

RESSALVA

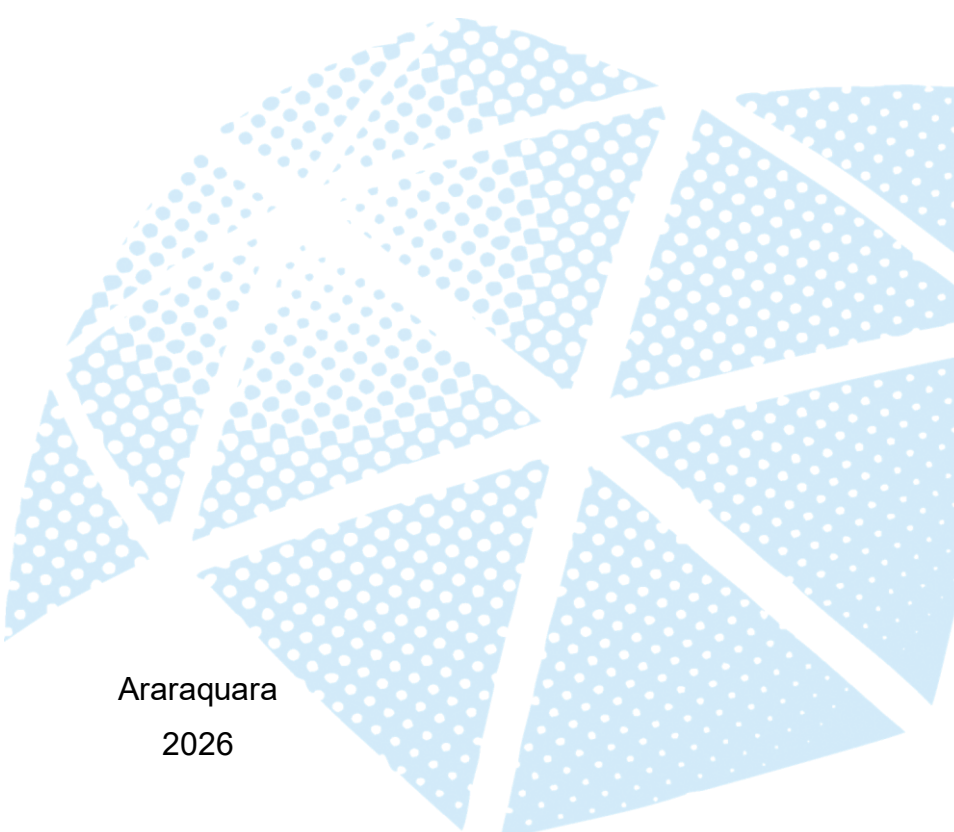
Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 26/02/2028.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Química - Câmpus de Araraquara

JOSANA CARLA DA SILVA SASAKI

**REVESTIMENTO ANTIOXIDANTE, ECOSSUSTENTÁVEL À BASE DE ALGINATO
E EXTRATO DE *P. granatum* PARA PRESERVAÇÃO DO MAMÃO PAPAIA**

Araraquara
2026



JOSANA CARLA DA SILVA SASAKI

**REVESTIMENTO ANTIOXIDANTE, ECOSSUSTENTÁVEL À BASE DE ALGINATO
E EXTRATO DE *P. granatum* PARA PRESERVAÇÃO DO MAMÃO PAPAIA**

Tese apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara, para obtenção do título de Doutora em Biotecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Rondinelli Donizetti
Herculano

Coorientador: Prof. Dr. Cassamo
Ussemame Mussagy

Araraquara

2026

S252r Sasaki, Josana Carla da Silva
Revestimento antioxidante, ecossustentável à base de alginato e extrato de *P. Granatum* para preservação do mamão papaia / Josana Carla da Silva Sasaki. -- Araraquara, 2026
138 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara
Orientador: Rondinelli Donizetti Herculano
Coorientador: Cassamo Ussemane Mussagy

1. Alimentos Embalagens. 2. Alginatos. 3. Punicaceae. 4. Celulose.
I. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Esta pesquisa nasce do compromisso com a sustentabilidade, propondo um revestimento antioxidante e biodegradável à base de Alginato e extrato de *Punica granatum*. A inovação busca reduzir perdas de alimentos e o uso de materiais poluentes, estimulando a economia verde e o avanço científico em harmonia com os ODS 2, 9, 12 e 13.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research reflects a commitment to sustainability, developing a biodegradable antioxidant coating from alginate and *Punica granatum* extract. The innovation aims to reduce food losses and polluting materials, fostering a green economy and scientific progress in harmony with SDGs 2, 9, 12, and 13.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Revestimento Antioxidante, ecossustentável à base de alginato e extrato de *P. granatum* para preservação do mamão papaia

AUTORA: JOSANA CARLA DA SILVA SASAKI

ORIENTADOR: RONDINELLI DONIZETTI HERCULANOCORIENTADOR: CASSAMO USSEMANE MUSSAGY

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Biotecnologia, pela Comissão Examinadora:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "R. Donizetti Herculano".

Prof. Dr. RONDINELLI DONIZETTI HERCULANO (Participação Virtual)

Prof. Dr. ANTONIO CARLOS GUASTALDI (Participação Virtual)
Departamento de Química Analítica, Físico-Química e Inorgânica / Instituto de Química - UNESP - Araraquara

Prof. Dr. HERNANE DA SILVA BARUD (Participação Virtual)
Laboratório de Biopolímeros e Biomateriais / Universidade de Araraquara - UNIARA - Araraquara

Dr. NATAN ROBERTO DE BARROS (Participação Virtual)
Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais, Laboratório Nacional de Biociências - CNPEM - Campinas

Dra. NAYRIM BRIZUELA GUERRA (Participação Virtual)
Departamento de Física e Meteorologia / Faculdade de Ciências - UNESP - Bauru

Araraquara, 25 de fevereiro de 2026.

DADOS CURRICULARES

IDENTIFICAÇÃO	
	JOSANA CARLA DA SILVA SASAKI 16 de fevereiro de 1987
Nacionalidade	brasileira
Nome em citações bibliográficas:	SASAKI, J. C. S.; SASAKI, JOSANA C; JOSANA CARLA DA SILVA SASAKI; DA SILVA SASAKI, JOSANA CARLA; SASAKI, JOSANA CARLA DA SILVA; SASAKI, JOSANA C.; SASAKI, JOSANA CARLA SILVA
Endereço profissional	Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Campus de Araraquara Rua Francisco Degni, 55 Quitandinha, Araraquara – SP CEP 14800-900 Telefone: (016) 33019500
Currículo Lattes	http://lattes.cnpq.br/2659964762597410
ORCID	https://orcid.org/0000-0001-5810-7853
FORMAÇÃO ACADÊMICA	
2016/2018	Tecnologia em Biocombustíveis - Tecnóloga Faculdade de Tecnologia Nilo DE Stéfani
2019/2021	Mestra em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP
PRODUÇÃO BIBLIOGRÁFICA	
1.DA SILVA SASAKI, JOSANA CARLA; SU, YANJIN ; SPINOSA, WILMA APARECIDA ; DE LIMA LOPES FILHO, PAULO EDUARDO ; BURD, BETINA SAYEG ; SCONTRI, MATEUS ; TANAKA, JEAN LUCAS ; GONÇALVES, ROGERIO PENNA ; FELISBINO, BIANCA BRIDI ; DOS SANTOS, LINDOMAR SOARES ; CAI, YI ; MUSSAGY, CASSAMO USSEMANE ; CAO, WEI ; PIAZZA, RODOLFO D. ; DA COSTA-MARQUES, RODRIGO FERNANDO ; NETO, ÁLVARO BAPTISTA ; HERCULANO, RONDINELLI DONIZETTI . Eco-sustainable, edible, biodegradable and antioxidant pectin and bacterial cellulose films loaded with coconut oil for strawberry preservation. INTERNATIONAL JOURNAL OF	

2.BEBBER, CAMILA ; TROMBOTTO, BRUNA ; DA CUNHA, GUILHERME ECCARD REZENDE ; PIAZZA, RODOLFO DEBONE ; PEGORIN-BRASIL, GIOVANA SANT'ANA ; **Sasaki, Josana Carla Silva** ; GONÇALVES, ROGÉRIO PENNA ; DOS SANTOS, LINDOMAR SOARES ; MARQUES, RODRIGO FERNANDO COSTA ; MUSSAGY, CASSAMO USSEMANE ; GOLDBECK, ROSANA ; CAO, WEI ; POLANCZYK, RICARDO ANTONIO ; HERCULANO, RONDINELLI DONIZETTI ; BURD, BETINA SAYEG . Effect of supplemented diet on the kinetic profile of polystyrene biodegradation by *Tenebrio molitor* larvae: Physical, chemical, thermal, wettability and zeta potential measurements. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL CHEMICAL ENGINEERING **JCR**, v. 13, p. 116519, 2025.

3.HERCULANO, RONDINELLI DONIZETTI ; MUSSAGY, CASSAMO USSEMANE ; GUERRA, NAYRIM BRIZUELA ; SANT'ANA PEGORIN BRASIL, GIOVANA ; FLORIANO, JULIANA FERREIRA ; BURD, BETINA SAYEG ; SU, YANJIN ; **DA SILVA SASAKI, JOSANA CARLA** ; MARQUES, PAULO AUGUSTO CHAGAS ; SCONTRI, MATEUS ; MIRANDA, MATHEUS CARLOS ROMEIRO ; FERREIRA, ERNANDO SILVA ; PRIMO, FERNANDO LUCAS ; FERNANDES, MARIZA AIRES ; HE, SIQI ; FORSTER, SAMUEL ; MA, CHANGYU ; DE LIMA LOPES FILHO, PAULO EDUARDO ; DOS SANTOS, LINDOMAR SOARES ; SILVA, GLAUCIO RIBEIRO ; et.al . Recent advances and perspectives on natural latex serum and its fractions for biomedical applications. Biomaterials Advances **JCR**, v. 157, p. 213739, 2024.

4.MARQUES, PAULO AUGUSTO CHAGAS ; GUERRA, NAYRIM BRIZUELA ; DOS SANTOS, LINDOMAR SOARES ; MUSSAGY, CASSAMO USSEMANE ; PEGORIN BRASIL, GIOVANA SANT'ANA ; BURD, BETINA SAYEG ; SU, YANJIN ; **DA SILVA SASAKI, JOSANA CARLA** ; SCONTRI, MATEUS ; DE LIMA LOPES FILHO, PAULO EDUARDO ; SILVA, GLAUCIO RIBEIRO ; MIRANDA, MATHEUS CARLOS ROMEIRO ; FERREIRA, ERNANDO SILVA ; PRIMO, FERNANDO LUCAS ; FERNANDES, MARIZA AIRES ; CROTTI, ANTÔNIO EDUARDO MILLER ; HE, SIQI ; FORSTER, SAMUEL ; MA, CHANGYU ; DE BARROS, NATAN ROBERTO ; et.al . Natural rubber latex-based biomaterials for drug delivery and regenerative medicine: Trends and directions. INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOLOGICAL MACROMOLECULES **JCR**, v. 267, p. 131666, 2024.

5.HERCULANO, RONDINELLI DONIZETTI ; DOS REIS, CAMILA EUGÊNIA ; DE SOUZA, SILVIA MARIA BATISTA ; PEGORIN BRASIL, GIOVANA SANT'ANA ; SCONTRI, MATEUS ; KAWAKITA, SATORU ; CARVALHO, BRUNA GREGATTI ; BEBBER, CAMILA CALDERAN ; SU, YANJIN ; DE SOUSA ABREU, ANA PAULA

; MECWAN, MARVIN M ; MANDAL, KALPANA ; FUSCO ALMEIDA, ANA MARISA ; MENDES GIANNINI, MARIA JOSÉ SOARES ; GUERRA, NAYRIM BRIZUELA ; MUSSAGY, CASSAMO USSEMANE ; BOSCULO, MARIA RACHEL MELO ; GEMEINDER, JOSÉ LÚCIO PÁDUA ; DE ALMEIDA, BRENO FERNANDO MARTINS ; **SASAKI, J. C. S.** ; et.al . Amphotericin B-loaded natural latex dressing for treating Candida albicans wound infections using Galleria mellonella model. JOURNAL OF CONTROLLED RELEASE **JCR**, v. 365, p. 744-758, 2024.

6.ABDALLA, GABRIELA ; MUSSAGY, CASSAMO USSEMANE ; SANT'ANA PEGORIN BRASIL, GIOVANA ; SCONTRI, MATEUS ; **DA SILVA SASAKI, JOSANA CARLA** ; SU, YANJIN ; BEBBER, CAMILA ; ROCHA, RAILDIS RIBEIRO ; DE SOUSA ABREU, ANA PAULA ; GONCALVES, ROGERIO PENNA ; BURD, BETINA SAYEG ; PACHECO, MARIANA FERRAZ ; ROMEIRA, KAROLINE MANSANO ; PICHELI, FLAVIO PEREIRA ; GUERRA, NAYRIM BRIZUELA ; FARHADI, NEDA ; FLORIANO, JULIANA FERREIRA ; FORSTER, SAMUEL ; HE, SIQI ; NGUYEN, HUU TUAN ; et.al . Eco-sustainable coatings based on chitosan, pectin, and lemon essential oil nanoemulsion and their effect on strawberry preservation. INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOLOGICAL MACROMOLECULES **JCR**, v. 249, p. 126016, 2023.

7.MUSSAGY, CASSAMO U. ; FARIAS, FABIANE O. ; **SASAKI, JOSANA C.** ; SCONTRI, MATEUS ; PICHELI, FLAVIO ; SANTOS-EBINUMA, VALÉRIA C. ; DE AZEREDO, HENRIETTE M.C. ; PESSOA, ADALBERTO ; HERCULANO, RONDINELLI D. . Eutectic solvent-based bioactive films functionalized with microbial astaxanthin extends shelf life of fresh strawberries. Materials Today Chemistry **JCR**, v. 33, p. 101721, 2023.

8.DE SOUZA SILVA, FLÁVIO KUNERT ; COSTA-ORLANDI, CAROLINE BARCELOS ; FERNANDES, MARIZA AIRES ; PEGORIN BRASIL, GIOVANA SANT'ANA ; MUSSAGY, CASSAMO USSEMANE ; SCONTRI, MATEUS ; **SASAKI, JOSANA CARLA DA SILVA** ; DE SOUSA ABREU, ANA PAULA ; GUERRA, NAYRIM BRIZUELA ; FLORIANO, JULIANA FERREIRA ; DE MENDONÇA, RICARDO JOSÉ ; CAETANO, GUILHERME FERREIRA ; FARHADI, NEDA ; GÓMEZ, ALEJANDRO ; HUANG, SHUYI ; FARIAS, ANDRESSA MACHADO ; PRIMO, FERNANDO LUCAS ; LI, BINGBING ; FUSCO-ALMEIDA, ANA MARISA ; DOKMECI, MEHMET REMZI ; et.al . Biocompatible anti-aging face mask prepared with curcumin and natural rubber with antioxidant properties. INTERNATIONAL JOURNAL OF BIOLOGICAL MACROMOLECULES **JCR**, v. 242, p. 124778, 2023.

PARTICIPAÇÃO EM BANCAS E ORIENTAÇÕES

Bancas de trabalhos de conclusão

SASAKI, J. C. S.; SCONTRI, M. Participação em banca de Victor Hugo Alves Gonzaga de Oliveira. *Produção de celulose através da bactéria Komagataeibacter*

xylinus. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araraquara, 2022.

SASAKI, J. C. S. Participação em banca de Rogério Penna Gonçalves. *Desenvolvimento, estudo e caracterização de biopolímero à base de amido de mandioca e albumina com potencial aplicação para revestimento de frutas e alimentos*. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araraquara, 2022.

PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS CIENTÍFICOS

Jornada Farmacêutica da Unesp, 10., 2022, (Araraquara). Celulose bacteriana e pectina: uma blenda polimérica para conservação de morangos.2022. (Congresso).

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, antes de tudo, a Deus, que me sustentou em cada passo desta jornada. Foi ele que plantou este sonho em meu coração, quem o alimentou nos momentos de incerteza e agora me permite vê-lo tornar-se realidade. Agradeço a inspiração constante do bendito e querido Espírito Santo, que me guiou em silêncio, e ao meu amado irmão Jesus Cristo, que sempre esteve ao meu lado como fonte de amor e esperança. Aos meus pais, Idelma e José Carlos, deixo minha gratidão eterna pelo cuidado, amor e carinho com que me criaram. Vocês me ensinaram a ter raízes firmes para que eu pudesse florescer e seguir confiante nesta caminhada. Aos meus avós, paternos Eurípedes e Maria, e maternos Maria e Laurentino, in memoriam, cuja presença, ensinamentos e carinho permanecem vivos em minha memória e em minha trajetória. Ao meu esposo, Alexandre Sasaki, agradeço profundamente pela compreensão, dedicação e companheirismo. Em cada momento desta trajetória, seu apoio foi fundamental, e sem você nada disso teria sido possível. Aos meus filhos, Miguel, Melina e Manuella peço desculpas pelo tempo que precisei tirar de vocês para dedicar-me à escrita, às análises e aos longos anos deste trabalho. Vocês foram minha motivação maior, a razão pela qual eu segui em frente, mesmo nos dias mais difíceis. Aos amigos que caminharam ao meu lado, Giovana, Ana Paula e Yanjin, e ao técnico Mateus, sou imensamente grata pela amizade, pelo incentivo e pelas mãos estendidas ao longo desta jornada. À pós-graduação em Biotecnologia da UNESP, em especial à Wennia, deixo também minha gratidão pelo apoio institucional. E, por fim, deixo minha sincera gratidão ao meu orientador, professor Dr. Rondinelli Donizetti Herculano, pela paciência, pelo apoio e por acreditar em mim, mesmo quando as dificuldades pareciam maiores do que eu mesma. Este trabalho também carrega a marca da sua dedicação em não desistir desta aluna.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de pesquisa (processo 164260/2021-8).

“Se procurar a sabedoria como se procura a prata
e buscá-la como quem busca um tesouro escondido, então você entenderá
o que é temer ao Senhor e achará o conhecimento de Deus.”

(Provérbios 2:4-5. Bíblia Sagrada, p. 472).

RESUMO

O mamão (*Carica papaya* L.) é um fruto tropical amplamente consumido, mas altamente perecível, com perdas pós-colheita que podem alcançar até 30%. Para reduzir essas perdas e prolongar sua vida útil, foi desenvolvido um revestimento bioplástico compósito à base de celulose bacteriana, alginato e extrato de *Punica granatum* L. Foram utilizados resíduos vegetais (folhas, cascas e sementes) para obtenção dos extratos, que apresentaram variação na composição química e na atividade antioxidante conforme a parte vegetal e o solvente empregado. Os espectros de UV-Vis mostraram picos intensos entre 270 e 280 nm, associados a fenóis simples como o ácido gálico, e um ombro próximo a 400 nm, indicativo da presença de flavonoides e derivados do ácido elágico. O extrato das folhas (EFH) apresentou a maior atividade antioxidante ($IC_{50} = 3,09 \mu\text{g/mL}$) e foi selecionado para análises por HPLC-MS, que confirmaram alta concentração de ácido elágico e seus derivados. A incorporação do EFH à matriz de Alg e celulose bacteriana resultou no bioplástico BCE, que apresentou alterações estruturais em relação ao bioplástico sem extrato (BSE), incluindo maior rugosidade, redução da cristalinidade e presença de interações por ligações de hidrogênio entre os compostos fenólicos e a rede polimérica. O BCE demonstrou maior resistência à água e menor permeabilidade ao vapor. O ensaio de liberação indicou difusão inicial rápida seguida de liberação controlada em até 75 minutos, comportamento favorável à proteção contra infecções fúngicas em frutos recém-colhidos. Os ensaios microbiológicos indicaram que o sistema desenvolvido atua predominantemente por modulação do ambiente redox, em contraste com mecanismos antimicrobianos clássicos, baseados na eliminação direta dos microrganismos. Nos testes pós-colheita, os mamões recobertos com BCE apresentaram menor perda de massa, coloração mais estável, maior firmeza e menor incidência de fungos até o 15º dia de armazenamento. Esses resultados confirmam que resíduos de *P. granatum* são fontes valiosas de compostos fenólicos e podem ser utilizados no desenvolvimento de bioplásticos antioxidantes e sustentáveis para prolongar a conservação pós-colheita de frutas tropicais.

Palavras-chave: Bioplástico; *Punica granatum*; 3; Alginato.

ABSTRACT

Papaya (*Carica papaya* L.) is a widely consumed tropical fruit but is highly perishable, with postharvest losses that can reach up to 30%. To reduce these losses and extend shelf life, a composite bioplastic coating based on bacterial cellulose, alginate, and *Punica granatum* L. extract was developed. Plant residues (leaves, peels, and seeds) were used to obtain the extracts, which showed variations in chemical composition and antioxidant activity depending on the plant part and the solvent employed. UV–Vis spectra exhibited intense peaks between 270 and 280 nm, associated with simple phenolics such as gallic acid, and a shoulder near 400 nm, indicative of the presence of flavonoids and ellagic acid derivatives. The leaf extract (EFH) showed the highest antioxidant activity ($IC_{50} = 3.09 \mu\text{g/mL}$) and was selected for HPLC–MS analyses, which confirmed a high concentration of ellagic acid and its derivatives. Incorporation of EFH into the alginate and bacterial cellulose matrix resulted in the BCE bioplastic, which exhibited structural changes compared to the bioplastic without extract (BSE), including increased roughness, reduced crystallinity, and the presence of hydrogen-bond interactions between phenolic compounds and the polymeric network. BCE demonstrated greater water resistance and lower water vapor permeability. Release assays indicated a rapid initial diffusion followed by controlled release for up to 75 minutes, a behavior favorable for protection against fungal infections in freshly harvested fruits. Microbiological assays indicated that the developed system acts predominantly through modulation of the redox environment, in contrast to classical antimicrobial mechanisms based on direct microbial elimination. In postharvest tests, papayas coated with BCE showed lower mass loss, more stable coloration, higher firmness, and a lower incidence of fungi up to the 15th day of storage. These results confirm that *P. granatum* residues are valuable sources of phenolic compounds and can be used in the development of antioxidant and sustainable bioplastics to extend the postharvest preservation of tropical fruits.

Keywords: Bioplastic; *Punica granatum*; Postharvest preservation; Alginate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 . Panorama global do mamão (<i>Carica papaya</i> L.), incluindo dados de exportação e relevância nutricional.....	8
Figura 2. Representação estrutural do Alg de sódio, formado por unidades de ácido β -D-manurônico (M) e ácido α -L-gulurônico (G).....	16
Figura 3. Esquema de biossíntese da celulose bacteriana por <i>Komagataeibacter hansenii</i> , destacando as principais enzimas envolvidas e a influência das condições de cultivo (pH, temperatura e nutrientes) na produção e organização da cadeia da celulose.....	20
Figura 4. Principais compostos bioativos associados às folhas, frutos e sementes da <i>P. granatum</i>	23
Figura 5. Representação esquemática da extração de compostos de folhas, cascas e sementes de <i>P. granatum</i>	29
Figura 6. Fluxograma da produção da celulose e desenvolvimento dos bioplásticos BCE e BSE.....	32
Figura 7. Bioplásticos produzidos a partir de Alg, CB e Des, com extrato de <i>P. granatum</i> (BCE) e sem extrato (BSE)..	37
Figura 8. Esquema do ensaio de liberação controlada do extrato de <i>P. granatum</i> a partir do bioplástico BCE em meio hidroalcoólico, com monitoramento da cinética de liberação por espectrofotometria UV-Vis..	41
Figura 9. Espectros de absorção UV-Vis dos extratos de folhas, cascas e sementes de <i>P. granatum</i> obtidos com diferentes solventes, evidenciando bandas características associadas a compostos fenólicos. (A) EFA – extrato de folhas aquoso; (B) EFE – extrato de folhas etanólico; (C) EFH – extrato de folhas hidroalcoólico; (D) ECA – extrato de cascas aquoso; (E) ECE – extrato de cascas etanólico; (F) ECH – extrato de cascas hidroalcoólico; (G) ESA – extrato de sementes aquoso; (H) ESE – extrato de sementes etanólico; (I) ESH – extrato de sementes hidroalcoólico.....	49
Figura 10. Espectros no UV-vis dos extratos das folhas de <i>P. granatum</i> (A- Extrato alcoólico; B- Extrato etanólico; C- Extrato hidroalcoólico).	51
Figura 11. UV-Vis dos extratos das sementes de <i>P. granatum</i> (A- Extrato alcoólico; B- Extrato etanólico; C- Extrato hidroalcoólico).....	53
Figura 12. UV-vis dos extratos das cascas de <i>P. granatum</i> (A- Extrato alcoólico; B- Extrato etanólico; C- Extrato hidroalcoólico).....	54

Figura 13. A) HPLC do padrão ácido gálico B) Perfil cromatográfico por HPLC do EFH.	56
Figura 14. Cromatograma de íons totais (TIC) obtido no modo negativo do EFH. ...	590
Figura 15. Análise morfológica e avaliação da atividade do EFH frente às leveduras ambientais. A) Ensaio de difusão em ágar formado por diferentes concentrações do EFH e pelo controle positivo. B) Ensaio com bioplásticos. C) Observação microscópica das leveduras isoladas D) Médias e desvios-padrão dos diâmetros dos halos em diferentes concentrações.	62
Figura 16. Ensaios de microdiluição e difusão em disco com EFH frente a <i>Fusarium</i> sp.: (A) colônia de <i>Fusarium</i> sp.; (B) hifas septadas (40x); (C) hifas e clamidósporo intercalar (40x); (D) ensaio de microdiluição evidenciando turbidez nas concentrações inferiores a 1.000 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; (E) crescimento irregular da colônia no ensaio de difusão em disco. Ensaios de microdiluição e difusão em disco com EFH frente a <i>Fusarium</i> sp.: (A) colônia de <i>Fusarium</i> sp.; (B) hifas septadas (40x); (C) hifas e clamidósporo intercalar (40x); (D) ensaio de microdiluição evidenciando turbidez nas concentrações inferiores a 1.000 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; (E) crescimento irregular da colônia no ensaio de difusão em disco.....	65
Figura 17. Análises morfológicas e antifúngicas de <i>R. stolonifer</i> . A- Observações microscópicas mostrando hifa cenocítica B- Esporangióforo e esporângio C- Esporangiólos e esporangióforos de <i>Rhizopus</i> . D- Avaliação de atividade antifúngica do extrato de EFH por ensaios de microdiluição (CIM) e E- Análise por difusão em ágar.	67
Figura 18. Avaliação qualitativa da atividade metabólica de <i>R. stolonifer</i> , <i>Fusarium</i> sp. e <i>leveduras</i> sp. na presença dos bioplásticos BSE e BCE, extrato EFH, evidenciando modulação metabólica dos microrganismos. A anfotericina B foi utilizada como controle positivo..	72
Figura 19. Espectros de ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR). A) EFH. B) Bioplásticos BSE e BCE. O extrato EFH e o Bioplástico BCE promovem aniquilamento do sinal do radical DPPH (100% de atividade antioxidante), enquanto o BSE apresenta 68% de atividade antioxidante.....	73
Figura 20. Espectros de FTIR dos componentes e bioplásticos: (A) celulose bacteriana (CB) e Alg ; (B) ácido cítrico (AC) e cloreto de colina (CC); (C) solvente eutético profundo (DES); (D) bioplásticos BSE e BCE e extrato de folha de <i>P. granatum</i> (EFH).	

O bioplástico BCE apresenta redução da intensidade da banda de estiramento O-H (3330 cm^{-1}) em relação ao BSE, sugerindo interação do EFH com a matriz polimérica.	76
Figura 21. Microscopia de força atômica dos Bioplásticos A- BSE; B- BCE e C- CB. O bioplástico BSE apresentou superfície mais lisa e com menor rugosidade, enquanto o BCE apresentou maior irregularidade superficial após a incorporação do EFH.	79
Figura 22. Padrões de difração de raios - X dos bioplásticos BCE e BSE evidenciando padrão amorfo de ambos os bioplásticos	80
Figura 23. Avaliação visual da solubilidade dos bioplásticos BSE e BCE em água destilada, nos tempos de 0 min, 1 hora, 3 horas e 48 horas, em que o BSE apresentou maior solubilidade, com quase completa dissolução antes de 48h, enquanto o BCE manteve sua integridade estrutural ao longo do período de análise.	82
Figura 24. A- Permeabilidade ao vapor de água dos bioplásticos BSE e BCE, com pouca variação entre os tratamentos. B- Taxa de Intumescimento dos bioplásticos, indicando maior absorção de água no bioplástico BSE.	85
Figura 25. Análise da cinética de liberação do extrato de folha de romã (EFH) incorporado ao bioplástico BCE, monitorada por espectrofotometria UV-Vis: (A) curva de calibração (Absorbância x Concentração); (B) espectros de absorbância registrados em diferentes tempos de liberação; (C) percentual de liberação acumulada do EFH em função do tempo, evidenciando uma fase inicial de liberação rápida seguida por uma fase de liberação gradual e posterior estabilização.	89
Figura 26. Molhabilidade Superficial dos Bioplásticos BSE (A) e BCE (B), indicando baixos ângulos de contato e carácter altamente hidrofílico dos materiais.	91
Figura 27. Micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos BCE e BSE em diferentes ampliações 1.000x, 5.000x, 10.000x e micrografias das seções transversais em 2.000x, evidenciando que o BCE apresentou superfície mais rugosa e desorganizada, com presença de fibras expostas, enquanto o BSE apresentou morfologia mais homogênea.	95
Figura 28. Avaliação do tempo de prateleira dos mamões revestidos com a solução do bioplástico (BCE e BSE) e sem revestimento (SB). Figura 28A- Imagem dos mamões até o 8° dia de revestimento; Figura 28B- Mamões do 9° ao 20° dia de armazenamento, evidenciando maior degradação nos frutos (SB).	99

Figura 29. Análise da firmeza de mamões papaia submetidos a diferentes tratamentos ao longo de 8 dias. Note que o fruto revestido com BCE apresentou menor perda de firmeza após 4 dias.	104
Figura 30. Variação da massa dos mamões com e sem revestimento (BCE, BSE e SB) em 13 dias de armazenamento. Todos os tratamentos apresentaram redução gradual de massa, mais pronunciada em SB e menor em BCE.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Percentual médio de inibição do radical DPPH em 517 nm para diferentes concentrações (0,20-3,12 µg/mL) e valores de IC50 dos extratos de folhas, cascas e sementes de <i>P. granatum</i> .	55
Tabela 2. Compostos fenólicos identificados no EFH por HPLC acoplado à espectrometria de massas (LC-MS).	60
Tabela 3. Valores médios de intumescimento ($\pm$ desvio padrão) dos bioplásticos BSE e BCE em função do tempo de imersão, com comparação estatística por ANOVA two-way e teste de Tukey ($p \leq 0,05$).	86
Tabela 4. Média de Absorbância ao longo do tempo do BCE.	87
Tabela 5. Propriedades mecânicas.	92
Tabela 6. Colorimetria do 1º e 8º dia dos mamões.	102
Tabela 7. Valores médios para firmeza dos frutos avaliando tempo e tratamentos.	105
Tabela 8. Parâmetros da regressão linear da perda de massa dos mamões papaia (SB, BSE e BCE) durante 13 dias de armazenamento.	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Atividade Antioxidante
AFM	Microscopia de Força Atômica (<i>Atomic Force Microscopy</i>)
AM	Atmosfera Modificada
ANOVA	Análise de Variância (<i>Analysis of Variance</i>)
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ATCC	<i>American Type Culture Collection</i>
Alg	Alginato
BCE	Bioplástico com Extrato
BDA	Batata Dextrose Ágar
BSE	Bioplástico sem Extrato
CB	Celulose Bacteriana
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CIM	Concentração Inibitória Mínima
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DES	Solvente Eutético Profundo (<i>Deep Eutectic Solvent</i>)
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
DRX	Difração de Raios X
ECH	Extrato Hidroalcoólico da Casca
EFA	Extrato Aquoso da Folha
EFE	Extrato Etanólico da Folha
EFH	Extrato Hidroalcoólico da Folha
ESA	Extrato Aquoso da Semente
ESE	Extrato Etanólico da Semente
ESH	Extrato Hidroalcoólico da Semente
EPR	Electron Paramagnetic Resonance
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
GRAS	Generally Recognized as safe (substância reconhecida como segura)
HBA	Aceptor de Ligação de Hidrogênio (<i>Hydrogen Bond Acceptor</i>)
HBD	Doador de Ligação de Hidrogênio (<i>Hydrogen Bond Donor</i>)
HPLC	High-Performance Liquid Chromatography

HPLC-MS	High-Performance Liquid Chromatography coupled to Mass Spectrometry
IC ₅₀	Concentração Inibitória de 50%
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
LC-MS	Liquid Chromatography coupled to Mass Spectrometry
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PE	Polietileno
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PM	Peso molecular
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RPMI	<i>Roswell Park Memorial Institute</i> (meio de cultura)
SB	Sem Bioplástico (controle sem revestimento)
TIC	Cromatograma de Íons Totais (<i>Total Ion Chromatogram</i>)
UA	Unidade de Absorbância
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UV-Vis	Ultravioleta–Visível
WVP	Water Vapor Permeability

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
±	Desvio padrão
°C	Grau Celsius
ΔE^{*ab}	Diferença total de cor no sistema CIELab
F	Estatística F da análise de variância (ANOVA)
g	Grama
h	Hora
IC ₅₀	Concentração inibitória necessária para reduzir 50% da atividade antioxidante
Kg	Quilograma
kg/cm ²	Quilograma-força por centímetro quadrado
L*	Luminosidade (parâmetro colorimétrico)
mL	Mililitro
min	Minuto
µg	Micrograma
µg/mL	Micrograma por mililitro
µm	Micrômetro
nm	Nanômetro
p	Valor de significância estatística
Δ	Variação ou diferença

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS:.....	4
3. JUSTIFICATIVA.....	5
4. REVISÃO DE LITERATURA	7
4.1 Mamão	7
4.2 Produção do mamão e aplicações	8
4.3 Cuidados com a qualidade e perda na pós-colheita	9
4.4 Doenças no mamão.....	10
4.5 <i>Rhizopus stolonifer</i>	10
4.6 Antracnose.....	11
4.7 Métodos de conservação do fruto	12
4.8 Revestimentos bioplásticos	13
4.9 Revestimentos biodegradáveis à base de polissacarídeos	15
4.10 Alginato	16
4.10.1 Embalagens e revestimentos com base em Alginatos	18
4.11 Celulose bacteriana.....	19
4.11.1 Embalagens com uso de celulose bacteriana	21
4.12 Uso de produtos naturais para produção de embalagens ou revestimentos bioativos.....	22
4.12.1 Potencial do extrato de <i>Punica granatum</i> L.....	22
4.13 Plastificantes	24
4.13.1 Plastificantes: Solvente Eutético Profundo	25
5. MATERIAIS E MÉTODOS	26
5.1 Materiais.....	26
5.2 Preparação dos materiais.....	26
5.2.1 Repicagem das bactérias produtoras de celulose	27

5.2.2 Síntese da celulose bacteriana	27
5.2.3 Produção do solvente eutético natural profundo (DES).....	28
5.2.4 Produção dos extratos dos compostos da <i>P. granatum</i>	28
5.3 Caracterização físico-química da celulose bacteriana, DES e extratos de <i>P. granatum</i>	29
5.3.1 Caracterização espectroscópica por UV-Vis dos extratos em diferentes solventes	30
5.3.2 Avaliação da Atividade antioxidante (DPPH) por espectroscopia UV-Vis	30
5.3.3 Perfil fenólico do extrato de <i>P. granatum</i> por HPLC-MS	31
5.4 Desenvolvimento dos bioplásticos	32
5.5 Ensaio antifúngico: Cepas fúngicas, isolamento e condições de cultivo	33
5.5.1 Triagem antimicrobiana preliminar do melhor extrato de <i>P. granatum</i>	34
5.5.2 Determinação da Concentração inibitória mínima (CIM) frente a fungos filamentosos	35
5.5.3 Análise complementar da atividade antifúngico frente a fungos filamentosos por difusão em disco	35
5.5.4 Medições pelo método de macrodiluição em caldo	36
5.6 Caracterização dos bioplásticos	37
5.6.1 Espectroscopia de Infravermelho (FTIR).....	38
5.6.2 Resistência mecânica por ensaio de tração	38
5.6.3 Solubilidade em água	38
5.6.4 Intumescimento dos bioplásticos.....	38
5.6.5 Permeabilidade ao vapor de água (WVP)	39
5.6.6 Microscopia de força atômica (AFM)	40
5.7 Liberação do extrato contido no bioplástico	40
5.8 Caracterização química e funcional dos bioplásticos	41
5.8.1 Avaliação da atividade antioxidante dos bioplásticos por EPR	42
5.8.2 Molhabilidade	42
5.8.3 Difração de Raios X (DRX).....	43
5.8.4 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	43

5.9 Avaliação do tempo de prateleira dos frutos43

A determinação do tempo de prateleira dos frutos é um aspecto muito importante na análise da conservação pós-colheita, pois permite avaliar a eficiência dos revestimentos aplicados em manter a qualidade dos frutos durante o armazenamento. Desta forma, foram realizadas análises de cor, firmeza da polpa, a perda de massa e alterações visuais observadas ao longo do período experimental.43

5.9.1 Colorimetria44

5.9.2 Sanitização dos mamões44

5.9.3 Aplicação do revestimento nos frutos.....44

5.9.4 Análise sensorial visual dos frutos.....45

5.9.5 Perda de massa do fruto45

5.9.6. Firmeza dos mamões45

5.10 Análise estatística46

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO47

6.1 Caracterização dos extratos de folhas, cascas e sementes de *P. granatum* por espectroscopia (UV-Vis)47

6.2 Atividade antioxidante (AA) das folhas, cascas e sementes de *P. granatum* por UV-Vis em 517 nm.....50

6.3. Perfil cromatográfico por HPLC do extrato hidroalcoólico da folha de *P. granatum* (EFH)55

6.4 Espectrometria de massas58

6.5 Avaliação microbiológica do EFH e dos bioplásticos.....61

6.5.1 Atividade antifúngica do EFH e bioplásticos frente a Leveduras ambientais isoladas do mamão61

6.5.2 Atividade antifúngica do EFH e bioplásticos frente a *Fusarium* sp. isolados do mamão63

6.5.3 Atividade antifúngica do EFH e bioplásticos frente a *R. stolonifer*66

6.5.4 Ensaio microbiológicos baseados em indicadores redox68

6.6 Atividade antioxidante por EPR dos bioplásticos72

6.6.1 Espectroscopia no infravermelho (ATR-FTIR) dos extratos e bioplásticos.....74

6.7 Análise de Microscopia de Força atômica (AFM)	77
6.8 Difração de Raio - X (DRX)	79
6.10 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)	83
6.11 Intumescimento	84
6.12 Liberação sustentada do extrato de folha de <i>P. granatum</i> pelo bioplástico	87
6.13 Molhabilidade	90
6.14 Propriedades mecânicas	92
6.15 Análise morfológica por microscopia eletrônica de varredura (MEV)	94
6.16 Análise sensorial visual dos frutos	96
6.16.1 Avaliação de cor dos mamões durante a armazenagem	100
6.16.2 Análise de Firmeza dos mamões	103
6.16.3 Perda de massa fresca dos mamões papaia	106
6.17 Discussão Integrada dos Resultados	108
7. CONCLUSÕES	111
8. REFERÊNCIAS	112

1. Introdução

O mamão (*Carica papaya* L.) é um fruto tropical muito apreciado em todo o mundo, e ele é fonte de vitaminas e minerais, de fácil consumo e permite diversas aplicações na indústria (1). O fruto apresenta metabolismo climatérico, o que significa que continua a amadurecer após colhido, desse modo, o mamão libera etileno, um hormônio gasoso que estimula o amadurecimento (2). O fruto após a colheita apresenta alta perecibilidade, com vida útil limitada, o que contribui para perdas alimentares e econômicas. As perdas envolvendo o fruto chegam a 30% (3).

As perdas pós-colheita do mamão ocorrem desde a colheita até a comercialização, sendo classificadas em bióticas (causadas por fungos na maioria das vezes) e abióticas (decorrentes de danos que servem como porta de entrada para microrganismos) (4). A maturação é outro fator que afeta a morfologia e metabolismo do fruto, tornando-o mais suscetível a doenças fúngicas, desta forma, o controle do ponto de colheita é feito rigorosamente para evitar perdas. O ponto de colheita é realizado antes que um quarto da superfície da casca do mamão esteja amarelada (estágios 0, 1 e 2). Após a colheita, os frutos são encaminhados de imediato para uma casa de embalagem (*packing house*), onde são higienizados, classificados e acondicionados (5,6).

Após as etapas iniciais de preparo, diferentes formas de armazenamento são adotadas para o controle de perdas dos frutos colhidos, incluindo, refrigeração, atmosfera modificada, uso de embalagens e revestimentos alimentícios. Para armazenamento refrigerado as temperaturas adotadas são em torno de 10 e 13°C (7). No armazenamento sob atmosfera modificada (AM), a conservação é realizada no controle e monitoramento da composição gasosa do ambiente, sendo o oxigênio mantido a nível de 3 a 5% e dióxido de carbono de 5 a 10%. No uso de AM os ambientes incluem, armazéns refrigerados, contêineres refrigerados ou embalagens individuais com atmosfera modificada passiva (8,9). Estes métodos são considerados eficientes, entretanto, possuem limitações econômicas e ambientais (9).

A manutenção do fruto refrigerado demanda elevado consumo energético, o que gera gases de efeito estufa, assim como para ambientes com atmosfera modificada, que além do gasto energético necessitam de infraestrutura e

capacitação técnica para operação (9). No Brasil, a refrigeração de frutas e hortaliças é de extrema importância, sendo que, em um país de clima tropical, estes alimentos degradam rapidamente. No entanto, a infraestrutura precária de armazenamento e transporte refrigerado no país compromete a manutenção da qualidade dos frutos e desfavorece a competitividade de produtores e comerciantes, tanto no mercado interno quanto externo (9). Neste contexto, o uso de revestimentos alimentícios surge como uma alternativa interessante, tendo em vista que, não requerem infraestrutura complexa nem monitoramento contínuo após a aplicação, podendo beneficiar produtores, comerciantes e estender seus efeitos até a etapa final de consumo. Os revestimentos podem ser aplicados diretamente sobre a fruta, sem a necessidade de serem associados a métodos de refrigeração. Uma vez aplicados, formam uma camada protetora que atua no controle da troca gasosa, da taxa respiratória e da perda de água (10).

Esses revestimentos podem ser formulados a partir de diferentes polímeros naturais, o que os alinha a exigências do mercado por soluções sustentáveis e das preferências dos consumidores por alimentos de origem natural (11).

Neste contexto, o alginato (Alg) um polissacarídeo natural extraído das algas ou sintetizado por bactérias, valorizado devido sua capacidade na formação de géis destaca-se como polímero de origem natural em presença de cálcio, sendo versátil em diversas aplicações, tais como estabilizante e agente gelificante em produtos como molhos, sorvetes, geleias, na criação de embalagens pela indústria alimentícia ou agente de liberação controlada pela indústria farmacêutica (12).

A celulose bacteriana (CB), celulose pura sintetizada por bactérias, como as do gênero *Gluconacetobacter*, *Acetobacter* e *Komagataeibacter*, apresenta propriedades interessantes que permite a utilização para diversas aplicações, como na indústria de alimentos, onde é empregada como espessante, estabilizante, texturizante em gelatinas ou como agente de liberação na formulação de embalagens (13,14). Os polissacarídeos, como a celulose e o Alg são atóxicos, apresentam boas propriedades mecânicas, permeabilidade seletiva de O₂ e CO₂ e resistem à migração de lipídios, além de possuir a capacidade de retardar a perda de água do alimento revestido, no entanto, não são eficazes nas barreiras à umidade (10). Dessa forma, comumente, os

polímeros puros não apresentam, isoladamente, todas as propriedades mecânicas e de barreiras necessárias para o desenvolvimento e aplicação em embalagens para alimentos. Nesse sentido, o uso de bioplásticos multicamadas ou de misturas poliméricas tem sido amplamente explorado como estratégia para otimização dessas propriedades (15).

Assim, este estudo teve como objetivo desenvolver um revestimento à base de polímeros naturais e compostos bioativos, visando à conservação sustentável pós-colheita do mamão, com foco na manutenção da qualidade, segurança alimentar e redução de perdas.

A formulação foi elaborada com insumos de origem renovável e resíduos agroindustriais, reforçando a proposta de um material biodegradável, funcional e alinhado aos princípios da economia circular. Logo, a utilização de polissacarídeos como celulose e Alg, em associação à incorporação de compostos bioativos se torna uma estratégia promissora para agregar funcionalidades aos bioplásticos voltados à conservação de frutas. Entre as opções de compostos bioativos, destacam-se diferentes partes da romã (*Punica granatum*), como folhas, cascas e sementes, amplamente investigadas por apresentarem elevado potencial antioxidante e antimicrobiano. Essa atividade é atribuída devido à presença de polifenóis, taninos e flavonoides, amplamente reportado na literatura (16). Com o objetivo de prolongar o tempo de prateleira do mamão utilizando materiais de fontes renováveis, foi desenvolvido um bioplástico composto por CB, que pode ser obtida como subproduto da indústria do vinagre ou produzida em laboratório, Alg, extrato de *P. granatum* obtido de subprodutos da romã e um solvente eutético profundo, empregado como plastificante e considerado uma alternativa de química verde. Além disso, o trabalho envolveu a caracterização dos componentes, o desenvolvimento de uma estratégia de aplicação do revestimento no mamão e a avaliação da eficiência do material na manutenção da qualidade do fruto.

2. Objetivos:

Objetivo geral:

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver e caracterizar as propriedades físicas, químicas e mecânicas de uma embalagem primária de Alg, CB e solvente eutético profundo (*deep eutectic solvent*, DES), funcionalizada com extrato de resíduos de *P. granatum*.

Objetivos específicos:

- Obter CB a partir da fermentação por bactérias acéticas.
- Extrair e caracterizar as propriedades antioxidantes e antimicrobianas dos compostos bioativos de diferentes partes da *P. granatum*.
- Desenvolver e caracterizar o Des.
- Formular filmes bioplásticos à base de Alg, CB e DES, incorporando o extrato selecionado de *P. granatum*.
- Caracterizar os filmes quanto às suas propriedades estruturais, mecânicas e funcionais.
- Avaliar parâmetros de qualidade, incluindo degradação fúngica, perda de massa, cor e firmeza nos mamões revestidos com bioplásticos com e sem extrato da *P. granatum*.

3. Justificativa

A organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) estima que cerca de um terço da produção de alimentos é perdido ou desperdiçado, gerando custos estimados em US\$ 2,6 trilhões anualmente (incluindo US\$ 700 bilhões em custos ambientais e US\$ 900 bilhões em custos sociais) (17). Diante desse cenário alarmante, o mamão (*Carica papaya* L.) emerge como um exemplo significativo, pois sua alta perecibilidade e perdas na cadeia de suprimento destacam a urgência de estratégias para prolongar a vida útil e reduzir o desperdício e perdas do fruto. O mamão é um fruto muito apreciado pelos consumidores devido ao seu sabor, valor nutricional e versatilidade. É produzido e comercializado ao longo do ano por vários países de clima tropical, apresentando uma elevada taxa de comercialização (18). Entretanto, a fase de comercialização representa um desafio para os agricultores e comerciantes, pois ocorrem perdas significativas devido à alta perecibilidade natural do fruto, além de danos causados por patógenos ou danos mecânicos (19).

As perdas do mamão na pós-colheita podem variar de 25% a 60% (20). Embora faltem estudos específicos sobre perdas financeiras globais relacionados ao fruto, os motivos dessas perdas e os métodos para prolongar o tempo de prateleira são amplamente investigados. Entre os métodos encontrados na literatura para mitigar danos na pós-colheita e atrasar a senescência ou infecção microbiana estão o uso de fungicidas, o tratamento de baixa temperatura, embalagens plásticas derivadas de petróleo, ozonização, irradiação, ultrasonicação, plasma frio, luz pulsada, dióxido de carbono em fase densa (19). Contudo, apesar de eficientes, esses métodos exigem equipamentos especializados e de alto custo, além de levantarem preocupações de segurança, impactos ambientais e necessidade de regulamentação. Diante das limitações associadas à implementação e manutenção dessas tecnologias, os revestimentos alimentícios têm sido amplamente investigados como uma estratégia promissora para prolongar a vida útil de frutas. No Brasil, os revestimentos aplicados diretamente sobre alimentos são regulados pela Resolução da Diretoria Colegiada nº124, de 19 de junho de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, a qual estabelece os critérios técnicos, os

requisitos de segurança e a lista positiva de componentes para preparados formadores de películas à base de polímeros (21). O destaque deste método se deve à regulamentação e biodegradabilidade, o que aumenta a aceitação do consumidor. Além disso, são fáceis de aplicar, mantêm a umidade, melhoram a aparência e possuem baixo impacto na textura, cor e sabor do mamão, podendo ser formulados a partir de polímeros naturais, os quais são amplamente reportados na literatura como seguro e eficazes incluindo Alg, amido, pectina, celulose, quitosana entre outros (14,22).

Neste sentido, a estratégia deste estudo foi unificar as necessidades do agricultor e dos comerciantes em relação à fragilidade do fruto mamão papaia, elaborando um revestimento biodegradável e bioativo à base de Alg, CB, Des e extrato de *P. granatum*. A formulação composta por estes materiais realiza uma combinação estrutural e bioativa, em que o Alg e a celulose proporcionam proteção ao fruto, conferindo maior resistência mecânica, retenção de umidade, enquanto o extrato de *P. granatum* oferecerá propriedades bioativas, como ação antioxidante e antimicrobiana. Por fim, o Des profundo atuará como plastificante e agente de reticulação devido a presença do ácido cítrico (23).

4. Revisão de literatura

4.1 Mamão

O mamão (*Carica papaya L*), da família *Caricaceae*, é fruto do mamoeiro, planta tropical caracterizada por caule ereto e liso, coloração verde, textura macia, folhas grandes e palmeadas, em formato lobulado (24,25). Geralmente composto por cinco carpelos unidos, apresenta cavidade central estrelada ou redonda contendo sementes, com placentação parietal e sementes dispostas em cinco fileiras, presas por um pedúnculo de 0,5 a 1 cm de comprimento. As sementes, cinzas-escuras ou pretas na maturação, são envoltas pela sarcotesta (película que envolve a semente). Em árvores femininas, o fruto é esférico; em árvores hermafroditas, a forma varia, influenciada por fatores que modificam a morfologia floral durante a ontogênese, podendo ser periforme (mais largo na parte inferior, afinando na parte superior; a forma mais comum comercialmente). A coloração da polpa varia com o cultivar, indo de branco-esverdeado em frutos imaturos a amarelo-alaranjado claro, rosa salmão ou vermelho na maturação. O desenvolvimento do fruto leva em torno de 23 semanas, com peso entre 0,5 e 2 kg. A polpa contém aproximadamente 0,6% de proteína, 10% de açúcar e cerca de 90% de água. A taxa de respiração a 20°C é de 9-18 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, e as taxas de etileno em frutos em amadurecimento são de 7-10 µg kg⁻¹ h⁻¹. Os sólidos solúveis totais na polpa variam de 5% a 19% (26,25). O fruto é rico em vitaminas (A, C, E) e minerais como potássio e magnésio, e contém quantidade significativa de betacaroteno (especialmente quando maduro) e criptoxantina (um flavonoide com poder antioxidante e anti-inflamatório que previne doenças anti-inflamatórias (27).

As propriedades antioxidantes da planta são reconhecidas e atribuídas aos compostos bioativos presentes nas folhas, frutos e sementes, entre esses compostos bioativos, destacam-se o α -tocoferol, ácido cafeico, miricetina, quercetina, rutina, papaína, esteroides Kaempferol, alcaloides e saponinas (28,25) Estudos sobre o mamão foram realizados, devido aos seus compostos com atividades; falciformes, anti-hemininticas, antimaláricas, anti-inflamatórias, antidiabéticas, antipiréticas e antihiperglicêmicas (28). Na China, as folhas, frutos e sementes do mamão são usados nos tratamentos de dores estomacais, inflamações e infecções bacterianas (29). O extrato das folhas apresenta

potencial antioxidante e antimicrobiano e já foi usado no tratamento de diabetes, dengue (uma doença viral), febre, asma, sífilis, beribéri, icterícia e cicatrização de feridas (25).

Em suma, o mamão apresenta uma ampla gama de propriedades medicinais e nutricionais, o que leva diversos países a investirem em sua produção, buscando atender à demanda tanto para consumo *in natura* quanto para aplicações na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética.

4.2 Produção do mamão e aplicações

O mamoeiro é nativo do México e da América do Norte. Sua cultura expandiu-se para outras regiões tropicais e subtropicais do mundo. Atualmente, mais de 60 países produzem mamão, incluindo, Índia, México, Indonésia, Estados Unidos, República Dominicana e Brasil, como visto na Figura 1. Dentre os países, a Índia é a maior produtora de mamão, alcançando 59% na produção mundial (6). De acordo com FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), a produção mundial do mamão deve aumentar cerca de 2,1% ao ano, atingindo 16,6 milhões de toneladas até 2029 (30).



Figura 1. Panorama global do mamão (*Carica papaya* L.), incluindo dados de exportação e relevância nutricional.

Fonte: Elaboração própria (2026).

A cultura do mamão oferece significativas oportunidades econômicas e tecnológicas para aplicações nutricionais e farmacêuticas, devido aos componentes bioativos (carpaínas, benzilglucosinolatos, papaína, zeaxantina, colina) presentes em suas sementes, folhas e frutos que podem ser usados no desenvolvimento de produtos benéficos à saúde (31).

A produção do fruto é ampla devido ao alto valor nutricional, versatilidade de uso, baixo custo e alta demanda por frutas tropicais no mercado global (32). O mamão é classificado como a quarta fruta tropical mais popular no mundo, ficando atrás da banana, manga e abacaxi (33). Entre os componentes do mamão, a papaína (uma enzima proteolítica que quebra as ligações peptídicas das proteínas, encontrada principalmente na seiva e nos frutos ainda verdes) é empregada pela indústria na produção de medicamentos, fabricação de cerveja, amaciante de carne e produtos de beleza (25,33). Desta forma, o mamão é um fruto de importância econômica, o que torna essencial a adoção de cuidados adequados na pós-colheita para garantir sua qualidade e minimizar perdas.

4.3 Cuidados com a qualidade e perda na pós-colheita

O mamão é um fruto que possui vida curta após a colheita, devido sua alta respiração, perda de água, sensibilidade a danos por frio, mecânicos, doenças, pragas e insetos (34). Além do mais, as frutas em geral tendem a degradar assim que é separado da planta-mãe devido a diversas reações bioquímicas que ocorrem após a separação (35). Desta forma, a proteção pós-colheita do fruto é imprescindível, e pode envolver métodos tecnológicos e práticas que incluem fungicidas, armazenamento a frio, tratamentos com vapor ou químicos, embalagens e revestimentos (19). Com o aumento das exigências do mercado interno e externo por frutas de melhor qualidade é fundamental práticas que mantenham a qualidade do fruto até chegar ao consumidor, evitando avarias (36). O manuseio adequado na pós-colheita é importante para preservação da qualidade do fruto, perdas ocorrem devido ao amadurecimento excessivo, danos mecânicos e deterioração, podendo ser atribuídas a métodos inadequados, na colheita, manuseamento, uso de embalagens inadequadas, armazenamento ou transporte (2). As perdas pós-colheita em produtos perecíveis, como o mamão, são um desafio para produtores, principalmente

devido ação dos microrganismos como fungos e bactérias, sendo os fungos causadores da doença que mais assola a cultura do mamão, a antracnose (37).

4.4 Doenças no mamão

O mamão papaia pode ser afetado por doenças causadas por fungos, bactérias e nematóides, no entanto, o ataque fúngico é uma das principais causas das perdas do fruto (19). Os fungos fitopatogênicos frequentemente encontrados nos mamões são *Botrytis*, *Penicillium*, *Leveduras*, *Alternaria*, *Rhizopus*, *Cladosporium* e *Fusarium*, podendo estar presente no fruto proveniente do campo ou ocorrer contaminações na câmara fria ou nas paredes das embalagens (4,18). Entre as doenças fúngicas destacam-se a antracnose causada pelo fungo *Colletotrichum Gloeosporioide*; podridão da extremidade do caule causada pelo fungo patogênico *Lasiodiplodia theobromae* pertencente à família *Botryosphaeria*; podridão por *Fusarium* sp. principalmente por *Fusarium solani* e podridão mole causada por *Rhizopus*. Sendo a antracnose e a podridão da extremidade do caule mais difíceis de detectar antes da comercialização pelo agricultor (18).

4.5 *Rhizopus stolonifer*

A doença conhecida como podridão mole, mofo preto ou podridão *Rhizopus* é causada pelo fungo *Rhizopus stolonifer* sendo considerada uma das doenças fúngicas mais agressivas que atingem o mamão na pós-colheita (38). Assim como a antracnose, essa doença surge principalmente na fase de armazenamento e espalha-se com facilidade em mamões maduros, resultando em perdas de até 50% dos frutos (39).

O fungo apresenta hifas brancas, ramificadas e não septadas, variando o comprimento de 900 a 2700 µm e 22 a 32 µm de diâmetro, apresenta esporos esféricos, de tonalidade marrom-clara a escura, superfície lisa parede simples. Os esporos de *Rhizopus* dispersam facilmente pelo ar, possibilitando a deposição sobre o mamão, onde podem germinar e formar um novo micélio. A

temperatura para a sobrevivência pode variar, no entanto possui uma temperatura ótima de 25°C (40,41).

O micélio, denso e de crescimento rápido, após a germinação sobre o fruto, recobre a área afetada com agrupamentos de esporângios fibrosos, de tonalidade acinzentada, levando o tecido do mamão apresentar decomposição aquosa, amaciando a parte interna, acarretando em liberação de líquido com odor ácido ou fermentado em cerca de 2 a 3 dias (40).

4.6 Antracnose

A antracnose do mamão causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) é uma das doenças mais comuns na cultura do mamão (33), sendo o mais importante agente causador de doenças pós-colheita no fruto (37). A infecção pelo fungo pode iniciar ainda no estágio da floração e permanecer dormente até a pós-colheita, quando se torna favorável para colonização no tecido do fruto (42). A doença surge após a colheita, pela invasão no fruto através do pedúnculo cortado, ocasionando a podridão peduncular que se apresenta com o amadurecimento do fruto (43).

O patógeno, além de infectar frutos maduros, pode infectar frutos imaturos pela penetração direta da cutícula. Embora os frutos colhidos não apresentem sintomas, a doença se manifesta nas fases da embalagem, transporte ou comercialização (44,45). A antracnose se espalha rapidamente devido à produção de conídios do fungo *Colletotrichum* que são estruturas reprodutivas essenciais para propagação da antracnose, processo favorecido por elevada temperatura e umidade. Eles servem como inóculo na infecção de caules, folhas, frutos e outras partes da planta (42).

A presença de água ou alta umidade beneficia a formação de tubos germinativos, que são necessários para que a infecção ocorra. Os conídios são disseminados quando os acérvulos se encontram úmidos, após a germinação o apressório, uma célula achatada e espessa, que se assemelha a uma pequena ventosa, que acaba se aderindo à superfície das folhas ou do fruto (46).

O mamão é suscetível à *Colletotrichum gloeosporioides* por cerca de cinco a seis meses, sendo a fase quiescente até a fase climatérica. Desta forma,

a infecção no campo é dificilmente detectável antes da colheita, com os sintomas de antracnose surgindo durante ou após o transporte (47). O aumento da precipitação e da umidade relativa favorecem o aparecimento da doença na casca, sendo destacada por pequenos pontos pretos ou marrons que podem se expandir rapidamente, evidenciando manchas deprimidas com até 5 cm de diâmetro. No contorno da mancha, forma-se um halo de tecido aquoso, com coloração diferente da parte central (5,33).

A podridão mole ocorre quando, em grande quantidade, as manchas coalescem, espalham-se pelo fruto e aprofundam-se na polpa (37).

A incidência de antracnose na pós-colheita fica entre 30 e 100% dos frutos (48), e causam perdas econômicas de 40-100% em países em desenvolvimento (33,37).

A presença de fungos causados pela doença da antracnose pode reduzir o valor de mercado do mamão, devido à presença de manchas que não atendem aos padrões de mercado, o que leva a necessidade de controle da infestação (33). Desta forma, o uso de fungicidas químicos são comumente empregados na proteção do fruto, no entanto, o uso prolongado pode aumentar a resistência do patógeno resultando em declínio na eficácia do antifúngico(49).

Tradicionalmente os fungicidas sintéticos com base em cobre são aplicados por meio de pulverização no campo ou imersão com ou sem tratamentos com água quente. Entre os fungicidas utilizados incluem azoxystrobin, clorotalonil, difenoconazol, fluxapiroxade, que manter a qualidade do fruto, entretanto, podem causar resistência microbiana ou contaminação no meio ambiente (6). Diante dos impactos ambientais e do crescente desenvolvimento de resistência microbiana, a busca por outros métodos de conservação devem ser investigadas e assim poder casar a conservação do fruto com a redução de riscos ecológicos e sem comprometer a segurança alimentar.

4.7 Métodos de conservação do fruto

O mamão papaia é considerado um fruto altamente perecível, após a colheita o fruto continua amadurecendo e conseqüentemente mudando de cor, amolecendo, produzindo aromas fortes que levam à degradação (50). Para

preservar as características requeridas por consumidores e comerciantes, algumas abordagens como refrigeração, irradiação, ozonização e embalagens são usadas sozinhas ou combinadas para atrasar a senescência do fruto ou protegê-lo de danos físicos ou microbianos (51,19). O armazenamento refrigerado é um dos métodos mais comuns na manutenção do mamão, tendo como principal finalidade diminuir os processos metabólicos que levam a maturação e a senescência e inibir o crescimento fúngico de mamões possivelmente já contaminados. Entretanto, mesmo com a refrigeração, a germinação dos fungos pode ocorrer entre 1 a 3°C, podendo resistir a temperaturas mais baixas (4). Segundo Freitas *et al.* (4), embalagens plásticas são também comumente utilizadas. Sapelli *et al.* (52), destacam que o uso de materiais plásticos na conservação de frutas comumente utilizados inclui: polietileno de baixa densidade (PEBD); policloreto de vinila (PVC). No entanto, estes métodos costumam ser economicamente caros, ter gasto energético e poluir o meio ambiente (9). Entre os métodos de conservação alternativos, o uso de revestimentos biodegradáveis à base de polissacarídeos, proteínas ou lipídios podem ser uma alternativa na manutenção da qualidade do mamão (53).

4.8 Revestimentos bioplásticos

Os revestimentos são substâncias ou produtos aplicados à superfície de embalagens ou equipamentos destinados para alimentos, com o objetivo de propiciar proteção e prolongar a vida útil. Podem ser formulados a partir de materiais poliméricos, especialmente de origem natural, desde que atendam aos requisitos de segurança e aos limites de migração previstos na norma (RDC n.91/01) (54). Eles oferecem vantagens funcionais e econômicas, preservando a qualidade do produto e melhorando a experiência do consumidor. O uso de revestimentos possibilita o armazenamento sem o uso de embalagens sob atmosfera modificada, o que é caro e acarreta maior gasto (55,56).

Entre os materiais usados na formulação de revestimentos biodegradáveis naturais, estão a cera de carnaúba, goma arábica, gelatina, quitosana, Alg, amido, carragenana e a pectina. Já os materiais sintéticos frequentemente empregados para essa finalidade são o polietileno (PE), polipropileno (PP), polímeros de etileno vinil (EVA), ceras de parafina e

microcristalinas, derivadas do petróleo (10). Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), para evitar preocupações em relação à segurança alimentar é interessante seguir a normativa de cada país. No Brasil, a norma RDC nº 056 de 2012, estabelecida pela ANVISA, aplica-se a todos os materiais e produtos que entram em contato com alimentos, buscando garantir a segurança dos revestimentos comestíveis e dos materiais em contato com os alimentos. É importante que esses materiais atendam às normas de segurança alimentar vigentes. Metais pesados tóxicos (chumbo, mercúrio, cádmio, arsênio) podem ser proibidos ou restritos (57). No entanto, a formulação desses revestimentos frequentemente é baseada em compostos poliméricos, hidrofóbicos e funcionais, incluindo plastificantes, surfactantes, nutrientes, antimicrobianos e antioxidantes (58).

De acordo com a International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), polímeros são substâncias constituídas por macromoléculas, definidas como moléculas de elevada massa molar, cujos valores podem variar de alguns milhares a milhões de gramas por mol (59). Os polissacarídeos, que são um tipo de polímero, são extensivamente utilizados devido às propriedades formadoras de bioplástico, que contribuem para a textura e estabilidade do bioplástico e fornecem uma barreira parcial contra a umidade (60). Polissacarídeos como Alg, amido e quitosana podem atuar como barreira parcial às trocas gasosas, reduzindo a taxa respiratória e contribuindo para a preservação pós-colheita. Por outro lado, devido ao seu caráter hidrofílico, esses materiais geralmente apresentam alta permeabilidade ao vapor de água (PVA), o que pode comprometer a estabilidade dos revestimentos e exigir a incorporação de compostos hidrofóbicos.(22).

As proteínas também são usadas na formulação de revestimentos e podem ser classificadas em dois grupos principais: proteínas fibrosas (como colágeno, queratina, gelatina, soro de leite) e globulares (não fibrosa, como zeína, albumina e proteína de soja). As proteínas fibrosas, geralmente longas e em forma de fibras, são tipicamente insolúveis em água e desempenham funções estruturais de suporte e proteção. As proteínas globulares com estrutura mais compacta e esférica, são hidrossolúveis e exercem funções catalíticas, regulatórias ou de transporte. No entanto, formulações com proteínas apresentam solubilidade limitada em água e fragilidade, sendo suscetíveis a

quebras, especialmente sob tensões mecânicas presença de ácido, base, sal e calor (43,60).

Revestimentos à base de lipídios são amplamente utilizados na indústria alimentícia para melhorar a aparência e conservação das frutas. Exemplos incluem cera de abelha, cera de carnaúba, gordura hidrogenada, ácido oleico e resinas como a goma-laca. Embora amplamente utilizados, os lipídios apresentam alguns desafios: oxidação, condições de armazenamento inadequadas (luz e o calor) e podem comprometer a eficácia do revestimento, alterando a textura e o paladar (60,22).

Na produção de revestimentos, diversos aditivos podem ser adicionados para melhorar as propriedades do material final. Estes incluem antioxidantes, corantes e pigmentos, plastificantes ou emulsificantes (10). O processamento pode envolver ajustes de pH e uso de aquecimento, dependendo das particularidades de cada composto utilizado (43,10). Deste modo, cada polímero exige alguma consideração específica no seu processamento, tais como o Alg que muitas vezes requer um ativador de gelificação tais como íons de cálcio (61).

4.9 Revestimentos biodegradáveis à base de polissacarídeos

Os polissacarídeos são biomoléculas naturais que podem ser encontradas em plantas (como amido, celulose e pectina), algas (Alg) e animais (exoesqueleto de crustáceos). Constituem uma alternativa biodegradável, atóxica e biocompatível na formulação de revestimentos alimentícios (62). Essas moléculas apresentam alta capacidade na formação de géis, podendo ser combinadas com plastificantes e outros aditivos para formação de revestimentos bioplásticos. Estes revestimentos são normalmente usados como embalagens primárias, melhorando a estabilidade do alimento e evitando a perda de umidade, oxidação e crescimento microbiano (63). Embora os filmes e revestimentos à base de polissacarídeos sejam tipicamente hidrofílicos e não apresentam boa barreira ao vapor de água, eles geralmente oferecem boas barreiras à transferência de gases O₂ e CO₂. Entre os polissacarídeos, o Alg é um exemplo de polímero que, apesar de não possuir boas propriedades de barreira ao vapor

de água, é altamente higroscópico e pode prevenir a perda de umidade em alimentos revestidos (64).

4.10 Alginato

O Alg é um polissacarídeo heterogêneo que não apresenta ramificações, e é composto por unidades de ácido β -D-manurônico (M) e ácido α -L-gulurônico (G), evidenciado na Figura 2. Essas unidades são unidas por ligações glicosídicas em diferentes composições e sequências (65). Ele é um polímero natural que pode ser encontrado principalmente em algas marrons como *Laminaria*, *Ascophyllum* e *Macrocystis* ou ser sintetizado por bactérias pertencentes aos gêneros *Azotobacter* e *Pseudomonas* (66,67). A proporção entre essas unidades varia dependendo das fontes de obtenção, o que afeta diretamente suas propriedades físico-químicas. Dessa forma, as características do Alg são dependentes da sua estrutura, como o peso molecular (PM), a razão M/G, o arranjo dos resíduos M e G, assim como o grau de acetilação (68).

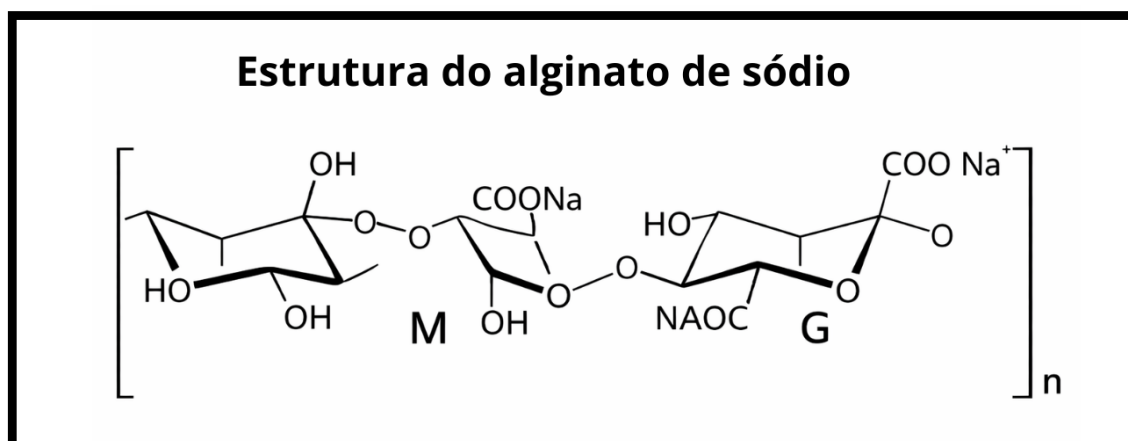


Figura 2. Representação estrutural do Alg de sódio, formado por unidades de ácido β -D-manurônico (M) e ácido α -L-gulurônico (G).

Fonte: Elaboração própria (2026).

A estrutura do Alg de algas pode ser visualizada como composta por três blocos, bloco (M) unidades de ácido manurônico, bloco (G) unidades de ácidos gulurônico e blocos (MG) alternância entre as duas unidades contendo ambos

os ácidos poliurônicos. Deste modo, a proporção e a disposição desses blocos afetam as propriedades físico-químicas do Alg na resposta de formação de géis, na viscosidade e solubilidade (60). Nas algas, o Alg atua como um componente estrutural, ajudando a manter a integridade da célula e a resistência ao ambiente marinho, o conteúdo de Alg nas algas marrons pode chegar em torno de 40% do peso seco da alga (69). Para extração do Alg nas algas marinhas ocorre o processo físico-químico de secagem, moagem e tratamento com soluções alcalinas (60).

O processo se baseia usando ácido mineral diluído para tratar a alga, assim, o ácido algínico resultante é transformado em sal de sódio hidrofílico na presença de carbonato de sódio, que pode ser convertido em ácido ou sal (69). Técnicas modernas como extração assistida por micro-ondas, extração assistida por enzimas, extração assistida por ultrassom ou descarga de eletrodo de alta voltagem já são usadas para estágios de pré-tratamento ou isolamento melhorando o rendimento na extração (70).

Os Algs (de sódio, potássio, amônio e cálcio) são sais monovalentes de ácido algínico. O ácido algínico e o Alg de cálcio são insolúveis em água, enquanto o Alg de sódio, Alg de potássio e Alg de amônio são hidrossolúveis e possuem baixa solubilidade em pH baixos (60). Nas bactérias, o Alg atua como meio de proteção contra estresses ambientais, formando uma matriz que colabora na aderência às superfícies. Os Algs obtidos por essa via, possuem alto grau de acetilação, no entanto, varia a quantidade de acordo com as espécies bacterianas e as condições de crescimento laboratoriais (71).

Os Algs bacterianos possuem grupos O-acetil, mas estes grupamentos não estão presentes na estrutura dos Algs oriundos das algas. Além disso, eles possuem peso molecular (PM) relativamente maior, influenciando em maior viscosidade e formação de géis mais fortes. Estes Algs possuem PM e distribuição de monômeros estáveis (60,67). No entanto, as propriedades do Alg podem mudar de acordo com sua origem e processamento. Devido às propriedades do Alg, tais como solubilidade em água fria, capacidade de retenção de água, propriedade espessante, estabilizante, emulsificante com alto poder na formação de gel, esse material é amplamente utilizado pelas indústrias cosméticas, farmacêuticas e alimentícias (68).

O Alg forma gel na presença de cátions multivalentes em meios aquosos, a gelificação e reticulação ocorrem pela troca de íons de sódio com cátions multivalentes (71). Por essa razão, o material é amplamente utilizado na indústria para a produção de géis alimentares, sistemas de liberação controlada, embalagens e revestimentos funcionais (61). O Alg apresenta grande potencial econômico devido a sua diversificada gama de aplicações, o que leva a comercialização deste composto em 30 mil toneladas anuais com previsão de faturamento de US\$1,07 bilhão até 2028 (72).

4.10.1 Embalagens e revestimentos com base em Alginatos

O Alg tem se destacado na indústria alimentícia devido à sua versatilidade e propriedades na formação de gel, bioplástico, espessamento, estabilização de emulsão e suspensão sendo uma alternativa promissora para melhorar e conservar a qualidade dos alimentos (73). Como é um polissacarídeo amplamente encontrado em algas marinhas, o bioplástico à base de Alg apresenta a vantagem do baixo custo (69). É um material insípido, inodoro, transparente, não tóxico e com boas barreiras ao oxigênio, o que o torna um material com potencial na produção de bioplásticos para alimentos, em formatos como monocamada, multicamada e compostos, além de revestimentos. No entanto, os bioplásticos à base de Alg podem ser mais frágeis que os plásticos sintéticos. Além do mais, eles são higroscópicos, absorvendo facilmente a umidade do ambiente, apresentam propriedade mecânica ruins e alta permeabilidade ao vapor de água (WVP) (10). Para melhorar o material, é interessante combiná-lo com outros que controlem a hidrofiliicidade, melhorem a resistência mecânica e proporcionem atividades antioxidantes e antimicrobianas (69). Plastificantes hidrofóbicos, como ácidos graxos, ácidos cítricos, óleos, podem minimizar as características higroscópicas e diminuir a permeabilidade ao vapor de água (74). Devido ao seu caráter hidrofílico, o Alg tende a absorver água e apresentar inchamento. A reticulação com cátions divalentes, como o cálcio, limita a interação polímero-água, aumentando a estabilidade do material em meio aquoso (72). As características do Alg de sódio, em sua forma pura, não incluem propriedades antioxidantes ou antifúngicas, no entanto, quando

utilizado como revestimento, a incorporação de extratos naturais, pode potencializar suas características e transformá-lo em um bioplástico ativo (75). Um dos principais problemas relacionado ao polímero é sua fragilidade e propriedades mecânicas ruins principalmente após a reticulação. Apesar de um alto Módulo de Young (YM), a resistência à tração (TS) e alongamento na ruptura (EB) são baixos. Deste modo, o uso de plastificantes pode aumentar a flexibilidade, minimizando as forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas (74). Uma maneira para melhorar as propriedades mecânicas dos bioplásticos de Alg é combiná-lo com outro polímero, tais como, a CB, que possa proporcionar as propriedades necessárias (76).

4.11 Celulose bacteriana

A CB é uma forma de celulose pura, produzida por bactérias dos gêneros *Acetobacter*, *Gluconacetobacter*, *Sarcina*, *Agrobacterium*, *Alcaligeneses*, *Rhizobium* e *Komagataeibacter*. Elas são as principais cepas verificadas para sintetização desse biopolímero (77).

A CB é um homopolissacarídeo linear constituído por unidades repetidas β -1,4-glucano, cuja elevada densidade de grupos hidroxila favorece interações intermoleculares responsáveis pela formação de nanofibrilas cristalinas que se organizam em microfibrilas. A síntese ocorre pela polimerização intracelular dessas cadeias, seguida pela montagem e cristalização extracelular em estruturas fibrilares bem organizadas (78).

A biossíntese da celulose bacteriana, mostrada na Figura 3, é um processo enzimático que envolve enzimas específicas, como glicoquinase, fosfoglucomutase, uridina difosfato (UDP)-glicose pirofosforilase e celulose sintase. O processo de síntese inicia-se com a fosforilação da glicose, convertendo-a em glicose-6-fosfato (G6P), que posteriormente é convertida em glicose-1-fosfato (G1P). Em seguida, a G1P reage com UTP (uridina trifosfato), formando UDP-glicose, precursor na formação da celulose. A molécula de UDP-glicose é transportada para fora da célula e utilizada pela enzima celulose-sintase na polimerização de unidades de glicose em longas cadeias de celulose,

formando protofibrilas, que se organizam em uma estrutura tridimensional que caracteriza a CB (77,13).

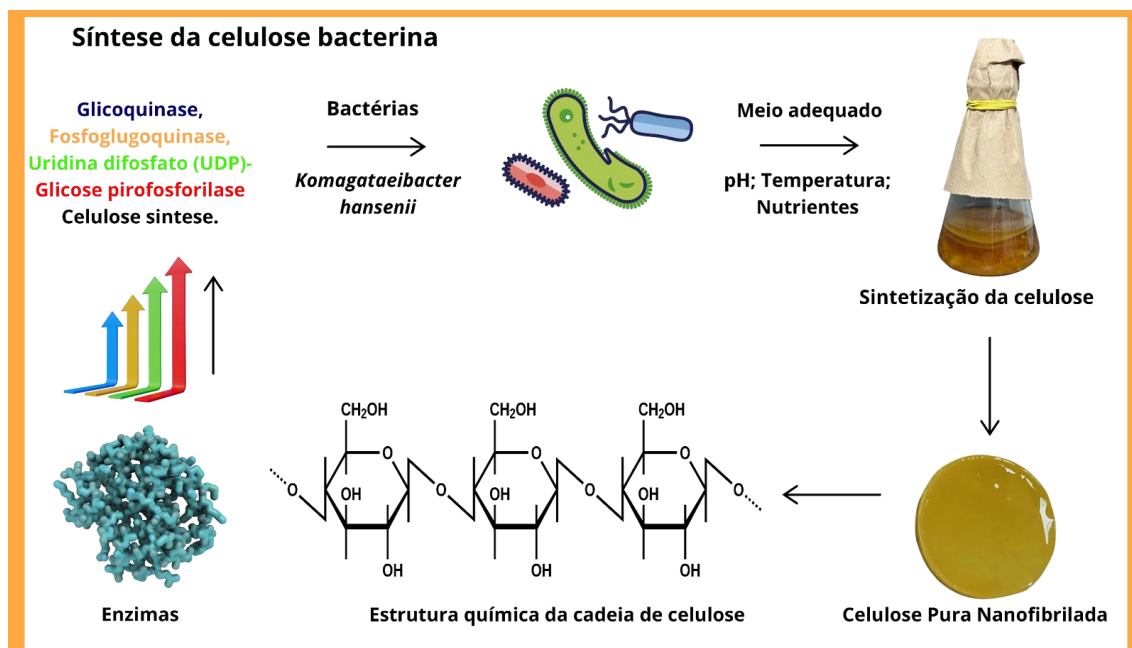


Figura 3. Esquema de biossíntese da celulose bacteriana por *Komagataeibacter hansenii*, destacando as principais enzimas envolvidas e a influência das condições de cultivo (pH, temperatura e nutrientes) na produção e organização da cadeia da celulose.

Fonte: Elaboração própria (2026).

A CB é produzida nos poros localizados na membrana citoplasmática e exsuda no formato de nanofibrilas, agregando-se em microfibrilas e posteriormente em fibrilas formando fitas tridimensionais com dimensões 70 a 150 nm (76). Cultivadas em meio com fontes de carbono e nitrogênio, essas bactérias produzem celulose pura, diferente da celulose vegetal que possui hemicelulose, lignina e pectina (14). A síntese das membranas em condições laboratoriais ocorre principalmente em cultivo estático, sob temperatura de aproximadamente 30 °C e pH próximo a 5. As membranas obtidas são comumente purificadas com (NaOH ou KOH) e lavadas com água destilada para remoção das células excedentes (76). As propriedades deste polímero incluem hidrofiliabilidade, biocompatibilidade, biodegradabilidade, alta resistência mecânica e elasticidade, sendo adequada para múltiplas aplicações na área médica ou alimentar (77).

4.11.1 Embalagens com uso de celulose bacteriana

A CB é um biomaterial nanométrico amplamente investigado devido às suas propriedades físico-químicas diferenciadas e ao seu elevado potencial para aplicações alimentícias. Devido sua origem renovável, com estrutura altamente organizada em rede nanofibrilar, o material tem despertado interesse em setores como embalagens de alimentos, engenharia biomédica, papel e celulose, entre outros (14)(13). Adicionalmente, sua natureza comestível, biodegradável e biocompatível torna esse material particularmente atrativo para o desenvolvimento de embalagens e revestimentos alimentares sustentáveis (14,78). Do ponto de vista estrutural, este biomaterial pode ser processado em diferentes formatos, como microfibrilas (BCMFs) necessitando mudanças estruturais ou agregações que não ocorrem naturalmente ou nanofibrilas (BCNF's), sendo que estas últimas apresentam elevada área superficial e capacidade de estabelecer fortes interações intermoleculares, principalmente por meio de ligações de hidrogênio. Essas características favorecem sua atuação como agente de reforço em matrizes poliméricas, promovendo melhorias significativas nas propriedades mecânicas e de barreira dos materiais obtidos (76).

Nesse contexto, o uso de estratégias nanotecnológicas no desenvolvimento de embalagens à base de CB tem se mostrado uma abordagem promissora e atraído pesquisadores para otimizar o desempenho funcional desses sistemas, permitindo não apenas o aprimoramento estrutural, mas também a incorporação e liberação controlada de agentes antimicrobianos ou compostos bioativos (79). Tais sistemas podem atuar na criação de microambientes controlados, com potencial de mitigar estressores externos e retardar os processos de deterioração dos alimentos, preservando atributos sensoriais, integridade nutricional e segurança microbiológica ao longo da vida útil (14,80).

Além do mais, por se tratar de uma fibra alimentar aprovada para uso em alimentos e reconhecida como Generally Recognized as Safe (GRAS) pela Food and Drug Administration (FDA)(78), o material apresenta elevado potencial para aplicações como revestimento comestível ou embalagens, permitindo seu uso em contato direto com alimentos sem comprometer a segurança do consumidor.

4.12 Uso de produtos naturais para produção de embalagens ou revestimentos bioativos

Como visto anteriormente, os revestimentos biodegradáveis vêm ganhando destaque devido à sua potencialidade na proteção física de frutos, sendo produzidos a partir de diferentes materiais e podendo ser funcionalizados com propriedades antioxidantes e antifúngicas (81). A oxidação dos frutos pode levar à alteração da cor, sabor e à perda de nutrientes. Neste sentido, vários compostos bioativos naturais podem ser obtidos diretamente da natureza ou a partir de resíduos agroindustriais que constituem uma alternativa promissora, sustentável e segura aos conservantes sintéticos tradicionalmente empregados. Ademais, o setor alimentício gera grandes volumes de subprodutos ainda pouco aproveitados (82). Alguns estudos ilustram a aplicação desses compostos bioativos em sistemas poliméricos. Khalifa *et al.* (83), por exemplo, utilizaram extrato de resíduo de azeitona para a funcionalização de filmes bioplásticos de quitosana, enquanto Carhuavilca-Paredes *et al.* (82) desenvolveram um revestimento à base de quitosana, amido de semente de manga e óleo essencial de casca de laranja, visando à extensão da vida útil de morangos.

4.12.1 Potencial do extrato de *Punica granatum* L.

A *P. granatum*, popularmente conhecida como romãzeira, destaca-se pelo elevado teor de compostos fenólicos, como polifenóis e antocianinas, cujas atividades antioxidantes e antimicrobianas justificam sua incorporação em revestimentos para conservação pós-colheita, conforme exemplificado na Figura 4. Os polifenóis (ácido elágico, flavonoides e punicalaginas) são conhecidos pelo seu alto poder antioxidante (84). Os componentes de diferentes partes da planta, como as sementes, a casca, as folhas, as flores e as raízes, possuem atividades biológicas e medicinais (85). A casca contém taninos (punicalina e punicafolina), além de punicalaginas, flavonas, flavononas e outros flavonoides com atividades anti-inflamatórias, antifúngicas e antimutagênicas. As flores apresentam ácido ursólico e triterpenos (ácido maslínico e ácido asiático), com propriedades antioxidantes. O óleo das sementes é composto principalmente de ácido púnico e esteróis (86,87).

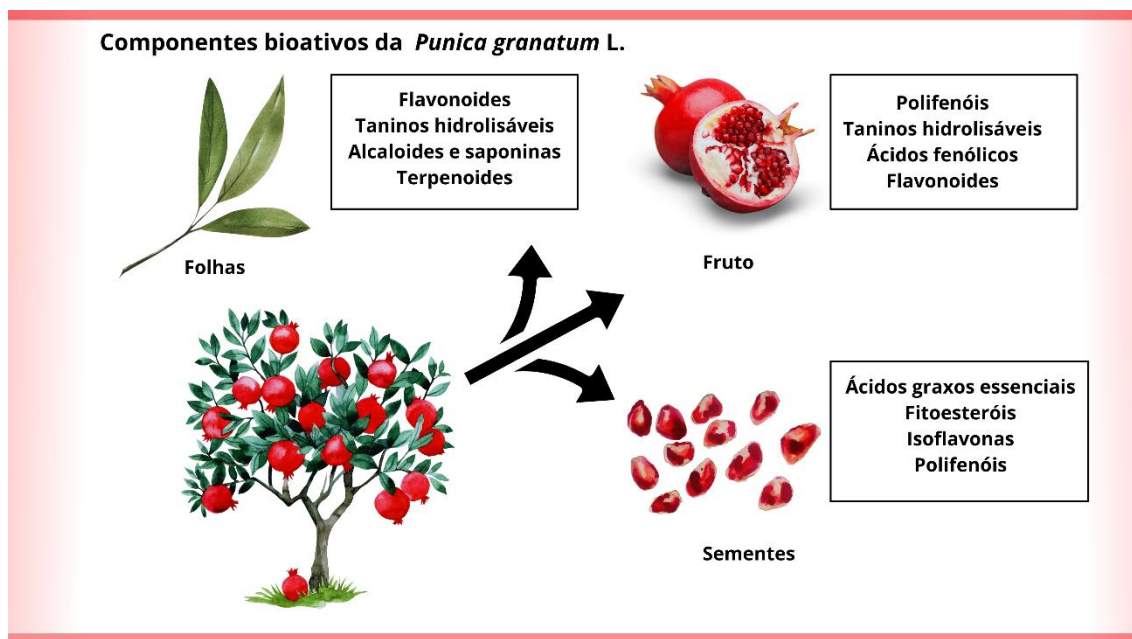


Figura 4. Principais compostos bioativos associados às folhas, frutos e sementes da *P. granatum*.

Fonte: Elaboração própria (2026).

A folha da *P. granatum* é conhecida por suas propriedades antioxidantes. Segundo a IUPAC, um antioxidante é definido como uma substância que, quando adicionada a um sistema, retarda ou previne a oxidação de outras substâncias. Os antioxidantes podem ser classificados como antioxidantes naturais ou sintéticos. Moléculas antioxidantes naturais são consideradas mais seguras que os antioxidantes sintéticos (88). A folha da *P. granatum* é rica em compostos bioativos antioxidantes e possui substâncias fenólicas (predominantemente ácidos fenólicos), flavonoides (apigenina, luteolina, quercetina, rutina, catequina e kaempferol), taninos e alcaloides, possuindo forte capacidade de ligação a diferentes estruturas moleculares (89,90). A concentração destes componentes antioxidantes nas folhas varia de acordo com o cultivar (variedade específica da árvore), origem geográfica, técnicas de extração, solventes e sazonalidade (91).

Estima-se que, para cada tonelada de *P. granatum* colhida, são descartados cerca de 150 a 200 kg de folhas (89). Considerando que a produção mundial da fruta superou 3 milhões de toneladas em 2020, a estimativa residual em folhas pode chegar a 600.000 toneladas ao ano (90). Esse resíduo vegetal tem sido estudado em relação às suas propriedades nas áreas médicas e

alimentar, com resultados benéficos nos tratamentos de condições como diabetes, cardíacas e câncer, sem evidências de toxicidade (92,90). O extrato de folha de *P. granatum* apresenta propriedades antimicrobianas, utilizadas pela indústria alimentícia em chás e aditivo alimentar, devido à sua potente ação antioxidante e estabilidade térmica (90). Este extrato também demonstra potencial como fungicida natural no combate de patógenos pós-colheita, atuando contra bactérias, fungos, vírus e parasitas, podendo ser utilizado em alimentos para preservar a qualidade durante o armazenamento (88,93). Neste contexto, o extrato de folhas de *P. granatum* seria uma alternativa interessante para a formulação de embalagens ativa, preservando a qualidade e aumento da vida útil do mamão.

4.13 Plastificantes

Plastificantes são aditivos de baixo PM usados em materiais poliméricos para aumentar a flexibilidade, maleabilidade e processabilidade, agindo na redução da rigidez do polímero, facilitando a movimentação das moléculas. O uso de plastificantes pode melhorar as propriedades físico-químicas dos revestimentos (81). Geralmente os plastificantes são adicionados durante o processo de fabricação do revestimento biodegradável sendo absorvidos pela matriz polimérica. Entre os plastificantes mais empregados em revestimentos comestíveis incluem açúcares simples (monossacarídeos), oligoméricos, polióis, compostos lipídicos e seus derivados. Diversos estudos têm evidenciado que a incorporação desses aditivos influencia de forma significativa as propriedades mecânicas e de barreira, modulando a flexibilidade, a resistência e a permeabilidade dos materiais obtidos (94). A escolha cuidadosa do plastificante depende da necessidade e compatibilidade com polímero usado e propriedades esperadas do material que será produzido, além de, evitar o comprometimento das propriedades térmicas e mecânicas do material.

4.13.1 Plastificantes: Solvente Eutético Profundo

Os solventes eutéticos natural profundos (DES) são compostos formados por aceitadores de ligação de hidrogênio (HBA) e doadores de ligação de hidrogênio (HDB) em uma proporção estequiométrica específica, são reconhecidos como uma nova classe de solventes verdes, usados em biocatálise, plastificantes, captura de gás e na eletrodeposição (73). Para a formação do DES, é necessária a mistura de dois ou mais componentes que, quando combinados, formam um líquido com ponto de fusão mais baixo do que com os componentes usados individualmente. Esses solventes possuem propriedades vantajosas, como alta solubilidade, baixa toxicidade, biocompatibilidade e alta capacidade de solubilização em diversos solventes (95).

Os DES são solventes iônicos líquidos que podem ser produzidos a baixo custo e com um processo de produção simples, representando uma alternativa promissora para o desenvolvimento de materiais sustentáveis e funcionais (73). Este tipo de solvente tem a capacidade de substituir os plastificantes convencionais, melhorando a flexibilidade e a processabilidade dos revestimentos alimentícios, permitindo que sejam processados de maneira eficiente (96). Esse tipo de plastificante pode oferecer efeito antioxidante e até atividade antibacteriana dependendo da composição proveniente dos HBA e HBD e serem considerados aditivos ativos na embalagem (97,95).

Entre os HBAs mais utilizados na formação de DES, o cloreto de colina (ChCl), um sal de amônio quaternário de alta disponibilidade, destaca-se por sua biodegradabilidade, baixo custo e não toxicidade, tornando ideal na finalidade. Ele é frequentemente usado em conjunto com HDBs, como ureia, glicerol, ácido cítrico, ácido láctico, ácido malônico ou com poliois como glicerol e carboidratos (98,97). O uso de Des como plastificantes está alinhado aos princípios da química verde, promovendo maior eficiência na produção de plásticos e reduzindo o impacto ambiental (96). Deste modo, a combinação de CB, Alg, DES e extratos de *P. granatum* pode representar uma estratégia promissora para o desenvolvimento de materiais destinados à formulação de embalagens ou revestimentos voltados à preservação da qualidade do mamão papaia.

8. REFERÊNCIAS

- [1] GETNET, M.; ALEMU, K.; TSEDALEY, B. Status of postharvest papaya anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) in Assosa Zone, Western Ethiopia. **Discover Food**, v. 4, n. 1, p. 25, 2 maio 2024.
- [2] ROMEIRA, K. M. et al. Residual Starch Packaging Derived from Potato Washing Slurries to Preserve Fruits. **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 12, p. 2248–2259, 20 dez. 2021.
- [3] LANDI, L. et al. Chitosan Coating Enriched With *Ruta graveolens* L. Essential Oil Reduces Postharvest Anthracnose of Papaya (*Carica papaya* L.) and Modulates Defense-Related Gene Expression. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, 11 nov. 2021.
- [4] FREITAS, S.; SOARES A. G. **Recomendações para prevenção de perdas pós-colheita do mamão**. Embrapa ed. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2001.
- [5] SINGH, S. P.; SUDHAKAR RAO, D. V. Papaya (*Carica papaya* L.). Em: **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 86–126e.
- [6] RODRIGUES, J. P. et al. Current technologies to control fungal diseases in postharvest papaya (*Carica papaya* L.). **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102128, set. 2021.
- [7] LI, J. et al. Application of Methyl Jasmonate to Papaya Fruit Stored at Lower Temperature Attenuates Chilling Injury and Enhances the Antioxidant System to Maintain Quality. **Foods**, v. 12, n. 14, p. 2743, 19 jul. 2023.

- [8] SINGH, S. P.; SUDHAKAR RAO, D. V. Papaya (*Carica papaya* L.). Em: **Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits**. [s.l.] Elsevier, 2011. p. 86–126e.
- [9] CEPEA. Cadeia do frio:: garantia de vida mais longa aos e saudável aos hortifrutícolas. **Brasil-hortifruti**, n. 98, p. 31, jan. 2011.
- [10] BARBOZA, H. T. G. et al. Filmes e revestimentos comestíveis: conceito, aplicação e uso na pós-colheita de frutas, legumes e vegetais. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 9, p. e9911931418, 3 jul. 2022.
- [11] KARNWAL, A. et al. Natural biopolymers in edible coatings: Applications in food preservation. **Food Chemistry: X**, v. 25, p. 102171, jan. 2025.
- [12] CHENG, D. et al. Characteristics and applications of alginate lyases: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 1304–1320, dez. 2020.
- [13] SALIHU, R. et al. OVERVIEW OF INEXPENSIVE PRODUCTION ROUTES OF BACTERIAL CELLULOSE AND ITS APPLICATIONS IN BIOMEDICAL ENGINEERING. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 53, n. 1–2, p. 1–13, 28 fev. 2019.
- [14] AZEREDO, H. M. C. et al. Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 3, 18 fev. 2019.
- [15] GRZEBIENIARZ, W. et al. Advances in biopolymer-based multi-layer film preparations and food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 35, p. 101033, mar. 2023.
- [16] SWILAM, N.; NEMATALLAH, K. A. Polyphenols profile of pomegranate leaves and their role in green synthesis of silver nanoparticles. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 14851, 9 set. 2020.

- [17] KANG, H.; SUH, D. H. Exploring the Dynamic Effects of Agricultural Subsidies on Food Loss: Implications for Sustainable Food Security. **Sustainability**, v. 15, n. 4, p. 2886, 5 fev. 2023.
- [18] TAN, G. H.; ALI, A.; SIDDIQUI, Y. Major fungal postharvest diseases of papaya: Current and prospective diagnosis methods. **Crop Protection**, v. 174, p. 106399, dez. 2023.
- [19] VINOD, B. R. et al. Recent advances in physical treatments of papaya fruit for postharvest quality retention: A review. **eFood**, v. 4, n. 2, 21 abr. 2023.
- [20] LI, J. et al. Application of Methyl Jasmonate to Papaya Fruit Stored at Lower Temperature Attenuates Chilling Injury and Enhances the Antioxidant System to Maintain Quality. **Foods**, v. 12, n. 14, p. 2743, 19 jul. 2023.
- [21] AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 124, de 19/06/2001**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: https://anvisa.gov.br/legis/datalegis/net/action/ActionDatalegis.php?acao=consultarAtosInicial&cod_modulo=134&cod_menu=1696&buscaGeral=true. Acesso em: 3 jan. 2026.
- [22] JUNG, J.; DENG, Z.; ZHAO, Y. A review of cellulose nanomaterials incorporated fruit coatings with improved barrier property and stability: Principles and applications. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 2, 26 fev. 2020.
- [23] YU, J. et al. Chitosan films plasticized with choline-based deep eutectic solvents: UV shielding, antioxidant, and antibacterial properties. **Food Hydrocolloids**, v. 135, p. 108196, fev. 2023.

- [24] PRASAD, D.; KUNNAIAH, R. Punica granatum: A review on its potential role in treating periodontal disease. **Journal of Indian Society of Periodontology**, v. 18, n. 4, p. 428, 2014.
- [25] KONG, Y. R. et al. Beneficial Role of Carica papaya Extracts and Phytochemicals on Oxidative Stress and Related Diseases: A Mini Review. **Biology**, v. 10, n. 4, p. 287, 1 abr. 2021.
- [26] PAULL, R. E. et al. Postharvest handling and losses during marketing of papaya (Carica papaya L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 11, n. 3, p. 165–179, jul. 1997.
- [27] CHOUDHARY, R. et al. Nutritional, Phytochemical, and Antimicrobial Properties of Carica papaya Leaves: Implications for Health Benefits and Food Applications. **Foods**, v. 14, n. 2, p. 154, 7 jan. 2025.
- [28] CLEMENT INKOTO LIYONGO et al. A Mini-Review on the Phytochemistry and Pharmacology of the Plant Carica Papaya L. (Caricaceae). **Britain International of Exact Sciences (BloEx) Journal**, v. 2, n. 3, p. 663–675, 15 set. 2020.
- [29] UGBOGU, E. A. et al. Ethnomedicinal uses, nutritional composition, phytochemistry and potential health benefits of Carica papaya. **Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine**, v. 7, p. 100266, jun. 2023.
- [30] ESGUERRA, E.; RAPUSAS, R.; ROLLE, R. S. Post-harvest management of papaya to ensure quality and safety - Guidance for stakeholders in the horticultural supply chain. Rome.FAO. **FAO**, p. 1–13, 2020.
- [31] KOUL, B. et al. Carica papaya L.: A Tropical Fruit with Benefits beyond the Tropics. **Diversity**, v. 14, n. 8, p. 683, 20 ago. 2022.

- [32] BARROSO-TORRES, N.; LOBO, M. G.; DORTA, E. Bibliometric Analysis of Papaya and Dragon Fruit By-Products. **Foods**, v. 14, n. 13, p. 2275, 26 jun. 2025.
- [33] GETNET, M.; ALEMU, K.; TSEDALEY, B. Status of postharvest papaya anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) in Assosa Zone, Western Ethiopia. **Discover Food**, v. 4, n. 1, p. 25, 2 maio 2024.
- [34] YU, M.-C. et al. Evaluating the application feasibility of thyme oil nanoemulsion coating for extending the shelf life of papaya (*Carica papaya* cv. Tainung No. 2) with postharvest physiology and quality parameters. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 74, 21 maio 2024.
- [35] SHAKEEL, Q. et al. Postharvest management of fruits and vegetables. Em: **Applications of Biosurfactant in Agriculture**. [s.l.] Elsevier, 2022. p. 1–16.
- [36] DA VEIGA, J. C. et al. Spraying with encapsulated nitric oxide donor reduces weight loss and oxidative damage in papaya fruit. **Nitric Oxide**, v. 150, p. 37–46, set. 2024.
- [37] NASAHI, C.; AMATULLAH, H. L.; KURNIADIE, D. Antagonistic Endophytic Fungi from Papaya Fruit Against Anthracnose Causing Pathogens (*Colletotrichum gloeosporioides*) on Papaya Fruit. **CROPSAVER - Journal of Plant Protection**, v. 6, n. 2, p. 78, 31 dez. 2023.
- [38] SEETHAPATHY, P. Rhizopus. Em: **Compendium of Phytopathogenic Microbes in Agro-Ecology**. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. p. 683–707.
- [39] PHYO, H. M. et al. Comparative efficacy of chitosan-HPMC-based nanoencapsulation and ultrasonic treatment of thymol-cinnamaldehyde for

- controlling *R. stolonifer* in papaya: In vitro and in vivo studies. **Food Research International**, v. 204, p. 115871, mar. 2025.
- [40] LIU, Q. et al. *R. stolonifer* and related control strategies in postharvest fruit: A review. **Heliyon**, v. 10, n. 8, p. e29522, abr. 2024.
- [41] ALI, J. et al. Fungicidal effect of *Azadirachta indica* extracts against pathogenic fungi *R. stolonifer* and *Monilinia fructicola* in postharvest peaches. **Discover Plants**, v. 2, n. 1, p. 126, 28 abr. 2025.
- [42] HAN, Y. et al. Reproduction response of *Colletotrichum* fungi under the fungicide stress reveals new aspects of chemical control of fungal diseases. **Microbial Biotechnology**, v. 15, n. 2, p. 431–441, 20 fev. 2022.
- [43] HASSAN, B. et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, abr. 2018.
- [44] TATAGIBA, J. S. et al. Controle e condições climáticas favoráveis à antracnose do mamoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 186–192, abr. 2002.
- [45] BANO, A. et al. Elicitation of Fruit Fungi Infection and Its Protective Response to Improve the Postharvest Quality of Fruits. **Stresses**, v. 3, n. 1, p. 231–255, 30 jan. 2023.
- [46] TAVARES, G. M.; SOUZA, P. E. DE. Efeito de fungicidas no controle in vitro de *Colletotrichum gloeosporioides*, agente etiológico da antracnose do mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 1, p. 52–59, fev. 2005.
- [47] BATISTA FERNANDES, M. et al. Uso do Ecolife® e Embalagem na Conservação Pós-Colheita e Manejo da Antracnose do Mamão Formosa.

Ensaio e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde, v. 28, n. 2, p. 197–202, 18 jul. 2024.

- [48] LAW, C. X. et al. A review on anthracnose disease caused by *Colletotrichum* spp. in fruits and advances in control strategies. **International Journal of Food Microbiology**, v. 442, p. 111397, nov. 2025.
- [49] HASSAN, H. et al. Selecting Antagonistic Yeast for Postharvest Biocontrol of *Colletotrichum gloeosporioides* in Papaya Fruit and Possible Mechanisms Involved. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 760, 13 abr. 2021.
- [50] ESCAMILLA-GARCÍA, M. et al. Effect of an Edible Coating Based on Chitosan and Oxidized Starch on Shelf Life of *Carica papaya* L., and Its Physicochemical and Antimicrobial Properties. **Coatings**, v. 8, n. 9, p. 318, 7 set. 2018.
- [51] VASCONCELOS, G. M. D. DE et al. Produção e caracterização de celulose pela *Glucanoacetobacter hansenii* em meio contendo glicose ou manitol. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 4, 2020.
- [52] SAPELLI, K. S. et al. Postharvest quality of papaya fruit wrapped with polyvinyl chloride film added with silver. **Acta Horticulturae**, n. 1325, p. 265–272, out. 2021.
- [53] KUMARI, M. et al. Development and structural characterization of edible films for improving fruit quality. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 12, p. 42–50, jun. 2017.
- [54] AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 91, de 11/05/2001.** , 2001. Disponível em: <<https://anvisa.gov.br/legis/datalegis.net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&tipo=RDC&numeroAto=00000091&seqAto=000&valorAno=2001>>

&orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=1696&cod_modulo=134&pesquisa=true>. Acesso em: 3 jan. 2026

- [55] JARIYASAKOOLROJ, P.; LEELAPHIWAT, P.; HARNKARNSUJARIT, N. Advances in research and development of bioplastic for food packaging. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 14, p. 5032–5045, 20 nov. 2020.
- [56] IBRAHIM, N. I. et al. Overview of Bioplastic Introduction and Its Applications in Product Packaging. **Coatings**, v. 11, n. 11, p. 1423, 22 nov. 2021.
- [57] AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 056, de 16/11/2012**. Brasil, 2012. Disponível em: <https://anvisa.gov.br/legis/datalegis/net/action/ActionDatalegis.php?acao=abrirTextoAto&tipo=RDC&numeroAto=00000056&seqAto=000&valorAno=2012&orgao=RDC/DC/ANVISA/MS&codTipo=&desItem=&desItemFim=&cod_menu=1696&cod_modulo=134&pesquisa=true>. Acesso em: 3 jan. 2026
- [58] HASSAN, B. et al. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 1095–1107, abr. 2018.
- [59] INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. **What are polymers?** Disponível em: <<https://iupac.org/polymer-edu/what-are-polymers/>>. Acesso em: 3 jan. 2026.
- [60] SENTURK PARREIDT, T.; MÜLLER, K.; SCHMID, M. Alginate-Based Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications. **Foods**, v. 7, n. 10, p. 170, 17 out. 2018.
- [61] BI, D. et al. Potential Food and Nutraceutical Applications of Alginate: A Review. **Marine Drugs**, v. 20, n. 9, p. 564, 4 set. 2022.

- [62] KUMAR, N.; NEERAJ. Polysaccharide-based component and their relevance in edible film/coating: a review. **Nutrition & Food Science**, v. 49, n. 5, p. 793–823, 9 set. 2019.
- [63] AZEREDO, H. M. C.; WALDRON, K. W. Crosslinking in polysaccharide and protein films and coatings for food contact – A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 52, p. 109–122, jun. 2016.
- [64] CAZÓN, P. et al. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136–148, jul. 2017.
- [65] SIMÓ, G. et al. Research progress in coating techniques of alginate gel polymer for cell encapsulation. **Carbohydrate Polymers**, v. 170, p. 1–14, ago. 2017.
- [66] NAIR, M. S. et al. Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 304–320, dez. 2020.
- [67] WANG, S. et al. Composite films of sodium alginate and konjac glucomannan incorporated with tea polyphenols for food preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, p. 124732, jul. 2023.
- [68] CHENG, D. et al. Characteristics and applications of alginate lyases: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 1304–1320, dez. 2020.
- [69] BI, D. et al. Potential Food and Nutraceutical Applications of Alginate: A Review. **Marine Drugs**, v. 20, n. 9, p. 564, 4 set. 2022.

- [70] MOUSAVI, S. E.; HATAMIPOUR, M. S.; YEGDANEH, A. Ultrasound-assisted extraction of alginic acid from *Sargassum angustifolium* harvested from Persian Gulf shores using response surface methodology. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 226, p. 660–669, jan. 2023.
- [71] ABASALIZADEH, F. et al. Alginate-based hydrogels as drug delivery vehicles in cancer treatment and their applications in wound dressing and 3D bioprinting. **Journal of Biological Engineering**, v. 14, n. 1, p. 8, 13 dez. 2020.
- [72] SAJI, S. et al. A Brief Review on the Development of Alginate Extraction Process and Its Sustainability. **Sustainability**, v. 14, n. 9, p. 5181, 25 abr. 2022.
- [73] MUSSAGY, C. U. et al. Ionic liquids or eutectic solvents? Identifying the best solvents for the extraction of astaxanthin and β -carotene from *Phaffia rhodozyma* yeast and preparation of biodegradable films. **Green Chemistry**, v. 24, n. 1, p. 118–123, 7 jan. 2022.
- [74] ESLAMI, Z. et al. A Review of the Effect of Plasticizers on the Physical and Mechanical Properties of Alginate-Based Films. **Molecules**, v. 28, n. 18, p. 6637, 15 set. 2023.
- [75] LUO, Y. et al. Sodium Alginate-Based Green Packaging Films Functionalized by Guava Leaf Extracts and Their Bioactivities. **Materials**, v. 12, n. 18, p. 2923, 10 set. 2019.
- [76] CAZÓN, P.; VÁZQUEZ, M. Bacterial cellulose as a biodegradable food packaging material: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 113, p. 106530, abr. 2021.
- [77] DONINI, Í. A. N. et al. Biossíntese e recentes avanços na produção de celulose bacteriana. **Eclética Química**, v. 35, n. 4, p. 165–178, 2010.

- [78] ZHONG, C. Industrial-Scale Production and Applications of Bacterial Cellulose. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, 22 dez. 2020.
- [79] KHAN, A. et al. Nanocellulose-Based Composites and Bioactive Agents for Food Packaging. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 54, n. 2, p. 163–174, 4 jan. 2014.
- [80] TURGANOVA, R. et al. Bacterial Cellulose for Sustainable Food Packaging: Production Pathways, Structural Design, and Functional Modification Strategies. **Polymers**, v. 17, n. 23, p. 3165, 28 nov. 2025.
- [81] PRIYA, K.; THIRUNAVOOKARASU, N.; CHIDANAND, D. V. Recent advances in edible coating of food products and its legislations: A review. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 12, p. 100623, jun. 2023.
- [82] CARHUAVILCA-PAREDES, Y. et al. Enhancing strawberry preservation: a novel edible coating combining chitosan, mango seed starch (*Mangifera indica*), and orange peel essential oil (*Citrus sinensis*). **CyTA - Journal of Food**, v. 23, n. 1, 31 dez. 2025.
- [83] KHALIFA, I. et al. Preserving apple (*Malus domestica* var. Anna) fruit bioactive substances using olive wastes extract-chitosan film coating. **Information Processing in Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 90–99, mar. 2017.
- [84] JAM, N. et al. Antibacterial activity of *Punica granatum* L. and Areca nut (P.A) combined extracts against some food born pathogenic bacteria. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 3, p. 1730–1736, mar. 2022.
- [85] SINGH, J. et al. Bioactive Compounds, Pharmacological Properties, and Utilization of Pomegranate (*Punica granatum* L.): A Comprehensive

- Review. **Tropical Journal of Natural Product Research**, v. 7, n. 9, 3 out. 2023.
- [86] PRASAD, D.; KUNNAIAH, R. Punica granatum: A review on its potential role in treating periodontal disease. **Journal of Indian Society of Periodontology**, v. 18, n. 4, p. 428, 2014.
- [87] BANDOW, B. et al. Diet Supplementation with Pomegranate Fruit Alters Distal Gut Microbiota of Healthy Female College Students. **Microorganisms**, v. 13, n. 2, p. 305, 30 jan. 2025.
- [88] MIRZA, S. R.; DABHADE SUREKHA B. Identification of Novel Food Additive Antioxidant from Psidium Guajava, Moringa Oleifera, Punica Granatum Blend Leaves Extracts. **International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)**, v. 5, n. 5, p. 1293–1305, maio 2018.
- [89] HAJI, A.; SHAHMORADI GHAHEH, F.; INDRIE, L. Pomegranate fallen leaves as a source of natural dye for mordant-free dyeing of wool. **Coloration Technology**, v. 139, n. 2, p. 165–170, 4 abr. 2023.
- [90] YU, M. et al. Unlocking the therapeutic treasure of pomegranate leaf: A comprehensive review on phytochemical compounds, health benefits, and future prospects. **Food Chemistry: X**, v. 23, p. 101587, out. 2024.
- [91] VLADIĆ, J. et al. Comparative Study of Subcritical Water and Microwave-Assisted Extraction Techniques Impact on the Phenolic Compounds and 5-Hydroxymethylfurfural Content in Pomegranate Peel. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 75, n. 4, p. 553–560, 20 dez. 2020.
- [92] DAS, S.; BARMAN, S. Antidiabetic and antihyperlipidemic effects of ethanolic extract of leaves of Punica granatum in alloxan-induced non-insulin-dependent diabetes mellitus albino rats. **Indian Journal of Pharmacology**, v. 44, n. 2, p. 219, 2012.

- [93] KOKA, J. A.; BHAT, M. Y.; WANI, A. H. Allelopathic effect of leaf extracts of *Punica granatum* and *Spiraea prunifolia* against post-harvest rot of tomato and brinjal. **Journal of Drug Delivery and Therapeutics**, v. 10, n. 2- s, p. 1–6, 15 abr. 2020.
- [94] SYARIFUDDIN, A. et al. Physical, Mechanical, Barrier, and Optical Properties of Sodium Alginate/Gum Arabic/Gluten Edible Films Plasticized with Glycerol and Sorbitol. **Foods**, v. 14, n. 7, p. 1219, 31 mar. 2025.
- [95] WAN, H.; ZHU, Z.; SUN, D.-W. Deep eutectic solvents (DESs) films based on gelatin as active packaging for moisture regulation in fruit preservation. **Food Chemistry**, v. 439, p. 138114, maio 2024.
- [96] ZDANOWICZ, M.; JE̋DRZEJEWSKI, R.; PILAWKA, R. Deep eutectic solvents as simultaneous plasticizing and crosslinking agents for starch. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 129, p. 1040–1046, maio 2019.
- [97] SOUSA, A. M. M. et al. Choline chloride based ionic liquid analogues as tool for the fabrication of agar films with improved mechanical properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 111, p. 206–214, out. 2014.
- [98] YU, J. et al. Chitosan films plasticized with choline-based deep eutectic solvents: UV shielding, antioxidant, and antibacterial properties. **Food Hydrocolloids**, v. 135, p. 108196, fev. 2023.
- [99] SKOWROŃSKA, D.; WILPISZEWSKA, K. Deep Eutectic Solvents for Starch Treatment. **Polymers**, v. 14, n. 2, p. 220, 6 jan. 2022.
- [100] NGUYEN, V. T. et al. Spontaneous mutation results in lower cellulose production by a *Gluconacetobacter xylinus* strain from Kombucha. **Carbohydrate Polymers**, v. 80, n. 2, p. 337–343, abr. 2010.

- [101] BEKIR, J. et al. Assessment of antioxidant, anti-inflammatory, anti-cholinesterase and cytotoxic activities of pomegranate (*Punica granatum*) leaves. **Food and Chemical Toxicology**, v. 55, p. 470–475, maio 2013.
- [102] PIRZADEH, M. et al. Pomegranate as a source of bioactive constituents: a review on their characterization, properties and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 6, p. 982–999, 26 mar. 2021.
- [103] CASONI, D.; COBZAC, S. C. A.; SIMION, I. M. Feasibility of UV–Vis spectroscopy combined with pattern recognition techniques to authenticate the medicinal plant material from different geographical areas. **Journal of Analytical Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 17, 26 mar. 2024.
- [104] CANAAN, J. M. M. et al. Soybean processing wastes and their potential in the generation of high value added products. **Food Chemistry**, v. 373, p. 131476, mar. 2022.
- [105] YU, M.; GOUVINHAS, I.; BARROS, A. Variation of the Polyphenolic Composition and Antioxidant Capacity of Freshly Prepared Pomegranate Leaf Infusions over One-Day Storage. **Antioxidants**, v. 10, n. 8, p. 1187, 26 jul. 2021.
- [106] KHADKA, S. et al. Isolation, speciation and antifungal susceptibility testing of *Candida* isolates from various clinical specimens at a tertiary care hospital, Nepal. **BMC Research Notes**, v. 10, n. 1, p. 218, 24 dez. 2017.
- [107] CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Method for Antifungal DiscK Diffusion Susceptibility Testing of Yeasts**. Wayne, PA: [s.n.]. Disponível em: <<https://clsi.org/standards/products/microbiology/documents/m44/>>. Acesso em: 4 jan. 2026.

- [108] CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. **Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Filamentous Fungi**. Wayne, PA: [s.n.]. Disponível em: <https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/metodo_ref_testes_diluicao_modulo1.pdf>. Acesso em: 4 jan. 2026.
- [109] SILVA, T. V. DA et al. Voriconazole-Natural Latex Dressings for Treating Infected *Candida* Spp. Skin Ulcers. **Future Microbiology**, v. 15, n. 15, p. 1439–1452, 6 out. 2020.
- [110] BARROS, N. R. et al. Highly absorptive dressing composed of natural latex loaded with alginate for exudate control and healing of diabetic wounds. **Materials Science and Engineering: C**, v. 119, p. 111589, fev. 2021.
- [111] GEMEINDER, J. L. P. et al. Gentamicin encapsulated within a biopolymer for the treatment of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* infected skin ulcers. **Journal of Biomaterials Science, Polymer Edition**, v. 32, n. 1, p. 93–111, 2 jan. 2021.
- [112] DA SILVA SASAKI, J. C. et al. Eco-sustainable, edible, biodegradable and antioxidant pectin and bacterial cellulose films loaded with coconut oil for strawberry preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 308, p. 142701, maio 2025.
- [113] CAO, N.; FU, Y.; HE, J. Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films. **Food Hydrocolloids**, v. 21, n. 7, p. 1153–1162, out. 2007.
- [114] BARROS, N. R. DE et al. Natural rubber latex: Development and in vitro characterization of a future transdermal patch for enuresis treatment. **International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials**, v. 66, n. 17, p. 871–876, 22 nov. 2017.

- [115] ABDALLA, G. et al. Eco-sustainable coatings based on chitosan, pectin, and lemon essential oil nanoemulsion and their effect on strawberry preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 249, p. 126016, set. 2023.
- [116] VINAY, C. H.; GOUDANAVAR, P.; ACHARYA, A. Development and characterization of pomegranate and orange fruit peel extract based silver nanoparticles. **Journal of Manmohan Memorial Institute of Health Sciences**, v. 4, n. 1, p. 72–85, 22 set. 2018.
- [117] IFEANYICHUKWU, U. L.; FAYEMI, O. E.; ATEBA, C. N. Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles from Pomegranate (*Punica granatum*) Extracts and Characterization of Their Antibacterial Activity. **Molecules**, v. 25, n. 19, p. 4521, 2 out. 2020.
- [118] ALI, J. A. et al. Modification of rheological and filtration characteristics of water-based mud for drilling oil and gas wells using green $\text{SiO}_2 @ \text{ZnO} @ \text{Xanthan}$ nanocomposite. **IET Nanobiotechnology**, v. 13, n. 7, p. 748–755, 29 set. 2019.
- [119] CAIRONE, F. et al. Reflectance colorimetry: a mirror for food quality—a mini review. **European Food Research and Technology**, v. 246, n. 2, p. 259–272, 1 fev. 2020.
- [120] FERREIRA, E. A. et al. BIOACTIVE COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF PINEAPPLE FRUIT OF DIFFERENT CULTIVARS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 3, 2016.
- [121] JESUS, O. N. DE et al. Bright red passion fruit - evaluation of colorimetry and physicochemical quality for the fresh fruit market. **Scientia Horticulturae**, v. 317, p. 112016, jul. 2023.

- [122] AKKUZU, N. et al. Emulsion-based edible chitosan film containing propolis extract to extend the shelf life of strawberries. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 273, p. 133108, jul. 2024.
- [123] AL-HILIFI, S. A. et al. Development of hyaluronic acid based polysaccharide-protein composite edible coatings for preservation of strawberry fruit. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 259, p. 128932, fev. 2024.
- [124] BERSANETI, G. T. et al. Assessment of a new edible film biodegradable based on starch-nystose to increase quality and the shelf life of blackberries. **Food Bioscience**, v. 42, p. 101173, ago. 2021.
- [125] VIEIRA, A. C. F. et al. Active coatings based on hydroxypropyl methylcellulose and silver nanoparticles to extend the papaya (*Carica papaya* L.) shelf life. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 489–498, dez. 2020.
- [126] YU, M. et al. Unlocking the therapeutic treasure of pomegranate leaf: A comprehensive review on phytochemical compounds, health benefits, and future prospects. **Food Chemistry: X**, v. 23, p. 101587, out. 2024.
- [127] KYRIAKOUDI, A. et al. Recovery of Ellagic Acid from Pomegranate Peels with the Aid of Ultrasound-Assisted Alkaline Hydrolysis. **Molecules**, v. 29, n. 11, p. 2424, 21 maio 2024.
- [128] BARBALINARDO, M. et al. Eco-Sustainable Silk Fibroin/Pomegranate Peel Extract Film as an Innovative Green Material for Skin Repair. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 12, p. 6805, 18 jun. 2022.
- [129] EL-AGUEL, A. et al. Punica granatum Peel and Leaf Extracts as Promising Strategies for HSV-1 Treatment. **Viruses**, v. 14, n. 12, p. 2639, 26 nov. 2022.

- [130] DIMITRIJEVIC, J. et al. Punica granatum L. (Pomegranate) Extracts and Their Effects on Healthy and Diseased Skin. **Pharmaceutics**, v. 16, n. 4, p. 458, 26 mar. 2024.
- [131] JAM, N. et al. Antibacterial activity of Punica granatum L. and Areca nut (P.A) combined extracts against some food born pathogenic bacteria. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, n. 3, p. 1730–1736, mar. 2022.
- [132] TRABELSI, A. et al. Phytochemical Study and Antibacterial and Antibiotic Modulation Activity of *Punica granatum* (Pomegranate) Leaves. **Scientifica**, v. 2020, p. 1–7, 31 mar. 2020.
- [133] SINGH JYOTI et al. Bioactive Compounds, Pharmacological Properties, and Utilization of Pomegranate (Punica granatum L.): A Comprehensive Review. **Tropical Journal of Natural Product Research**, v. 7, n. 9, 3 out. 2023.
- [134] FOGLIETTA, F. et al. Comparative antioxidant activity of pomegranate leaf extract and derived metabolites in single and co-cultured cell lines. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 36266, 16 out. 2025.
- [135] DUYSAK, L. et al. Comparative analysis of chemical composition and biological activities of Punica granatum L. Extracts: UPLC-MS/MS profiling, antioxidant capacity, enzyme inhibition, and molecular docking. **Food Research International**, v. 220, p. 117139, nov. 2025.
- [136] MARCELINO, S. et al. Valorization of Punica granatum L. Leaves Extracts as a Source of Bioactive Molecules. **Pharmaceutics**, v. 16, n. 3, p. 342, 23 fev. 2023.

- [137] TEKIN, Z.; KUCUKBAY, F. Z. Pomegranate leaves, buds, and flowers: phytochemical, antioxidant, and comparative solvent analyzes. **Foods and Raw Materials**, p. 155–171, 23 maio 2024.
- [138] ALCÁZAR MAGAÑA, A. et al. Caffeoylquinic acids: chemistry, biosynthesis, occurrence, analytical challenges, and bioactivity. **The Plant Journal**, v. 107, n. 5, p. 1299–1319, 23 set. 2021.
- [139] MENDES, A. G. G. et al. Ellagic Acid Potentiates the Inhibitory Effects of Fluconazole Against *Candida albicans*. **Antibiotics**, v. 13, n. 12, p. 1174, 4 dez. 2024.
- [140] ZHOU, Y. et al. Screening and characterization of phenolic compounds by LC-ESI-QTOF-MS/MS and their antioxidant potentials in papaya fruit and their by-products activities. **Food Bioscience**, v. 52, p. 102480, abr. 2023.
- [141] DEEPIKA; MAURYA, P. K. Ellagic acid: insight into its protective effects in age-associated disorders. **3 Biotech**, v. 12, n. 12, p. 340, 4 dez. 2022.
- [142] ALEGBELEYE, O. et al. Microbial spoilage of vegetables, fruits and cereals. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100122, jun. 2022.
- [143] CHAVEZ, C. M. et al. The cell morphological diversity of *Saccharomycotina* yeasts. **FEMS Yeast Research**, v. 24, 9 jan. 2024.
- [144] HASSAN, H. et al. Selecting Antagonistic Yeast for Postharvest Biocontrol of *Colletotrichum gloeosporioides* in Papaya Fruit and Possible Mechanisms Involved. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 760, 13 abr. 2021.
- [145] MENDONÇA, A. M. S. et al. Ethyl Acetate Fraction of *Punica granatum* and Its Galloyl-HHDP-Glucose Compound, Alone or in Combination with Fluconazole, Have Antifungal and Antivirulence Properties against *Candida* spp. **Antibiotics**, v. 11, n. 2, p. 265, 18 fev. 2022.

- [146] SOUSA, M. N. et al. Hydroalcoholic Leaf Extract of *Punica granatum*, alone and in Combination with Calcium Hydroxide, Is Effective against Mono- and Polymicrobial Biofilms of *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. **Antibiotics**, v. 11, n. 5, p. 584, 27 abr. 2022.
- [147] SANTOS, J. R. A. et al. Hydroethanolic Extract of *Punica granatum* Inhibits *Cryptococcus* by Depolarising Mitochondrial Membranes. **Microbiology Research**, v. 16, n. 2, p. 49, 16 fev. 2025.
- [148] LIU, Q. et al. *R. stolonifer* and related control strategies in postharvest fruit: A review. **Heliyon**, v. 10, n. 8, p. e29522, abr. 2024.
- [149] SILVA, V. et al. Screening of Chemical Composition, Antimicrobial and Antioxidant Activities in Pomegranate, Quince, and Persimmon Leaf, Peel, and Seed: Valorization of Autumn Fruits By-Products for a One Health Perspective. **Antibiotics**, v. 12, n. 7, p. 1086, 21 jun. 2023.
- [150] DUMAN, A. et al. Antimicrobial Activity of Six Pomegranate (*Punica granatum* L.) Varieties and Their Relation to Some of Their Pomological and Phytonutrient Characteristics. **Molecules**, v. 14, n. 5, p. 1808–1817, 13 maio 2009.
- [151] ZHANG, Y. et al. High-Throughput Screening Assays to Identify Plant Natural Products with Antifungal Properties Against *Fusarium oxysporum*. Em: [s.l: s.n.]. p. 171–184.
- [152] KOZLOV, A. V.; JAVADOV, S.; SOMMER, N. Cellular ROS and Antioxidants: Physiological and Pathological Role. **Antioxidants**, v. 13, n. 5, p. 602, 14 maio 2024.
- [153] GICHURU, V. et al. Exploring the antioxidant and antimicrobial properties of five indigenous Kenyan plants used in traditional medicine. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 1459, 9 jan. 2025.

- [154] ALMIHYAWI, R. A. H. et al. Production and characterization of bacterial cellulose by *Rhizobium* sp. isolated from bean root. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 10848, 13 maio 2024.
- [155] SAVIĆ GAJIĆ, I. M.; SAVIĆ, I. M.; SVIRČEV, Z. Preparation and Characterization of Alginate Hydrogels with High Water-Retaining Capacity. **Polymers**, v. 15, n. 12, p. 2592, 7 jun. 2023.
- [156] ARAFA, E. G. et al. Sustainable sodium alginate hydrogels incorporating banana leaf activated carbon and organo-clay for enhanced dye removal. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 16197, 9 maio 2025.
- [157] FLORES-GARAY, K. A. et al. Síntesis de silicatos de calcio por el método Pechini e intercambio iónico de Alg de sodio-cloruro de calcio. **Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio**, v. 55, n. 6, p. 239–245, nov. 2016.
- [158] ALI, M. A. et al. Elucidating the Structure, Dynamics, and Interaction of a Choline Chloride and Citric Acid Based Eutectic System by Spectroscopic and Molecular Modeling Investigations. **ACS Omega**, v. 8, n. 41, p. 38243–38251, 17 out. 2023.
- [159] SHAFIE, M. H.; YUSOF, R.; GAN, C.-Y. Synthesis of citric acid monohydrate-choline chloride based deep eutectic solvents (DES) and characterization of their physicochemical properties. **Journal of Molecular Liquids**, v. 288, p. 111081, ago. 2019.
- [160] ANH, N. T.; NGUYEN, X. H.; VAN NGO, T. Research on Development and Characterization of Composite Membranes Based on Hybrid Bacterial Cellulose Combined with Glycerol and Vegetable Residues for the Preservation of Fresh Fruit and Food. **Journal of Engineering**, v. 2024, n. 1, 6 jan. 2024.

- [161] OLIVEIRA, J. I. S. DE et al. Avaliação por FT-IR de interações entre polímero energético e oxidante: GAP/ADN e GAP/AP. **Polímeros**, v. 24, n. 5, p. 620–627, 22 set. 2014.
- [162] LI, J. et al. Application of Methyl Jasmonate to Papaya Fruit Stored at Lower Temperature Attenuates Chilling Injury and Enhances the Antioxidant System to Maintain Quality. **Foods**, v. 12, n. 14, p. 2743, 19 jul. 2023.
- [163] MUSSAGY, C. U. et al. Eutectic solvent-based bioactive films functionalized with microbial astaxanthin extends shelf life of fresh strawberries. **Materials Today Chemistry**, v. 33, p. 101721, out. 2023.
- [164] WANG, S. et al. Composite films of sodium alginate and konjac glucomannan incorporated with tea polyphenols for food preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 242, p. 124732, jul. 2023.
- [165] LIU, Z. et al. Characterizations of bacterial cellulose nanofibers reinforced edible films based on konjac glucomannan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 145, p. 634–645, fev. 2020.
- [166] DA SILVA SASAKI, J. C. et al. Eco-sustainable, edible, biodegradable and antioxidant pectin and bacterial cellulose films loaded with coconut oil for strawberry preservation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 308, p. 142701, maio 2025.
- [167] CHEN, X.; LAN, W.; XIE, J. Characterization of active films based on chitosan/polyvinyl alcohol integrated with ginger essential oil-loaded bacterial cellulose and application in sea bass (*Lateolabrax japonicas*) packaging. **Food Chemistry**, v. 441, p. 138343, maio 2024.

- [168] CHEN, J. et al. Characterization of sodium alginate-based films incorporated with thymol for fresh-cut apple packaging. **Food Control**, v. 126, p. 108063, ago. 2021.
- [169] DALAL, S. R.; EL-NAGGAR, N. E.-A.; EL NAEEM, G. A. Biosynthesis of sustainable biodegradable bioplastics using alginate extracted from *Padina pavonica*, optimization and characterization. **Algal Research**, v. 76, p. 103325, nov. 2023.
- [170] SÁNCHEZ-OROZCO, R. et al. Properties of eco-friendly orange peel-alginate-glycerol bioplastic films as potential food packaging applications. **Journal of Macromolecular Science, Part A**, v. 61, n. 8, p. 528–540, 2 ago. 2024.
- [171] LIU, Z. et al. Characterizations of bacterial cellulose nanofibers reinforced edible films based on konjac glucomannan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 145, p. 634–645, fev. 2020.
- [172] ZHOU, S. et al. Konjac glucomannan-based highly antibacterial active films loaded with thyme essential oil through bacterial cellulose nanofibers/Ag nanoparticles stabilized Pickering emulsions. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 269, p. 131875, jun. 2024.
- [173] LIU, Z. et al. Characterizations of bacterial cellulose nanofibers reinforced edible films based on konjac glucomannan. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 145, p. 634–645, fev. 2020.
- [174] DUNCAN, T. V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 363, n. 1, p. 1–24, nov. 2011.
- [175] MAKHATHINI, N.; KUMAR, N.; FAWOLE, O. A. Enhancing circular bioeconomy: Alginate-cellulose nanofibre films/coatings functionalized with encapsulated pomegranate peel extract for postharvest preservation of

- pomegranate arils. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 309, p. 142848, maio 2025.
- [176] SHARMA, M.; KAUSHIK, P. Vegetable phytochemicals: An update on extraction and analysis techniques. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 36, p. 102149, set. 2021.
- [177] JIPA, I. M.; STOICA-GUZUN, A.; STROESCU, M. Controlled release of sorbic acid from bacterial cellulose based mono and multilayer antimicrobial films. **LWT**, v. 47, n. 2, p. 400–406, jul. 2012.
- [178] YANG, J.; ZHONG, F.; LIU, F. Properties of sodium alginate-based nanocomposite films: Effects of aspect ratio and surface charge of cellulose nanocrystals. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 256, p. 128420, jan. 2024.
- [179] DOĞAN, N. Native bacterial cellulose films based on kombucha pellicle as a potential active food packaging. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 11, p. 2893–2904, 25 nov. 2023.
- [180] LAVRIČ, G. et al. Functional Nanocellulose, Alginate and Chitosan Nanocomposites Designed as Active Film Packaging Materials. **Polymers**, v. 13, n. 15, p. 2523, 30 jul. 2021.
- [181] KACZMAREK, B. Tannic Acid with Antiviral and Antibacterial Activity as A Promising Component of Biomaterials—A Minireview. **Materials**, v. 13, n. 14, p. 3224, 20 jul. 2020.
- [182] YANG, J. et al. Bacterial cellulose nanocrystals with a great difference in aspect ratios: A comparison study of their reinforcing effects on properties of the sodium alginate film. **Food Hydrocolloids**, v. 141, p. 108676, ago. 2023.

- [183] BANIASADI, H. et al. Development and characterization of pomegranate peel extract-infused carboxymethyl cellulose composite films for functional, sustainable food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 158, p. 110525, jan. 2025.
- [184] AGUSTIN, S. et al. Effect of glycerol plasticizer on the structure and characteristics of bacterial cellulose-based biocomposite films. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1377, n. 1, p. 012046, 1 jul. 2024.
- [185] MAKHATHINI, N.; KUMAR, N.; FAWOLE, O. A. Enhancing circular bioeconomy: Alginate-cellulose nanofibre films/coatings functionalized with encapsulated pomegranate peel extract for postharvest preservation of pomegranate arils. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 309, p. 142848, maio 2025.
- [186] LI, S. et al. Enzymatically green-produced bacterial cellulose nanoparticle-stabilized Pickering emulsion for enhancing anthocyanin colorimetric performance of versatile films. **Food Chemistry**, v. 453, p. 139700, set. 2024.
- [187] SONG, B. et al. Zn²⁺ ions cross-linking sodium alginate encapsulated bacterial cellulose/ZnO composite film for antibacterial application. **Cellulose**, v. 30, n. 12, p. 7853–7864, 10 ago. 2023.
- [188] AYDIN, G.; ZORLU, E. B. Characterisation and Antibacterial Properties of Novel Biodegradable Films Based on Alginate and Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Extract. **Waste and Biomass Valorization**, v. 13, n. 6, p. 2991–3002, 18 jun. 2022.
- [189] LAMANI, N. A.; RAMASWAMY, H. S. Composite Alginate–Ginger Oil Edible Coating for Fresh-Cut Pears. **Journal of Composites Science**, v. 7, n. 6, p. 245, 12 jun. 2023.

- [190] MUSSAGY, C. U. et al. Eutectic solvent-based bioactive films functionalized with microbial astaxanthin extends shelf life of fresh strawberries. **Materials Today Chemistry**, v. 33, p. 101721, out. 2023.
- [191] GUTIERREZ, E. et al. 3D Printing of Antimicrobial Alginate/Bacterial-Cellulose Composite Hydrogels by Incorporating Copper Nanostructures. **ACS Biomaterials Science & Engineering**, v. 5, n. 11, p. 6290–6299, 11 nov. 2019.
- [192] KHATODIYA, N.; MALIK, M. Review: Effects of edible coating on fresh-cut fruits. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 11, n. 1, p. 192–199, 1 jan. 2022.
- [193] SILVA, K. G. DA et al. Coatings Based on Gelatin and Chitosan in the Conservation of Papaya (*Carica papaya* L.) Minimally Processed. **Horticulturae**, v. 9, n. 7, p. 729, 21 jun. 2023.
- [194] MALVANO, F. et al. Effect of alginate-based coating charged with hydroxyapatite and quercetin on colour, firmness, sugars and volatile compounds of fresh cut papaya during cold storage. **European Food Research and Technology**, v. 248, n. 11, p. 2833–2842, 6 nov. 2022.
- [195] KUMAR, P. et al. Effect of chitosan coating on postharvest life and quality of plum during storage at low temperature. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 104–109, dez. 2017.