1% de óleo essencial.

Custo de energia em 30 dias de produção (valores de referência março de 2025)

Consumo (KW/h)	Quant.	Preço unit (R\$)	Tarifa unit (R\$)	Pis/ COFINS	ICMS	Valor (R\$)
Consumo (KW/h)	30	0,3876	0,3042	0,30	2,21	11,63
Consumo (KW/h)	70	0,6651	0,5216	1,21	8,85	46,56
Consumo (KW/h)	120	0,9979	0,7824	3,12	22,75	119,75
Consumo (KW/h)	7	1,105	0,8893	0,20	1,47	7,74

Identifica-se esses valores como custo inicial visto que considera o valor dos equipamentos iniciais.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Foram obtidas blendas à base de amido de gengibre/PVA, por emulsão do óleo de breu branco em diferentes proporções.
- A emulsão foi capaz de inibir o crescimento bacteriano gram-positivo e gram-negativo, mas não apresentou zona de inibição para o fungo *C. albicans*.
- A morfologia dos filmes, analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), apresentou superfície predominante homogênea indicando boa miscibilidade para os filmes controle e com separação de fases para as blendas com emulsão oleosa. O MEV mostrou que as blendas com emulsão modificaram a superfície exibindo a presença de microporos na BP 0,5%.
- A análise térmica demonstrou que a mistura (AG/PVA) apresentou redução de estabilidade térmica indicando comportamento mais amorfo. Enquanto, as composições com emulsão do óleo incorporada na matriz polimérica não alteraram a estabilidade térmica, melhorando seu comportamento.
- O FTIR realizado das amostras exibiu bandas características de ambos os polímeros de PVA e amido. As composições com emulsão não proporcionaram inclusão dos componentes oleosos na matriz polimérica.
- O intumescimento das composições com óleo intumescceu satisfatoriamente quando imersas em água em 24 horas, indicando seu potencial uso em feridas exsudativas.
- O percentual de umidade foi levemente influenciado pela emulsão, resultando em composições com umidade reduzida, quando comparado com as amostras controle.
- A emulsificação espontânea do óleo resultou em tamanho de gotículas do óleo em pequena escala e dispersão homogênea do óleo no sistema, através da técnica do DLS.
- Quanto ao aspecto visual, as blendas obtidas por emulsão, apresentaram aparência homogênea com menor teor de emulsão, alta maleabilidade e bom manuseio.
- Com base nos resultados do ensaio de tração, foi possível observar excelente resistência à tração para BP 0,5%. Para o módulo de elasticidade foi obtido redução da propriedade para as amostras exceto para AG e BP 0,5%.
- O maior alongamento foi notado na BP 0,1% indicando características interessantes para curativos que resistem a esforços dinâmicos.
- Portanto, através da avaliação de todos os resultados, os filmes 0,1% podem ser mais indicados para aplicação em feridas quando comparado com as amostras restantes.

## 7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar novos métodos de obtenção de emulsão do óleo de breu branco.
- Realizar teste de permeação cutânea.
- Avaliar o comportamento por citometria de fluxo.
- Aplicar ensaios biológicos para vírus e diferentes colônias de fungos.
- Realizar teste *In vivo*.

## REFERÊNCIAS

ABEDI-FIROOZJAH, Reza *et al.* PVA/starch films: An updated review of their preparation, characterization, and diverse applications in the food industry. **Polymer testing**, v. 118, p. 107903, 2023.

ABRAL, Hairul *et al.* Effect of ultrasonication duration of polyvinyl alcohol (PVA) gel on characterizations of PVA film. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 2, p. 2477-2486, 2020.

ADEWALE, P.; YANCHESHMEH, M. S.; LAM, E. Starch modification for non-food, industrial applications: Market intelligence and critical review. **Carbohydrate Polymers**, v. 291, p. 119590, 1 set. 2022.

ADNAN, Nor Atika; SUHAIMY, Syazwan Hanani Meriam. Effect of Polyvinyl Alcohol on Cassava and Potato Starch Plastic Film: Mechanical, Thermal and Swelling Properties. **Enhanced Knowledge in Sciences and Technology**, v. 3, n. 2, p. 460-471, 2023. Disponível em: <https://www.uthm.edu.my/>: Effect of Polyvinyl Alcohol on Cassava and Potato Starch Plastic Film: Mechanical, Thermal and Swelling Properties Enhanced Knowledge in Sciences and Technology (uthm.edu.my). Acesso em: 14 nov. 2023.

ALBINO, Rayane C. *et al.*, Oxidation of monoterpenes in *Protium heptaphyllum* oleoresins. **Phytochemistry**, [s.l], v. 136, [s.n], p. 141-146, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>: Oxidation of monoterpenes in *Protium heptaphyllum* oleoresins - ScienceDirect. Acesso em: 25 out. 2023.

ALQARNI, Mohammed H. *et al.* Caraway Nanoemulsion Gel: A Potential Antibacterial Treatment against *Escherichia Coli* and *Staphylococcus Aureus*. **Gels**, v. 9, n. 3, p. 193, 2023.

ALTAF, Farrukh *et al.* Synthesis and characterization of PVA/starch hydrogel membranes incorporating essential oils aimed to be used in wound dressing applications. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, p. 156-174, 2021.

ARCUSA, Raúl *et al.* Potential role of ginger (*Zingiber officinale*) in the prevention of neurodegenerative diseases. **Frontiers in nutrition**, [s.l], v. 9, [s.n], p. 809621, 2022. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/>: Frontiers | Potential Role of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) in the Prevention of Neurodegenerative Diseases (frontiersin.org). Acesso em: 10 nov. 2023.

APRIYANTO, A.; COMPART, J.; FETTKE, J. A review of starch, a unique biopolymer Structure, metabolism and in planta modifications. **Plant Science**, v. 318, p. 111223, 1 maio 2022.

AMALRAJ, Augustine *et al.* Preparation, characterization and antimicrobial activity of polyvinyl alcohol/gum arabic/chitosan composite films incorporated with black pepper essential oil and ginger essential oil. **International journal of biological macromolecules**, v. 151, p. 366-375, 2020.

ARIF, Muhammad Maaz *et al* Polymer-based biomaterials for chronic wound management: Promises and challenges. **International Journal of Pharmaceutics**, [s.l], v. 598, [s.n], p. 120270, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378512221001270>: Polymer-based biomaterials for chronic wound management: Promises and challenges - ScienceDirect. Acesso em: 12 nov. 2023.

ALMEIDA, Marcos Danilo Costa de *et al.*, Development of a bio-based adhesive from Protium heptaphyllum resin. **Polímeros**, v. 31, 2021.

ALMEIDA, J. C; ALMEIDA, P. P; GHERARDI, S. R. M. Potencial antimicrobiano de óleos essenciais: uma revisão de literatura de 2005 a 2018. **Nutritime Revista Eletrônica Viçosa**, v. 17, n. 1, p. 8623-8633, 2020.

ASSOLINI, Joao Paulo *et al.*, 4-nitrochalcone exerts leishmanicidal effect on L. amazonensis promastigotes and intracellular amastigotes, and the 4-nitrochalcone encapsulation in beeswax copaiba oil nanoparticles reduces macrophages cytotoxicity. **European Journal of Pharmacology**, [s.l], v. 884, [s.n], p. 173392, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304388620300000>: 4-nitrochalcone exerts leishmanicidal effect on L. amazonensis promastigotes and intracellular amastigotes, and the 4-nitrochalcone encapsulation in beeswax copaiba oil nanoparticles reduces macrophages cytotoxicity - ScienceDirect. Acesso em: 12 nov. 2023.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. D882-18. **Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting**. United States: ASTM, 2018.

AISYAH, Y. *et al.* Characterization of corn starch-based edible film incorporated with nutmeg oil nanoemulsion. In: IOP conference series: materials science and engineering. IOP Publishing, 2018. p. 012050.

ATKIN, N. J.; ABEYSEKERA, R. M.; ROBARDS, A. W. The events leading to the formation of ghost remnants from the starch granule surface and the contribution of the granule surface to the gelatinization endotherm. **Carbohydrate Polymers**, v. 36, n. 2-3, p. 193-204, 1998.

BAIG, Nadeem; KAMMAKAKAM, Irshad; FALATH, Wail. Nanomaterials: A review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. **Materials Advances**, v. 2, n. 6, p. 1821-1871, 2021. Disponível em: <https://www.rsc.org/journals-books-and-databases/titles/materials-advances>: Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges - Materials Advances (RSC Publishing) DOI:10.1039/D0MA00807A. Acesso em: 25 nov. 2023.

BAGHAIE, Shaghayegh *et al.* Wound healing properties of PVA/starch/chitosan hydrogel membranes with nano Zinc oxide as antibacterial wound dressing material. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, v. 28, n. 18, p. 2220-2241, 2017.

BALAHBIB, Abdelaali *et al.* Health beneficial and pharmacological properties of p-cymene. **Food and Chemical Toxicology**, [s.l], v. 153, [s.n], p. 112259-112275, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273235121001275>: Health beneficial and pharmacological properties of p-cymene - Food and Chemical Toxicology (Elsevier) DOI:10.1016/j.fct.2021.112259. Acesso em: 14 out. 2023.

- BALAKRISHNAN, B.; PARAMASIVAM, S.; ARULKUMAR, A. Evaluation of the lemongrass plant (*Cymbopogon citratus*) extracted in different solvents for antioxidant and antibacterial activity against human pathogens. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, v. 4, p. S134–S139, 2014
- BHARADWAJ, Alok. An overview on biomaterials and its applications in medical science. **In IOP conference series: materials science and engineering**, [s.l.], v. 1116, n.1, IOP Publishing, p. 012178, 2021.
- BALLESTER, Pura *et al.* Effect of ginger on inflammatory diseases. **Molecules**, [s.l.], v. 27, n. 21, p. 7223-7236, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-0733/27/21/7223>. Acesso em: 20 nov. 2023.
- BARRADAS, Thaís Nogueira; DE HOLANDA E SILVA, Katty Gyselle. Nanoemulsions of essential oils to improve solubility, stability and permeability: a review. **Environmental Chemistry Letters**, v. 19, n. 2, p. 1153-1171, 2021.
- BENELLI, Giovanni *et al.* Developing a highly stable *Carlina acaulis* essential oil nanoemulsion for managing *Lobesia botrana*. **Nanomaterials**, v. 10, n. 9, p. 1867, 2020.
- BIANCHERA, Annalisa *et al.* The place of biomaterials in wound healing. **Therapeutic dressings and wound healing applications**, [s.l.], [s.v.], p. 337-366, 2020. The Place of Biomaterials in Wound Healing - Therapeutic Dressings and Wound Healing Applications - Wiley Online Library. Acesso em 10 out. 2023.
- BISCHOFF-KONT, Iris; FÜRST, Robert. Benefits of ginger and its constituent 6-shogaol in inhibiting inflammatory processes. **Pharmaceuticals**, v. 14, n. 6, p. 571, 2021.
- BISWAL, Trinath; BADJENA, Sushant Kumar; PRADHAN, Debabrata. Sustainable biomaterials and their applications: A short review. **Materials Today: Proceedings**, [s.l.], v. 30, [s.n.], p. 274-282, 2020.
- BRUMBERG, Valentin *et al.* Modern wound dressings: Hydrogel dressings. **Biomedicines**, v. 9, n. 9, p. 1235, 2021.
- BRANDELERO, Renata PH; ALMEIDA, Fábio M. de; ALFARO, Alexandre. Microestrutura e propriedades de filmes de amido-álcool polivinílico-alginato adicionados de óleos essenciais de copaíba e capim limão. *Química nova*, v. 38, n. 7, p. 910-916, 2015.
- CAMPOLO, Orlando *et al.* Essential oil-based nano-emulsions: Effect of different surfactants, sonication and plant species on physicochemical characteristics. **Industrial Crops and Products**, v. 157, p. 112935, 2020.
- CASTRO, Jennifer M. *et al.* Thermoplastic starch/polyvinyl alcohol blends modification by citric acid-glycerol polyesters. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 244, p. 125478, 2023.

CHEN, F.M., LIU, X. Advancing biomaterials of human origin for tissue engineering. **Progress in polymer science**, [s.l], v. 53, [s.n] p. 86-168, 2016. Disponível em: Advancing biomaterials of human origin for tissue engineering - ScienceDirect. Acesso em: 14 nov. 2023.

COBO, Fernanda Nardo *et al.* Estudo da miscibilidade de blendas de poli (ácido láctico) /poli (butileno adipato-co-tereftalato) preparadas pelo método de evaporação de solvente. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [s.l], v. 26, n.2, p.1-12, 2021. Disponível em: Produção de revestimento cerâmico (scielo.br). Acesso em: 15 nov. 2023.

COSTA, Danusa Silva da *et al.* Cassava-starch-based films incorporated with buriti (*Mauritia flexuosa L.*) oil: a new active and bioactive material for food packaging applications. **Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p. 121-135, 2022.

CUI, Congli *et al.* Bioactive and intelligent starch-based films: A review. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l], v. 116, [s.n], p. 854-869, 2021.

DA CRUZ ALBINO, Rayane *et al.* Amazonian medicinal smokes: Chemical analysis of Burseraceae pitch (breu) oleoresin smokes and insights into their use on headache. **Journal of Ethnopharmacology**, [s.l], v. 276, [s.n], p. 114165-114175, 2021. Disponível em: Amazonian medicinal smokes: Chemical analysis of Burseraceae pitch (breu) oleoresin smokes and insights into their use on headache - ScienceDirect. Acesso em: 14 nov. 2023.

DAJIC STEVANOVIC, Zora *et al.* Natural macromolecules as carriers for essential oils: From extraction to biomedical application. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, p. 563, 2020.

DA SILVA, Kennedy Lima *et al.* Composição química e atividade antibacteriana do óleo essencial da resina de *Protium hebetatum* Daly (Burseraceae). **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, [s.l], v. 8, n. 2, p. 245-253, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/4469>. Acesso em: 14 nov.2023.

DE ANDRADE RODRIGUES, Rosalba Maria Borges *et al.* A sustainable approach in the management of *Callosobruchus maculatus*: essential oil of *Protium heptaphyllum* and its major compound d-limonene as biopesticides. **Journal of Plant Diseases and Protection**, v. 129, n. 4, p. 831-841, 2022.

DE CARVALHO SOUZA, Marcus Vinicius *et al.* Desempenho físico-químico, térmico e mecânico de biopolímero à base do amido do mesocarpo do coco babaçu. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 7, p. e12612742604-e12612742604, 2023.

DE SOUZA, Ana Luiza Trovo Marques *et al.* Características físico-químicas e reológicas do amido de milho (*Zea mays L.*) de pipoca crioulo. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 13, pág. e402101321394-e402101321394, 2021.

DELAVARI, Mohammad Mohsen; STIHARU, Ion. Preparation and Characterization of Eco-Friendly Transparent Antibacterial Starch/Polyvinyl Alcohol Materials for use as

Wound-Dressing. **Micromachines**, [s.l], v. 13, n. 6, p. 960, 2022. Disponível em: Micromachines | Free Full-Text | Preparation and Characterization of Eco-Friendly Transparent Antibacterial Starch/Polyvinyl Alcohol Materials for use as Wound-Dressing (mdpi.com). Acesso em: 15 nov. 2023.

DONG, Ruonan; GUO, Baolin. Smart wound dressings for wound healing. **Nano Today**, v. 41, p. 101290, 2021.

ERCIN, Esin *et al.* Laurus nobilis L. essential oil-loaded PLGA as a nanoformulation candidate for cancer treatment. **Molecules**, v. 27, n. 6, p. 1899, 2022.

FARAJPOUR, Romina *et al.*, Structural and physico-mechanical properties of potato starch-olive oil edible films reinforced with zein nanoparticles. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, p. 941-950, 2020.

FARAMARZI, Negar; TAMAYOL, Ali. How can smart dressings change the future of wound care?. **Journal of Wound Care**, [s.l], v. 30, n. 7, p. 512-5115, 2021. Disponível em: How can smart dressings change the future of wound care? (magonlinelibrary.com). Acesso em: 15 nov. 2023.

FARAHANI, Mojtaba; SHAFIEE, Abbas. Wound healing: From passive to smart dressings. **Advanced Healthcare Materials**, [s.l], v. 10, n. 16, p. 210- 219, 2021.

FAUSTINO, Cleidjane Gomes *et al.* Biocidal Activity of a Nanoemulsion Containing Essential Oil from *Protium heptaphyllum* Resin against *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). **Molecules**, v. 26, n. 21, p. 6439, 2021.

FAN, Saifeng *et al.* Enhancing bread preservation through non-contact application of starch-based composite film infused with clove essential oil nanoemulsion. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 263, p. 130297, 2024.

FERREIRA, Elisângela da Silva. Síntese e caracterização de membrana de Quitosana com extrato de banana verde e andiroba para cicatrização de lesões Epiteliais. Orientadora: Verônica Scarpini Cândido. 2022. 115 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/14076>. Acesso em: 15 nov. 2023.

FERREIRA, Wagner Andrade *et al.* Gengibre (*Zingiber officinale*) no Manejo de Náuseas e Vômitos Induzidos por Quimioterapia em Pacientes com Câncer: Revisão Integrativa da Literatura. **Revista Brasileira de Cancerologia**, [s.l], v. 69, n. 2, p. 1-8, 2023. Disponível em: Gengibre (*Zingiber officinale*) no Manejo de Náuseas e Vômitos Induzidos por Quimioterapia em Pacientes com Câncer: Revisão Integrativa da Literatura (inca.gov.br). Acesso em: 16 nov. 2023.

FREDI, Giulia; DORIGATO, Andrea. Compatibilization of biopolymer blends: A review. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 7, n. 4, p. 373-404, 2024.

FESTAS, A. J.; RAMOS, A.; DAVIM, J. P. Medical devices biomaterials—A review. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications**, [s.l], v. 234, n. 1, p. 218-228, 2020. Disponível em: <https://www.sagepub.com/journalsPermissions.nav>: Medical devices biomaterials – A review - AJ Festas, A Ramos, JP Davim, 2020 (sagepub.com). Acesso em: 17 nov. 2023.

FONSECA, Laura Martins *et al.* Development of antimicrobial and antioxidant electrospun soluble potato starch nanofibers loaded with carvacrol. **International journal of biological macromolecules**, v. 139, p. 1182-1190, 2019.

GARZA-CADENA, Clarissa *et al.* A comprehensive review on Ginger (*Zingiber officinale*) as a potential source of nutraceuticals for food formulations: Towards the polishing of gingerol and other present biomolecules. **Food Chemistry**, v. 413, p. 135629, 2023.

GUO, Xin *et al.* Preparation and properties of films loaded with cellulose nanocrystals stabilized Thymus vulgaris essential oil Pickering emulsion based on modified tapioca starch/polyvinyl alcohol. **Food Chemistry**, v. 435, p. 137597, 2024.

GÓMEZ-ALDAPA, Carlos Alberto *et al.* Effect of polyvinyl alcohol on the physicochemical properties of biodegradable starch films. **Materials Chemistry and Physics**, v. 239, p. 122027, 2020.

GHADIRI, Nima *et al.*, Physicochemical properties and antioxidant activity of polyvinyl alcohol orally disintegrating films containing sweet almond oil nanoemulsion. **Journal of Food Measurement and Characterization**, [s.l], [s.v], [s.n], p. 1-15, 2023. Disponível: <https://www.springer.com/journal/10079>: Physicochemical properties and antioxidant activity of polyvinyl alcohol orally disintegrating films containing sweet almond oil nanoemulsion | Journal of Food Measurement and Characterization (springer.com). Acesso em: 18 nov. 2023.

GUO, Xin *et al.* Preparation and properties of films loaded with cellulose nanocrystals stabilized Thymus vulgaris essential oil Pickering emulsion based on modified tapioca starch/polyvinyl alcohol. **Food Chemistry**, v. 435, p. 137597, 2024.

GUO, Mingming *et al.* Synergistic antibacterial effects of ultrasound and thyme essential oils nanoemulsion against Escherichia coli O157: H7. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 66, p. 104988, 2020.

GUO, Honglei *et al.* A Versatile Nanoemulsion of Antibiotic and Eucalyptol with Synergistic Effects Against E. Coli Infected Urocystitis. **Advanced Therapeutics**, v. 7, n. 3, p. 2300310, 2024.

Ghavidel, F., Javadi, A., Anarjan, N., & Jafarizadeh-Malmiri, H. (2021). New approach in process intensification based on subcritical water, as green solvent, in propolis oil in water nanoemulsion preparation. *Green Processing and Synthesis*, 10(1), 208-218.

GRANDE TOVAR, Carlos David *et al.*, Synthesis, characterization, and histological evaluation of chitosan-Ruta graveolens essential oil films. **Molecules**, [s.l], v. 25, n. 7, p.

1688-1712, 2020. Disponível em: [https: Synthesis, Characterization, and Histological Evaluation of Chitosan-Ruta Graveolens Essential Oil Films \(mdpi.com\)](https://mdpi.com). Acesso em: 19 nov. 2023.

GUPTA, Parisa *et al.* Preparation of *Thymus vulgaris* (L.) essential oil nanoemulsion and its chitosan encapsulation for controlling mosquito vectors. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 4335, 2022.

GUIMARÃES, Aline Cristina *et al.* Antibacterial activity of terpenes and terpenoids present in essential oils. **Molecules**, [s.l], v. 24, n. 13, p. 2471-2484, 2019. Disponível em: [Molecules | Free Full-Text | Antibacterial Activity of Terpenes and Terpenoids Present in Essential Oils \(mdpi.com\)](https://mdpi.com). Acesso em: 19 nov. 2023.

HAN, Seung-Kyu. **Innovations and advances in wound healing**. Springer Nature, 2023.

HARO-GONZÁLEZ, José Nabor *et al.* Clove essential oil (*Syzygium aromaticum* L. Myrtaceae): Extraction, chemical composition, food applications, and essential bioactivity for human health. **Molecules**, v. 26, n. 21, p. 6387, 2021.

HAYATI, Rahma F. *et al* [6]-Gingerol Inhibits Chikungunya Virus Infection by Suppressing Viral Replication. **BioMed research international**, v. 2021, n. 1, p. 6623400, 2021

HASHEMINYA, Seyedeh-Maryam; DEHGHANNYA, Jalal. Development and characterization of novel edible films based on *Cordia dichotoma* gum incorporated with *Salvia mirzayanii* essential oil nanoemulsion. **Carbohydrate Polymers**, v. 257, p. 117606, 2021.

JAMALUDIN, Thandar Soe Sumaiyah *et al.* A Narrative Review on Modern Wound Dressing for Diabetes Mellitus Wound. **International Journal of Care Scholars**, [s.l], v. 3, n. 2, p. 50-56, 2020.

Jiang S, Liu C, Wang X, Xiong L, Sun Q. Physicochemical properties of starch nanocomposite films enhanced by self assembled potato starch nanoparticles. *Food Science and Technology*. 2016;69,251-257.

HODGE, Jacob G. *et al.* Evaluating polymeric biomaterials to improve next generation wound dressing design. **Biomaterials Research**, v. 26, n. 1, p. 1-39, 2022.

ILYAS, R. A. *et al.* Effect of sugar palm nanofibrillated cellulose concentrations on morphological, mechanical and physical properties of biodegradable films based on agro-waste sugar palm (*Arenga pinnata* (Wurmb.) Merr) starch. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 8, n. 5, p. 4819–4830, 1 set. 2019.

JOYCE, Kieran *et al.* Bioactive potential of natural biomaterials: Identification, retention and assessment of biological properties. **Signal Transduction and Targeted Therapy**, [s.l], v. 6, n. 1, p. 122-150, 2021.

JUGREET, B. Sharmeen *et al.* Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l], v. 101, [s.n], p. 89-105, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123120300000>: Chemistry, bioactivities, mode of action and industrial applications of essential oils - ScienceDirect. Acesso em: 19 nov. 2023.

KALIRAJAN, Cheirmadurai *et al.* A critical review on polymeric biomaterials for biomedical applications. **Polymers**, v. 13, n. 17, p. 3015, 2021.

KHAIRAN, Khairan *et al.* Fabrication and Evaluation of Polyvinyl Alcohol/Corn Starch/Patchouli Oil Hydrogel Films Loaded with Silver Nanoparticles Biosynthesized in Pogostemon cablin Benth Leaves' Extract. **Molecules**, [s.l], v. 28, n. 5, p. 2020, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/28/5/2020>: Fabrication and Evaluation of Polyvinyl Alcohol/Corn Starch/Patchouli Oil Hydrogel Films Loaded with Silver Nanoparticles Biosynthesized in Pogostemon cablin Benth Leaves' Extract (mdpi.com). Acesso em: 19 nov. 2023.

KRISHNAN K, Asha; THOMAS, Sabu. Recent advances on herb-derived constituents-incorporated wound-dressing materials: A review. **Polymers for Advanced Technologies**, [s.l], v. 30, n. 4, p. 823-838, 2019.

KHAZAEI, Ali *et al.* Evaluation of physical, mechanical and antibacterial properties of pinto bean starch-polyvinyl alcohol biodegradable films reinforced with cinnamon essential oil. **Polymers**, v. 13, n. 16, p. 2778, 2021.

KONG, Ianne; DEGRAEVE, Pascal; PUI, Liew Phing. Polysaccharide-based edible films incorporated with essential oil nanoemulsions: Physico-chemical, mechanical properties and its application in food preservation—A review. **Foods**, v. 11, n. 4, p. 555, 2022.

KOCHKINA, Nataliya E.; BUTIKOVA, Olga A. Preparation of starch/PVA nanoparticles and evaluation of their ability to stabilize Pickering emulsions. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 274, p. 133406, 2024.

KONG, Ruiqi *et al.* Development and characterization of corn starch/PVA active films incorporated with carvacrol nanoemulsions. **International Journal of Biological Macromolecules**, [s.l], v. 164, [s.n], p. 1631-1639, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813020300000>: Development and characterization of corn starch/PVA active films incorporated with carvacrol nanoemulsions - ScienceDirect. Acesso em: 20 nov. 2023.

KUMAR, Anuj; HAN, Sung Soo. Enhanced mechanical, biomineralization, and cellular response of nanocomposite hydrogels by bioactive glass and halloysite nanotubes for bone tissue regeneration. **Materials Science and Engineering: C**, [s.l], v. 128, [s.n], p. 112-136, 2021.

KUMAR, Anuj; SOOD, Ankur; HAN, Sung Soo. Poly (vinyl alcohol)-alginate as potential matrix for various applications: A focused review. **Carbohydrate Polymers**, [s.l], v. 277, [s.n], p. 118- 128, 2022. Disponível em: Poly (vinyl alcohol)-alginate as potential matrix for various applications: A focused review. - Abstract - Europe PMC. Acesso em: 20 nov. 2023.

KALIRAJAN, Cheirmadurai et al. A critical review on polymeric biomaterials for biomedical applications. **Polymers**, v. 13, n. 17, p. 3015, 2021.

LI, Xin *et al.* Structural and physicochemical properties of ginger (*Rhizoma curcumae longae*) starch and resistant starch: A comparative study. **International journal of biological macromolecules**, [s.l], v. 144, [s.n], p. 67-75, 2020. Disponível em: Structural and physicochemical properties of ginger (*Rhizoma curcumae longae*) starch and resistant starch: A comparative study - PubMed (nih.gov). Acesso em: 20 nov. 2023.

LI, Zhe *et al.* Advances of spontaneous emulsification and its important applications in enhanced oil recovery process. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 277, p. 102119, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002189952030119>: Advances of spontaneous emulsification and its important applications in enhanced oil recovery process - ScienceDirect Acesso em: 20 nov. 2023.

LIAO, Shenglan *et al.* Ultrasonic preparation of Tween-essential oil (*Zanthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc) oil/water nanoemulsion: Improved stability and alleviation of *Staphylococcus epidermidis* biofilm. **Industrial Crops and Products**, v. 188, p. 115654, 2022.

LIANG, Dongyi *et al.* Preparation, characterization, and biological activity of Cinnamomum cassia essential oil nano-emulsion. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 86, p. 106009, 2022.

LEE, Jung-Soo; LEE, Eun-sil; HAN, Jaejoon. Enhancement of the water-resistance properties of an edible film prepared from mung bean starch via the incorporation of sunflower seed oil. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 13622, 2020.

LIEW, Sin Neen *et al.* Physical, morphological and antibacterial properties of lime essential oil nanoemulsions prepared via spontaneous emulsification method. **LWT**, v. 128, p. 109388, 2020.

LIMA, Tainara de Paula de Lima; PASSOS, Marcele Fonseca. Skin wounds, the healing process, and hydrogel-based wound dressings: a short review. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, [s.l], v. 32, n. 14, p. 1910-1925, 2021. Acesso em: 20 nov. 2023. Disponível em: Skin wounds, the healing process, and hydrogel-based wound dressings: a short review - PubMed (nih.gov). Acesso em: 20 nov. 2023.

MCDONALD, Samantha M. *et al.* Applied machine learning as a driver for polymeric biomaterials design. **Nature Communications**, v. 14, n. 1, p. 4838, 2023.

MAURYA, Akash *et al.* Essential oil nanoemulsion as eco-friendly and safe preservative: Bioefficacy against microbial food deterioration and toxin secretion, mode of action, and future opportunities. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 751062, 2021.

MALICK, B; BABA, N; DIADIOLY, G; SENI, T. Review on Essential Oils and Their Corrosion-inhibiting Properties. **American Journal of Applied Chemistry**. v. 9, n. 3, 2021, pp. 65-73. doi: 10.11648/j.ajac.20210903.12.

MAILLARD, Anike PV Ferreyra *et al.* Potencial zeta além da ciência dos materiais: Aplicações a sistemas bacterianos e ao desenvolvimento de novos antimicrobianos. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranas**, v. 1863, n. 6, p. 183597, 2021.

MAO, Qin *et al.* Self-contracting oxidized starch/gelatin hydrogel for noninvasive wound closure and wound healing. **Materials & Design**, v. 194, p. 108916, 2020.

MAO, Qian-Qian *et al.* Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). **Food**, [s,l], v. 8, n. 6, p. 185, 2019. Disponível em: <https://research.gtiit.edu.cn/en/publications/bioactive-compounds-and-bioactivities-of-ginger-zingiber>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MARQUES, Delcio Dias *et al.* Chemical composition of the essential oils from two subspecies of *Protium heptaphyllum*. **Acta Amazonica**, v. 40, p. 227-230, 2010. Disponível em: SciELO - Brasil - Chemical composition of the essential oils from two subspecies of *Protium heptaphyllum* Chemical composition of the essential oils from two subspecies of *Protium heptaphyllum*. Acesso em: 20 nov. 2023.

MASYITA, Ayu *et al.* Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives. **Food chemistry: X**, v. 13, p. 100217, 2022.

MENDES, J. F. *et al.* Correlating emulsion characteristics with the properties of active starch films loaded with lemongrass essential oil. **Food Hydrocolloids**, v. 100, p. 105428, 2020.

MENDES, Josiane Lima *et al.* Chemical composition and mechanism of vibriocidal action of essential oil from resin of *Protium heptaphyllum*. **The scientific world journal**, v. 2019, n. 1, p. 9563213, 2019.

MEHDIZADEH, Tooraj *et al.* Chitosan-starch film containing pomegranate peel extract and *Thymus kotschyianus* essential oil can prolong the shelf life of beef. **Meat science**, v. 163, p. 108073, 2020.

METAYI *et al.*, Omani Frankincense nanoemulsion formulation efficacy and its latent effects on biological aspects of the spiny bollworm *Earias insulana* (Boisd.). **Frontiers in Physiology**, v. 13, p. 1001136, 2022.

MIRSHARIFI, Seyedeh Maryam *et al.* Production, characterization, and antimicrobial activity of almond gum/polyvinyl alcohol/chitosan composite films containing thyme essential oil nanoemulsion for extending the shelf-life of chicken breast fillets. **International journal of biological macromolecules**, v. 227, p. 405-415, 2023.

MOGHASSEMI, Saeid *et al.* Nanoemulsion applications in photodynamic therapy. **Journal of Controlled Release**, v. 351, p. 164-173, 2022. Disponível em: Nanoemulsion applications in photodynamic therapy - PubMed (nih.gov) Acesso em: 20 nov. 2023.

MOHD NIZAM, N. H. *et al.* Physical, thermal, mechanical, antimicrobial, and physicochemical properties of starch-based film containing aloe vera: a review. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 15, p. 1572–1589, 1 nov. 2021.

MONTOYA, Carolina *et al.* On the road to smart biomaterials for bone research: Definitions, concepts, advances, and outlook. **Bone Research**, [s,l], v. 9, n. 1, p. 12, 2021. Disponível em: On the road to smart biomaterials for bone research: definitions, concepts, advances, and outlook | Bone Research (nature.com). Acesso em: 20 nov. 2023.

MOSALLAM, Farag M. *et al.* Alleviating the virulence of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* by ascorbic acid nanoemulsion. **Research in Microbiology**, v. 174, n. 7, p. 104084, 2023.

MUSA, Bushra H.; HAMEED, Nahida J. Study of the mechanical properties of polyvinyl alcohol/starch blends. **materials today: proceedings**, v. 20, p. 439-442, 2020.

MUTLU-INGOK, Aysegul *et al.* Antibacterial, antifungal, antimycotoxigenic, and antioxidant activities of essential oils: An updated review. **Molecules**, [s,l], v. 25, n. 20, p. 4711, 2020. Disponível em: Antibacterial, Antifungal, Antimycotoxigenic, and Antioxidant Activities of Essential Oils: An Updated Review - PubMed (nih.gov). Acesso em: 20 nov. 2023.

NABAWY, Ahmed *et al.* Nature-derived gelatin-based antifungal nanotherapeutics for combatting *Candida albicans* biofilms. **Environmental Science: Nano**, v. 11, n. 2, p. 637-644, 2024.

NICULESCU, Adelina-Gabriela; GRUMEZESCU, Alexandru Mihai. An up-to-date review of biomaterials application in wound management. **Polymers**, v. 14, n. 3, p. 421, 2022.

NIETO-SUAZA, Leonardo *et al.* Characterization of Aloe vera-banana starch composite films reinforced with curcumin-loaded starch nanoparticles. **Food Structure**, v. 22, p. 100131, 2019.

NORCINO, L. B. *et al.* Pectin films loaded with copaiba oil nanoemulsions for potential use as bio-based active packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 106, p. 105862, 2020.

NOGUEIRA, Amaurilio O. *et al.* Pharmacological effects of the isomeric mixture of alpha and beta amyryn from *Protium heptaphyllum*: a literature review. **Fundamental & clinical pharmacology**, v. 33, n. 1, p. 4-12, 2019.

NUNES, J., MELO, P., AOUADA, F.; MOURA, M. Influência da Nanoemulsão de Óleo Essencial de Limão em Filmes à Base de Gelatina. **Química Nova**, [s.l], v. 41, n. 9, p.1006-1010, 2018. Disponível em: scielo - brasil - Influência da nanoemulsão de óleo essencial de limão em filmes à base de gelatina influência da nanoemulsão de óleo essencial de limão em filmes à base de gelatina. Acesso em: 20 nov. 2023.

NWABOR, Ozioma Forstinus *et al.* Enhancement of food shelf life with polyvinyl alcohol-chitosan nanocomposite films from bioactive Eucalyptus leaf extracts. **Food Bioscience**, v. 36, p. 100609, 2020.

OBAGI, ZAIDAL *et al.* Principles of Wound Dressings: A Review. **Surgical technology international**, [s.l], v. 35, [s.n], p. 50-57; 2019. Disponível em: Principles of Wound Dressings: A Review - PubMed (nih.gov) . Acesso em: 20 nov. 2023.

OLIVEIRA, Cristina Soltovski de *et al.* Physicochemical, Thermal, Structural and Pasting Properties of Unconventional Starches from Ginger (*Zingiber officinale*) and White Yam (*Dioscorea sp.*). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 62, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/babt/a/Mn7qBDZNkfbt3gyhBBq5fPt/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

MOGHIMI, Roya; ALIAHMADI, Atousa; RAFATI, Hasan. Antibacterial hydroxypropyl methyl cellulose edible films containing nanoemulsions of *Thymus daenensis* essential oil for food packaging. **Carbohydrate polymers**, v. 175, p. 241-248, 2017.

MOGHIMI, Roya; ALIAHMADI, Atousa; RAFATI, Hasan. Antibacterial hydroxypropyl methyl cellulose edible films containing nanoemulsions of *Thymus daenensis* essential oil for food packaging. **Carbohydrate polymers**, v. 175, p. 241-248, 2017.

OGUNSONA, Emmanuel; OJOGBO, Ewomazino; MEKONNEN, Tizazu. Advanced material applications of starch and its derivatives. **European Polymer Journal**, v. 108, p. 570-581, 2018.

OLUBA, Olarewaju M. *et al.* Fabrication and characterization of keratin starch biocomposite film from chicken feather waste and ginger starch. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 8768, 2021. Disponível em: Fabrication and characterization of keratin starch biocomposite film from chicken feather waste and ginger starch | Scientific Reports (nature.com). Acesso em: 20 nov. 2023.

PANDEY, Vinay Kumar *et al.* Bioactive properties of clove (*Syzygium aromaticum*) essential oil nanoemulsion: A comprehensive review. **Heliyon**, 2024.

PARANHOS, Sheila Barbosa *et al.* Chitosan Membrane Containing Copaiba Oil (*Copaifera spp.*) for Skin Wound Treatment. **Polymers**, [s.l], v. 14, n. 1, p. 35, 2021.

Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>: Chitosan Membrane Containing Copaiba Oil (*Copaifera spp.*) for Skin Wound Treatment - PubMed (nih.gov). Acesso em: 20 nov. 2023.

PARIN, Fatma Nur. A green approach to the development of novel antibacterial cinnamon oil loaded-PVA/egg white foams via Pickering emulsions. **Journal of Porous Materials**, [s.l], [s.v], [s.n], p. 1-11, 2023.

PATIL, Mallikarjunagouda B. *et al.* Functional properties of grapefruit seed extract embedded blend membranes of poly (vinyl alcohol)/starch: Potential application for antiviral activity in food safety to fight against COVID-19. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 31, n. 6, p. 2519-2533, 2023.

PONTE, Marcelo Rodrigues *et al.* Blendas de bagaço de cana-de-açúcar, podas de mangueira e cajueiro: caracterização das propriedades e investigação de seus potenciais energéticos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, [s.l], v. 24, [s.n], p.1-12, 2019. <https://www.scielo.br/j/rmat/a/Trwm5dchfpWL5K6kS7ccM8P/>. Acesso em: 20 nov. 2023.

PIRES, Patrícia C. *et al.* Polymer-based biomaterials for pharmaceutical and biomedical applications: A focus on topical drug administration. **European Polymer Journal**, v. 187, p. 111868, 2023.

RAHMASARI, Yovita; YEMIŞ, Gökçe Polat. Characterization of ginger starch-based edible films incorporated with coconut shell liquid smoke by ultrasound treatment and application for ground beef. **Meat Science**, [s.l], v. 188, [s.n], p. 108- 116, 2022.

RASTI, Fatemeh *et al.* Anticancer, antioxidant, and antibacterial effects of nanoemulsion of *Origanum majorana* essential oil. *Iranian Journal of Microbiology*, v. 15, n. 4, p. 565, 2023.

RATNER, Buddy D.; ZHANG, Guigen. A history of biomaterials. In: *Biomaterials Science*. **Academic Press**, [s.l], [s.v], [s.n], p. 21-34, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128161371000027>. Acesso em: 31 nov. 2023.

RESTREPO, Andrea E. *et al.* Mechanical, barrier, and color properties of banana starch edible films incorporated with nanoemulsions of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) and rosemary (*Rosmarinus officinalis*) essential oils. *Food Science and Technology International*

REIS; Thaysa de Sousa; PASSOS, Marcele Fonseca. **Encapsulação do óleo essencial de breu-branco (*Protium heptaphyllum*) por gelificação iônica para potenciais aplicações biotecnológicas**, Editora Atena, 2022.

REZVANI GHOMI, Erfan *et al.* Wound dressings: Current advances and future directions. **Journal of Applied Polymer Science**, [s.l], v. 136, n. 27, p. 47738, 2019. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/app.47738>. Acesso em: 31 nov. 2023.

RYU, Victor *et al.* Natural antimicrobial delivery systems: Formulation, antimicrobial activity, and mechanism of action of quillaja saponin-stabilized carvacrol nanoemulsions. **Food Hydrocolloids**, v. 82, p. 442-450, 2018.

ROCHA, M. DA *et al.* Effects of agar films incorporated with fish protein hydrolysate or clove essential oil on flounder (*Paralichthys orbignyanus*) fillets shelf-life. **Food Hydrocolloids**, v. 81, p. 351–363, 1 ago. 2018.

ROCHA, Thiago Soares *et al.* Variabilidade química de óleos essenciais de *Protium heptaphyllum*. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 10, p. e288111032835-e288111032835, 2022.

ROMANO, Giovanna *et al.* Biomaterials and bioactive natural products from marine invertebrates: From basic research to innovative applications. *Marine Drugs*, v. 20, n. 4, p. 219, 2022.

RODRIGO-NAVARRO, Alexandre *et al.* Engineered living biomaterials. **Nature Reviews Materials**, [s.l], v. 6, n. 12, p. 1175-1190, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41578-021-00350-8>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SAMADIAN, Hadi *et al.* Natural polymers-based light-induced hydrogels: Promising biomaterials for biomedical applications. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 420, p. 213432, 2020.

SANCHEZ, Leidy T.; PINZON, Magda I.; VILLA, Cristian C. Development of active edible films made from banana starch and curcumin-loaded nanoemulsions. *Food Chemistry*, v. 371, p. 131121, 2022.

SANTOS, Flávia Almeida *et al.* Antihyperglycemic and hypolipidemic effects of  $\alpha$ ,  $\beta$ -amyrin, a triterpenoid mixture from *Protium heptaphyllum* in mice. **Lipids in health and disease**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2012. Disponível em: Antihyperglycemic and hypolipidemic effects of  $\alpha$ ,  $\beta$ -amyrin, a triterpenoid mixture from *Protium heptaphyllum* in mice | *Lipids in Health and Disease* | Full Text (biomedcentral.com). Acesso em: 25 nov. 2023.

SARININGSIH, Novia; HANDAYANI, Desi Suci; KUSUMANINGSIH, Triana. Development and characterization of the mechanical properties of edible film from ginger starch, chitosan with glycerin as plasticizer to food packaging. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. p. 012011.2019.

SAVENCU, Ioana *et al.* Review of advances in polymeric wound dressing films. **Reactive and Functional Polymers**, [s.l], v. 168, [s.n], p. 105059, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1381514821002510>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SHARMA, Arun Dev; FARMAHA, Mohit D.; KAUR, Inderjeet D. Preparation and characterization of O/W nanoemulsion with eucalyptus essential oil and study of in vitro antibacterial activity. **Nanomedicine research journal**, v. 5, n. 4, p. 347-354, 2020.

SHARMA, Samridhi *et al.* Revisiting the therapeutic potential of gingerols against different pharmacological activities. Naunyn-Schmiedeberg's. **Archives of Pharmacology**, [s.l], v. 396, n. 4, p. 633-647, 2023. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36585999/>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SHARIFI-RAD, J. *et al.* Susceptibility of herpes simplex virus type 1 to monoterpenes thymol, carvacrol, p-cymene and essential oils of *Sinapis arvensis* L., *Lallemantia royleana* Benth. and *Pulicaria vulgaris* Gaertn. **Cellular and Molecular Biology**, v. 63, n. 8, p. 42-47, 2017.

SUGUMAR, Saranya; MUKHERJEE, Amitava; CHANDRASEKARAN, Natarajan. Nanoemulsion formation and characterization by spontaneous emulsification: Investigation of its antibacterial effects on *Listeria monocytogenes*. **Asian Journal of Pharmaceutics**, v. 9, n. 1, 2015.

SHRESTHA, Binod *et al.* Starch/Polyvinyl Alcohol (PVA) Blend Bioplastics: Synthesis and Physicochemical Properties. **Journal of Nepal Chemical Society**, v. 43, n. 2, p. 103-109, 2023.

SINGH, Prastuty *et al.* Improved mechanical, functional and antimicrobial properties of corn starch-based biodegradable nanocomposites films reinforced with lemongrass oil nanoemulsion and starch nano-crystal. **Materials Chemistry and Physics**, v. 308, p. 128267, 2023.

SYAFIQ, R.; SAPUAN, S. M.; ZUHRI, M. R. M. Antimicrobial activity, physical, mechanical and barrier properties of sugar palm based nanocellulose/starch biocomposite films incorporated with cinnamon essential oil. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 11, p. 144–157, 1 mar. 2021.

SILVA, D. F. *et al.* Blendas poliméricas: conceitos, obtenção e aplicações. **Revista de engenharia e tecnologia**, [s.l], v. 8, n. 1, p. 58-77, 2016. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/MEMBRANAS-POLIM%C3%89RICAS%3A-CONCEITOS%2C-OBTEN%C3%87%C3%83O-E-Silva>. Acesso em: 10 nov. 2023.

SILVA, Leandro Couto da. **Uso de filmes eletrofiados de PVA contendo dendrímeros PAMAM para liberação transdérmica de Ibuprofeno**. 2021. 64 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2021.

SILVA PONTES, Cristiano *et al.* Improving Drug Delivery on *Candida Albicans* Using Geraniol Nanoemulsion. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 10, p. 2475, 2023.

SILVERSTEIN, Robert Milton; WEBSTER, Francis X.; KIEMLE, David J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7ed. Grupo Gen-LTC, 2010.

SOLANS, Conxita; MORALES, Daniel; HOMS, Maria. Spontaneous emulsification. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v. 22, p. 88-93, 2016.

SOUSA, Isadora Reis *et al.* Structural, morphological and thermal characterization of ginger starch (*Zingiber officinale*) isolated from rhizome. **Revista Panorâmica online**, v. 3, 2020.

SOUSA ROSAS, Luzilene *et al.* Filmes de amido de mandioca reforçados com nanocelulose e adição de óleo de buriti (*Mauritia Flexuosa L.*). *Revista ION*, v. 36, n. 3, 2023.

SUN, Wei *et al.* Chemical surface modification of polymeric biomaterials for biomedical applications. **Macromolecular Rapid Communications**, [s.l], v. 41, n. 8, p. 1900430, 2020. Disponível em: Chemical Surface Modification of Polymeric Biomaterials for Biomedical Applications - Sun - 2020 - Macromolecular Rapid Communications - Wiley Online Library. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

TĂNASE, Elisabeta Elena *et al.* Preparation and characterization of biopolymer blends based on polyvinyl alcohol and starch. **Romanian Biotechnological Letters**, v. 20, n. 2, p. 10307, 2015.

TEODORESCU, Mirela; BERCEA, Maria; MORARIU, Simona. Biomaterials of poly (vinyl alcohol) and natural polymers. **Polymer Reviews**, [s.l], v. 58, n. 2, p. 247-287, 2019.

TANWAR, Rohit *et al.* Development and characterization of PVA-starch incorporated with coconut shell extract and sepiolite clay as an antioxidant film for active food packaging applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 185, p. 451-461, 2021.

TER HORST, Britt; MOIEMEN, Naiem S.; GROVER, Liam M. Natural polymers: Biomaterials for skin scaffolds. In: Biomaterials for skin repair and regeneration. **Woodhead Publishing**, [s.l], [s.v], [s.n], p. 151-192, 2019. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/revistapanoramica/index.php/revistapanoramica/article/view/1231>. Acesso em: 20 de jun. de 2023.

TIAN, Fei *et al.* Antifungal activity of essential oil and plant-derived natural compounds against *Aspergillus flavus*. **Antibiotics**, v. 11, n. 12, p. 1727, 2022.

THOMAS, Sabu *et al.* **Natural polymers, biopolymers, biomaterials, and their composites, blends, and IPNs**. 1ed. CRC press, 2012.

THUNSIRI, Kittiya *et al.*, The 3D-printed bilayer's bioactive-biomaterials scaffold for full-thickness articular cartilage defects treatment. **Materials**, v. 13, n. 15, p. 3417, 2020.

TOBOUTI, Priscila Lie *et al.*, Antimicrobial activity of copaiba oil: A review and a call for further research. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, [s.l], v. 94, [s.n], p. 93-99, 2017.

VENKATAPRASANNA, K. S. *et al.* Fabrication of Chitosan/PVA/GO/CuO patch for potential wound healing application. **International journal of biological macromolecules**, v. 143, p. 744-762, 2020.

WANG, Jiayi; CHEN, Chenwei; XIE, Jing. Loading oregano essential oil into microporous starch to develop starch/polyvinyl alcohol slow-release film towards sustainable active packaging for sea bass (*Lateolabrax japonicus*). **Industrial Crops and Products**, [s.l], v. 188, [s.n], p. 115679, 2022. Disponível em: Loading oregano essential oil into microporous starch to develop starch/polyvinyl alcohol slow-release film towards sustainable active packaging for sea bass (*Lateolabrax japonicus*) - ScienceDirect. Acesso em: 26 nov. 2023.

WANG, Yu-Ching *et al.* Effect of Freeze–Thaw Cycles on Physicochemical and Functional Properties of Ginger Starch. **Processes**, [s.l], v. 11, n. 6-14, p. 1828, 2023. Disponível em: Processes | Free Full-Text | Effect of Freeze&ndash;Thaw Cycles on Physicochemical and Functional Properties of Ginger Starch (mdpi.com). Acesso em: 25 nov. 2023.

WANG, Bin *et al.* Antibacterial activity, optical, and functional properties of corn starch-based films impregnated with bamboo leaf volatile oil. **Food Chemistry**, v. 357, p. 129743, 2021.

WANG, Bin *et al.* Physicochemical properties and antibacterial activity of corn starch-based films incorporated with *Zanthoxylum bungeanum* essential oil. **Carbohydrate Polymers**, v. 254, p. 117314, 2021.

WEI, Hao-Nan *et al.* Characteristics of corn starch/polyvinyl alcohol composite film with improved flexibility and UV shielding ability by novel approach combining chemical cross-linking and physical blending. **Food Chemistry**, p. 140051, 2024.

WELLER, Carolina D.; TEAM, Victoria; SUSSMAN, Geoffrey. First-line interactive wound dressing update: a comprehensive review of the evidence. **Frontiers in Pharmacology**, [s.l], v. 11, [s.n], p. 155-121, 2020. Disponível em: Frontiers | First-Line Interactive Wound Dressing Update: A Comprehensive Review of the Evidence (frontiersin.org). Acesso em: 25 nov. 2023.

YAHYAZADEH, Roghayeh *et al.* Promising effects of gingerol against toxins: a review article. **Biofactors**, v. 47, n. 6, p. 885-913, 2021.

YANG, Qianwen *et al.* Effect of emulsifiers on the properties of cornstarch films incorporated with *Zanthoxylum bungeanum* essential oil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 256, p. 128382, 2024.

YAHIA, Ramadan *et al.* Biodegradable, UV absorber and thermal stable bioplastic films from waxy corn starch/polyvinyl alcohol blends. **Biomass Conversion and Biorefinery**, p. 1-18, 2023.

YUK, Hyunwoo *et al.* Hydraulic hydrogel actuators and robots optically and sonically camouflaged in water. **Nature communications**, [s.l], v. 8, n. 1, p. 1-12, 2017.

ZADPOOR, Amir A. Meta-biomaterials. **Biomaterials science**, [s.l], v. 8, n. 1, p. 18-38, 2020. Acesso em: 25 nov. 2023. Disponível em: Meta-biomaterials - Biomaterials Science (RSC Publishing) doi:10.1039/C9BM01247H. Acesso em: 25 nov. 2023.

ZANELA, Juliano *et al.* Biodegradable sheets of starch/polyvinyl alcohol (PVA): effects of PVA molecular weight and hydrolysis degree. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, p. 319-326, 2019. Disponível em: [https: Biodegradable Sheets of Starch/Polyvinyl Alcohol \(PVA\): Effects of PVA Molecular Weight and Hydrolysis Degree | Waste and Biomass Valorization \(springer.com\)](https://www.springer.com). Acesso em: 19 nov. 2023.

ZHANG, Yu *et al.* Preparation and characterization of rennet/polyvinyl alcohol/thyme essential oil blend film and its application in the preservation of chilled meat. **Carbohydrate Polymers**, v. 247, p. 116670, 2020.

ZHANG, Kailong *et al.* Novel pH-sensitive films based on starch/polyvinyl alcohol and food anthocyanins as a visual indicator of shrimp deterioration. **International journal of biological macromolecules**, v. 145, p. 768-776, 2020.

ZHANG, Mengmeng *et al.* Ginger (*Zingiber officinale* Rosc.) and its bioactive components are potential resources for health beneficial agents. **Phytotherapy Research**, [s.l.], v. 35, n. 2, p. 711-742, 2021. Disponível em: [https: Phytotherapy Research Medicinal Chemistry Journal | Wiley Online Library](https://www.wiley.com). Acesso em: 25 nov.2023.

ZHAO, Zhenghe *et al.* Pork preservation by antimicrobial films based on potato starch (PS) and polyvinyl alcohol (PVA) and incorporated with clove essential oil (CLO). Pickering emulsion. **Food Control**, [s.l.], v. 154, [s.n], p. 109988, 2023.

ZHOU, Liangfu *et al.* Antifungal activity of silver nanoparticles synthesized by iturin against *Candida albicans* in vitro and in vivo. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 105, n. 9, p. 3759-3770, 2021.

ZHOU, Yue *et al.* Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 184, p. 574-583, 2021.

ZHU, Jihui *et al.* New insights into amylose and amylopectin biosynthesis in rice endosperm. **Carbohydrate polymers**, [s.l.], v. 230, [s.n], p. 115656, 2020.

## APÊNDICE

### Dados do Pedido

**Natureza Patente:** 10 - Patente de Invenção (PI)

**Título da Invenção ou Modelo de Utilidade (54):** BLENDA DE AMIDO DE GENGIBRE/ POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM EMULSÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO (Protium heptaphyllum) PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS

**Resumo:** BLENDA DE AMIDO DE GENGIBRE/ POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM EMULSÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO (Protium heptaphyllum) PARA APLICAÇÃO EM EMBALAGENS

A presente invenção apresenta a obtenção de blendas derivadas de amido de gengibre/ poli (álcool vinílico) com adição de emulsão de óleo essencial de breu branco. A utilização promove inovação e sustentabilidade, visando reduzir o acúmulo de resíduos plásticos e o desperdício de alimentos. O método de produção casting solution é economicamente viável e acessível, utilizando aditivos naturais provenientes de fontes renováveis, como o breu branco. Especificamente, o material proposto pode ser utilizado como embalagem. Pois, apresenta critérios de espessura, umidade e resistência a tração adequados. A invenção reside na criação de um produto único com propriedades ideais para a produção de embalagens ativas, além de promover a inovação e sustentabilidade, visando substituir os polímeros derivados do petróleo reduzir o acúmulo de resíduos plásticos e o desperdício de alimentos. Os filmes das amostras com 0,5% de emulsão oleosa apresentaram maior valor de resistência a tração com 35,837 MPa. A espessura atendeu os valores recomendados para embalagens de até 1 mm. Atualmente, não foram descobertas publicações de um material com esses três componentes citados (dois polímeros e óleo essencial de breu branco) como produto único.

**Figura a publicar:** 1



# CERTIFICADO

A Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - ABM certifica que

## TAIANA DE SOUSA MATOS

apresentou o trabalho SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE MEMBRANA DE QUITOSANA COM ÓLEO DE COPAÍBA PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM CURATIVOS durante o 77º Congresso Anual da ABM – Internacional evento parte da ABM WEEK 8ª edição, realizada entre os dias 03 e 05 de Setembro de 2024, em São Paulo, SP - Brasil.

São Paulo (SP), setembro de 2024.

Código do Certificado: 172389AFE813A9514833261 - Verifique autenticidade em: e-certificado.com





# CERTIFICADO

A Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - ABM certifica que

## TAIANA DE SOUSA MATOS

apresentou o trabalho BLENDA DE POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) / QUITOSANA COM EMULSÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE BREU BRANCO PARA APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS durante o 77º Congresso Anual da ABM – Internacional evento parte da **ABM WEEK 8ª edição**, realizada entre os dias 03 e 05 de Setembro de 2024, em São Paulo, SP - Brasil.

São Paulo (SP), setembro de 2024.



Código do Certificado: 172390AFE813A9514833261 - Verifique autenticidade em: e-certificado.com



# CERTIFICADO

A Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - ABM certifica que

## TAIANA DE SOUSA MATOS

apresentou o trabalho FILMES DE QUITOSANA/ POLI (ÁLCOOL VINÍLICO) COM EMULSÃO DE ÓLEO DE COPAÍBA E NANOPARTÍCULAS DE PRATA PARA POSSÍVEL APLICAÇÃO EM BIOMATERIAIS durante o 77º Congresso Anual da ABM – Internacional evento parte da **ABM WEEK 8ª edição**, realizada entre os dias 03 e 05 de Setembro de 2024, em São Paulo, SP - Brasil.

São Paulo (SP), setembro de 2024.



Código do Certificado: 172391AFE813A9514833261 - Verifique autenticidade em: e-certificado.com



# CERTIFICADO

A Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração - ABM certifica que

## TAIANA DE SOUSA MATOS

participou dos eventos integrantes da ABM WEEK - 8ª edição, com carga horária de 24 horas, realizada no período de 3 a 5 de setembro de 2024, em São Paulo (SP), Brasil.

77 <sup>o</sup> Congresso Anual	23 <sup>o</sup> Mineração	52 <sup>o</sup> Redução	10 <sup>o</sup> Aglomerado	53 <sup>o</sup> Aciaria, Fundição e Metalurgia de Não-Ferrosos	59 <sup>o</sup> Laminação, Condição e Produtos	41 <sup>o</sup> Logística, Suprimentos e PCP
20 <sup>o</sup> Moldes, Matrizes e Ferramentas	1 <sup>o</sup> Manutenção e Engenharia de Projetos	1 <sup>o</sup> Economia Circular e Sustentabilidade	26 <sup>o</sup> Automação & TI	43 <sup>o</sup> Energia e Transição Energética	22 <sup>o</sup> Enemet	7 <sup>o</sup> World Round Robin Seminar

Código do Certificado: 2284367AA5D31C1A14833260 - Verifique autenticidade em: e-certificado.com



