



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAS
MESTRADO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

RONISON INOCENCIO NUNES

**BIOPLÁSTICO A BASE DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE
MANGABEIRA: OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO COMO
REVESTIMENTO NA CONSERVAÇÃO DE MANGABAS**

MOSSORÓ

2023

RONISON INOCENCIO NUNES

**BIOPLÁSTICO A BASE DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE
MANGABEIRA: OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO COMO
REVESTIMENTO NA CONSERVAÇÃO DE MANGABAS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Linha de Pesquisa: Materiais e Processos para Sustentabilidade do Semiárido.

Orientador: Ricardo Henrique de Lima Leite, Prof. Dr.

Co-orientador (a): Edna Maria Mendes Aroucha, Prof. Dr^a.

MOSSORÓ

2023

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

IN972 Inocencio Nunes, Ronison .
b Bioplástico a base de fécula de mandioca e
 látex de mangabeira: obtenção, caracterização e
 aplicação como revestimento na conservação de
 mangabas / Ronison Inocencio Nunes. - 2023.
 103 f. : il.

 Orientador: Ricardo Henrique de Lima Leite.
 Coorientador: Edna Maria Mendes Aroucha.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
 Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
 Ciência e Engenharia de Materiais, 2023.

 1. Biopolímeros. 2. Propriedades Físico-químicas.
 3. Borracha natural. 4. Pós-colheita. 5. Hancornia
 speciosa. I. Henrique de Lima Leite, Ricardo,
 orient. II. Mendes Aroucha, Edna Maria , co-
 orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

RONISON INOCENCIO NUNES

**BIOPLÁSTICO A BASE DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE
MANGABEIRA: OBTENÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E APLICAÇÃO COMO
REVESTIMENTO NA CONSERVAÇÃO DE MANGABAS**

Dissertação apresentada ao Mestrado em
Ciência e Engenharia de Materiais, do
Programa de Pós-Graduação em Ciência e
Engenharia de Materiais, da Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em
Ciência e Engenharia de Materiais.

Linha de Pesquisa: Materiais e Processos para
Sustentabilidade do Semiárido.

Defendida em: 10/08/2023.

BANCA EXAMINADORA

Ricardo Henrique de Lima Leite, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Edna Maria Mendes Aroucha, Prof^a. Dr^a. (UFERSA)
Membro Examinador Interno

Zilvam Melo dos Santos, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador Interno

Alcivan Almeida Evangelista Neto, Prof. Dr. (IFRN)
Membro Examinador Externo

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conduzir com sabedoria, paciência, esperança e fé em meio aos desafios que me cercaram nesse percurso. A ti senhor, toda honra e glória!

Aos meus pais, Francisca Robercia (mãe) e Ivanaldo Nunes (pai), por serem minha inspiração e exemplo de garra, humildade, força e coragem para superar os desafios da vida. A minha gratidão e amor incondicional.

Aos meus irmãos, Rose Kelly e Robson pelo apoio, presença e incentivo nos momentos de angústia e desânimo. Aos meus avós Damião Nunes e Maria das Graças pelo acolhimento e cuidado durante os dias em que estive realizando a pesquisa *in loco*.

Ao meu orientador, O professor Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite pela paciência, orientação, zelo, disponibilidade de tempo e esforço para me conduzir durante a construção dessa pesquisa.

À minha coorientadora, Professora Dr. Edna Maria Mendes Aroucha, por suas riquíssimas contribuições, disponibilidade e tempo. Minha eterna gratidão!

Aos membros colaboradores da banca examinadora, pela disponibilidade, tempo e sugestões para enriquecer ainda mais o trabalho.

Ao senhor Francisco de Assis Nunes, pela sua gentileza em ceder os frutos da mangaba para realização desta pesquisa, a José Camilo da Cruz (*in memoriam*);

Aos companheiros de laboratório e amigos (as): Júlia Paula, minha companhia de todos os dias, sua colaboração foi valiosíssima, a Ronnio, Luiz Paulo, Arthur, Maria Helena, Joalis, Maria de Lourdes, Murilo, Luan, Veridiano, Ingrid, Vitória, Lucas, Wallef. Gratidão, pela amizade e momentos de partilha e leveza quando os dias pareciam ser difíceis.

Aos servidores técnicos dos laboratórios que me auxiliaram durante as análises, de modo particular a Leonardo Menezes e Gustavo Almeida, por suas contribuições e ensinamentos.

Aos servidores terceirizados da UFERSA que, com muita dedicação, mantêm os ambientes e espaços do campus sempre bem zelados.

Aos colegas e professores do PPgCEM, grato por todo ensinamento.

A UFERSA, universidade pública reconhecida pelos seus méritos e honrarias. Gratidão pela oportunidade de ser parte dessa instituição.

A CAPES/FAPERN, pelo incentivo a bolsa de pesquisa, foi de fundamental importância para acesso e permanência durante a realização da pesquisa.

“Combati o bom combate, completei a corrida, guardei a fé. Agora está reservada para mim a coroa da justiça, que o Senhor, justo juiz, me dará naquele dia; e não somente a mim, mas também a todos os que esperam com amor a sua manifestação gloriosa” (2Tm 4,7-8).

RESUMO

Bioplástico é um material produzido de fontes biológicas, surge como uma tecnologia promissora, para substituir as tradicionais embalagens de plástico oriundas de matéria prima não renovável, por ser ecológico e biodegradável. Atualmente, a fécula de mandioca é empregada na elaboração de filmes e revestimentos para a conservação de frutas e hortaliças. É um biopolímero bastante hidrofílico, que resulta em um filme com alta permeabilidade à vapor de água e pouca resistência mecânica. Em muitos contextos, a incorporação de aditivos à matriz biopolimérica propiciam melhorias nessas características. O presente estudo, teve por objetivo obter um bioplástico a base de fécula com a incorporação de látex de mangabeira (composto de borracha natural) para revestimento de mangabas e seu impacto na conservação dos frutos. A elaboração dos filmes foi realizada a partir de um planejamento experimental central composto (CCD) variando-se as concentrações do fator (X_1) - látex de mangabeira - entre 0 a 30%, e (X_2) - glicerol – entre 5 a 20%. No total, onze formulações do filme foram produzidas, sendo três repetições referentes ao ponto central. Os filmes foram avaliados quanto às características físico-químicas, a saber: solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, propriedades ópticas, como a cor e opacidade, além das análises mecânicas e morfológicas através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Utilizaram-se 300 frutos da mangabeira, colhidos na maturidade fisiológica. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4×5), com três repetições de oito frutos por parcela. Os fatores estudados foram o tipo de tratamento (T1-controle, T2-fécula + látex 25% + glicerol 7%; T3-Fécula + glicerol 7%, e T4-fécula + látex 25%) nos dias (0, 2, 4, 6 e 8) a 23 °C de temperatura. Os filmes elaborados com 25% de látex e menor quantidade de plastificante (glicerol 7%) apresentou baixa solubilidade e PVA reduzida em até 50%, níveis de opacidade elevados ($16,35 \pm 0,0 \text{ mm}^{-1}$). Verificou-se que a resistência do filme foi afetada negativamente pelo incremento do látex à matriz biopolimérica. O revestimento com Fécula + glicerol 7% (T3) e fécula + látex 25% + glicerol, 7% (T2) propiciaram maior conservação pós-colheita da mangaba, entre o quarto e sexto dia de armazenamento. Sendo melhores para a comercialização os frutos revestidos com Fécula + glicerol 7%, até o oitavo dia de armazenamento.

Palavras-chaves: Biopolímeros, Propriedades Físico-químicas, Borracha natural, Pós-colheita, *Hancornia speciosa*.

ABSTRACT

Bioplastic is a material produced from biological sources and emerges as a promising technology to replace traditional plastic packaging made from non-renewable raw materials due to its ecological and biodegradable nature. Currently, cassava starch is employed in the production of films and coatings for the preservation of fruits and vegetables. It is a highly hydrophilic biopolymer that results in a film with high water vapor permeability and low mechanical resistance. In many contexts, the incorporation of additives into the biopolymeric matrix provides improvements in these characteristics. The present study aimed to obtain a bioplastic based on cassava starch with the incorporation of mangaba latex (a natural rubber compound) for the coating of mangaba fruits and its impact on fruit preservation. The preparation of the films was carried out using a central composite design (CCD), varying the concentrations of factor (X1) - mangaba latex - from 0 to 30%, and (X2) - glycerol - from 5 to 20%. In total, eleven film formulations were produced, including three repetitions at the central point. The films were evaluated for their physicochemical characteristics, including solubility, water vapor permeability, optical properties such as color and opacity, as well as mechanical and morphological analyses using Scanning Electron Microscopy (SEM). Three hundred mangaba fruits harvested at physiological maturity were used in the study. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme (4×5), with three repetitions of eight fruits per plot. The factors studied were the type of treatment (T1-control, T2-cassava starch + 25% latex + 7% glycerol; T3-cassava starch + 7% glycerol, and T4-cassava starch + 25% latex) on days (0, 2, 4, 6, and 8) at a temperature of 23°C. Films prepared with 25% latex and a lower amount of plasticizer (7% glycerol) showed low solubility and reduced water vapor permeability by up to 50%, with high levels of opacity ($16.35 \pm 0.0 \text{ mm}^{-1}$). It was observed that the film's strength was negatively affected by the increased latex content in the biopolymeric matrix. Coatings with cassava starch + 7% glycerol (T3) and cassava starch + 25% latex + 7% glycerol (T2) provided better post-harvest preservation of mangaba fruits between the fourth and sixth day of storage. Fruits coated with cassava starch + 7% glycerol were better for marketing purposes, lasting up to the eighth day of storage.

Keywords: Biopolymers, Physical-chemical properties, Natural rubber, Post-harvest, *Hancornia speciosa*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Sistema cartesiano dos materiais bioplásticos e suas fontes de origem.1)	
Biopolímeros Não-Biodegradáveis: Bio-PE, Bio-PET; Biopolímeros Biodegradáveis: 2)	
Poliácido láctico (PLA), Polihidroxialcanoatos (PHA), Polibutileno succinato (PBS); Plásticos	
convencionais não-biodegradáveis: 3) Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Politereftalato de	
etileno (PET); Bioplástico de origem fóssil: 4) Polibutirato (PBAT), Policaprolactona (PCL).	
.....	21
Figura 2 – Estrutura química para composição biopolimérica do amido em a) Amilose α (1-4)	
e b) Amilopectina α (1-6).	22
Figura 3- Processo para obtenção da borracha natural: Estágio 1) Miscela de látex estabilizado;	
estágio 2) Quebra da estrutura miscelar; estágio 3) Partículas de Borracha natural.	24
Figura 4 - Estrutura do cis-poli(1,4-isopreno).	25
Figura 5 - Árvore da espécie <i>Hancornia Speciosa</i> (Mangabeira).	26
Figura 6 - Fruto da mangaba.	27
Figura 7- Técnica casting para obtenção de biofilmes.	30
Figura8 - Técnica dipping para obtenção de coberturas biopoliméricas, i) Imersão em solução	
biopolimérica; ii) Deposição de camadas finas do biopolímero na superfície do fruto; iii)	
Evaporação do solvente e fixação da cobertura.	31
Figura 9 - Representação do diagrama de cromaticidade a^* , b^* e sólido do padrão CIE Lab.	
.....	33
Figura 10- Localização geográfica do Distrito de Bebida-Velha Pureza/RN.	42
Figura 11 – A) Local da coleta dos frutos da mangaba, B) Árvore da espécie (<i>Hancornia</i>	
<i>speciosa</i>), C Local da extração do látex, D) Frutos da mangaba em dois estádios de maturação.	
.....	43
Figura 12 - Processo de obtenção do filme biopolimérico de fécula de mandioca e látex de	
mangabeira.	45
Figura 13 – Exemplo de célula de permeação: 1) borda interior; 2) anéis de vedação; 3) suporte	
para encaixe do biofilme; 4) tampa de vedação superior.	46
Figura 14 - Estádio de maturação da mangaba (fruto de vez e fruto verde).	50
Figura 15 - Gráfico de Pareto para o nível de significância da interação entre os fatores	
concentração de látex e glicerol sobre a variável solubilidade.	56
Figura 16 - Superfícies de resposta da solubilidade de filmes compostos a partir de fécula de	
mandioca e látex de mangabeira.	57

Figura 17 - Superfícies de resposta da PVA de filmes compostos de fécula de mandioca e látex de mangabeira.....	58
Figura 18 - Gráfico de Pareto para os efeitos dos fatores estudados sobre o comportamento mecânico dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.	59
Figura 19 - Superfície de resposta para a Resistência à tração (MPa).	60
Figura 20 - Gráfico de Pareto para os efeitos dos fatores sobre a taxa de elongação dos filmes de Fécula de mandioca e látex.....	61
Figura 21 - Superfície de resposta para a Taxa de Elongação (%).	61
Figura 22 - Superfície de resposta para os resultados do modulo de elasticidade (MPa).	62
Figura 23 - Morfologia obtidas por MEV da superfície e seção transversal do filme de fécula de mandioca e Látex de mangabeira A) 25,64% látex +7,18% glicerol, B) 25,64% látex + 17,82% glicerol, C) 4,18% látex +17,82% glicerol e D) controle. Aumento de 1000x e 5000x. As setas amarelas indicam aglomerados e em vermelho a presença de vazios e porosidade...	63
Figura 24 - Superfície de resposta para o parâmetro luminosidade (L*) de filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.....	65
Figura 25 - Superfícies de Resposta para a coordenada cromática a* em filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.....	66
Figura 26 - Superfície de resposta para padrão de cromaticidade b* em filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.....	67
Figura 27 - Superfícies de Resposta para variação da cor dos filmes de fécula de mandioca incorporado com látex de mangabeira.....	68
Figura 28 - Superfícies de Resposta para a opacidade dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.....	69
Figura 29 - Perda de massa (%) de frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% ± 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey (p < 0,05). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey (p < 0,05). CV(%) = 23,5.	70
Figura 30 - Parâmetro L* (luminosidade) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% ± 3. Os dados	

representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 4,70. 72

Figura 31 - Parâmetro c^* (cromaticidade) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 4,92. 73

Figura 32 - Parâmetro h^* (tonalidade) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 4,22 74

Figura 33 - Firmeza(N) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 7,21. 75

Figura 34 - Teor de sólidos solúveis (SS) °Brix para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo

teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 3,36. 76

Figura 35 - Níveis de Acidez titulável (% de ácido cítrico) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 9,96. 77

Figura 36 - Relação SS/AT para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representa a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 10,02. 79

Figura 37 - Valores de pH para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representa dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 3,46. 81

Figura 38 - Vitamina C para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre

os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 12,82.

.....82

Figura 39 - Atividade antioxidante EC50 (mg/g DPPH) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% ± 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 8,97.83

Figura 40 - Índice de Aceitação de Mangabas armazenadas sob tratamentos FG, FL, FLG e controle utilizando escala hedônica, 1 = Excelente (fresco) a 4 = Inaceitável (desidratação grave, enrugado, mofo). O resultado representa a média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os tratamentos no mesmo tempo de armazenamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$).84

Figura 41 - Avaliação da ocorrência de fungo em mangabas armazenadas sob tratamentos FG, FL, FLG e controle utilizando escala hedônica. 1 = Excelente (ausência de fungo) a 4 = Inaceitável (Fungo severo afetando mais de 50% do fruto). O resultado representa a média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os tratamentos no mesmo tempo de armazenamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$).85

Figura 42 - adesividade do filme em mangabas armazenadas sob tratamentos FG, FL, FLG e controle utilizando escala hedônica. 1 = Excelente (Sem descamação) a 4 = Inaceitável (com descamação intensa afetando mais de 50% do fruto). O resultado representa a média ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os tratamentos no mesmo tempo de armazenamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$).85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Planejamento experimental para misturas de fécula de mandioca, látex de mangabeira e glicérol.....	44
Tabela 2 - Conjunto dos resultados referente as propriedades físico-químicas e mecânicas para filmes compostos de fécula de mandioca e látex de mangabeira.	55
Tabela 3 - Concentrações obtidas no planejamento experimental para formulação dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.	101

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. OBJETIVO GERAL.....	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. REVISÃO DA LITERATURA	20
4. BIOPLÁSTICOS	20
5. POLÍMEROS NATURAIS UTILIZADOS NA OBTENÇÃO DE BIOPLÁSTICOS	22
5.1 BIOPLÁSTICOS DE AMIDO	22
5.2 BORRACHAS NATURAIS	24
5.2.1 Látex de mangabeira como fonte de borrachas naturais	26
6. ADITIVOS UTILIZADOS EM BIOPLÁSTICOS.....	28
6.1 PLASTIFICANTES	28
6.1.1 Glicerol como plastificante em bioplásticos	29
7. TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE FILMES POR MOLDAGEM (<i>casting</i>) e COBERTURAS POR IMERSÃO (<i>DIPPING</i>)	29
8. PROPRIEDADE DOS FILMES BIOPLÁSTICOS	31
8.1 PVA (PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA).....	31
8.2 SOLUBILIDADE.....	32
8.3 COR E OPACIDADE	33
8.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRAÇÃO (RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, ALONGAMENTO NA RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE).....	34
8.5 MICROMORFOLOGIA DE SUPERFÍCIE POR MEV (MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA).....	34
9. APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO PARA A CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA MANGABA (<i>Hancornia speciosa</i>).....	35
9.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA CONSERVAÇÃO DE MANGABAS	36
9.2 ANÁLISE SENSORIAL	39
10. MATERIAIS E MÉTODOS	41
11. MATERIAIS E REAGENTES	41
12. OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LÁTEX DE MANGABEIRA	42
12.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE BORRACHA SECA (DRC) NO LÁTEX DE MANGABEIRA.....	43
13. MÉTODO PARA OBTENÇÃO DOS FILMES DE FÉCULA MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA.....	44
13.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL.....	44
13.2 OBTENÇÃO DOS FILMES DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA.....	44

14. CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA.....	46
14.1 DETERMINAÇÃO DA PVA (PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA)	46
14.2 SOLUBILIDADE DOS FILMES EM ÁGUA	47
14.3 ANÁLISE DE COR E OPACIDADE	47
14.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS	48
14.5 ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)	49
14.1 DELINAMENTO EXPERIMENTAL	49
15. OBTENÇÃO E PREPARO DAS AMOSTRAS DO FRUTO DA MANGABA.....	50
16. ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA MANGABA.....	50
16.1 PERDA DE MASSA.....	51
16.2 COR DA CASCA.....	51
16.3 FIRMEZA DA POLPA	51
16.4 SÓLIDOS SOLÚVEIS.....	51
16.5 ACIDEZ TITULÁVEL	52
16.6 RELAÇÃO SÓLIDOS SOLUVEIS E ACIDEZ (SS/AT)	52
16.7 PH.....	52
16.8 VITAMINA C	53
16.9 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	53
17. ANÁLISE SENSORIAL	53
18. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	54
19. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
19.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA.....	56
19.1.1 Solubilidade e Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA).....	56
19.1.2 Propriedades mecânicas e análise morfológica	59
19.1.3 Propriedades ópticas dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.....	65
19.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA MANGABA REVESTIDA EM SOLUÇÃO BIOPOLIMÉRICA.....	70
19.3 IMPACTO DO REVESTIMENTO BIOPOLIMÉRICO NA CONSERVAÇÃO DE MANGABAS.....	70
19.3.1 Perda de massa.....	70
19.3.2 Parametros de cor L* c* h*	71
19.3.3 Firmeza.....	74
19.3.4 Sólidos Soluveis.....	75
19.3.5 Acidez Titulável.....	77
19.3.6 Razão SS/AT	78
19.3.7 pH (potencial hidrogeniônico)	80

19.3.8 Vitamina C.....	81
19.3.9 Atividade Antioxidante (EC ₅₀)	82
19.3.10 Análise Sensorial.....	84
20. CONCLUSÃO.....	87
21. REFERÊNCIAS.....	88

1.INTRODUÇÃO

Materiais plásticos baseados em fontes petroquímicas têm sido um grande desafio para o meio ambiente e a saúde humana devido à sua não biodegradabilidade. O crescimento populacional acelerado tem um impacto significativo no aumento do consumo de plásticos, especialmente em áreas cruciais como a indústria alimentícia, hoje responsável por consumir cerca de 40% de todo plástico produzido no mundo (SHLUSH; DAVIDOVICH-PINHAS, 2022). As embalagens se apresentam como a principal forma de uso, isto é, devido às suas inúmeras funções, tais como: preservar, acondicionar, vender e fornecer informações relevantes dos alimentos aos consumidores (GASPAR; BRAGA, 2023).

Contudo, o descarte incorreto de embalagens e outros produtos plásticos no meio ambiente tem causado a degradação de áreas naturais. Com isso o surgimento de tecnologias de confecção de embalagens a partir de fontes biológicas, tem proporcionado uma alternativa viável e sustentável para minimizar os impactos ambientais causados pelos resíduos plásticos tradicionais (KEDZIERSKI *et al.*, 2020).

Nesse contexto, os bioplásticos têm recebido atenção especial devido aos seus atributos de baixo preço, durabilidade, resistência e biodegradabilidade, tornando o gerenciamento e o armazenamento mais práticos e confortáveis (MAT YASIN; AKKERMANS; VAN IMPE, 2022). Em geral, os plásticos biodegradáveis utilizam biopolímeros em sua matriz de fabricação, principalmente polissacarídeos e proteínas (TYAGI *et al.*, 2021).

Filmes e revestimentos comestíveis à base de amidos, classificados como bioplásticos, têm sido extensivamente estudados devido às suas características sustentáveis e suas possíveis aplicações na indústria de embalagens. Contudo, filmes biopoliméricos são mal sucedidos no quesito permeabilidade a água, assim como apresentam baixas propriedades mecânicas (OLIVEIRA *et al.*, 2018; ORDOÑEZ; ATARÉS; CHIRALT, 2021), fatos que empobrecem a sua aplicação como material de embalagens para alimentos de alta umidade.

A fécula de mandioca (*Manihot esculenta*) é um produto amplamente empregado na obtenção de filmes e revestimentos comestíveis, pois apresenta boa transparência, baixa permeabilidade a gases, resistência e brilho intenso (ARMYNAH; ANUGRAHWIDYA; TAHIR, 2022). Trabalhos são relatados na literatura com o intuito de torná-la menos hidrofílica e permitir o uso como embalagem para frutas e hortaliças. Nesse sentido, a incorporação de aditivos pode tornar esse material mais hidrofóbico, (HERNÁNDEZ; LUDUEÑA; FLORES, 2023; HAFILA *et al.*, 2022; SARAK *et al.*, 2022).

Diante disso, o látex da mangabeira (*Hancornia speciosa*), um polímero natural com propriedade de barreira a água e gases, pode ser incorporado em revestimentos de fécula de mandioca, como uma alternativa ecológica para melhorar as propriedades mecânicas e de barreira à umidade.

O látex, é um exsudado de aparência leitosa proveniente da mangabeira, uma planta do cerrado que se desenvolve em zonas litorâneas da região norte e nordeste do Brasil e que produz um fruto, muito apreciado e reconhecido pelas características nutracêuticas, com elevada quantidade de vitamina C (180 mg/100 g), compostos fenólicos e atividade antioxidante eficiente (LIMA *et al.*, 2015). O látex, tem aplicações biomédicas, como curativos e adesivos (ANDRADE *et al.*, 2022). Além disso, possui propriedades antioxidantes e antimicrobianas, o que pode torná-lo uma alternativa natural para a conservação de alimentos (FELICIO *et al.*, 2021). Composto de borracha natural, água e outros constituintes, o látex apresenta vantagens como a biodegradabilidade em relação aos polímeros sintéticos (LEKSAWASDI *et al.*, 2021).

Alguns trabalhos relatam a utilização do látex de seringueira como matéria-prima aditiva de biopolímeros como amido e celulose (HELIODORO, 2013; ROUILLY; RIGAL; GILBERT, 2004; RIYAJAN; PATISAT, 2018). Contudo, não foram encontrados estudos que combinem as propriedades do látex da mangabeira à fécula de mandioca, como material de revestimento para alimentos, o que faz dessa pesquisa um passo importante para a construção de novas informações acerca do assunto.

Por outro lado, o fruto da mangabeira é valorizado pelas suas características inconfundíveis de sabor, aroma e qualidade nutricional, conferindo-lhe um papel de destaque na comercialização (SILVA JUNIOR, 2003). No entanto, a alta perecibilidade tem representado um desafio no abastecimento do mercado consumidor. Com isso, a aplicação de técnicas no pós-colheita torna-se essencial para prolongar o tempo de vida útil do fruto. Entre essas técnicas, o uso de revestimentos se apresenta como uma abordagem promissora, oferecendo não apenas uma solução para a conservação, mas também uma forma de agregar valor ao produto, reduzindo perdas e aumentando a durabilidade (CAMPOS *et al.*, 2011).

Diante disso, a incorporação do látex da mangabeira em revestimento à base de fécula de mandioca pode ser uma alternativa ecológica e sustentável na elaboração de plásticos biodegradáveis usados na conservação de alimentos frescos. Assim, o objetivo desse estudo consistiu em obter e caracterizar as propriedades funcionais de filmes bioplásticos à base de fécula de mandioca e látex de mangabeira, e avaliar as possíveis contribuições desse material aplicado como revestimento em frutos da mangaba sob diferentes tratamentos e tempo de armazenamento.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Desenvolver filmes bioplásticos à base de látex de mangabeira (*Hancornia speciosa*) e fécula de mandioca, adequados à confecção de coberturas para uso na conservação de mangabas.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver metodologia adequada à obtenção de filmes compostos de fécula de mandioca e látex de mangabeira (*Hancornia speciosa*);
- Caracterizar os filmes obtidos quanto às propriedades mecânicas, ópticas, de barreira ao vapor de água e físico-químicas;
- Utilizar a melhor composição filmogênica na forma de coberturas na conservação pós-colheita de mangaba.

3. REVISÃO DA LITERATURA

4. BIOPLÁSTICOS

Ao longo dos anos, o desenvolvimento e aplicação de plásticos biodegradáveis e/ou oriundos de fontes renováveis, denominados bioplásticos, tem se tornado uma necessidade ambiental. Plásticos biodegradáveis são considerados menos ofensivos ao meio ambiente e mais sustentáveis, contribuindo para a diminuição da poluição provocada pelos plásticos convencionais (THIRUCHELVI; DAS; SIKDAR, 2020).

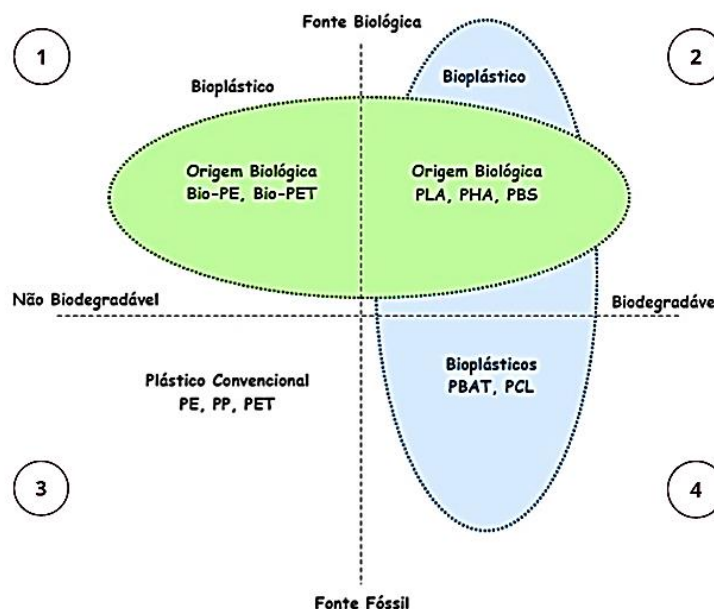
Atualmente, os biopolímeros presentes no amido e na celulose são os mais usados na fabricação de bioplásticos renováveis, uma vez que são abundantes, economicamente viáveis e apresentam excelentes propriedades para obtenção de filmes e revestimentos comestíveis (YANG *et al.*, 2023).

Esses biopolímeros, quando combinados com lipídeos (PÉREZ-VERGARA *et al.*, 2020), fibras vegetais (ARMYNAH; ANUGRAHWIDYA; TAHIR, 2022) e outros materiais biológicos apresentam melhora significativa nas funções de barreira ao vapor e resistência mecânica, possibilitando a sua utilização como material de embalagens para alimentos e seus derivados (SID *et al.*, 2021).

Segundo preconiza a *European bioplastics* (2022), um bioplástico engloba uma infinidade de materiais obtidos através de fontes renováveis (*biobased*) e/ou que sejam biodegradáveis. Para Folino, Pangallo e Calabrò (2023), a composição polimérica do bioplástico é um fator essencial para estabelecer as diferenças e semelhanças entre esses materiais, tendo em vista que as propriedades físicas e químicas se alteram, afetando particularmente as condições de biodegradabilidade no ambiente natural.

O conceito de bioplástico relaciona material de origem e biodegradabilidade (Figura 1). Evidencia-se que nem todos os bioplásticos são, de fato, biodegradáveis e que plásticos oriundos do petróleo podem ser classificados como bioplásticos a depender da sua biodegradabilidade. O termo bioplástico é frequentemente debatido com cautela em vista da confusão causada pela ambiguidade sobre o conceito (VENÂNCIO; LOPES; OLIVEIRA, 2022).

Figura 1- Sistema cartesiano dos materiais bioplásticos e suas fontes de origem. 1) Biopolímeros Não-Biodegradáveis: Bio-PE, Bio-PET; Biopolímeros Biodegradáveis: 2) Poliláctico (PLA), Polihidroxialcanoatos (PHA), Polibutileno succinato (PBS); Plásticos convencionais não-biodegradáveis: 3) Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Politereftalato de etileno (PET); Bioplástico de origem fóssil: 4) Polibutileno adipado-co-tereftalato (PBAT), Policaprolactona (PCL).



Fonte: Adaptada de EUROPA BIOPLASTICS (2022).

Os bioplásticos estão cada vez mais presentes na vida cotidiana das pessoas. Nos últimos anos essa tem sido uma área de efervescente crescimento em pesquisas. A demanda por plásticos biodegradáveis tem elevado gradativamente a capacidade de produção. O mercado para os bioplásticos cresce de modo exponencial; a estimativa é de 7,59 milhões de toneladas até 2026 (GADALETA *et al.*, 2023). Esse aumento é justificado em parte pela procura por produtos ecologicamente corretos que atendam satisfatoriamente às necessidades da indústria e ao consumidor.

O setor de embalagem é de longe o maior consumidor de plásticos, correspondendo ao consumo de 40% de todo plástico fabricado anualmente (CRUZ *et al.*, 2022). A indústria de alimentos é a que mais investe na proposta dos bioplásticos, pois tem agradado à sociedade que está cada vez mais atenta às questões socioambientais. Somente no ano de 2018, a indústria alimentícia demandou 65% de todo bioplástico produzido (SHLUSH; DAVIDOVICH-PINHAS, 2022).

Dentre as opções de matéria-prima com potencial para produção de bioplásticos têm se destacado nas pesquisas: polissacarídeos como o amido de milho (ZOUNGRANAN *et al.*,

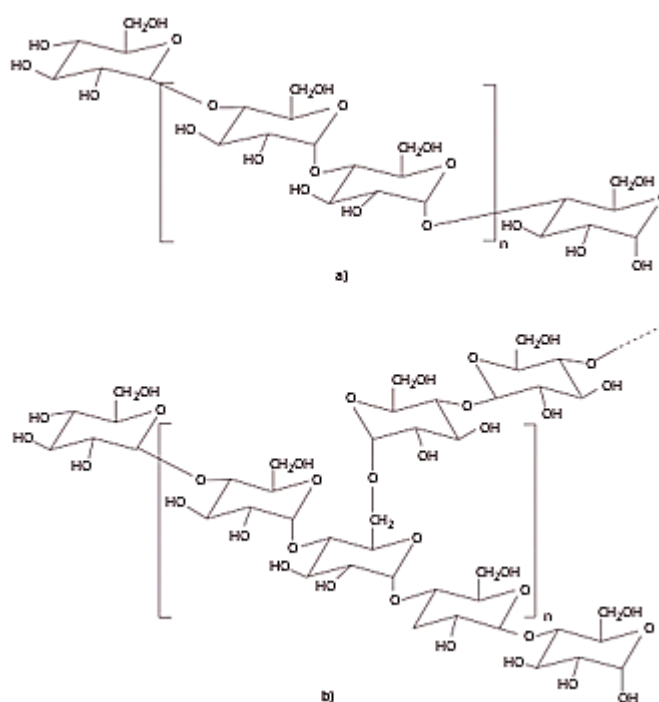
2020), mandioca (YANG *et al.*, 2023) e batata (PODSHIVALOV *et al.*, 2017); também com proteínas, incluindo a proteína de soja em combinação com quitosana (ZAREIE; YAZDI & MORTAZAVI, 2020) e lipídeos, como a cera de abelha e cera de plantas como a carnaúba, que funcionam como um excelente aditivo para obter materiais resistentes à solubilização em água (DIYANA *et al.*, 2021).

5. POLÍMEROS NATURAIS UTILIZADOS NA OBTENÇÃO DE BIOPLÁSTICOS

5.1 BIOPLÁSTICOS DE AMIDO

O amido é um polissacarídeo proveniente das partes aéreas de plantas (trigo, milho, arroz) e fécula quando oriundo de partes subterrâneas (batata, mandioca, inhame) (COSTA *et al.*, 2022). A fécula de mandioca (*Manihot esculenta*), é um pó fino, branco, insípido e inodoro. Constituída em partes de amilose e amilopectina representadas na (Figura 2), sendo estruturalmente a amilose, em menor proporção, formada por cadeias lineares ligadas em $\alpha(1-4)$, já a amilopectina é constituída de ramificações ligadas em $\alpha(1-6)$ (KUMARI; PAKSHIRAJAN; PUGAZHENTHI, 2022).

Figura 2 – Estrutura química para composição biopolimérica do amido em a) Amilose e b) Amilopectina.



Fonte: CEREDA; BRITO, (2015).

O amido quando processado na temperatura de $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ passa por modificações estruturais importantes, em processos conhecidos por gelatinização e retrogradação (ALONSO-GONZÁLEZ *et al.*, 2021). A gelatinização é um fenômeno termodinâmico, ocorre durante o processamento do amido em excesso de água aquecida, até que o grânulo de amido intumescido seja completamente desestruturado, rompendo com a organização das moléculas (HUANG *et al.*, 2021). A retrogradação, ocorre durante o resfriamento e altera as condições de viscosidade, turbidez e cristalinidade, em virtude da reorganização das cadeias poliméricas (LIU *et al.*, 2021).

Ao longo dos anos, muitos estudos de materiais biodegradáveis têm se concentrado na aplicação de biopolímeros à base de amido como matéria-prima para obtenção de embalagens e revestimentos, utilizados como tecnologia na conservação de frutas e hortaliças em substituição aos plásticos convencionais (CHANDRA MOHAN *et al.*, 2018).

Dentre os tipos diferentes de amido, a fécula de mandioca se destaca como um produto essencial para a indústria de alimentos e segurança alimentar, sendo fonte de carboidratos para muitas sociedades. De acordo com FAO (2021), a produção da fécula de mandioca cresce cerca de 3% ao ano e representa 6% do total da distribuição de amido ao redor do mundo.

A partir dessa disponibilidade, pesquisas na área dos materiais biodegradáveis têm sido impulsionadas, sobretudo as tecnologias baseadas em atmosfera modificada, aplicadas utilizando filmes e embalagens para conservação de frutas e hortaliças. Os filmes de fécula de mandioca, quando combinados com outros materiais de reforço, podem ser melhorados em suas funcionalidades, tornando-se mais resistentes mecanicamente e aumentando sua capacidade de barreira à umidade (QUEIROZ *et al.*, 2021).

Nesse contexto, a fécula de mandioca tem se mostrado eficaz na elaboração de filmes de baixo custo, transparentes e capazes de barrar trocas gasosas. A associação de diferentes polissacarídeos, bem como estes e aditivos tem propiciado melhoria nas suas propriedades (JANTASRIRAD *et al.*, 2021; OLIVEIRA *et al.*, 2018; ORDOÑEZ; ATARÉS; CHIRALT, 2021b). Dessa forma, Menezes *et al.* (2021), verificaram que a associação de fécula de mandioca e quitosana com incorporação de nanopartículas de TiO_2 (dióxido de titânio) influenciou nas propriedades dos filmes, promovendo baixa interação com a água, assim como melhorias significativas na permeabilidade ao vapor de água e nas suas características mecânicas.

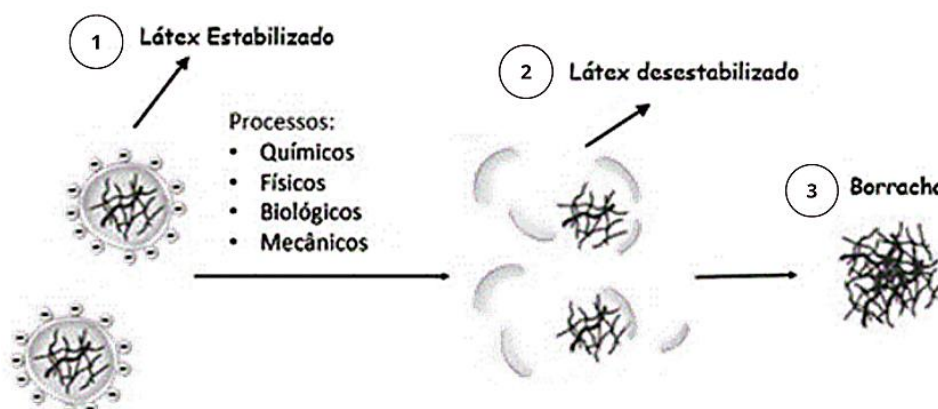
5.2 BORRACHAS NATURAIS

Ao longo do tempo, a seringueira (*Hevea brasiliensis*) vem sendo a principal responsável pela produção de látex natural que originalmente se converte em borracha natural. Existem, aproximadamente, 2.500 espécies de plantas produtoras de látex natural e que ainda não foram extensivamente estudadas, sendo assim, de grande potencial para novas aplicações (RAMAKANTH *et al.*, 2022; JUCÁ *et al.*, 2016).

A borracha natural é um biopolímero de grande importância social e econômica em razão de suas múltiplas vantagens e aplicações. Esse material é utilizado desde os primórdios da humanidade para diversos fins e tem sido usado recentemente na fabricação de produtos médico hospitalares, preservativos, pneus de automóveis, calçados, revestimento de materiais têxteis e outros (PRODÓSSIMO, 2021).

O látex se desenvolve naturalmente nas plantas laticíferas; esse material apresenta viscosidade ao ser extraído principalmente das seringueiras, a principal matéria-prima para a produção da borracha natural e outros produtos comerciais (ARRUDA *et al.*, 2016). É considerado um material polidisperso complexo, constituído de partículas com cargas negativas que formam um material estabilizado quimicamente. Sua composição química apresenta três fases distintas composta por partículas de borracha (35%), fase aquosa (50%) e fase lutóide (10%) (JÚNIOR PERES, 2019). Na Figura 3, pode-se visualizar o processo de obtenção da borracha a partir da coalescência do látex.

Figura 3- Processo para obtenção da borracha natural: Estágio 1) Micela de látex estabilizado; estágio 2) Quebra da estrutura miscelar; estágio 3) Partículas de borracha natural.



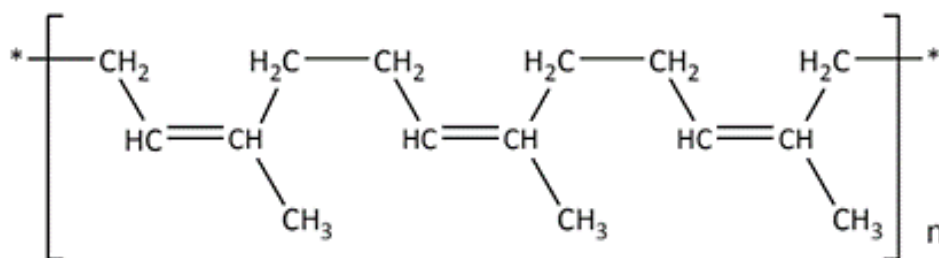
Fonte: Adaptado de JÚNIOR (2019).

No sistema complexo do látex há partículas de polímeros formadas a partir do monômero isopreno (C_5H_8). Esses polímeros são os principais constituintes da borracha natural

e se apresentam principalmente na forma de cis-poli(1,4-isopreno), mas também na forma *trans*-poli(1,4-isopreno). As partículas do *poliisopreno* representam cerca de 35% da estrutura química do látex.

A Figura 4 representa a forma estrutural do cis-poli(1,4-isopreno), que dá origem à borracha natural.

Figura 4 - Estrutura do cis-poli(1,4-isopreno).



Fonte: MATOS; GALEMBECK; ZARBIN (2017).

A borracha natural destaca-se pela flexibilidade, elasticidade e resistência à corrosão, características que contribuem para sua inserção na indústria de pneumáticos, têxteis e materiais biomédicos. Por se tratar de um biopolímero versátil, com propriedades microestruturais únicas, a borracha natural é considerada essencial para a fabricação de pneus, visto que com o polímero sintético não é possível alcançar produtos com a mesma qualidade, pois as propriedades da borracha sintética são inferiores (MATOS; GALEMBECK; ZARBIN, 2017).

Maddalozzo (2021) defende o uso do látex de borracha natural como biomaterial de alta tecnologia para o surgimento de novos e eficientes produtos destinados à área biomédica e farmacológica, uma vez que também se podem produzir matrizes poliméricas para o transporte de fármacos.

No que concerne ao uso da borracha natural como filmes ou coberturas para alimentos, os trabalhos na literatura ainda são considerados limitados. Tendo em vista que ainda é muito raro o debate sobre a incorporação desse tipo de biopolímero como coadjuvante no desenvolvimento de materiais bioplásticos.

Apesar da existência de estudos que mencionam a borracha natural como revestimento e produtos de embalagens renováveis, há pouca ou nenhuma referência sobre a confecção de filmes ou coberturas obtidos da fécula de mandioca e látex de mangaba. Por isso, cabe destacar o caráter inovador e a importância dessa pesquisa como fonte para o desenvolvimento de novos materiais.

5.2.1 Látex de mangabeira como fonte de borrachas naturais

O interesse em biopolímeros cresce à medida que a sociedade necessita compreender os desafios a enfrentar em meio à escassez de recursos naturais, considerados finitos. Diante disso, a expectativa através de estudos já realizados sobre o látex, um polímero natural, despertam à atenção para novas investigações que visam explorar o conhecimento ainda reduzido sobre o assunto.

A mangabeira (*Hancornia speciosa*), é uma planta da família *Apocynaceae* (Figura 5) que pode medir de 5 a 7 metros de altura quando adulta (PINHEIRO *et al.*, 2004). Facilmente encontrada nos biomas do cerrado, caatinga e regiões litorâneas do Brasil, a mangabeira produz látex de boa qualidade; além disso, é símbolo de muitas culturas locais e de grande importância socioeconômica.

Figura 5 - Árvore da espécie *Hancornia Speciosa* (Mangabeira).



Fonte: O autor (2022).

Por ser uma espécie frutífera, aproveitam-se bastante os recursos dessa árvore. O fruto da mangabeira, chamado mangaba (Figura 6), é muito aceito no comércio e consumido ainda *in natura* ou na forma de suco, doces e geleias. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, (2022), os maiores produtores da fruta se concentram na Região Nordeste, com destaque para os estados da Paraíba (PB), Sergipe (SE), Bahia (BA) e Rio Grande do Norte (RN).

Figura 6 - Fruto da mangaba.



Fonte: O autor (2023).

De acordo com Almeida e Oliveira (2021), o interesse científico em particular no látex de mangabeira se deve ao fato de que contribuições recentes (SANTOS NEVES *et al.*, 2016), (FLORIANO *et al.*, 2016) corroboram fortemente para o uso medicinal.

A mangabeira, quando é submetida à técnica de sangria, exsuda do tronco de sua árvore certa quantidade de látex com propriedades muito parecidas ao látex obtido a partir da seringueira. O látex da mangabeira é quimicamente estável, tem uma cor leitosa esbranquiçada com leve tonalidade rosada e um pH em torno de 3,8. Porém, quando agitado mecanicamente é facilmente coagulado (PINHEIRO *et al.*, 2004).

Com o objetivo de evitar a coagulação do látex, utiliza-se uma concentração mínima de hidróxido de amônia em solução, ou ainda água destilada, na proporção de 1:1. Ao fazer isso, o látex se torna mais estável, pois se impede a decomposição das proteínas e do sistema que mantém íntegras as partículas de borracha natural (GOMES, 2013).

Nesse contexto, o látex da mangabeira tem despertado o interesse para novas pesquisas, visando não somente a criação de novas funcionalidades para o material, mas também aumentar seu valor econômico. Pelo fato de ser um elastômero com grande resistência à tração, boa degradabilidade, processamento fácil, além de ser impermeável a gases e ao vapor de água, esse material pode ser usado na produção de bioplásticos na forma de blendas com outros biopolímeros como a fécula de mandioca.

6. ADITIVOS UTILIZADOS EM BIOPLÁSTICOS

6.1 PLASTIFICANTES

Plastificantes são compostos usados como aditivo em soluções biopoliméricas para obtenção de filmes e revestimentos comestíveis. É uma substância não volátil, de baixa massa molecular e custo acessível, que pode ser facilmente combinado com biopolímeros, especialmente, os polissacarídeos e proteínas, no intuito de melhorar as propriedades funcionais desses materiais (SALES; SCHLEMMER; RESCK, 2010).

De acordo com Amaral (2014), a substância plastificante altera a conformação das cadeias poliméricas, reduzindo o número de ligações de hidrogênio, e assim, aumentando o grau de liberdade entre as moléculas. O efeito desse rearranjo é observado na melhoria das condições de maleabilidade e flexibilidade dos filmes e revestimentos, pois os torna menos rígidos e mais uniformes, sem fraturas ou rachaduras.

Jiang *et al.* (2016) analisaram o efeito de sais inorgânicos como agentes plastificantes em filmes combinados de amido e poli(álcool vinílico) - PVA. A resposta à incorporação dos componentes inorgânicos na mistura biopolimérica promoveu melhorias nas propriedades mecânicas, tendo em vista a forte interação entre os sais e as cadeias poliméricas devido à afinidade dos sais pela água. Dessa forma, os filmes se apresentaram mais flexíveis com a adição de até 15% para ambos os sais de cloreto de lítio (LiCl) e cloreto de alumínio hexahidratado ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); o alongamento na ruptura do filme de amido e PVA foi de 410,71% e 565,99%, respectivamente.

No contexto atual, materiais a base de polissacarídeos e proteínas têm prenominado no desenvolvimento e aplicação de filmes e revestimentos biopoliméricos. Nesse sentido, o uso de polióis, como o glicerol e o sorbitol, tem alcançado melhores resultados como plastificantes para as soluções filmogênicas, com atenção particular ao glicerol (VINET; ZHEDANOV, 2010).

É conveniente conhecer e selecionar adequadamente o tipo de plastificante a ser utilizado, uma vez que a natureza química do plastificante em relação ao biopolímero poderá influenciar de maneira significativa nas propriedades dos materiais (AGUILAR *et al.*, 2020).

O estudo em questão elaborou filmes de fécula de mandioca com o látex de mangabeira utilizando o glicerol como plastificante. A escolha se deve à particularidade associada a melhores interações entre as cadeias de amilose e amilopectina com o poliálcool (glicerol),

especificamente no comportamento mecânico dos biofilmes (BALLESTEROS-MÁRTINEZ; PÉREZ-CERVERA; ANDRADE-PIZARRO, 2020).

6.1.1 Glicerol como plastificante em bioplásticos

Na forma de um tri-álcool composto por três hidroxilas em sua estrutura química, o glicerol, também chamado de glicerina, é formado por elementos de carbono, hidrogênio e oxigênio, de fórmula ($C_3H_8O_3$). O glicerol é facilmente identificado, por se tratar de um líquido viscoso, incolor e de sabor doce (BEN; SAMSUDIN; YHAYA, 2022).

O advento dos materiais biodegradáveis produzidos a partir de tecnologias renováveis tem colaborado para o uso extensivo do glicerol como plastificante, por se tratar de um composto de custo relativamente baixo. Outra característica que favorece o uso dessa substância como aditivo em filmes e revestimentos é seu caráter hidrofílico, uma vez que as soluções biopoliméricas são obtidas utilizando a água como solvente principal.

Biofilmes produzidos a partir de polissacarídeos, quando aditivados com glicerol, têm demonstrado maior flexibilidade e uma melhora na aparência e no aspecto uniforme do produto (JARAMILLO *et al.*, 2015). O glicerol atua diminuindo as interações do tipo polímero-polímero, aumentando a mobilidade das cadeias e consequentemente suas propriedades mecânicas (GUTIÉRREZ *et al.*, 2015).

Estudos mais detalhados têm procurado analisar a melhor concentração do plastificante (glicerol) para atuar na composição de polímeros naturais e sintéticos. Ao tratar dessa questão, pesquisadores como Farahnaky, Saberi e Majzoobi (2013), partiram a princípio da faixa de concentração entre (0 - 50%) de glicerol; assim como Ballesteros-Mártinez, Pérez-Cervera e Andrade-Pizarro (2020). Para Tarique, Sapuan e Khalina (2021), a investigação se concentrou no teor de plastificante entre 0 e 45%. Os autores ressaltam a ação do glicerol como um relevante modelador das características funcionais em filmes e revestimentos biopoliméricos.

7. TÉCNICAS DE OBTENÇÃO DE FILMES POR MOLDAGEM (*CASTING*) E COBERTURAS POR IMERSÃO (*DIPPING*)

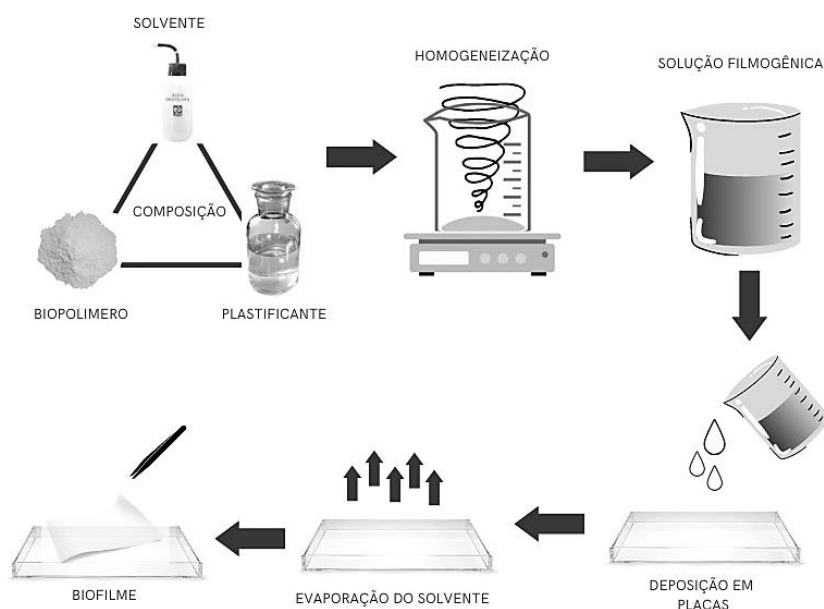
Os processos para obtenção de filmes/revestimentos biopoliméricos requerem o domínio de algumas técnicas que são de suma importância para se alcançar bons resultados. Os filmes produzidos em pequena escala usam, geralmente, o método *casting*, que aproveita

melhor os espaços laboratoriais, além de apresentar resultados vantajosos em relação a aplicabilidade e economia na aplicação do método (VIÉGAS, 2016).

Esse método consiste em um processo simples, onde se prepara uma mistura filmogênica combinando um ou mais biopolímeros, plastificante e solvente (normalmente água); após gelatinizado, o material resultante é depositado em placas de acrílico ou em placas de Petri para total evaporação e secagem, que pode ser em temperatura ambiente ou controlada em estufa com renovação de ar numa temperatura constante (GALDEANO *et al.*, 2014).

A Figura 7 mostra as etapas vinculadas à obtenção de filmes biopoliméricos pelo método *casting*.

Figura 7- Técnica casting para obtenção de biofilmes.



Fonte: O autor (2023).

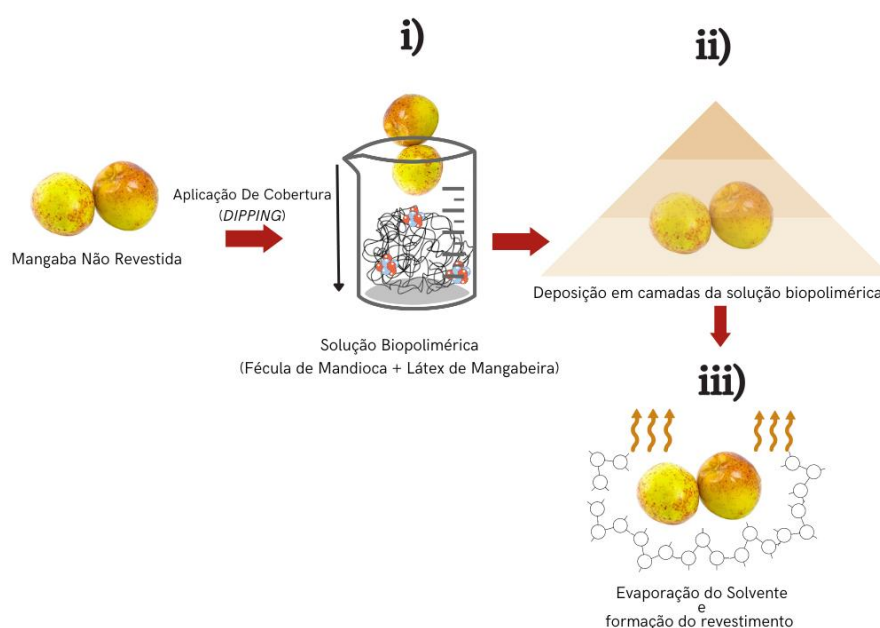
Apesar de ser eficiente e útil para a comunidade científica, o método *casting* não é adequado para a fabricação em proporção industrial, uma vez que exige uma alta demanda energética para o processo de secagem, aumentando os custos e o tempo para conseguir o resultado pretendido.

Outra maneira de manter a integridade de alimentos frescos é utilizando a técnica de imersão, também conhecida como *dipping*. Aplicando sobre a superfície do produto uma solução biopolimérica que forma uma película protetora sobre o alimento, preservando assim as características físicas, sensoriais e nutraceuticas do produto alimentício.

O método de imersão pode ser dividido em três momentos: i) imersão, ocorre quando o produto é mergulhado na mistura biopolimérica para revestimento; ii) deposição, camadas finas da solução biopolimérica envolvem a superfície do alimento e iii) evaporação, durante essa etapa, o solvente e o excesso de líquido são evaporados da superfície do alimento de forma natural (SUHAG *et al.*, 2020).

O procedimento para obtenção de coberturas biopoliméricas pelo método *dipping* é apresentado na Figura 8.

Figura8 - Técnica *dipping* para obtenção de coberturas biopoliméricas, i) Imersão em solução biopolimérica; ii) Deposição de camadas finas do biopolímero na superfície do fruto; iii) Evaporação do solvente e fixação da cobertura.



Fonte: O autor (2023).

8. PROPRIEDADE DOS FILMES BIOPLÁSTICOS

8.1 PVA (PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA)

Altas taxas de transferência de umidade em alimentos frescos e a exposição à atmosfera causam perda de massa e murchamento. De acordo com Ghasmlou *et al.* (2013), espera-se que quanto mais baixa for a capacidade de permeação à água de materiais plásticos, maiores serão as possibilidades destes estenderem a vida útil de produtos frescos, como frutas e verduras, por meio da aplicação em embalagens.

Avelino (2019) e Silva (2018) demonstram que a interação das cadeias biopoliméricas com plastificantes acabam por tornar mais hidrofílicos os filmes e consequentemente mais suscetíveis à interação com vapores de água. Visto que esses aditivos aumentam os espaços livres, permitindo assim maior liberdade das moléculas, resultando num aumento da mobilidade das cadeias em consequência de sua afinidade por moléculas de água.

A permeabilidade ao vapor de água pode ser calculada através da Equação 1.

$$PVA = \frac{W.L}{A.t.\Delta P} \quad (1)$$

Onde:

PVA = permeabilidade do vapor de água, em g.mm/h.kPa.m²;

W = massa da água, em g;

L = espessura média dos filmes, em mm;

A = área exposta, em m²;

t = tempo de permeação, em h;

ΔP = diferencial de pressão de vapor de água em todo o filme, em kPa.

8.2 SOLUBILIDADE

A solubilidade de filmes biopoliméricos em água apresenta-se como uma importante característica a ser conhecida, pois a utilização desse material é afetada por sua interação com as moléculas de água. De acordo com Basiak, Lenart e Debeaufort (2017), existem ao menos duas expectativas em relação à solubilidade em água, a primeira envolve o uso de uma embalagem que garanta a integridade do produto ao ser exposto à água; a segunda, aborda a solubilização da embalagem para a liberação adequada de seu conteúdo após ingestão, onde nesse caso a solubilidade do material pode ser apropriada, como em aplicações para revestimentos ou encapsulação de fármacos.

O mecanismo de análise para avaliar a solubilidade de filmes biopoliméricos é realizado por meio de ensaio gravimétrico, uma vez que para determinar a solubilidade de polímeros não é possível utilizar o método clássico via produto de solubilidade de íons, sendo mais coerente a interpretação de fenômenos relativos à interação intermolecular (SOUSA; OLIVEIRA; SANTOS, 2013).

Os valores para solubilidade são geralmente expressos em % e calculados atendendo a Equação 2.

$$S = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

S = solubilidade, expressa em %

m_i = massa inicial do filme, em g;

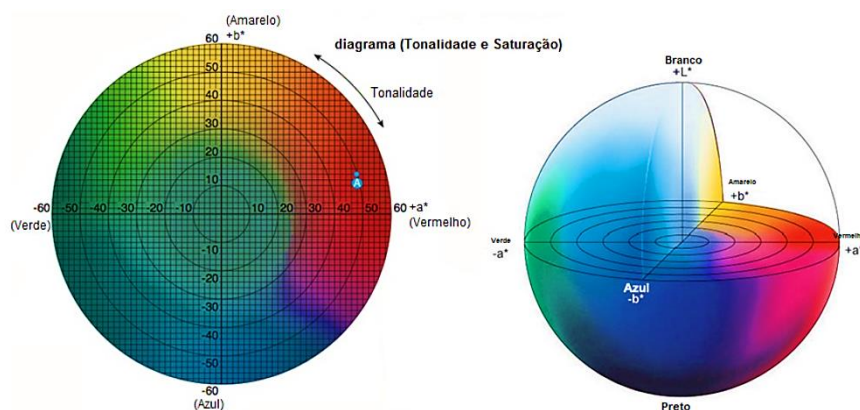
m_f = massa final do filme, em g.

8.3 COR E OPACIDADE

A cor e transparência de embalagens biodegradáveis são estudadas a fim de que alcancem boa aceitação diante do consumidor. A cor está diretamente associada ao tipo de material do qual a embalagem é fabricada; filmes e embalagens de amido apresentam menor opacidade e excelente transparência; essa propriedade está relacionada à quantidade de luz que ultrapassa a camada do filme (VARGAS, 2022).

Para avaliar a cor e opacidade dos filmes a recomendação da Comissão Internacional de Iluminação (CIE), é de que o padrão CIE L^* a^* b^* seja utilizado como parâmetro. Nesse sistema, a coordenada L^* diz respeito à luminosidade da amostra, que tende a variar entre o padrão preto e branco para níveis numéricos entre 0 e 100, respectivamente; valores assumidos por a^* correspondem a variação de cor, de verde a vermelho, e b^* para variações do azul ao amarelo. A Figura 9 ilustra o diagrama de cromaticidade a^* , b^* e representação de um sólido no padrão CIE Lab (FRANÇA *et al.*, 2019).

Figura 9 - Representação do diagrama de cromaticidade a^* , b^* e sólido do padrão CIE Lab.



Fonte: KONICA MINOLTA (2017).

8.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRAÇÃO (RESISTÊNCIA À TRAÇÃO, ALONGAMENTO NA RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE)

A utilidade dos filmes como produtos de embalagens ou mesmo na forma de revestimentos para alimentos está intimamente relacionada às suas propriedades mecânicas. As propriedades mecânicas de tração explicam a capacidade do material em resistir ao alongamento e rompimento quando submetido a uma força de tração (COSTA, 2018).

As propriedades mecânicas de filmes biopoliméricos estão associadas à natureza química e estrutural da matriz polimérica; são dependentes da temperatura, do tempo e das condições aplicadas ao material, sejam elas do tipo tensão ou deformação. Os parâmetros usualmente utilizados para definir a resistência mecânica dos filmes biopoliméricos são: módulo de Young ou de elasticidade, tensão e deformação no escoamento, tensão máxima, tensão e deformação na ruptura, e tenacidade (CANEVAROLO, 2002, p. 191).

Filmes produzidos a partir de matrizes biopoliméricas como proteínas e polissacarídeos tendem a apresentar propriedades mecânicas eficientes. De acordo com Nawab *et al.* (2016), as cadeias dos biopolímeros, se organizam em um padrão que, aliado às forças de atração entre as moléculas, resultam num material de alta resistência (SILVA, 2018).

8.5 MICROMORFOLOGIA DE SUPERFÍCIE POR MEV (MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA)

A microscopia eletrônica de varredura (MEV) é uma técnica de imagem que utiliza feixes de elétrons sob determinada tensão/aceleração para captar informações em alta resolução. O ensaio de MEV é considerado versátil e se destaca de outras técnicas de visualização por obter alta resolução nas imagens formadas do objeto de análise, uma vez que seu alcance óptico é da ordem de $2 \times 10^{-9}\text{m}$ a $5 \times 10^{-9}\text{m}$ ou de 1 nm em aparelhos mais sofisticados (VINET; ZHEDANOV, 2011).

Essa técnica de análise é comumente utilizada em pesquisas envolvendo filmes biopoliméricos, pois fornece informações relevantes acerca da homogeneidade, rugosidade ou porosidade da superfície do material, imprescindíveis para delimitar os objetivos funcionais e de aplicação do biofilme (CHENG *et al.*, 2021).

A microscopia eletrônica de varredura foi empregada por Travalini *et al.* (2019), na investigação de filmes de fécula de mandioca e lignocelulose proveniente da casca da mandioca. Diyana *et al.* (2021) estudaram as propriedades estruturais em filmes adicionados de cera de

abelha. Ambas as pesquisas obtiveram micrografias da parte superficial e da seção transversal em baixa tensão de aceleração para não destruir a composição do material.

Segundo (COSTA, 2018) o MEV torna-se uma análise complementar à caracterização de propriedades de filmes biodegradáveis, visto que a estrutura interna do material influencia no comportamento mecânico e de barreira ao vapor de água, modificadas a depender da compatibilidade entre os biopolímeros.

9. APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO PARA A CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DA MANGABA (*Hancornia speciosa*)

A mangaba é um fruto climatérico, com elevada taxa metabólica, sua alta perecibilidade, reduz o seu potencial de comercialização; principalmente, o transporte a longas distâncias (PLACIDO *et al.*, 2015). Nesse contexto, para aumentar a vida útil do fruto, certos manejos devem ser preconizados, tais como: colher o fruto no estágio de maturação fisiológico, além dos cuidados na ocasião da colheita, transporte e adoção de tecnologia (refrigeração, embalagem com modificação de atmosfera e outros) pós-colheita, visando aumentar o período de vida útil do fruto.

O uso da metodologia de refrigeração, é tradicionalmente, usado com sucesso para prolongar a conservação dos frutos, visto que diminui o processo de metabolismo ligado a respiração e produção de etileno (JÚNIOR SOARES *et al.*, 2008). A temperatura de 5 °C, tem prolongado em até 25 dias a conservação da mangaba (SIQUEIRA, 2017).

Por outro lado, a utilização de embalagem que modifica a atmosfera em torno do fruto tem sido um dispositivo importante para acondicionar e prolongar a conservação dos frutos, com ou sem o auxílio da refrigeração (FERREIRA; MOLINA; PELISSARI, 2020; HOLSBACH *et al.*, 2019; MEDEIROS TEODOSIO *et al.*, 2021).

O processo de amadurecimento é sucedido de várias etapas, envolvendo reações físicas, químicas, bioquímicas e fisiológicas (CHITARRA e CHITARRA, 2005). Durante esse processo ocorrem mudanças drásticas na firmeza do fruto. Por isso, a embalagem, assim como o revestimento comestível, funcionam como uma tecnologia de barreira, pois além de separar o alimento do meio externo, modifica a atmosfera no interior do fruto, mantendo a firmeza dos frutos por maior tempo, sem ou sob refrigeração, além de reduzir a taxa respiração e produção de etileno em frutos climatéricos (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Nasser (2014) estudando mangabas colhidas, no estágio de maturação “de vez” com pigmentação da casca amarelo esverdeado e firmeza da polpa levemente dura verificou que a

aplicação de revestimento com quitosana conservou até 15 dias os frutos “de vez” na temperatura de 3 °C e umidade de 80%, quando comparada à embalagem plástica convencional. Mangabas com cobertura de quitosana entre 1 e 2% foram melhor avaliadas quanto a aparência global.

Placido *et al.* (2015), estudaram efeito do revestimento a base de pectina (6 e 8%) e verificaram que as mangabas se conservaram por até seis dias após a colheita na temperatura de 21 °C.

Oliveira (2021) explica que a aplicação pós-colheita de uma solução de cloreto de cálcio (CaCl_2) em mangabas propiciou a regulação das reações químicas entre os ácidos e polissacarídeos da fruta, o que permitiu uma maior resistência ao processo de senescência, prolongando a qualidade dos frutos armazenados sob 23 °C de temperatura e UR de 75%.

Ferreira, Molina e Pelissari (2020), utilizando coberturas formadas por solução de fécula de mandioca e farinha da casca do babaçu a 50%, verificaram que as mangabas se conservaram por até oito dias, quando comparadas ao tratamento controle (sem revestimento).

Souza (2012), evidenciou que o revestimento a base de quitosana e fécula de mandioca a 1,25 % e 2% respectivamente proporcionaram um aumento na vida útil de prateleira para mangaba em até 10 dias à 21 °C, sendo atribuído esse resultado à ação da quitosana, um biomaterial de alta qualidade, de propriedades biofuncionais, antimicrobianas e antifúngicas somadas à fécula de mandioca que apresenta baixa permeabilidade ao oxigênio.

Felicio *et al.*, 2021 analisou o efeito do revestimento da mangaba em coberturas à base de fécula de mandioca, quitosana, proteína do soro do leite e ácido láctico e constatou-se que as coberturas de quitosana (1%) e ácido láctico (1,5%) retardaram o processo de senescência do fruto na temperatura ambiente (25 °C).

9.1 PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA CONSERVAÇÃO DE MANGABAS

O fruto da mangabeira (*Hancornia speciosa*) é nutritivo, rico em compostos minerais e vitamínicos, principalmente, vitamina C. Com características sensoriais peculiares, sua textura, cor, sabor e aroma os tornam atrativos e economicamente rentáveis. Em geral, a comercialização se dá nos estádios de maturação “de vez” ou completamente maduros por volta do segundo ao quarto dia após colhido. A polpa, com leve acidez e sabor doce, representa 77% de todo o fruto, sendo consumida *in natura* ou processada (ALVES; MOURA; SILVEIRA, 2010).

Um dos parâmetros de qualidade importante para a comercialização dos frutos, a cor da casca em mangabas é facilmente identificada do amarelo esverdeado, quando o fruto ainda está verde, ao amarelo com manchas ou estrias em tons de vermelho, quando maduras (LÉDO *et al.*, 2015).

GODINHO *et al.*, (2015), evidenciou variações na cor de mangabas em três diferentes estágios de maturação fisiológica do verde com a casca totalmente verde ao maduro com a casca em tons verde-amarelado colhidas na estação experimental em duas universidades do estado de Goiás. De acordo com o estudo a casca apresentou modificações na tonalidade do verde para vermelho demonstrando valores de a^* entre -10,14 e 0,11; b^* 46,03 e 52,94, enquanto L^* variou de 64,89 a 61,36 para frutos verde e maduros respectivamente.

Outra característica que influencia a qualidade do fruto é o teor de sólidos solúveis, uma medida indireta do teor de açúcares nos frutos, expressa em °Brix ou porcentagem, somente cerca de 80 a 90% desses são açúcares (CHITARRA e CHITARRA, 2005). A mangaba verde apresenta teor de sólidos solúveis variando entre 16,5 e 15,0 °Brix; quando madura variam de 22,5 a 18,5 °Brix (SILVA, 2013). Assim, Santos *et al.* (2009) verificaram, para três estádios de maturação da mangaba, o teor de sólidos solúveis. Na ocasião da colheita e durante o armazenamento, os frutos foram analisados em ambiente com e sem a utilização de atmosfera modificada. Houve incremento de 11,0 para 16,0 °Brix e 11,5 para 18,0 °Brix em frutos armazenados durante 15 dias, sob refrigeração a 10 °C e 23°C, respectivamente.

A firmeza de polpa é um parâmetro muito importante de qualidade, já que, além de influenciar na comercialização, determina também a resistência dos frutos durante o transporte até o consumidor final. O processo de amadurecimento é sucedido de várias etapas, envolvendo reações físicas, químicas, bioquímicas e fisiológicas (CHITARRA e CHITARRA, 2005). A redução da firmeza ocorre devido a degradação da parede celular, o que influencia na integridade física dos frutos e afeta diretamente a sua comercialização.

A acidez da polpa influencia, juntamente com o teor de sólidos solúveis, nas características sensoriais do fruto. De acordo com Nascimento, Cardoso e Coccozza (2014), a acidez total na mangaba varia de 0,61 a 1,24% de ácido cítrico. Em geral, a presença de ácidos orgânicos fracos, como ácido málico, oxálico, tartárico, pirúvico e cítrico, é responsável pela acidez total dos frutos (CHITARRA, CHITARRA, 2005).

Ao analisar frutos da mangaba antes e durante a maturidade fisiológica, Perfeito (2015) detectou teores da acidez titulável variando entre 0,95 para 0,84% de ácido cítrico. A acidez dos frutos é uma medida da concentração de ácido cítrico em sua composição e correlata ao estágio de maturação, tendo em vista que frutas com diminuição da acidez responde por grau

de maturidade elevada, ou o contrário quanto maior o valor da acidez menor a taxa de maturidade fisiológica. (BRASIL *et al.*, 2016). Mariano-Nasser *et al.* (2016) verificaram uma redução na acidez de 0,749 para 0,689 g de ácido cítrico 100 g⁻¹ em mangabas revestidas com solução biopolimérica de quitosana durante 15 dias de armazenamento.

A perda de massa é uma consequência natural em decorrência dos processos fisiológicos e físicos em frutas e hortaliças, durante o armazenamento. O processo de amadurecimento está associado ao processo oxidativo, respiração, que consome moléculas de glicose, produz energia, gás carbônico (CO₂) e água (SOUZA *et al.*, 2014). Esse evento, associado ao elevado teor de água na composição desses alimentos, os tornam susceptíveis à transpiração, que é um processo físico (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Dessa forma, o armazenamento de frutos sob condições de umidade relativa baixa favorece o aumento no déficit de pressão de vapor, o que facilita as trocas gasosas e a consequente perda de água por transpiração (COSTA *et al.*, 2022). Esse efeito é geralmente acompanhado por alterações no aspecto do produto, tornando-o enrugado, sem brilho e pouco atrativo ao consumidor (GUNDEWADI *et al.*, 2018).

De acordo com Júnior *et al.* (2008) a perda de massa em mangabas armazenadas sob atmosfera modificada em plástico PVC e PEBD com e sem adição de sachês de permanganato de potássio (KMnO₄) variaram entre 3,1 e 1,1% ao longo de 10 dias de armazenamento.

O ácido ascórbico (AA), denominado vitamina C, é uma substância essencial às funções orgânicas do corpo humano. A mangaba possui elevado teor de vitamina C, sendo detectados em frutos da mangaba com grau de maturidade elevados valores de 250,00 a 300,00 mg/100 g, respectivamente (CARNELOSSI *et al.*, 2004).

Silva; Martins; Deus, (2009) encontraram em mangabas armazenadas sob refrigeração e em temperatura ambiente teores de vitamina C de 26,1 e 9,3 (mg/100 g AA), respectivamente. Silva Siqueira (2017) verificaram em duas cultivares de mangaba (*gardneri* e *cuiabenses*) vitamina C variando entre 187,49 e 217,05 mg/100 g⁻¹ para mangabas maduras.

A vitamina C presente em frutas e hortaliças pode variar entre espécies de modo que fatores ligados ao estágio de maturação, manuseio, estocagem e processamento durante o pós-colheita podem alterar a sua quantidade. Por esse motivo, a concentração de vitamina C tem sido elencada como indicativo da qualidade nutricional dos alimentos (ZITHA, 2016).

A mangaba é conhecida por ser uma fruta de características únicas, pois, conserva um padrão nutricional elevado e uma capacidade antioxidante elevada. Isso é justificado pela quantidade de vitaminas, compostos fenólicos e carotenoides em sua composição (GONÇALVES, 2017).

A ingestão de frutos da mangaba é considerada importante para reduzir sintomas causados por doenças, como hipertensão, úlceras e Alzheimer, pois essa fruta concentra uma grande quantidade de vitamina C, taninos e componentes fenólicos auxiliares no controle de radicais livres (OLIVEIRA, 2018).

A atividade antioxidante da mangaba caracterizada pelo método DPPH reduziu a oxidação do radical livre em 62%. Amostras de mangaba do Médio Araguaia, região centro-oeste do Brasil, foram analisadas por Assumpção *et al.* (2014), que determinaram uma CE50 igual a 3.050 g/100⁻¹ g da fruta; Cassimiro (2017), estudando mangabas da região nordeste, encontrou valores médios para redução do DPPH entre 1.107,3 g e 1.379,19 g de polpa/g do radical DPPH.

9.2 ANÁLISE SENSORIAL

De acordo com Teixeira (2009), a análise sensorial é uma metodologia utilizada para medir, analisar e interpretar o comportamento fisiológico dos alimentos, através dos sentidos humanos, tato, olfato, visão, audição e paladar. Esse tipo de método avalia o potencial dos alimentos por meio da textura, do sabor, da estabilidade de armazenamento e pela reação do consumidor.

Considerada uma importante ferramenta pela indústria de alimentos, a análise sensorial é uma etapa fundamental para a manutenção e garantia da qualidade de produtos alimentícios, em especial de frutas e hortaliças que apresentam vida útil curta. Por se tratar de uma avaliação multidisciplinar, essa técnica abrange todas as etapas da produção e distribuição dos alimentos no comércio (VIVAN *et al.*, 2022).

Souza (2012) analisou a vida de prateleira de mangabas revestidas com quitosana (1,5%) e fécula de mandioca (2%), nos estádios de maturação verde, maduros e passada, com e sem aplicação de cobertura. E verificou, pela análise sensorial, que os julgadores avaliaram como adequados para consumo, frutos revestidos com até oito dias de armazenamento, sendo considerados impróprios para consumo os frutos do tratamento controle que ao sexto dia apresentava apenas 20% de aceitação.

10. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta seção do trabalho é dedicada à descrição dos materiais e procedimentos metodológicos utilizados durante o desenvolvimento da pesquisa.

O estudo foi conduzido na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA). A produção dos filmes biopoliméricos ocorreu no laboratório de processos químicos (LPQ-CITED). Para avaliar as propriedades funcionais dos filmes, foram analisados os parâmetros físico-químicos, mecânicos e morfológicos nos demais laboratórios do Centro de Engenharia (CE) e do Centro de Pesquisas Vegetais do Semiárido (CPVSA).

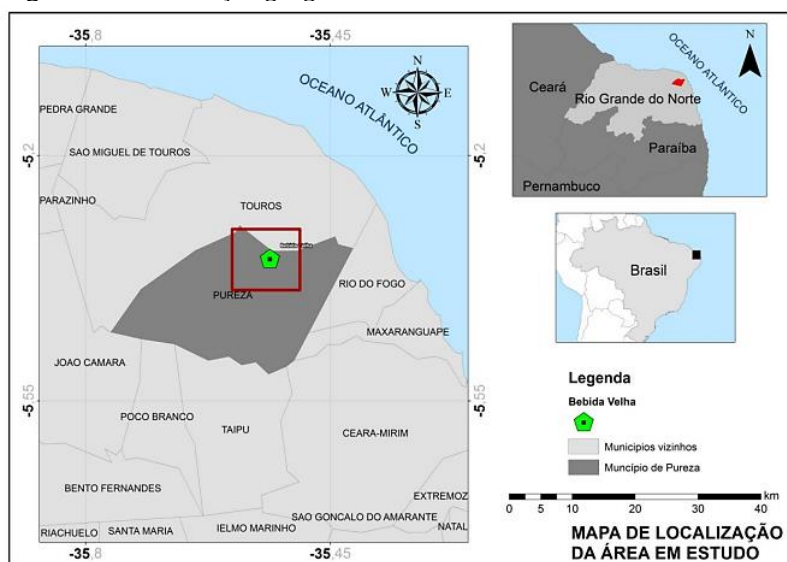
11. MATERIAIS E REAGENTES

- Agitador magnético com aquecimento (Modelo Luca-0851, Lucadema Científica LTDA ME);
- Agitador orbital Shaker (Modelo: TE-1401: Marca Tecnal);
- Balança analítica (Modelo: AY220 Marca: Master);
- Balança digital de precisão (Modelo: MB2000 Marca: Samalar);
- Colorímetro portátil (Modelo: CR-10 Marca: Konica Minolta);
- Estufa com circulação e renovação de ar (Modelo TE-394/2 Marca: Tecnal);
- Máquina para ensaio de tração DL 10000 (EMIC);
- Metalizador a vácuo, modelo Q150R (Quorum Technologies Ltd, Laughton, East Sussex, Inglaterra);
- Micrômetro digital (Mitutoyo MDC-25 M, MFG-Japan);
- Microscópio eletrônico de varredura, Modelo VEGA 3, (TESCAN / República Tcheca, 2013);
- Penetrômetro da marca McCormick, modelo FT 327 analógico (ponteira de 8 mm de diâmetro);
- pHmetro, Modelo Tec-3MP (Tecnal Equipamentos para Laboratório LTDA);
- Refratômetro digital, modelo PR-100 Pocket (Attago Co. Ltd., Japan);
- Termômetro infravermelho digital (Modelo: HT-550 Marca: Hikari).
- Fécula de mandioca (Primícias do Brasil Alimentos LTDA);
- Glicerol (Vetec Química Fina LTDA).
- Látex de Mangabeira (*Hancornia speciosa*).

12. OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO LÁTEX DE MANGABEIRA

Amostras do látex de mangabeira (*Hancornia speciosa*) foram coletadas no distrito de Bebida-velha, em Pureza/RN. A comunidade de Bebida-velha está situada geograficamente a 5° 20'35" de latitude sul e 35° 32' 05" de longitude oeste, conforme apresentação na Figura 10. O clima predominante é o sub-úmido, com precipitações anuais que variam entre 800 – 1200 mm. Bebida-velha é uma comunidade de característica rural, se destacando economicamente na agricultura e comercialização de frutas, além de outras atividades relacionadas à piscicultura e atividades da agricultura familiar (CAMPOS, 2015).

Figura 10- Localização geográfica do Distrito de Bebida-Velha Pureza/RN.

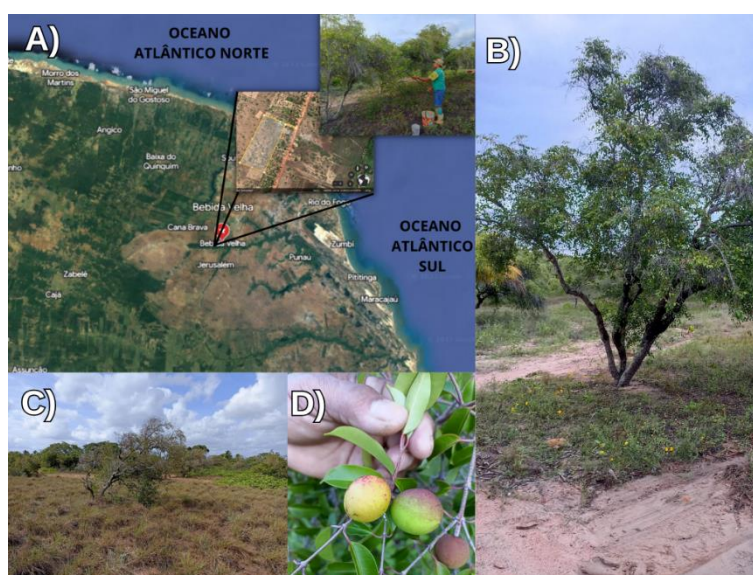


Fonte: CAMPOS (2015).

O látex foi coletado na área que corresponde geograficamente às coordenadas 5°19'49" S de latitude e 35°31'59" W de longitude (Figura 11). A extração do látex da mangabeira (*Hancornia speciosa*) foi realizada por meio de incisões no tronco da árvore. Conforme a técnica descrita por Arruda *et al.* (2016), foram feitos cortes verticais ao redor do tronco. Os cortes devem ser à aproximadamente 30 cm acima do solo (10 cm de comprimento e 0,5 cm de profundidade). Para a coleta do material, foram utilizados suportes de plástico com volume de 250 mL. Após a coleta, o material foi guardado em frasco âmbar envolvido por papel alumínio para evitar contato com a luz e, em seguida, armazenado em uma caixa térmica de isopor.

A preservação dos constituintes do látex de mangabeira foi realizada através de metodologia apropriada descrita por D'abadia (2017) e Almeida *et al.* (2014), sendo acrescentada água destilada numa concentração de 1:1 (v/v) ao látex *in natura*, para que o material não se decomponha com o tempo. Essa é uma característica inerente a esse tipo de látex, o exsudado recém coletado ao entrar em contato com o ar torna-se ácido, contudo, não se observa a formação de coalescência das partículas tampouco a presença de odor desagradável, permanecendo assim por até um ano depois de colhido (PINHEIRO *et al.*, 2004).

Figura 11 – A) Local da coleta dos frutos da mangaba, B) Árvore da espécie (*Hancornia speciosa*), C Local da extração do látex, D) Frutos da mangaba em dois estádios de maturação.



Fonte: O autor (2023).

12.1 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE BORRACHA SECA (DRC) NO LÁTEX DE MANGABEIRA

O teor de borracha seca presente no látex foi estimado utilizando o procedimento para quantificar o DRC descrito segundo a norma ASTM D1076. O DRC (*Dry Rubber Content*) corresponde à porcentagem em peso de borracha seca numa amostra de látex precipitada por indução com ácido acético a 2% (FILHO *et al.*, 1996). As etapas do processo envolvem coagulação, prensagem e secagem do material.

O cálculo para expressar a quantidade de borracha seca é dada pela Equação 3.

$$DRC = \frac{\text{massa do coagulo seco}}{\text{massa inicial da amostra}} \times 100 \quad (3)$$

13. MÉTODO PARA OBTENÇÃO DOS FILMES DE FÉCULA MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA

13.1 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Um planejamento experimental Central Composto (CCD) foi elaborado a partir das variáveis independentes X_1 (% látex de mangabeira) e X_2 (% glicerol). As faixas de concentrações utilizadas no planejamento para cada um dos fatores foram estabelecidas por meio de experimentos preliminares. No total, foram utilizadas 11 (onze) formulações (ensaios) para o estudo dos filmes, sendo quatro ensaios fatoriais estimados entre os níveis (+1 e -1), três repetições do ponto central no nível (0) e quatro pontos axiais definidos entre os níveis $\alpha = +1,41$ e $-\alpha = -1,41$. Cada nível corresponde a um valor distinto dos fatores, (X_1) variando de 0 a 30% e (X_2) entre 5 e 20%, em base seca, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1- Planejamento experimental para misturas de fécula de mandioca, látex de mangabeira e glicerol.

Tabela 1- Planejamento experimental para misturas de recua de mandioca, latex de mangabeira e glicerol.				
Ensaio	Fatores		Níveis Reais (X ₁) %	Níveis Reais (X ₂) %
	Níveis Codificados			
	Látex De Mangabeira (X ₁)	Glicerol (X ₂)		
1	-1	-1	4,36	7,18
2	1	-1	25,64	7,18
3	1	1	25,64	17,82
4	-1	1	4,36	17,82
5	1,41	0	30	12,5
6	0	1,41	15	20
7	-1,41	0	0	12,5
8	0	-1,41	15	5
9	0	0	15	12,5
10	0	0	15	12,5
11	0	0	15	12,5

Fonte: O autor (2023).

13.2 OBTENÇÃO DOS FILMES DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA

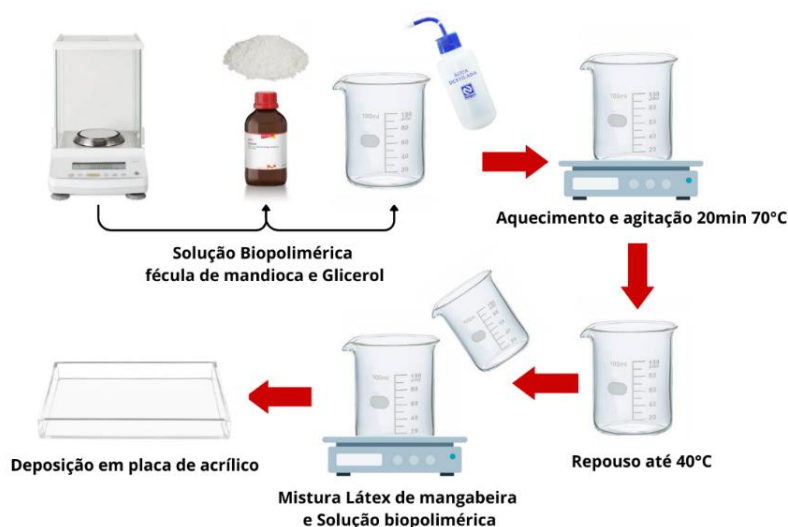
Os filmes biopoliméricos foram obtidos através do método *casting*. As formulações¹ foram preparadas a partir das concentrações estabelecidas no planejamento experimental. Em um béquer, pesou-se fécula de mandioca (biopolímero) e glicerol (plastificante), água destilada

¹ As massas de cada componente (látex, glicerol, fécula e água) das formulações podem ser observadas na Tabela 3 (apêndice).

foi adicionada como solvente. Essa mistura foi então aquecida em banho de areia a $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e mantida sob agitação constante por 20 ± 5 min até completar todo processo de gelatinização. Em seguida, a solução permaneceu em repouso até atingir a temperatura de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$; esse procedimento foi necessário uma vez que durante a mistura do látex com a solução do biopolímero, ambos devem estar na mesma temperatura para evitar assim a coalescência das partículas de borracha. A mistura da solução foi realizada em agitador magnético (Luca-0851); um segundo béquer, contendo látex de mangabeira, recebeu a solução de fécula de mandioca adicionada gradualmente de forma a garantir a homogeneização da mistura resultante. O processo foi completado após 5 min sob agitação (200 rpm).

A Figura 12 apresenta um esquema do processo para obtenção do filme biopolimérico de fécula de mandioca e látex de mangabeira.

Figura 12 - Processo de obtenção do filme biopolimérico de fécula de mandioca e látex de mangabeira.



Fonte: O autor (2023).

Ao final desse procedimento, 60 g da mistura filmogênica foi vertida em placas de acrílico (15 cm x 15 cm) e depositadas na bancada por um período de 24 h à temperatura ambiente (25°C). Para completar a secagem, as placas foram transferidas para estufa (TE-391/2 TECNAL), com renovação de ar na temperatura de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 6 horas.

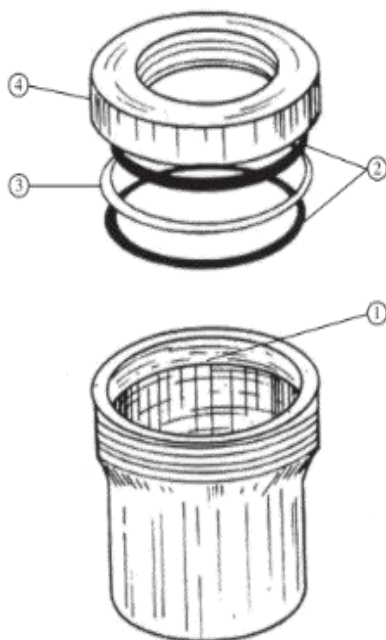
14. CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA

Os filmes produzidos pela mistura da borracha natural do látex de mangabeira com glicerol e fécula de mandioca foram caracterizados em triplicata por técnicas de análises físico-químicas e mecânicas, a fim de determinar suas propriedades.

14.1 DETERMINAÇÃO DA PVA (PERMEABILIDADE AO VAPOR DE ÁGUA)

Para determinar a permeabilidade ao vapor de água, utilizou-se a técnica gravimétrica descrita pela norma (ASTM E96M-12) e adaptada por Menezes *et al.*, (2021). Inicialmente, amostras dos filmes foram cortados em formato circular com 2,0 cm de diâmetro. Na sequência, células de permeação, Figura12, produzidas em PVC (policloreto de vinila) foram preparadas contendo no seu interior aproximadamente 6 mL de água destilada.

Figura 13 – Exemplo de célula de permeação: 1) borda interior; 2) anéis de vedação; 3) suporte para encaixe do biofilme; 4) tampa de vedação superior.



Fonte: MORELLI& FILHO (2010).

Com os filmes selados em cada conjunto, realizou-se a pesagem de cada sistema; em seguida as células de permeação foram colocadas em um dessecador contendo sílica nas condições de umidade e temperatura a 50% e 25 °C, respectivamente. A pesagem ocorreu

periodicamente a cada hora durante um tempo (t) de 8 h sob as mesmas condições. Por fim, aplicou-se a Equação 1, descrita, na seção 9.1, para calcular a permeabilidade ao vapor de água.

14.2 SOLUBILIDADE DOS FILMES EM ÁGUA

Para avaliar a solubilidade, amostras dos filmes foram preparadas seguindo metodologia descrita por Pereira *et al.*, (2021). Inicialmente, amostras do material biopolimérico foram cortadas em quadrados com dimensão 4 cm x 4 cm, foram secas em estufa (105 °C por 24 h), a massa inicial (m_i) foi determinada pesando as amostras em balança analítica. O passo seguinte se deu pela imersão das amostras do filme em 50 mL de água destilada que foram então mantidas nesse meio, sob agitação lenta de 50 rpm e a 25 °C, por 24 h, em uma incubadora Shaker (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Ao término desse processo, as amostras foram filtradas e novamente secas em estufa com circulação de ar nas mesmas condições iniciais de temperatura e tempo. Para obter a massa final (m_f) foi realizada a subtração da massa do papel de filtro seco contendo o filme. O cálculo final da solubilidade foi realizado de acordo com a Equação 2, mencionada na seção 8.2.

14.3 ANÁLISE DE COR E OPACIDADE

Os parâmetros de cor e opacidade foram obtidos utilizando-se de um colorímetro do tipo, Konica Minolta Sensing, modelo CR 10, que previamente foi calibrado em um padrão de fundo preto e outro padrão de fundo branco. Os resultados foram expressos nos parâmetros a^* , b^* e L^* , em que L^* representa a luminosidade, a^* é relativo à coordenada vermelho/verde (positivo é vermelho, negativo é verde) e b^* representa a coordenada amarelo/azul (positivo é amarelo, negativo é azul). No momento da medição, em cada formulação dos biofilmes foram considerados cinco pontos distintos e calculada a média dessas medidas (MONTEIRO *et al.*, 2017).

A partir da Equação 4, foi calculada a variação total da cor (ΔE) do filme de acordo com Cheng *et al.* (2022).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (4)$$

Onde: ΔL^* , Δa^* e Δb^* representam a diferença entre o padrão branco e o filme. O valor

do padrão branco foi $L^* = (81,2 \pm 0,05)$, $a^* = (6,0 \pm 0,17)$ e $b^* = (8,4 \pm 0,13)$.

Os resultados para opacidade foram determinados a partir de leituras da absorbância, realizadas num espectrofotômetro UV-vis (EVO-600PC, Thermo Scientific). Amostras dos filmes foram cortadas na dimensão 1 cm x 4 cm e colocadas em células de quartzo; uma célula em branco foi utilizada como amostra padrão, conforme descreve Menezes *et al.*, (2021).

Os resultados de opacidade foram determinados a partir da Equação 5.

$$Op = \frac{Abs_{600}}{\varepsilon} \quad (5)$$

Onde:

Op = Opacidade (mm^{-1})

Abs_{600} = valor da absorbância a 600 nm

ε = valor da espessura das amostras do filme (mm).

14.4 PROPRIEDADES MECÂNICAS

As propriedades mecânicas dos filmes foram avaliadas a partir de ensaios realizados em uma máquina de teste universal (DL5000/10000 Series Instron EMIC 23), manuseada de acordo com a força aplicada de 5 kN e velocidade de 5 mm s^{-1} . A partir das análises foram determinados a resistência a tração (MPa), o alongamento na ruptura e o módulo de Young (MPa).

Para os ensaios foram utilizados cinco corpos de prova para cada filme, dimensionados a partir da norma ASTM D-882, (2017) adaptado de Oliveira, (2017). Os filmes foram cortados em filetes de 5 mm de largura por 100 mm de comprimento, sendo o comprimento útil de 50 mm, uma vez que são necessários 25 mm para fixação do corpo de prova em cada lado da extensão das garras fixa e móvel.

A resistência à tração foi determinada pelo valor observado no equipamento, que registra o máximo de tração suportado pela amostra. O dado para alongamento na ruptura foi encontrado a partir da diferença entre o comprimento final e inicial, segundo a Equação 6.

$$\varepsilon = \frac{(Lf - L0)}{L0} \quad (6)$$

Onde:

Lf = Comprimento final

L_0 = Comprimento inicial

O modulo de Young foi determinado por meio da curva de tensão *versus* deformação e determinado numericamente por meio da Equação 7.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

σ = tensão aplicada sobre a amostra

ε = alongação da amostra

14.5 ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Os filmes de fécula de mandioca incorporados com diferentes concentrações da borracha natural do látex de mangabeira (*Hancornia Speciosa*) foram submetidos à análise morfológica de superfície a partir da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

As amostras foram preparadas seguindo a descrição de Menezes *et al.* (2021) e Oliveira (2021). Frações dos filmes foram cortadas e depositadas em uma placa de alumínio com fita dupla face de carbono; em seguida os filmes passaram por um revestimento com camada de partículas de ouro (Au) a fim de permitir a condutividade elétrica. As superfícies dos filmes foram submetidas à aplicação de uma tensão de aceleração de 10 kV, com ampliação de 5000 vezes, enquanto as seções transversais fraturadas receberam uma tensão de aceleração de 5 kv e ampliação de 500 vezes. Um microscópio eletrônico de varredura, modelo Vega 3, Marca Tescan, foi utilizado para produzir as imagens de alto padrão.

14.1 DELINAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento com os frutos da mangaba foi conduzido segundo um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4 x 5), com três repetições de oito frutos por parcela. Os fatores estudados foram o tipo de tratamento utilizado, ou seja, o tipo de mistura filmogênica usada para revestir os frutos (T1- controle, T2- fécula + látex 25% + glicerol 7%; T3- Fécula + glicerol 7% e T4- fécula + látex 25%), e o tempo de armazenamento (0, 2, 4, 6 e 8 dias) na temperatura de 23°C e UR à 70 ± 3%.

15. OBTENÇÃO E PREPARO DAS AMOSTRAS DO FRUTO DA MANGABA

Cerca de 500 frutos foram colhidos no estágio de maturação considerado “de vez” na coloração verde-amarelo e manchas avermelhadas (Figura 14). Os frutos foram acondicionados em caixote hortifruti, que permaneceu exposto ao ar na temperatura ambiente de 25 °C até que fosse transportado no dia seguinte para o laboratório de análises de alimentos da UFERSA, em Mossoró/RN. No laboratório, a mangaba foi lavada e imersa em uma solução sanitizante de cloro ativo a 150 ppm por 10 min; posteriormente os frutos foram secos naturalmente.

No total, trezentos frutos foram selecionados para análise, sendo uniformizados quanto ao tamanho, predominância da cor, ausência de danos mecânicos ou injúrias na casca devido ao transporte. Dentre o total da amostra dez foram empregados para avaliação no tempo zero (antes do armazenamento). Os demais frutos foram revestidos com solução biopolimérica, conforme os tratamentos, e distribuídos em três bandejas de poliestireno expandido com dimensões 21,1 cm x 14,1 cm x 2cm.

Figura 14 - Estádio de maturação da mangaba (fruto de vez e fruto verde).



Fonte: O autor (2023).

16. ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA MANGABA

Os parâmetros físico-químicos da mangaba foram avaliados a fim de investigar o comportamento dos frutos durante o período de armazenamento. Amostras preparadas em triplicata foram avaliadas quanto à perda de massa, cor da casca, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável, pH, vitamina C, atividade antioxidante e análise sensorial.

16.1 PERDA DE MASSA

A perda de massa foi avaliada durante todo o período de armazenamento e os frutos tiveram suas massas aferidas numa balança analítica modelo AY220. Os resultados foram expressos em porcentagem (%), calculando a diferença entre a massa inicial e o valor da massa final em cada tempo, conforme Equação 8 (VIANA, 2020).

$$PMF = \frac{Mi - Mf}{Mi} \times 100 \quad (8)$$

Onde:

Mi = massa inicial (g)

Mf = massa final (g)

16.2 COR DA CASCA

A cor da casca dos frutos da mangaba foi determinada com o auxílio de um colorímetro modelo CR-10 Konica Minolta®. Foram utilizadas três posições equidistantes no fruto da mangaba para as leituras dos parâmetros L (luminosidade), c* (cromaticidade) e h* (ângulo de tonalidade). Registros de imagens foram realizados ao longo do experimento (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

16.3 FIRMEZA DA POLPA

A firmeza da polpa das mangabas foi determinada utilizando um penetrômetro AKSO modelo FT327 com diâmetro de ponteira igual a 8 mm. O equipamento funciona através da aplicação de força até que se consiga penetrar o fruto, registrando-se a força aplicada necessária para que ocorra essa penetração, em Newton (N), (LA *et al.*, 2021).

16.4 SÓLIDOS SOLÚVEIS

O teor de sólidos solúveis foi determinado por refratometria; amostras de 2,0 mL de extrato do suco da mangaba foram obtidas através da maceração da polpa com auxílio de um almofariz e pistilo. As amostras foram levadas a um refratômetro digital, modelo PR – 100, Palette, Atago Co, LTD Japão, previamente calibrado com água destilada e seco com lenço de

papel dupla face. Esse procedimento foi repetido a cada medição. Os valores foram expressos em °Brix à temperatura ambiente de 25 °C (MEDEIROS TEODOSIO *et al.*, 2021).

16.5 ACIDEZ TITULÁVEL

A acidez titulável foi determinada por titulometria de neutralização. Inicialmente, 1,0 g de polpa do fruto da mangaba foi homogeneizado num frasco Erlenmeyer contendo 25 mL de água destilada; em seguida adicionou-se três gotas de indicador fenolftaleína e titulou-se com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol.L⁻¹, sob agitação constante, até coloração rósea persistente por 30 segundos (ZENEBO; PASCUET; TIGLEA, 2008).

Os resultados para acidez titulável foram expressos em % considerando a predominância de ácido cítrico no fruto.

16.6 RELAÇÃO SÓLIDOS SOLUVEIS E ACIDEZ (SS/AT)

Para determinar o grau de maturidade dos frutos no período de armazenamento utilizou-se metodologia proposta por Zenebon, Pascuet e Tiglea (2008), em que se faz a relação SS/AT. O cálculo consiste na relação °Brix por acidez total, expressa em ácido orgânico, de acordo com a Equação 9.

$$\frac{SS}{AT} = \frac{^{\circ}Brix}{Acidez\ Total} \quad (9)$$

Onde,

SS = Sólidos Solúveis

AT = Acidez Total

16.7 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) da mangaba foi determinado a partir da extração de 20 g de polpa, sendo uma amostra de cada tratamento triturada com 100 mL de água destilada; na sequência foram realizadas as medições utilizando um pHmetro TECNAL - Tec 3MP (HOLSBACH *et al.*, 2019), previamente calibrado com soluções tampão de pH 4,0 e 10,0.

16.8 VITAMINA C

O teor de vitamina C foi determinado pelo método Tillmans adaptado de Strohecker e Henning (1967). De início foi realizada a padronização da solução de Tillman a 0,02% com ácido ascórbico (AA), até encontrar o fator (F) da solução titulante. Em seguida, dois gramas (2 g) de extrato da mangaba foram misturados com água destilada e diluídos em um balão volumétrico de 25 mL, completando-se o volume até a marca do menisco com a solução de ácido ascórbico. Uma alíquota de 2 mL da amostra foi preparada em um Erlenmeyer de 125 mL e titulado com a solução de Tillman refrigerada, considerando a coloração róseo claro, persistente por 15 segundos como ponto de viragem. Os resultados foram expressos em mg/100g de ácido ascórbico.

16.9 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Para determinar a atividade antioxidante foi utilizado o método realizado por Meda *et al.* (2005), com modificações. Soluções estoque de amostras dos frutos da mangaba (100 µL/mL) e de DPPH (0,02 mg/mL) foram diluídas em metanol. Fez-se cinco diluições do extrato da polpa de mangaba (1000, 800, 600, 400 e 200 µL) para fornecer a faixa de melhor atividade. Das soluções obtidas de cada diluição foi retirada uma alíquota de 1,0 µL em cubeta e acrescentado 1,5 mL da solução de DPPH, depois de misturado à amostra permaneceu por 15 minutos incubada em ambiente escuro protegido da luz. Todas as determinações foram realizadas em triplicatas. As leituras das soluções foram realizadas com auxílio de um espectrofotômetro em comprimento de onda de 517 nm.

O controle utilizado foi 1,0 µL de metanol e 1,5 mL da solução de DPPH. A atividade sequestrante do radical livre DPPH foi expressa em termos de EC₅₀ (concentração mínima para o antioxidante reduzir 50% da concentração inicial do DPPH), através da média obtida nos gráficos que relacionam o percentual de atividade contra a concentração da substância ensaiada.

17. ANÁLISE SENSORIAL

A avaliação sensorial dos frutos da mangaba seguiu a metodologia utilizada por Menezes *et al.*, (2021), com adaptações. Inicialmente, foram avaliados cinco frutos da mangaba por tratamento e tempo de armazenamento. Em seguida um grupo de avaliadores treinados, composto por servidores e alunos da UFERSA, consumidores do fruto, receberam um quadro

de análise qualitativa com escala hedônica, variando de um a quatro (1-4) para avaliar os parâmetros, aceitação, odor, ocorrência de fungo e adesividade do filme. Os frutos de cada tratamento, em bandejas, foram codificados utilizando três dígitos distintos, e distribuídos entre os avaliadores para análise sensorial.

O quadro de análise sensorial utilizado pelos participantes da pesquisa é apresentado na seção apêndice deste trabalho.

18. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados referentes a caracterização dos filmes biopoliméricos de fécula de mandioca e látex de mangabeira foram tabulados utilizando o Software Excel. O Software Statistica 13.3 (Tibco Software Inc., USA) foi utilizado para análise de regressão multivariada a partir da proposição de modelos polinomiais. Superfícies de resposta foram traçadas para os modelos cujo $R^2 \geq 0,75$.

As avaliações dos dados para análise pós-colheita foram conduzidas no Software SISVAR. Uma análise de variância (ANOVA) e teste Tukey a 5% de significância ($p < 0,05$) foram aplicados para comparação das médias.

19. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção do trabalho são apresentados os resultados e a discussão da caracterização dos filmes biopoliméricos de fécula de mandioca e látex de mangabeira, assim como da análise dos efeitos dos revestimentos na conservação dos frutos da mangaba.

Os resultados experimentais referentes às propriedades dos filmes obtidos encontram-se compilados na Tabela 02.

Tabela 2 - Conjunto dos resultados referente as propriedades físico-químicas e mecânicas para filmes compostos de fécula de mandioca e látex de mangabeira.

RESULTADOS EXPERIMENTAIS PARA FILMES COMPOSTOS DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA												
Filme	FATORES (%)		VARIÁVEIS DEPENDENTES									
	X1 Látex	X2 Glicerol	SOL(%)	PVA (g/mm/h/Kpa.m²)	TR (MPa)	ER (%)	ME (MPa)	COR				
								L*	a*	b*	ΔE	Opacidade (mm¹)
1	4,36	7,18	17,78±0,1	20,69±6,3	18,58±2,1	3,48±0,5	534,14	81,0±0,2	5,8±0,1	9,2±0,2	0,93±0,5	11,24±0,1
2	25,64	7,18	16,22±0,2	17,35±5,4	6,62±3,9	1,96±1,0	339,03	79,6±0,4	6,7±0,1	12,5±0,5	14,38±3,3	15,57±0,0
3	25,64	17,82	16,29±3,1	24,39±7,4	5,64±1,9	3,50±1,6	161,14	80,0±0,1	6,5±0,1	11,6±0,5	11,52±2,8	10,51±0,1
4	4,36	17,82	33,45±0,9	21,91±1,5	16,26±1,9	3,05±0,6	533,75	80,9±0,3	5,7±0,4	9,2±0,2	1,29±0,7	15,64±0,0
5	30	12,5	18,69±1,0	19,98±5,0	10,01±1,9	4,31±1,0	232,53	79,5±0,4	6,8±0,2	12,6±0,7	20,11±6,3	8,16±0,0
6	15	20	24,81±1,8	20,15±0,5	6,59±2,6	1,51±0,5	437,04	79,9±0,6	6,0±0,2	11,2±1,0	10,17±7,4	12,82±0,1
7	0	12,5	32,98±2,4	20,05±0,5	20,72±6,0	3,51±1,6	590,95	81,3±0,1	5,4±0,1	8,5±0,1	0,504±0,2	8,06±0,1
8	15	5	22,75±0,9	19,95±1,8	8,20±5,8	1,48±1,0	556,5	80,3±0,2	6,1±0,1	10,9±0,5	7,32±2,7	14,54±0,1
9	15	12,5	12,83±0,5	34,49±9,3	16,73±7,6	2,63±0,6	636,31	80,1±0,6	6,5±0,3	10,9±0,8	8,23±5,4	15,73±0,3
10	15	12,5	10,41±1,8	31,21±5,2	10,46±7,0	1,89±1,2	555,02	79,9±0,7	6,5±0,2	10,9±0,4	8,02±2,9	16,35±0,0
11	15	12,5	13,05±4,4	28,69±9,5	9,99±3,3	2,43±0,7	411,09	80,0±0,8	6,3±0,2	10,6±0,6	7,2±3,0	15,66±0,1
O conjunto dos resultados é apresentado como média ± desvio padrão. SOL- Solubilidade em água; PVA- Permeabilidade ao Vapor de água ; TR - Resistência a tração (MPa); ER – Taxa de elongação (%); ME – Módulo de Young (MPa); Padrão branco – L* 81,2 ±0,1 a* 6,0 ± 0,2 b*8,4 ± 0,1; ΔE – Diferença da cor; mm¹ – espessura (mm).												

19.1 CARACTERIZAÇÃO DOS FILMES DE FÉCULA DE MANDIOCA E LÁTEX DE MANGABEIRA

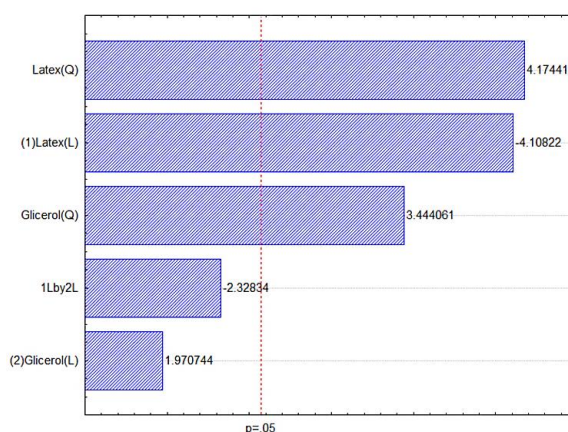
19.1.1 Solubilidade e Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

Verificou-se uma redução da solubilidade nos filmes de fécula de mandioca acrescentados do látex de mangabeira. A média da solubilidade para o filme contendo 25% do látex foi igual a 16,22%, enquanto no filme sem a adição do látex de mangabeira esse mesmo índice foi de 32,98%. Logo, o excesso de látex presente no filme fez diminuir consideravelmente a solubilidade em 50,82% quando comparado ao filme formulado apenas com fécula e glicerol. Esse resultado evidencia uma diferença em comparação ao comportamento do filme de fécula, uma vez que a natureza hidrofílica tanto do biopolímero quanto do plastificante glicerol aumentam a solubilidade de filmes restringindo o uso efetivo desse material como embalagem ou revestimento de alimentos, afirma Xavier *et al.* (2020).

Por outro lado, filmes formulados com quantidades elevadas de glicerol em relação ao látex mostraram-se mais solúveis. Essa característica foi melhor demonstrada no filme elaborado com 17% de glicerol e 4% de látex, que apresentou uma média da solubilidade igual a 33,45%. Isso representa um acréscimo de 51,5% em relação ao filme com 25% do látex de mangabeira. Segundo Ben; Samdudin; Yhaya (2022) o uso de plastificantes como o glicerol acentuam a solubilização de filmes biopoliméricos, uma vez que a presença de três grupos hidroxilas na estrutura do glicerol, torna favoráveis as ligações de hidrogênio, contribuindo para a solubilidade em solventes polares, especialmente a água.

A Figura 15 mostra o gráfico de Pareto, entre as variáveis independentes observa-se significância das variáveis concentrações de látex e glicerol, a concentração de látex apresenta maior influência sobre a variável solubilidade.

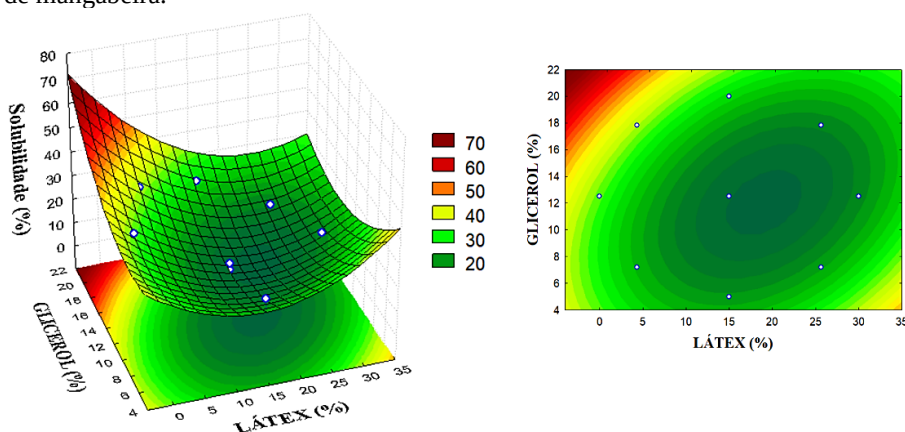
Figura 15 - Gráfico de Pareto para o nível de significância da interação entre os fatores concentração de látex e glicerol sobre a variável solubilidade.



Fonte: O autor (2023).

As superfícies de resposta na Figura 16 indicam que a incorporação do látex na matriz da fécula de mandioca promoveu valores reduzidos de solubilidade, principalmente nos pontos afetados pelo aumento percentual de látex e diminuição do glicerol.

Figura 16 - Superfícies de resposta da solubilidade de filmes compostos a partir de fécula de mandioca e látex de mangabeira.



Equação do Modelo

$$\text{Solubilidade} = 39,23 + (-1,16) x_1 + (-2,83) x_2 + 0,05 x_1^2 + 0,17 x_2^2 + (-0,06) x_1 x_2 \quad R^2 = 0,91$$

Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: O autor (2023).

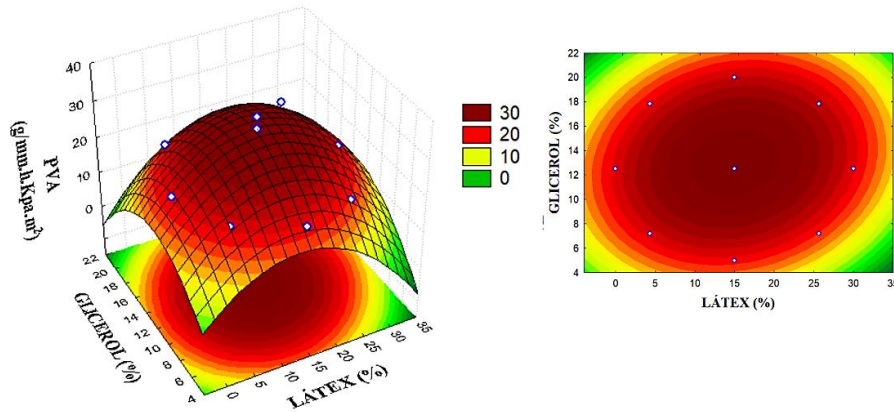
Portanto, verifica-se uma possível contribuição do látex de mangabeira como aditivo hidrofóbico já que em sua composição o látex apresenta partículas de borracha natural. Esse que é um biopolímero conhecido por suas propriedades mecânicas, de isolamento e de barreira a líquidos e gases (HELIODORO, 2013).

Pérez-Vergara *et al.* (2020), estudando filmes de fécula de mandioca, glicerol e cera de abelha, evidenciaram valores para solubilidade que variaram entre 21,62 e 41,98% em filmes com e sem adição de cera de abelha, respectivamente. Para os autores, a cera de abelha é um composto hidrofóbico capaz de diminuir a solubilidade do filme em água o que o torna vantajoso para utilização como embalagem ou revestimento comestível, pois tende a manter a integridade de alimentos expostos a altas umidades.

Durante a pesquisa também foi determinada a permeabilidade ao vapor de água dos filmes biopoliméricos. A PVA dos filmes variou de 17,35 g/mm/h/Kpa.m² a 34,49 g/mm/h/Kpa.m² nos filmes preparados neste estudo. A partir da análise das superfícies de resposta na Figura 17, constata-se que os pontos com maiores concentrações do látex de mangabeira apresentaram os menores níveis de permeabilidade ao vapor de água. O filme de

fécua adicionado de 25% do látex e 7% de plastificante obteve maior redução (50,3%) em comparação com o filme sem a adição de látex. Além disso, é demonstrado que a interação das substâncias látex e glicerol se relacionam com um aumento na transmissão de vapor de água.

Figura 17 - Superfícies de resposta da PVA de filmes compostos de fécula de mandioca e látex de mangabeira.



Equação do Modelo

$$PVA = 7,09 + 1,11 x_1 + 4,63 x_2 + 0,04 x_1^2 + 0,19 x_2^2 + 0,25 x_1 x_2 \quad R^2 = 0,91$$

Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: O autor (2023).

Monteiro *et al.* (2018) encontraram reduções significativas na PVA de filmes obtidos da mistura de fécula de mandioca com 5% de argila bentonítica e utilizando glicerol a 10% como plastificante. Segundo os pesquisadores, a presença da argila nessa concentração fez com que uma rede basal reduzisse o movimento das partículas de água em direção aos vazios na matriz do filme, dessa maneira impedindo o processo de difusividade e reduzindo em 61,7% a PVA do filme comparado aos dados do filme em que não houve a adição do látex de mangabeira.

Cesar *et al.* (2020) abordaram a permeabilidade ao vapor de água em membranas de látex de seringueira misturado ao poli(ácido láctico) (PLA); nesse estudo a proporção 3:1 de látex em PLA fez reduzir a taxa de permeabilidade ao vapor de água em 80%, passando de 1,0 (g/h.m²) para menos de 0,2 (g/h.m²), devido a melhor aderência das partículas de borracha ao PLA.

De acordo com Majjed *et al.* (2023), a permeabilidade ao vapor de água é uma característica que influencia a aplicabilidade de filmes e revestimentos, pois o ideal é que a interação do alimento com o ambiente úmido seja a menor possível evitando assim, a proliferação de microrganismos e processos oxidativos que tornam o alimento impróprio para consumo.

Nessa perspectiva, o látex de mangabeira, que é composto de borracha natural, pode ser uma substância promissora para o desenvolvimento de materiais biodegradáveis resistentes à água. Os resultados para solubilidade e permeabilidade ao vapor de água demonstram que a agregação do látex de mangabeira pode ser uma alternativa viável para a produção de bioplásticos e revestimentos de características mais hidrofóbicas.

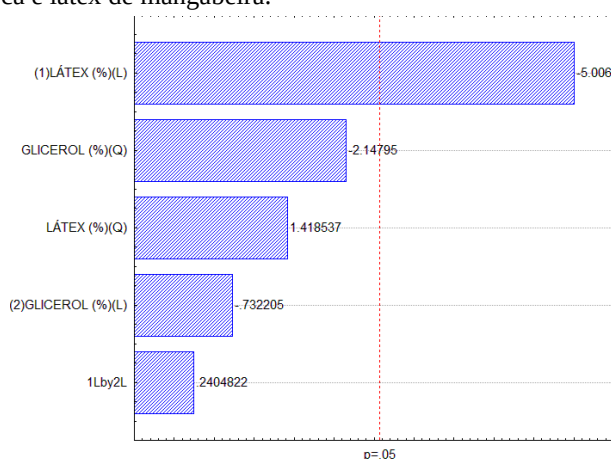
19.1.2 Propriedades mecânicas e análise morfológica

Variações da tensão máxima na ruptura foram estimadas entre $20,73 \pm 6,01$ MPa no filme sem adição de látex e $5,65 \pm 1,94$ MPa no filme obtido da mistura de látex de mangabeira a 25% em massa seca e glicerol a 17% atuando como plastificante. Esse resultado indica que a incorporação do látex à matriz biopolimérica afetou o comportamento mecânico do bioplástico, tornando-o menos resistente à tração mecânica.

Rouilly; Rigal; Gilbert (2004) relataram uma diminuição da resistência à tração e do módulo de elasticidade de filmes de amido acrescentados de 5 a 20% de látex de seringueira. No mesmo estudo os autores verificaram que a concentração de látex a 30% melhorou em 11% a resistência a tração do filme.

O modelo experimental proposto demonstra uma significância de efeito linear negativo da variável concentração de látex, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Gráfico de Pareto para os efeitos dos fatores estudados sobre o comportamento mecânico dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.

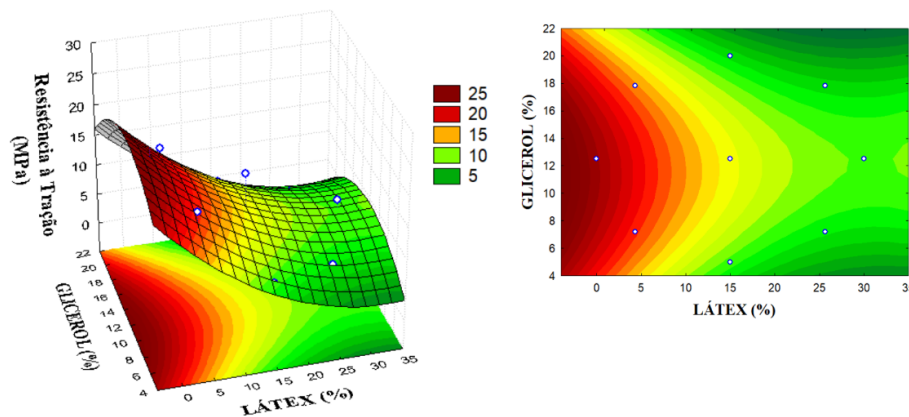


Fonte: O autor (2023).

O gráfico das superfícies de resposta - Figura 19 - apresenta um comportamento em sela característico, com duas regiões distintas de contorno, uma mais acentuada indicando o aumento da tenacidade do filme devido a ação do plastificante e outra representada pelos pontos

onde o látex se apresenta em maior quantidade percentual consequentemente representados pela menor resistência à tração. A respeito disso, Lim *et al.* (2020) explicam que plastificantes, como o glicerol, atuam para reduzir forças intermoleculares entre polímeros, promovendo maior flexibilidade e elasticidade.

Figura 19 - Superfície de resposta para a Resistência à tração (MPa).



Equação do Modelo

$$TR = 11,55 + (-0,93) x_1 + 1,91 x_2 + 0,02 x_1^2 + (-0,08) x_2^2 + (0,01) x_1 x_2 \quad R^2 = 0,87$$

Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

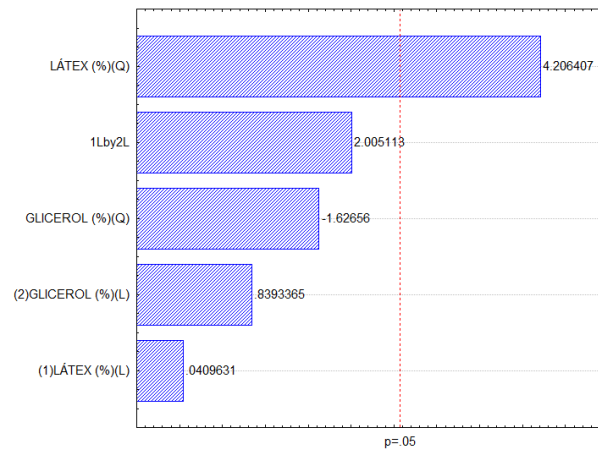
Fonte: O autor (2023).

Cai *et al.* (2021) evidenciaram menor resistência à tração em filmes de misturas binárias formuladas com 50% de amido de batata e 50% de borracha natural 1,6 MPa em comparação com o controle 8,9 MPa. Segundo os autores a resistência à tração diminuiu com o aumento da quantidade de borracha natural agregada à matriz do filme; pois ocorre substituição de ligações de hidrogênio (mais fortes), por interações fracas entre amido e borracha o que permitiu maior mobilidade das cadeias amiláceas. Resultado semelhante foi verificado nesta pesquisa.

Wongwat; Yoksan; Hedenqvist (2022), aplicaram borracha natural em filmes compostos de amido de mandioca, PLA e nanopartículas de carbonato de cálcio. De acordo com os resultados, a inserção de 0,5% e 1% de nanopartículas de CaCO_3 uniformizou a mistura da borracha natural com a blenda biopolimérica, o que garantiu melhorias na resistência à tração e no módulo de Young. Os pesquisadores salientam ainda que a presença de aglomerados de partículas de látex, detectadas na análise morfológica do filme, coincidiu com menor resistência e alongamento.

O resultado do modelo experimental em relação à taxa de elongação foi caracterizado como significativo como mostra a Figura 20. Ao adicionar látex de mangabeira no filme de fécula de mandioca observou-se um efeito de relação quadrática positivo sobre esta propriedade.

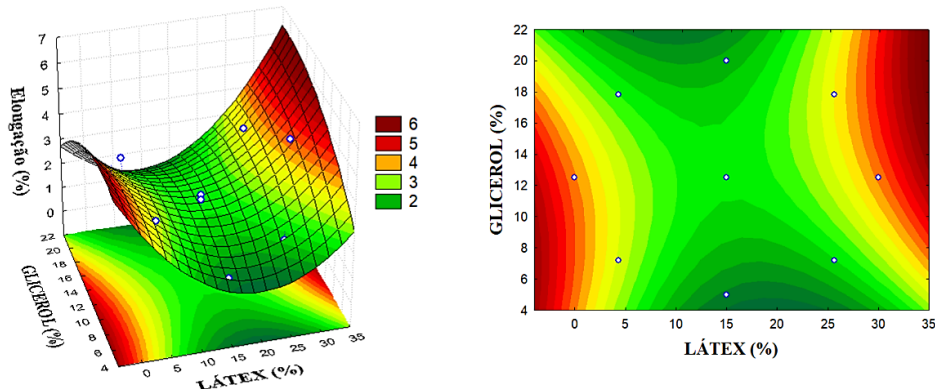
Figura 20 - Gráfico de Pareto para os efeitos dos fatores sobre a taxa de elongação dos filmes de Fécula de mandioca e látex.



Fonte: O autor (2023).

As superfícies de resposta - Figura 21 - demonstram que a taxa de deformação do filme de fécula é aumentada quando do acréscimo de 30% do látex de mangabeira. Nesse caso, o resultado da elongação foi igual a 4,31%, um pouco maior que a do filme formulado sem adição do látex de mangabeira que obteve 3,51%. É possível verificar ainda que quantidades intermediárias entre 10 e 25% do látex de mangabeira propiciaram uma taxa de elongação reduzida. Essa característica pode estar associada à formação de blocos heterogêneos verificados na caracterização morfológica do filme, possivelmente frações do látex podem formar aglutinados na matriz do biopolímero que, segundo Zhao *et al.* (2019), formam regiões de tensão propensas a falhas no material.

Figura 21 - Superfície de resposta para a Taxa de Elongação (%).



Equação do Modelo

$$ER = 3,46 + (-0,34) x_1 + 0,19 x_2 + 0,01 x_1^2 + (-0,01) x_2^2 + 0,01 x_1 x_2 \quad R^2 = 0,86$$

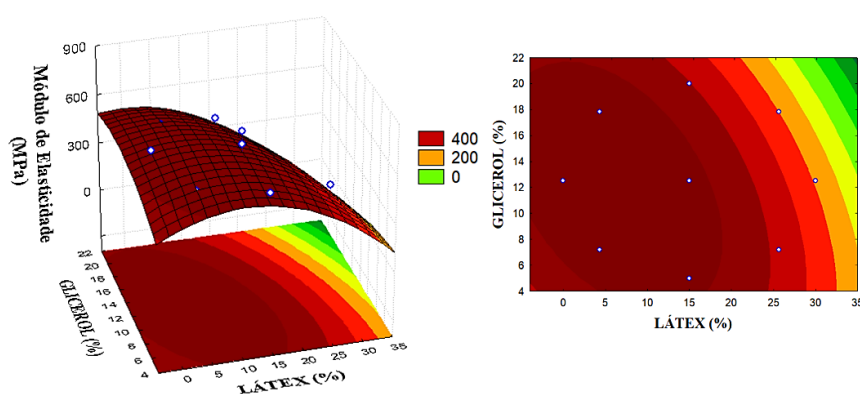
Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: O autor (2023).

Zhou *et al.* (2021) compararam a flexibilidade de filmes de fécula de mandioca e óleo essencial de cravo nas concentrações de (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5%) nos quais a taxa de deformação dos filmes variou de 32,20% a 3,52% nos filmes contendo 2,5% de óleo essencial e controle respectivamente. Para os pesquisadores o óleo de cravo reduziu as forças de coesão da matriz polímero-polímero e isso permitiu maior mobilidade da cadeia, tornando-a menos enrijecida.

No presente estudo, os módulos de elasticidade dos filmes de fécula de mandioca foram reduzidos pela adição de látex de mangabeira. A Figura 22 apresenta as superfícies de resposta elaboradas a partir do modelo experimental proposto. Verifica-se que o módulo de elasticidade variou entre 339,09 MPa e 636,31 MPa. Filmes elaborados com concentrações de látex entre 5% e 15% demonstraram melhora no comportamento elástico, por outro lado, ao adicionar mais látex ao filme esse mesmo índice se reduz pela metade.

Figura 22 - Superfície de resposta para os resultados do módulo de elasticidade (MPa).



Equação do Modelo

$$ME = 335,4 + 17,62 x_1 + 34,0 x_2 + (-0,68) x_1^2 + (-1,22) x_2^2 + (-0,78) x_1 x_2 \quad R^2 = 0,86$$

Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: O autor (2023).

Jantasakulwong *et al.* (2016) reportaram valores inferiores para o módulo de Young em filmes de amido e borracha natural modificada, o trabalho mostrou módulos de elasticidade variando de 47 MPa a 157 MPa em comparação com o filme sem aditivo. De acordo com os autores da pesquisa, a diminuição do módulo de elasticidade se deve às interações entre agrupamentos compostos por hidroxilas (OH) e grupos epóxi da borracha natural modificada.

Méité *et al.* (2022) estudaram as propriedades mecânicas de filmes elaborados com fécula de mandioca e concentrações diferentes de metacaulim (5%, 10% e 15%). Os módulos de elasticidade dos filmes apresentaram valores médios entre 26,4 MPa e 121,5 MPa. Segundo

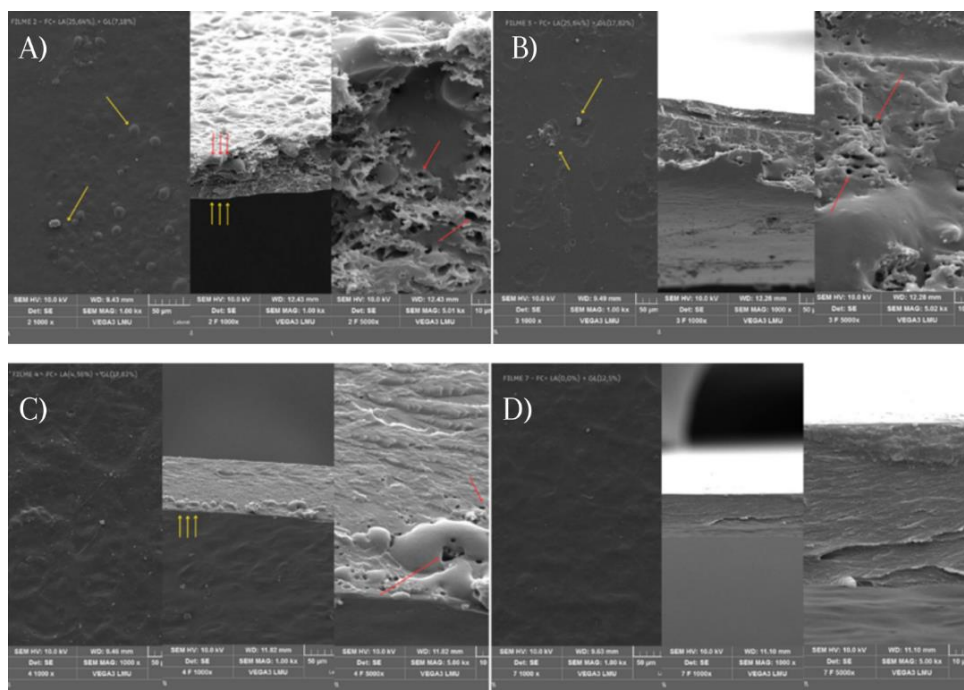
os autores, o processo de evaporação do solvente na retrogradação do amido influencia a mobilidade das cadeias poliméricas afetando a resistência do material e consequentemente reduzindo a flexibilidade do filme.

Diante disso, o comportamento mecânico dos filmes de fécula adicionados do látex de mangabeira foi particularmente afetado, sobretudo pela reduzida capacidade de resistir à tensão, evidenciando assim filmes com propriedades mecânicas reduzidas.

Junto aos ensaios mecânicos realizou-se também uma análise qualitativa dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira através de micrografias em alta resolução com aumento de 1000x e 5000x vezes. As Figuras 23A e 23B mostram as superfícies e as seções transversais de duas amostras distintas do filme de fécula de mandioca compostos por 25% de látex e variações de glicerol entre 7% e 17%.

O filme da Figura 23A apresenta uma superfície irregular caracterizada pela formação de fases, surgimento de aglomerados e gotículas possivelmente de grânulos de amido não solubilizado. Já na seção transversal é verificada a presença de poros e vazios que podem ajudar a explicar a menor resistência do filme, devido ao aumento da carga de látex na mistura. Contudo, a natureza hidrofóbica do látex na matriz da fécula de mandioca pode ter contribuído para a redução da permeabilidade ao vapor de água, assim como diminuição da solubilidade verificadas nos resultados. No filme 23B, o aumento da concentração de glicerol melhorou a compatibilização do látex na matriz do filme, nesse caso verifica-se menos vazios e zonas mais densas.

Figura 23 - Morfologia obtidas por MEV da superfície e seção transversal do filme de fécula de mandioca e Látex de mangabeira A) 25,64% látex +7,18% glicerol, B) 25,64% látex + 17,82% glicerol, C) 4,18% látex +17,82% glicerol e D) controle. Aumento de 1000x e 5000x. As setas amarelas indicam aglomerados e em vermelho a presença de vazios e porosidade.



Fonte: O autor (2023).

A Figuras 23C e 23D apresentam as micrografias para os filmes de fécula de mandioca composto por 4% de látex de mangabeira e 17% de glicerol como plastificante, e o filme sem adição de látex, respectivamente.

A imagem de MEV resultante do filme contendo baixa concentração de látex (Figura 23C) mostra uma superfície homogênea característica da formação de uma fase continua com pouca porosidade, essa constatação pode estar associada a baixa quantidade de látex de mangabeira adicionado à formulação do filme. Como consequência, os filmes apresentam maior solubilidade em água. No filme sem a adição do látex de mangabeira (Figura 23D), a superfície apresentou-se lisa e uniforme sem a presença de porosidade ou aglomerados o que possivelmente contribuiu para uma maior resistência à tração do filme quando comparada com as demais formulações acrescentadas de látex. A sessão transversal apresenta fase continua e lisa, aspecto melhorado pela ação plastificante do glicerol.

Heliodoro (2013) identificou resultado semelhante ao analisar a formação de fases e porosidade em filmes de amido e látex de seringueira. Para o autor, a borracha natural detém baixa adesão ao amido o que prejudica a obtenção de filmes com melhor uniformidade. Em pesquisa recente, Leksawasdi *et al.* (2021) relataram a presença de poros e vazios em filmes de amido de milho obtidos a partir da adição de borracha natural e carboximetilcelulose.

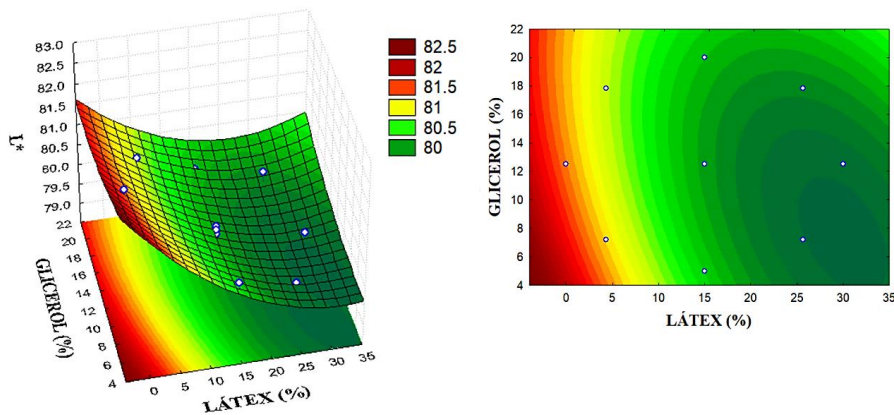
Resultados similares foram reportados por Zhao *et al.* (2019) na análise morfológica quando em comparação com os obtidos neste trabalho. Segundo os autores, blendas de filmes elaborados com PHBV e borracha natural demonstraram rugosidade na superfície do material,

além da formação de fases distintas, devido à incompatibilidade de cargas entre a matriz do biopolímero quando se adicionou 25% de látex de seringueira. Dado que corrobora com a verificação da micrografia do filme com maior quantidade de látex de mangabeira.

19.1.3 Propriedades ópticas dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira

Os filmes de fécula de mandioca apresentaram modificações na cor causadas pela incorporação do látex de mangabeira. Os dados de luminosidade L^* indicam que os filmes com 30% de látex apresentaram um índice de brancura variando entre 80,0 e 82,3, enquanto o filme sem adição de látex manteve-se estável em 81,3. O látex, inicialmente branco, tende a adquirir uma tonalidade avermelhada quando exposto ao ar devido a alterações no pH da substância. A Figura 24 mostra que quantidades acima de 10% de látex de mangabeira são suficientes para reduzir o parâmetro L^* , independentemente da concentração de glicerol. Por outro lado, observa-se um comportamento oposto sinalizado pelo aumento no valor de L^* quando a quantidade de látex diminui na formulação do filme.

Figura 24 - Superfície de resposta para o parâmetro luminosidade (L^*) de filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.



Equação do Modelo

$$L^* = 82 + (-0,15) x_1 + (-0,12) x_2 + 0,01 x_1^2 + 0,01 x_2^2 + 0,01 x_1 x_2 \quad R^2 = 0,95$$

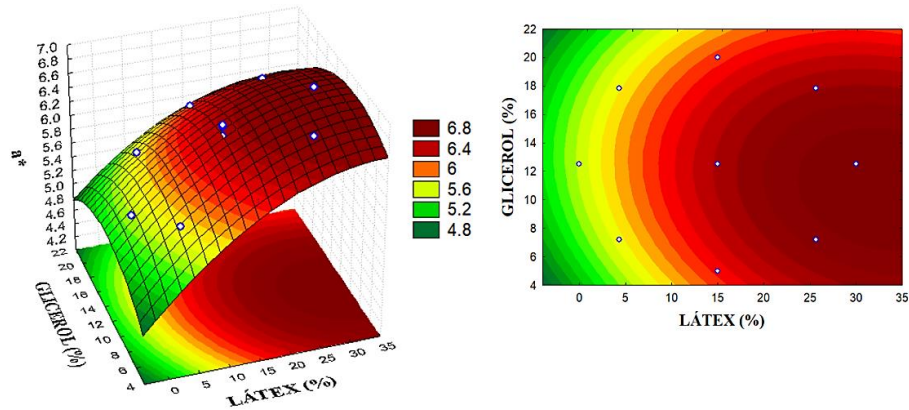
Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: O autor (2023).

Os resultados da coordenada cromática a^* fornecem outra informação relevante sobre a cor dos filmes. O filme baseado em fécula de mandioca e glicerol registrou o menor valor de a^* com 5,4, enquanto o filme com até 30% de látex apresentou um valor de 6,8. Percebe-se que o aumento da quantidade de látex de mangabeira na composição do filme intensificou a cor vermelha. Isso é confirmado pelas curvas de superfície de resposta apresentadas na Figura 25

verifica-se que a adição de látex a partir de 15% acentuam a intensidade da cor dos filmes de fécula de mandioca.

Figura 25 - Superfícies de Resposta para a coordenada cromática a^* em filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.



Equação do Modelo

$$a^* = 4,54 + 0,08 x_1 + 0,15 x_2 + (-0,01) x_1^2 + (-0,01) x_2^2 + (-0,01) x_1 x_2 \quad R^2 = 0,98$$

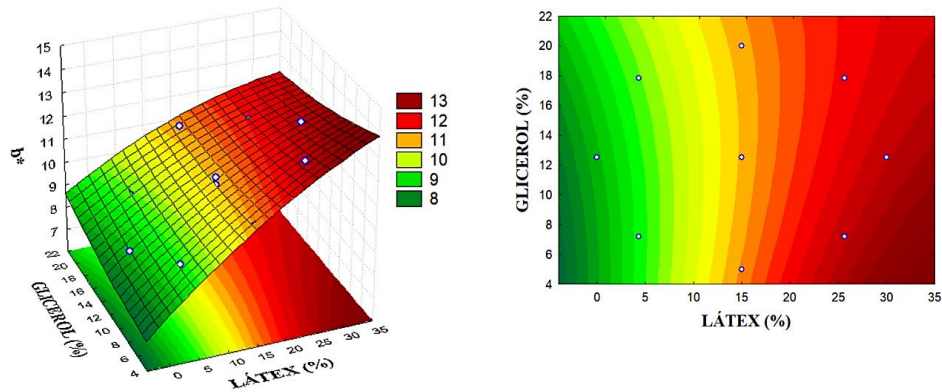
Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: o autor (2023).

Foi observado um comportamento semelhante nos valores de b^* , que representam o amarelamento do filme quando substâncias aditivas são adicionadas. O filme de fécula adquiriu uma tonalidade amarelada à medida que mais látex foi sendo incorporado na formulação. O filme sem a presença do látex apresentou um valor menor de b^* evidenciado pelo valor registrado na análise de 8,5, enquanto no filme com 30% de látex esse mesmo índice alcançou 12,6 para o parâmetro b^* .

A figura 26 apresenta a superfície de resposta da coordenada de cromaticidade b^* dos filmes em função das concentrações de látex e glicerol. Regiões de maior valor de b^* são verificadas quando se adiciona mais látex ao filme de fécula de mandioca.

Figura 26 - Superfície de resposta para padrão de cromaticidade b^* em filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.



Equação do Modelo

$$b^* = 8,23 + 0,23 x_1 + (-0,02) x_2 + (-0,01) x_1^2 + 0,01 x_2^2 + (-0,01) x_1 x_2 \quad R^2 = 0,98$$

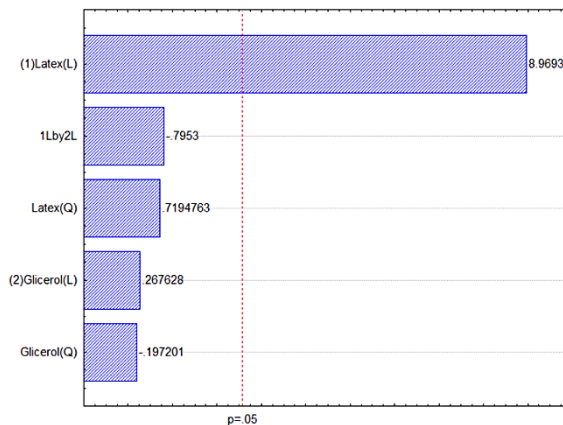
Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: o autor (2023).

Em pesquisa recente Silva; Fukuoka; Manhani (2021) identificaram em filmes de fécula de mandioca incorporados com extrato de própolis valores de L^* entre 63,23 e 21,63. No mesmo estudo o parâmetro a^* apresentou valores entre 16,69 e 0,83, ao passo que b^* variou entre 16,5 e 12,84. De acordo com os autores, a adição de 1,8% do extrato de própolis resultou em maior dispersão da luz, ocasionando mudança na coloração do filme.

Com a adição de látex na matriz dos filmes de fécula de mandioca, verificou-se alterações significativas na diferença de cor (ΔE) entre os filmes. A Figura 26 indica a significância dos dados em relação a variável concentração de látex que detém maior influência na modificação da cor.

Figura 26 - Gráfico de Pareto para variação da cor ao adicionar Látex de mangabeira em filmes de fécula de mandioca.

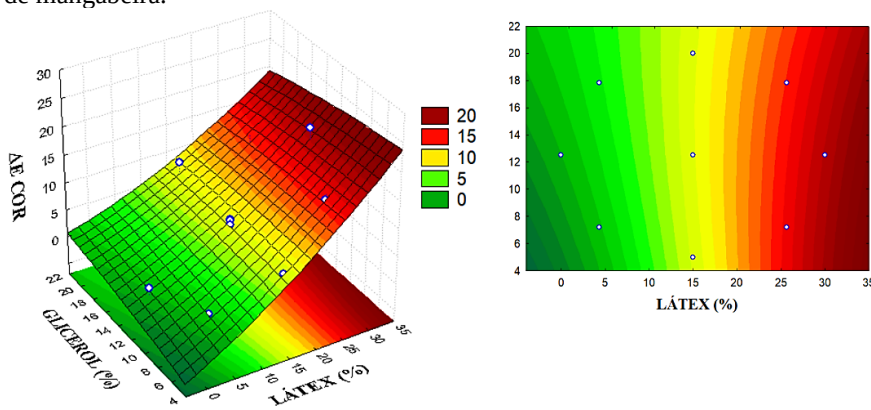


Fonte: O autor (2023).

O índice para variação da cor (ΔE) nos filmes de fécula de mandioca apresentaram valores entre 0,5 no filme sem a mistura do látex de mangabeira, e 20,1 no filme contendo até 30% de látex na mistura. O látex em proporções acima de 10% foi capaz de modificar o padrão da cor dos filmes como mostra a superfície de resposta Figura 27.

Esse aspecto se relaciona com as demais análises apresentadas anteriormente. As diferentes concentrações do látex de mangabeira adicionados à fécula de mandioca permitiram a obtenção de filmes com características distintas na cor, o que pode garantir diferentes aplicabilidades, como material de revestimento comestível ou mesmo como embalagem.

Figura 27 - Superfícies de Resposta para variação da cor dos filmes de fécula de mandioca incorporado com látex de mangabeira.



Equação do Modelo

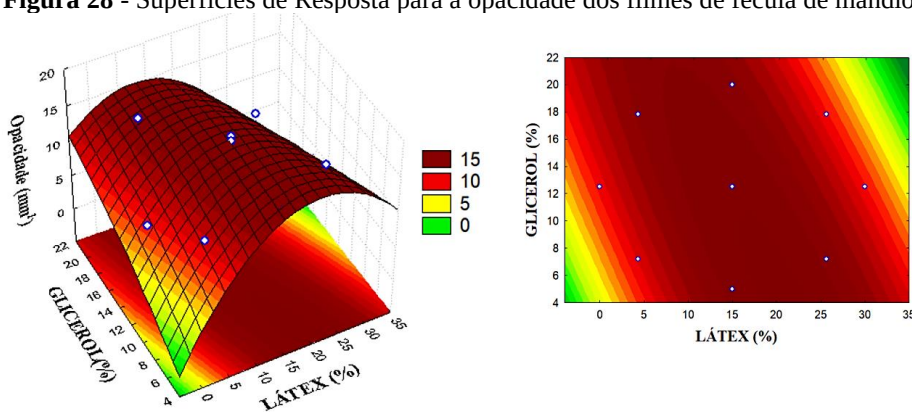
$$\Delta E \text{ COR} = (-4,07) + 0,61 x_1 + 0,39 x_2 + 0,01 x_1^2 + (-0,01) x_1^2 + (-0,01) x_1 x_2 \quad R^2 = 0,94$$

Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: O autor (2023).

A opacidade dos filmes de fécula de mandioca foi influenciada significativamente pela adição do látex de mangabeira. Os dados mensurados caracterizam filmes de aspecto mais opaco ao relacionar o aumento da concentração de látex de mangabeira. Analisando as superfícies de resposta - Figura 28 - é verificado que a incorporação de 15,0 a 25,0% de látex fez aumentar o índice de opacidade em pelo menos 50,71%, uma vez que os valores variaram entre 16,35 (mm^{-1}) e 8,06 (mm^{-1}) no filme com 25% látex e naquele sem látex na mistura respectivamente.

Figura 28 - Superfícies de Resposta para a opacidade dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.



Equação do Modelo

$$\text{Opa (mm}^{-1}\text{)} = -0,36 + 1,39 x_1 + 1,01 x_2 + (-0,02)x_1^2 + (-0,01)x_2^2 + (-0,04) x_1 x_2 \quad R^2 = 0,88$$

Obs. as variáveis indicam em x_1 (%Látex) e x_2 (%Glicerol).

Fonte: O autor (2023).

Em termos gerais, filmes com melhor transparência são mais requisitados para uso como embalagem ou cobertura comestível. No entanto, vale salientar que uma opacidade mínima é desejada em virtude da baixa interatividade com raios solares de incidência UV. Diante disso, os filmes contendo látex de mangabeira se apresentaram com boas características de barreira à ação degradante da luz.

Filmes de amido oxidado e contendo nanopartículas de zinco (ZnO) modificaram a propriedade óptica relacionada à opacidade. Vaezi; Asadpour; Sharifi (2019), descrevem a atuação do ZnO como agente clareador, diminuindo a transparência do filme e aumentando o aspecto turvo em virtude das fortes interações intersticiais entre nanopartículas e grupos orgânicos do biopolímero.

Yao Désiré *et al.* (2021) obtiveram resultados diferentes para opacidade de filmes de fécula de mandioca de duas espécies diferentes Yavo e TMS formulados com adição de microcristais de celulose. No estudo, os autores apresentaram aumento na opacidade dos filmes com adição de 7, 15 e 30% do microcristal de celulose passando de $223,91 \text{ mm}^{-1}$ para $425,33 \text{ mm}^{-1}$ em relação ao controle.

Segundo La Fuente *et al.* (2019), a opacidade de filmes de amido está associada a aspectos relacionados às distribuições de carga e tamanho das moléculas, que podem variar nas diversas fontes desse biopolímero, o que resulta em comportamentos distintos para opacidade, a depender do material.

19.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA MANGABA REVESTIDA EM SOLUÇÃO BIOPOLIMÉRICA

19.3 IMPACTO DO REVESTIMENTO BIOPOLIMÉRICO NA CONSERVAÇÃO DE MANGABAS

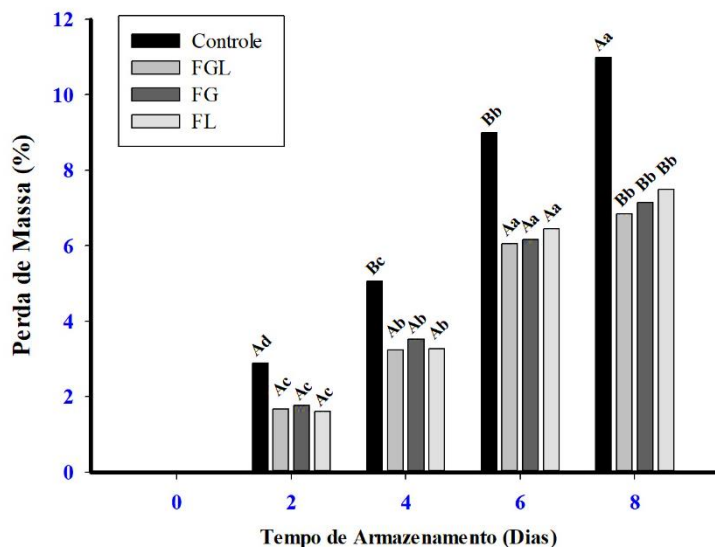
Nesta seção são apresentados os resultados e discussões correspondentes ao efeito da aplicação dos revestimentos biopoliméricos, a saber: fécula + látex 25% + glicerol 7%, fécula + glicerol 7%, fécula + látex 25% e controle sobre as propriedades físico-químicas do fruto da mangaba ao longo de oito dias de armazenamento.

19.3.1 Perda de massa

Verificou-se para perda de massa um aumento em todos os tratamentos até o oitavo dia de armazenamento, porém, de forma mais acentuada nos frutos controle (Figura 29). A partir do quarto dia de armazenamento os frutos revestidos com FLG (fécula + látex 25% + glicerol 7%); FG (fécula + glicerol 7%) e FL (fécula+látex 25%) apresentaram variação semelhante, sendo a diferença não significativa ($p < 0,05$). Percebe-se, aos oito dias de armazenamento, uma taxa elevada de perda de massa dos frutos controle (11%) mais elevada que os tratamentos com revestimento comestível (em torno de 6%) no mesmo período.

Figura 29 - Perda de massa (%) de frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revestidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste

de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 23,5.



Fonte: O autor (2023).

Com isto, evidencia-se que os revestimentos biopoliméricos a base de fécula de mandioca, adicionados ou não de látex de mangabeira, foram efetivos em barrar a perda de massa em mangabas. O revestimento funciona como uma blindagem semipermeável reduzindo o processo de difusividade da água e o processo de transpiração/respiração do fruto, assim promovendo um maior tempo de vida útil (NAIR *et al.*, 2020).

A perda de massa detalhada por Souza (2012) em mangabas revestidas com solução de fécula de mandioca 0,75% + quitosana 1,5% apresentaram valores que se aproximam dos encontrados nessa pesquisa, sendo encontradas médias para perda de massa entre 11,75% no controle contra 6,71% em frutos com cobertura.

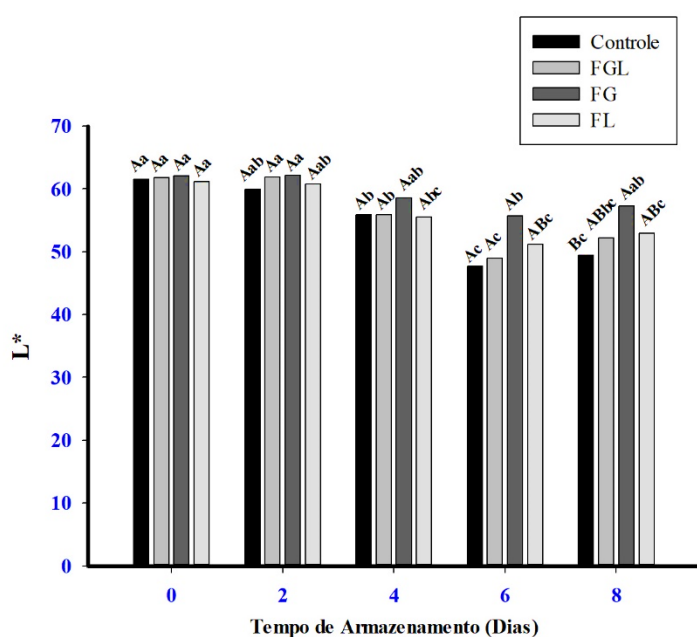
19.3.2 Parametros de cor L^* c^* h^*

Analisando-se os resultados obtidos nos experimentos, constata-se que houve efeito de tratamento para os parâmetros de coloração L^* , c^* e h^* durante o período de armazenamento dos frutos (Figuras 30, 31 e 32). O parâmetro L^* (luminosidade) segue uma tendência de decréscimo em todos os tratamentos durante o amadurecimento da mangaba, indicando o escurecimento da casca ao longo do tempo (Figura 30), não sendo verificada diferença significativa até o quarto dia de análise, embora frutos no controle e revestidos com fécula e látex apresentaram valores inferiores aos revestidos com FGL e FG.

Durante os sexto e oitavo dias de armazenamento foi observada uma diferença estatística ($p < 0,05$) entre tratamentos. O padrão de luminosidade tende a se reduzir de maneira significativa entre os frutos com e sem a adição do látex de mangabeira, no entanto, nota-se uma menor variação em frutos revestido com FG.

Aos seis dias, observa-se que os frutos do tratamento controle ($47,7 \pm 6,0$) apresentaram pigmentação da casca mais escura em relação aos tratamentos no revestimento FG ($55,7 \pm 2,9$) e FL ($51,2 \pm 4,9$), mas se assemelharam aos frutos do tratamento FLG ($49,00 \pm 5,7$). Com isso, fica evidente que o glicerol na mistura com fécula e látex não resultou em uma boa associação, visto que essa formulação propiciou maior escurecimento da casca dos frutos.

Figura 30 - Parâmetro L* (luminosidade) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de $70\% \pm 3$. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 4,70.



Fonte: O autor (2023).

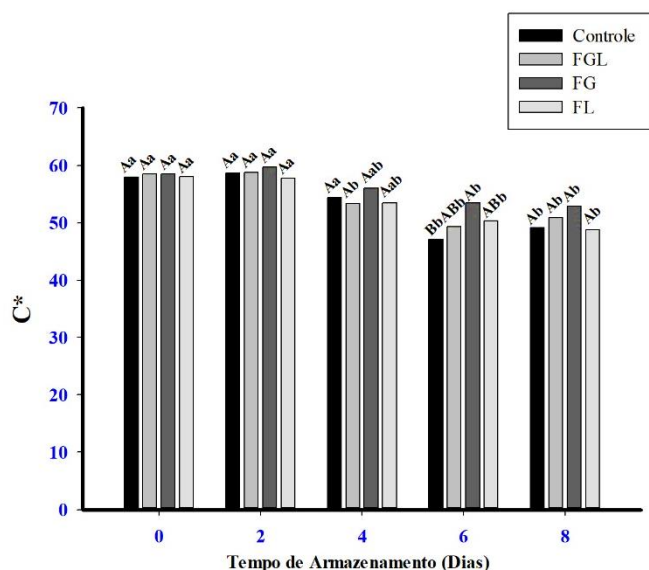
Aos oito dias, houve diferença significativa apenas entre os tratamentos FG e controle, sendo que o primeiro manteve menor luminosidade em relação ao controle, que se apresentou mais escuro. Não obstante, ambos apresentaram luminosidade semelhante estatisticamente em relação aos demais tratamentos de revestimento.

Segundo Silva *et al.* (2020), valores acima de 50 para luminosidade indicam melhor disponibilidade à refletância. Assim é observado que a cor da casca permaneceu por mais tempo

com características de brilho e leveza nos tratamentos FG ($57,28 \pm 2,9$) e FL ($52,9 \pm 4,5$). Esse comportamento pode estar associado a melhor adesividade do revestimento sobre a camada superficial do fruto como indica a Figura 42.

Para os valores de cromaticidade (parâmetro c^*) da casca dos frutos, observa-se decréscimos nos valores, independente do tratamento (Figura 31.). Não obstante, houve diferença estatística, entre os tratamentos, apenas no sexto dia de armazenamento. Os valores de cromaticidade dos frutos revestidos com o tratamento FG (fécula + glicerol 7%) foram semelhantes aos valores de cromaticidade dos demais tratamentos com revestimento $53,43 \pm 3,0$, $50,3 \pm 4,2$, $49,30 \pm 4,3$ respectivamente e superior ao controle ($47,12 \pm 5,2$). Porém, aos oito dias de armazenamento os valores de c^* dos tratamentos de revestimentos FLG, FL, FG foram iguais entre si e ao controle.

Figura 31 - Parâmetro c^* (cromaticidade) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de $70\% \pm 3$. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 4,92.

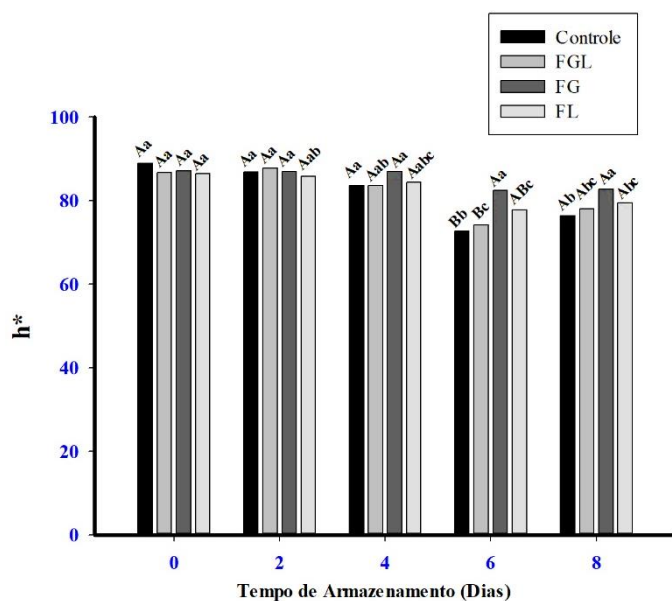


Fonte: O autor (2023).

Independente do tratamento, observou-se decréscimos nos valores do ângulo de tonalidade ($^\circ\text{hue}$) até oito dias de armazenamento dos frutos (Figura 32). Houve diferença significativa entre os valores para os tratamentos durante o tempo de armazenamento dos frutos a partir do quarto dia de armazenamento, observa-se que o ângulo $^\circ\text{hue}$ dos frutos revestidos

com FG foi semelhante aos do revestimento FL e bem superior ao controle e revestimento FLG, que por sua vez não diferiram entre si.

Figura 32 - Parâmetro h^* (tonalidade) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 4,22



Fonte: O autor (2023).

Para Soares (2021), o ângulo de tonalidade contribui na investigação pós-colheita porque pode indicar, através de uma análise simples, o estágio de maturação no qual o fruto se encontra, tendo em vista que valores reduzidos do $^{\circ}$ hue evidenciam alterações na cor; no caso da mangaba variando de verde para amarelo ou coloração intermediária ao vermelho até a ocorrência de frutos totalmente escurecidos e amarelados em estágios muito avançados de maturação.

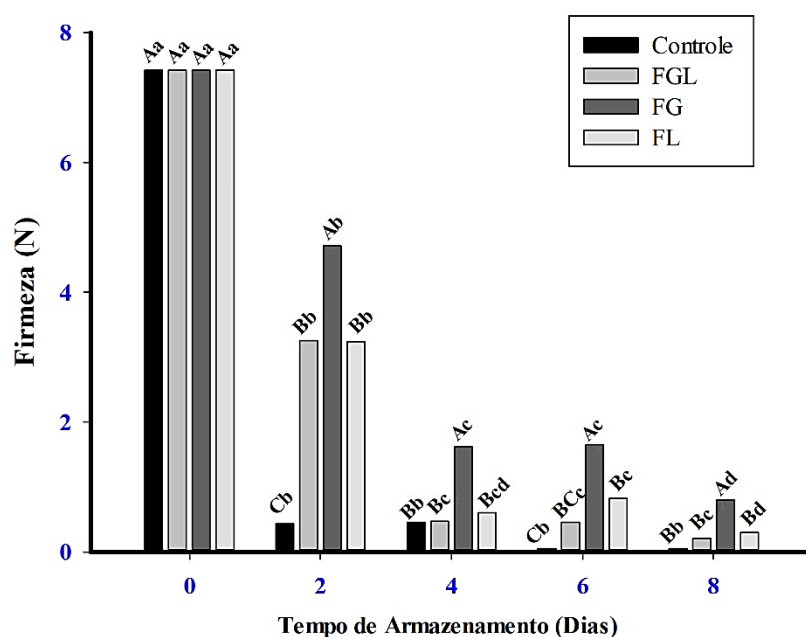
19.3.3 Firmeza

Independente dos tratamentos, a firmeza da polpa dos frutos diminuiu ao longo do período de armazenamento (Figura 33). Observou-se diferenças significativas ($P < 0,05$) entre os tratamentos a partir do segundo dia de armazenamento dos frutos. Aos dois dias, mangabas, revestidas com fécula + glicerol 7% (FG), mantiveram maior firmeza quando comparadas aos

demais tratamentos com revestimento e controle. Não obstante, os revestimentos FLG e FL, mantiveram firmeza semelhantes entre si, e superior ao controle, cuja firmeza foi a menor. Aos quatro dias, os frutos revestidos com FG apresentaram firmeza superior aos demais tratamentos com revestimentos e controle, enquanto esses não diferiram entre si.

A firmeza está associada à integridade de produtos e é utilizada como parâmetro para determinar a capacidade de resistência de frutas e hortaliças durante a cadeia de produção. Processos envolvendo atividade enzimática hidrolítica aceleram a senescência de frutas via solubilização de pectinas, substâncias responsáveis pela uniformidade da parede celular, isso ocorre principalmente em estádios de maturação avançados, onde a casca dos frutos já não é tão rígida (SILVA SIQUEIRA, 2017).

Figura 33 -Firmeza(N) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 7,21.



Fonte: O autor (2023).

19.3.4 Sólidos Solúveis

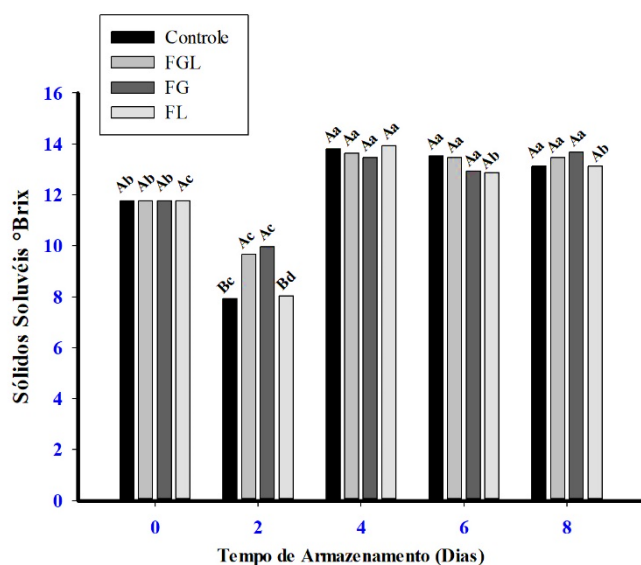
Observam-se diferenças significativas do teor de sólidos solúveis dos frutos entre tratamentos apenas no 2º dia de armazenamento (Figura 34). Os frutos do tratamento FG e FLG, apresentaram valores (9,97 e 9,67 °Brix, respectivamente) superiores aos frutos dos tratamentos

FL e controle (8,03 e 7,93 °Brix, respectivamente). Comportamento semelhante foi evidenciado por Santos et al. (2009) aos três dias de armazenamento dos frutos, cujo decréscimo nos valores de SS (20,84%) foi seguido por um posterior acréscimo durante o armazenamento dos frutos.

Independente do tratamento, houve aumento nos teores de SS dos frutos aos oito dias de armazenamento (Figura 34). Do tempo zero aos oito dias, o acréscimo foi de 16,15%, quando os teores variaram entre 13,13 no fruto controle ante 13,13; 13,47 e 13,67 °Brix nos frutos revestidos com FL (fécula + látex 7%), FLG (fécula + látex 7% + glicerol 25%) FG (fécula + Glicerol 25%) respectivamente. Esse resultado é semelhante ao descrito por Lima *et al.* (2015) que identificaram sólidos solúveis de 13,86 °Brix em mangabas maduras.

Em frutos climatéricos, como a mangaba, o aumento significativo no teor de sólidos solúveis pode ocorrer devido à degradação de polissacarídeos de reserva (amido) e estruturais (pectina) e outros. Isso acontece devido ao processo de respiração que é contínuo, mesmo após o desprendimento da planta mãe, em que há conversão de açúcares solúveis, bem como consumo destes para manutenção metabólica e síntese de novos compostos (FERREIRA; MOLINA; PELISSARI 2020).

Figura 34 - Teor de sólidos solúveis (SS) °Brix para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% ± 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 3,36.



Fonte: O autor (2023).

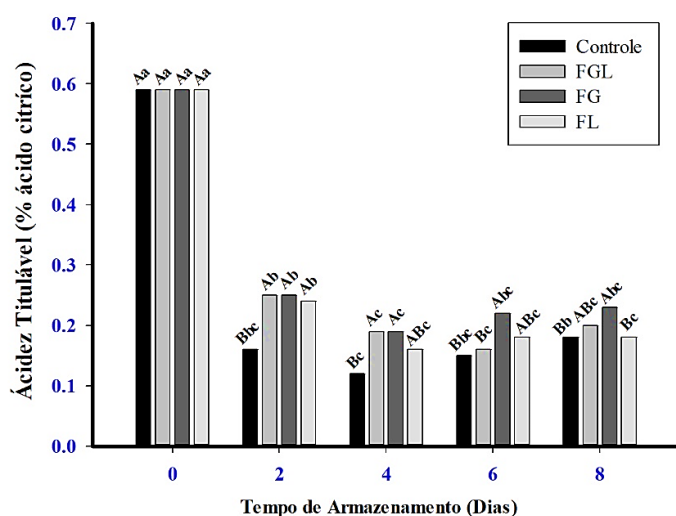
A pesquisa realizada por Nasser *et al.*, (2015) e colaboradores, demonstraram valor de sólidos solúveis atingindo 13,6 °Brix ao final do armazenamento de 15 dias sob atmosfera modificada com adição de sachê de permanganato de potássio, sob temperatura de $3\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 80% de UR em BDO.

Vidal (2010) estudando diferentes genótipos de mangaba do litoral cearense encontrou para sólidos solúveis valor máximo igual a 24,40 °Brix e um mínimo de 17,30 °Brix, índices superiores aos encontrados neste trabalho.

19.3.5 Acidez Titulável

A acidez titulável (% de ácido cítrico) diminuiu durante o período de armazenamento dos frutos, independente do tratamento (Figura 35). Não obstante, é percebida diferença significativa ($P < 0,05$) ao 2º dia de armazenamento com um decréscimo nos valores da acidez entre 0,16 e 0,25% em frutos sem revestimento e com revestimento FG respectivamente. A película formada ao redor da casca do fruto revestido proporciona um obstáculo aos gases da atmosfera, o que diminui o metabolismo do fruto. Ácidos orgânicos geralmente diminuem durante o amadurecimento dos frutos em consequência do consumo destes no processo de respiração ou conversão à açúcares solúveis (TOSUN; USTUN; TEK GULER, 2008).

Figura 35 - Níveis de Acidez titulável (% de ácido cítrico) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de $70\% \pm 3$. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 9,96.



Fonte: O autor (2023).

A barreira ocasionada pelo revestimento FG (fécula + glicerol 7%) propiciou resultado superior ao controle em todos os tempos de armazenamento do fruto. Diante disso, fica evidente o efeito positivo dessa formulação em diminuir o metabolismo do fruto. Entre os tratamentos contendo o látex de mangabeira, o revestimento FLG (fécula + látex 25% + glicerol 7%) se diferencia dos demais tratamentos contendo látex de mangabeira, pois se mostrou mais eficiente em controlar o metabolismo do fruto e consequentemente manteve os níveis de acidez dos frutos.

Felicio *et al.* (2021) estudando mangabas revestidas com proteína do leite encontraram valores para acidez que variaram entre 0,98 e 0,27% de ácido cítrico durante oito dias de armazenamento. Soares et al. (2008) obtiveram acidez titulável de 0,78 e 0,38% em mangabas sob atmosfera modificada usando plásticos PVC e PEBD (polietileno de baixa densidade), evidenciando diminuição da taxa de respiração do fruto mantido sob temperatura refrigerada e consequentemente mantendo a acidez por maior período, chegando a dez dias de armazenamento.

19.3.6 Razão SS/AT

As mangabas apresentaram aumento da razão SS/AT com o tempo de armazenamento dos frutos, Figura 36. Tal comportamento ocorreu devido ao acréscimo de SS durante o armazenamento e o concomitante decréscimo no teor de acidez titulável dos frutos. A razão SS/AT é uma medida à qual se relaciona o balanço doçura/ acidez dos produtos e, geralmente identifica a maturidade de frutas (ZENEBON; PASCUET; TIGLEA, 2008).

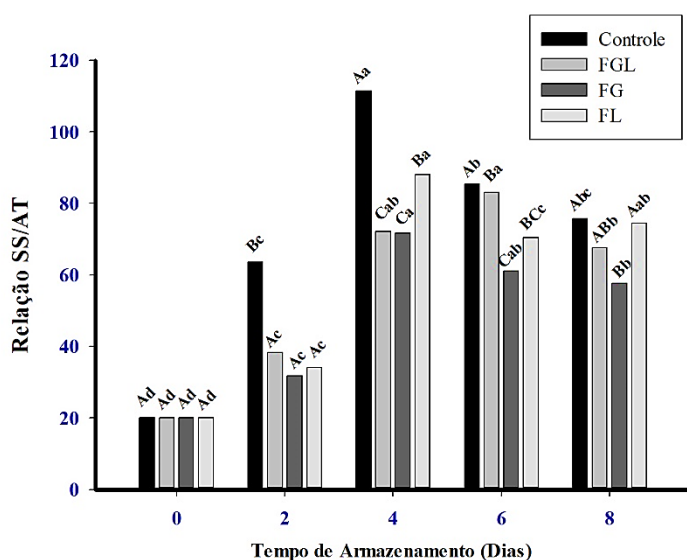
Apesar de não ter sido detectada diferença significativa ($p < 0,05$) no teor de SS dos frutos, com os tratamentos a partir do 4º dia de armazenamento (Figura 34), para a acidez titulável houve diferenças significativas (Figura 35). Isso influenciou os resultados da razão SS/AT dos frutos entre os tratamentos.

No 2º dia de armazenamento, houve um aumento na relação SS/AT (Sólidos Solúveis / Acidez Total) em frutos sem revestimento em comparação com os tratamentos com cobertura. Isso sugere que a acidez nos frutos sem revestimento diminuiu mais rapidamente, o que pode ser atribuído ao rápido amadurecimento, influenciando diretamente na doçura dos frutos. No 4º dia de análise, observou-se uma diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos com revestimento, evidenciando o tratamento FL que apresentou valores superiores em relação aos outros tratamentos, mas ainda inferiores ao controle. Isso indica que o

tratamento FL foi eficaz em manter a qualidade dos frutos. Entre o sexto e oitavo dia de armazenamento, o revestimento FG demonstrou maior eficácia em relação aos outros tratamentos. Os frutos do tratamento controle mostraram uma maior relação SS/AT ao longo dos oito dias de análise. Dessa maneira, percebeu-se que o revestimento FG conseguiu prolongar o amadurecimento e manter a qualidade dos frutos por mais tempo.

O uso dos revestimentos com e sem a adição do látex de mangabeira se mostrou eficiente, melhorando as condições de hidrofobicidade. Os resultados obtidos na solubilidade (Gráfico 16) e na PVA (Gráfico 17) nesse estudo reforçam essa tendência. A hidrofobicidade é uma característica relevante em diversas aplicações, como embalagens de alimentos, revestimentos e barreiras contra a umidade, o que contribui para a manutenção da qualidade de frutas e hortaliças por um período maior de tempo.

Figura 36 - Relação SS/AT para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 10,02.



Fonte: O autor (2023).

Nascimento; Cardoso; Coccoza (2014) evidenciaram em mangabas maduras coletadas no Oeste Baiano valores para relação a SS/AT entre (28,80 e 14,78) acima dos encontrados durante o período de armazenamento neste trabalho. Cohen; Sano (2010) determinaram valores para SS/AT variando de (16,4 a 12,6) para SS/AT de mangabas em estágio de maturação avançado em temperatura ambiente.

De acordo com Reis; Schmiele (2019) uma razão SS/AT em níveis elevados pode indicar melhor aplicação de frutos de mangaba em indústrias de processamento para o beneficiamento na forma de polpas, doces, sorvetes, e geleias em virtude da quantidade de açúcar presente na fruta.

19.3.7 pH (potencial hidrogeniônico)

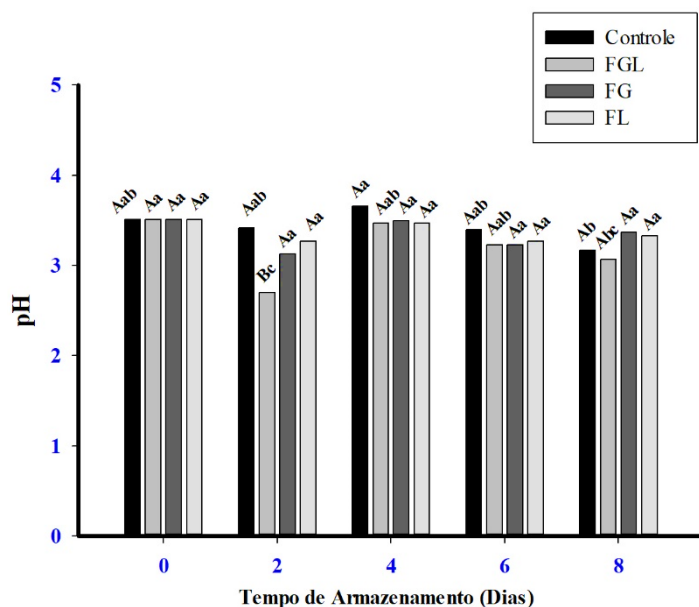
Os valores de pH dos frutos de mangaba variaram significativamente ($p < 0,05$) conforme os tratamentos apenas aos 2 dias de armazenamento dos frutos (Figura 37). Nesse período, nota-se uma diminuição no pH dos frutos revestidos com o tratamento fécula + látex 25% + glicerol 7% (FLG) $2,70 \pm 0,3$ diferindo estatisticamente dos demais tratamentos FG, FL e do controle $3,13 \pm 0,2$; $3,27 \pm 0,1$ e $3,42 \pm 0,2$, respectivamente.

Até o oitavo dia de armazenamento verificou-se que os frutos dos tratamentos FG e FL mantiveram a estabilidade do pH, em valores situados entre 3,37 e 3,33. Enquanto, mangabas revestidas com FGL apresentaram pH igual a 3,07 inferior ao controle com 3,17. De acordo com Felicio *et al.* (2021), o processo de senescência dos frutos possibilita o consumo de ácidos orgânicos, os quais condicionam a respiração celular na tentativa de manter a integridade do fruto. Contudo, o pH tende a aumentar à medida que a acidez diminui (Gráfico 35). Os autores relataram ainda uma elevação no pH de mangabas revestidas com quitosana, analisadas sob temperatura ambiente $25\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ de 4,12 a 4,84.

Souza (2012) determinou o pH para frutos da mangaba revestidos em solução de fécula de mandioca + quitosana, foram encontrados valores entre 3,2 e 2,8 que corroboram com os resultados estabelecidos nesta pesquisa. Resultado parecido foi apresentado por Lima *et al.* (2015) analisando mangabas “maduras”, “de vez” em baixa temperatura (10 °C) determinando valores de pH variando entre 3,50 e 3,43.

Soares *et al.* (2008) encontraram em mangabas, sob atmosfera modificada e em baixa temperatura, pH com valores médios entre 4,89 e 3,83. Níveis que diferem parcialmente dos observados nas mangabas com e sem revestimento deste trabalho.

Figura 37 - Valores de pH para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 3,46.



Fonte: O autor (2023).

19.3.8 Vitamina C

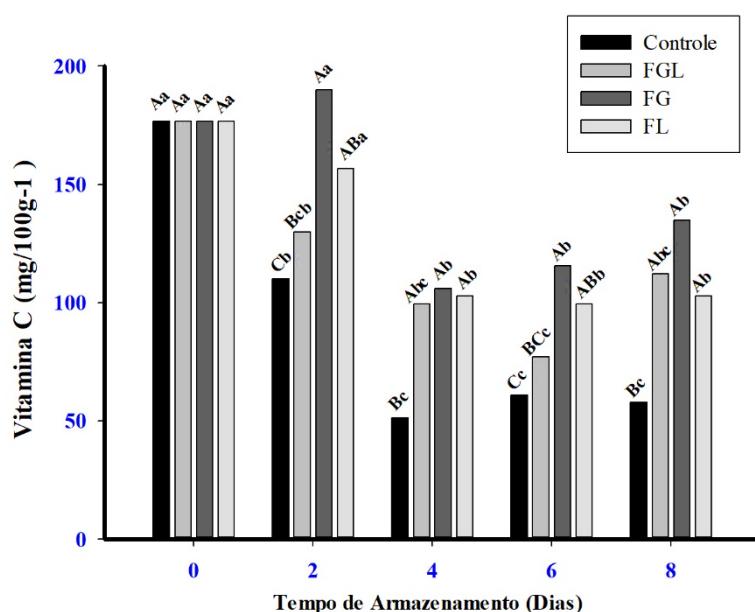
Houve efeito de tratamento para o teor de vitamina C durante o período de armazenamento dos frutos (Figura 38). Exceto aos dois dias de armazenamento, em que se verificou aumento no teor de ácido ascórbico nos frutos revestidos com FG; nos demais tratamentos e tempos de armazenamento houve um decréscimo nos valores de vitamina C dos frutos, independente do tratamento. De acordo com Romeo *et al.* (2020), a vitamina C diminuiu em frutos durante o período de estocagem, isso é devido à sua ação antioxidante na célula (SOARES, 2021).

Ao longo do período de armazenamento, o revestimento FG manteve o teor de ácido ascórbico dos frutos superior ao controle. Aos oito dias de armazenamento, as perdas de vitamina C nos frutos foram de 67,31 % (controle), 36,42 % (FLG), 23,71 % (FG) e 41,86 % (FL). Os valores evidenciados de vitamina C nos frutos da mangaba variaram entre 51,3 e 190,0 mg/100g⁻¹.

Apesar da diminuição nos teores de vitamina C durante o período de armazenamento dos frutos, pode-se inferir que os revestimentos, especialmente FG, foram mais efetivos em

atrasar a senescência do fruto. Foi evidenciado semelhante resultado por Silva *et al.* (2021) em goiabas revestidas com amido de mandioca 40% + quitosana 20%+ gelatina 40%, onde se verificou valores para vitamina C entre 103,91 e 74,75 mg/100g⁻¹.

Figura 38 - Vitamina C para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% ± 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 12,82.



Fonte: O autor (2023).

19.3.9 Atividade Antioxidante (EC₅₀)

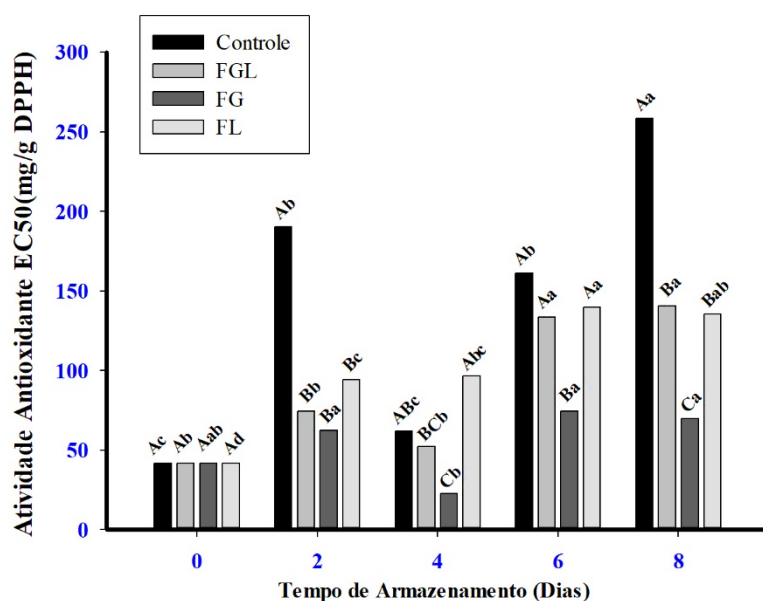
Verifica-se diferença estatística entre a atividade antioxidante dos frutos, conforme o tratamento, ao longo do período de armazenamento (Figura 39). Aos dois dias, os frutos do controle apresentaram menor atividade antioxidante que os frutos revestidos. Além dos compostos fenólicos, também a vitamina C influencia na atividade antioxidante (SOARES, 2021). Nesse contexto, evidenciou-se que os frutos do tratamento controle apresentaram um decréscimo mais acentuado no teor de vitamina C, ao longo do período de armazenamento.

Exceto aos quatro dias, nos demais tempos de armazenamento é observado que os frutos com revestimento FLG, FG e FL apresentam maior potencial sequestrante do radical DPPH, visto que um pico na EC₅₀ é verificado no controle; isso indica uma menor ação antioxidante, como explica Cassimiro (2017), quanto maior a atividade antioxidante menor é a quantidade necessária para atuar como agente degradante da solução estável de DPPH.

Avaliando-se os tratamentos, no 4º dia verifica-se que o revestimento FLG foi semelhante ao controle e significativamente diferente do revestimento FL. Por outro lado, o revestimento FG apresentou resultado semelhante aos demais tratamentos e apresentou valor inferior ao controle. Aos seis e oito dias, o revestimento FG apresentou melhor percentual de inibição, com média de 82,7 e 86,8%, respectivamente.

A atividade sequestrante do radical livre DPPH expressa em termos de EC_{50} (Concentração mínima para o antioxidante reduzir 50% da concentração inicial do DPPH), indica que quanto menor o valor do EC_{50} , maior é a capacidade antioxidante das substâncias presentes nas amostras (MEDA *et al.*, 2005; PAULA, 2015).

Figura 39 - Atividade antioxidante EC_{50} (mg/g DPPH) para frutos da mangaba sob diferentes tratamentos Controle (C) e revertidos em FLG - fécula + látex + glicerol, FG - fécula + glicerol, FL - fécula + látex em função do período de armazenamento a 23°C e UR de 70% $\pm$ 3. Os dados representam a média de três repetições. Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos no mesmo período de armazenamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatisticamente significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV(%) = 8,97.



Fonte: O autor (2023).

Ao longo da avaliação, até o oitavo dia de armazenamento, é percebida uma diminuição da capacidade redutora no extrato preparado com os frutos não revestidos, por outro lado, as amostras nos tratamentos com cobertura biopolimérica apresentam maior eficiência em sequestrar radicais livres na solução de DPPH, com atenção especial ao revestimento FG que proporcionalmente evidenciou maior capacidade antioxidante.

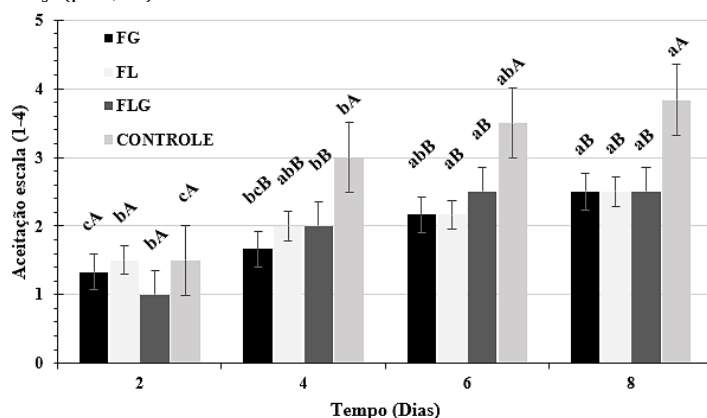
Segundo Assumpção *et al.* (2014), a capacidade antioxidante da mangaba é justificada, em parte, pela grande quantidade de compostos fenólicos que compõe o fruto, o que melhora

as propriedades redutoras específicas de substâncias polifenólicas que exibem intensidade diferente de ação antioxidante dependendo do agrupamento de grupos hidroxilas presentes na molécula.

19.3.10 Análise Sensorial

Os resultados da análise de aceitação dos frutos durante o período de armazenamento estão representados na Figura 40. Verifica-se uma melhor aceitação dos frutos nos tratamentos com cobertura biopolimérica. Sendo estatisticamente avaliado ($p < 0,05$) como “bom” e “excelente” os frutos revestidos com FL e FG, até o quarto dia de armazenamento respectivamente. Os demais tratamentos não diferem entre si, porém, observa-se que o controle foi julgado com a pior avaliação pelos avaliadores tornando-se inaceitável no oitavo dia de armazenamento.

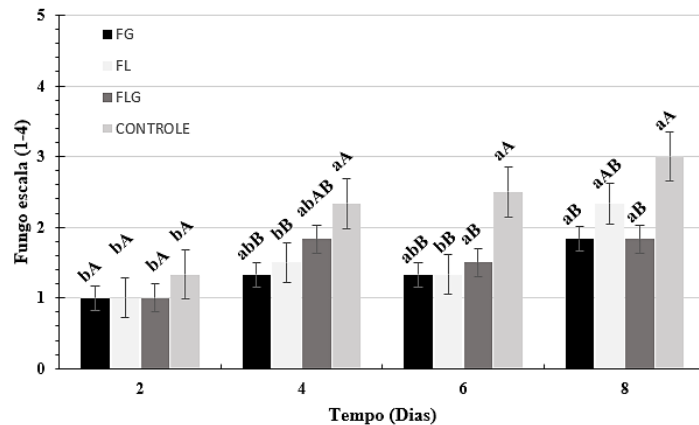
Figura 40 - Índice de Aceitação de Mangabas armazenadas sob tratamentos FG, FL, FLG e controle utilizando escala hedônica, 1 = Excelente (fresco) a 4 = Inaceitável (desidratação grave, enrugado, mofo). O resultado representa a média $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os tratamentos no mesmo tempo de armazenamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: O autor (2023).

Em relação ao surgimento de fungos sobre a superfície da mangaba é observado que em praticamente todos os tratamentos o parâmetro “aceitável” permaneceu constante a partir do quarto dia de armazenamento, não diferindo significativamente entre os tratamentos. Todavia, vale ressaltar que os revestimentos FG e FL foram considerados “excelentes” durante o armazenamento até o sexto dia de avaliação como apresentado na Figura 41.

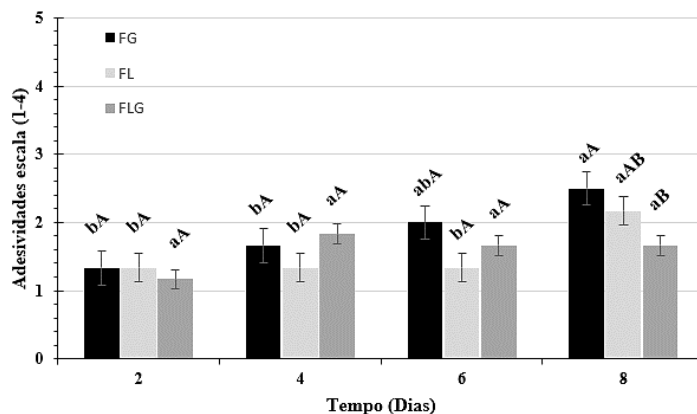
Figura 41 - Avaliação da ocorrência de fungo em mangabas armazenadas sob tratamentos FG, FL, FLG e controle utilizando escala hedônica. 1 = Excelente (ausência de fungo) a 4 = Inaceitável (Fungo severo afetando mais de 50% do fruto). O resultado representa a média $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os tratamentos no mesmo tempo de armazenamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: o autor (2023).

As notas para avaliação da adesividade do filme - Figura 42 - não diferiram estatisticamente entre si, no entanto é verificada uma melhor aderência do filme ao fruto da mangaba no tratamento FL considerado “excelente” pelos julgadores até o sexto dia de armazenamento. Segundo Menezes (2021), uma boa adesão do revestimento à superfície do fruto confere ao material um maior tempo de vida útil auxiliando na manutenção das qualidades nutracêuticas e organolépticas, imprescindíveis para comercialização.

Figura 42 - adesividade do filme em mangabas armazenadas sob tratamentos FG, FL, FLG e controle utilizando escala hedônica. 1 = Excelente (Sem descamação) a 4 = Inaceitável (com descamação intensa afetando mais de 50% do fruto). O resultado representa a média $\pm$ desvio padrão. Letras minúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os tratamentos no mesmo tempo de armazenamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas diferentes indicam uma diferença estatística significativa entre os dias de armazenamento no mesmo tratamento pelo teste Tukey ($p < 0,05$).



Fonte: O autor (2023).

Mariano-Nasser *et al.* (2016) avaliaram a aparência visual de mangabas utilizando revestimento de quitosana a 0,25, 0,5 e 2,0%; um tratamento controle foi utilizado para fins de comparação. Ao final do tempo de armazenamento, frutos revestidos com o tratamento a 2,0% de quitosana apresentaram melhor avaliação durante os 15 dias de armazenamento.

Souza (2012) avaliou a aparência visual de mangabas sob revestimento de fécula de mandioca 2% + quitosana 1,5%. Um teste sensorial foi utilizado numa escala não estruturada de números variando de 0- fruto verde, 4,5- maduro e 9- fruto passado. mangabas que receberam revestimento com maior concentração apresentaram melhor avaliação por maior tempo de armazenamento.

20. CONCLUSÃO

A incorporação de 25% de látex de mangabeira foi eficaz em reduzir o comportamento higroscópico do filme, resultando em materiais menos solúveis e com PVA até 50% menor em comparação com o filme controle. Esse comportamento está relacionado à maior participação do látex na mistura em razão da menor quantidade de glicerol. De outro modo, a resistência à tração dos filmes foi desfavorecida com a adição de concentrações de látex acima de 10% caracterizado por reduzida tenacidade e menor resistência à ruptura, devido à baixa miscibilidade da borracha natural à matriz do biopolímero. O látex de mangabeira propiciou ainda filmes de aparência mais opacas e mais amarelados, o que pode ser considerado efetivo no uso desse material como precursor de embalagens ou revestimentos de menor sensibilidade à luz.

As misturas biopoliméricas nos tratamentos FG (fécula + glicerol 7%) e FLG (fécula + látex 25% + glicerol 7%) se mostraram apropriadas à manutenção da mangaba por um período de armazenamento favorável à comercialização entre quatro e seis dias. A perda de massa foi significativamente menor em frutos que receberam revestimento em relação ao controle. Além disso, as propriedades de barreira das coberturas melhoraram de modo significativo os parâmetros ligados à cor, sólidos solúveis, acidez, vitamina C e atividade antioxidante que apresentaram estágio de maturação mais estáveis por maior período de armazenamento.

A análise sensorial durante o período de armazenamento indicou melhor aproveitamento dos frutos da mangaba revestidos com FG (fécula + glicerol 7%) e FL (fécula + látex 25%), evidenciado pela melhor aceitação.

21. REFERÊNCIAS

- AGUILAR, J. M. *et al.* Effect of different polyols as plasticizers in soy based bioplastics. **Industrial Crops and Products**, v. 153, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112522>.
- ALMEIDA, L. M. *et al.* Hancornia speciosa latex for biomedical applications : physical and chemical properties , biocompatibility assessment and angiogenic activity. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 25, p. 2153–2162, 2014. DOI 10.1007/s10856-014-5255-8.
- ALMEIDA, L. M. *et al.* Potenciais biotecnológicos do látex de Hancornia speciosa gomes (mangabeira): látex de mangabeira. In: Produtos Naturais e Suas Aplicações: da comunidade para o laboratório. **Editora Científica Digital**, 2021. p. 268–279. DOI 10.37885/210203063.
- ALONSO-GONZÁLEZ, M. *et al.* Rice bran-based bioplastics: Effects of the mixing temperature on starch plastification and final properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 188, p. 932–940, 2021. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2021.08.043
- ALVES, T. DE A.; MOURA, C. F. H.; SILVEIRA, R. S. Características físicas de frutos da mangabeira (Hancornia speciosa gomes) nativos do Semi-Árido piauiense. **Embrapa informação tecnologica**, p. 1–5, 2010.
- AMARAL, F. G. **Desenvolvimento de filme comestível a base de fécula de açafrão (curcuma longa L.) e lipídeos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiania, 2014.
- ANDRADE, K. L. *et al.* Latex and natural rubber: recent advances for biomedical applications. **Polimeros**, v. 32, n. 2, p.1-12, 2022. DOI <https://doi.org/10.1590/0104-1428.20210114>.
- ARMYNAH, B.; ANUGRAHWIDYA, R.; TAHIR, D. Composite cassava starch/chitosan/Pineapple Leaf Fiber (PALF)/Zinc Oxide (ZnO): Bioplastics with high mechanical properties and faster degradation in soil and seawater. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 213, p. 814–823, 2022. DOI 10.1016/j.ijbiomac.2022.06.038.
- ARRUDA, DA S. A. *et al.* Magabeira latex production evaluation in cerrado region of goiás Goiano. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 939–948, 2016. DOI <https://doi.org/10.5902/1980509824222>.
- ASSUMPÇÃO, C. F. *et al.* Caracterização, potencial antioxidante e estudo citotóxico de frutos de mangaba. **Ciencia Rural**, v. 44, n. 7, p. 1297–1303, 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20130855>.
- ASTM D-882. Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting, method D882-10. **Annual Book of ASTM Standards**, v. 87, n. Reapproved, p. 1–10, 2017.
- AVELINO, K. R. DE S. **Filmes Comestíveis à Base de Tomate (LYCOPERSICON ESCULENTUM)**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2019.

BALLESTEROS-MÁRTINEZ, L.; PÉREZ-CERVERA, C.; ANDRADE-PIZARRO, R. Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. **Official Journal of the Society of Nutrition and Food Science**, v. 20, p. 1–9, ago. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.06.002>.

BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 348–356, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.122>.

BEN, Z. Y.; SAMSUDIN, H.; YHAYA, M. F. Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films. **European Polymer Journal**, v. 175, p. 111–377, jul. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2022.111377>.

BRASIL, A. S. *et al.* Avaliação da qualidade físico-química de polpas de fruta congeladas comercializadas na cidade de Cuiabá-MT. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, n. 1, p. 167–175, fev. 2016. DOI <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-253/14>.

CAI, Z. *et al.* The modification of properties of thermoplastic starch materials: Combining potato starch with natural rubber and epoxidized natural rubber. **Materials Today Communications**, v. 26, p. 101–912, mar. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101912>.

CAMPOS, P. M. O. **Desempenho zootécnico dos camarões *litopenaeus vannamei* e *macrobrachium rosenbergii* em tanques rede e aquicultura familiar n a comunidade de bebida - velha, RN**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

CAMPOS, R. P. *et al.* 1-MCP em Mangabas armazenadas em temperatura ambiente e a 11oC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 206–212, out. 2011. DOI <https://doi.org/10.1590/S0100-29452011000500024>

CARNELOSSI, M. A. G. *et al.* Conservação pós-colheita de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 5, p. 1119–1125, 2004. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500021>.

CEREDA, M. P.; BRITO, V. H. DOS S. Tiquira Ciência e Tecnologia. **Ciência e Tecnologia de Alimentos e Bebidas Alcoolicas**. v. 1, n. abr. 2015.

CESAR, M. B. *et al.* Development and Characterization of Natural Rubber Latex and Polylactic Acid Membranes for Biomedical Application. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 28, n. 1, p. 220–230, 31 jan. 2020. DOI <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01596-8>.

CHANDRA MOHAN, C. *et al.* Effect of film constituents and different processing conditions on the properties of starch based thermoplastic films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 120, p. 2007–2016, 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.161>.

CHENG, H. *et al.* Starch-based biodegradable packaging materials: A review of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 114, p. 70–82, ago. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.017>.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2 ed. **Lavras: UFLA**, 2005. 783p.

COHEN, K. DE O.; SANO, S. M. Parâmetros físico-químicos dos frutos de mangabeira. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Cerrados*, 272, p. 11, 2010.

COSTA, F. *et al.* Revestimentos comestíveis à base de fécula de mandioca (manihot esculenta) em produtos vegetais: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. 54511427428, 26 mar. 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27428>

COSTA, T. L. E. DA. **Desenvolvimeto e Caracterização de Filmes e Blendas Poliméricas de Quitosana, Pectina e Fécula De Mandioca para Revestimento em Frutos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

CRUZ, R. M. S. *et al.* Bioplastics for Food Packaging: Environmental Impact, Trends and Regulatory Aspects. **Foods**, v. 11, n. 19, p. 3087, 5 out. 2022. DOI <https://doi.org/10.3390/foods11193087>.

D'ABADIA, P. L. **Caracterização das Frações do Látex de Hancornia speciosa (Mangabeira): Atividade Angiogênica, Expressão de Genes e Prospeção Fitoquímica**. 2017. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais do Cerrado) - Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2017.

DIYANA, Z. N. *et al.* Thermoplastic starch/beeswax blend: Characterization on thermal mechanical and moisture absorption properties. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 190, p. 224–232, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.201>.

EBRAHIMI, V. *et al.* Fabrication and characterization of a pH-sensitive indicator film by purple basil leaves extract to monitor the freshness of chicken fillets. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 34, p. 100-946, dez. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2022.100946>.

EUROPA BIOPLASTICS, M.-B. What are bioplastics. **European Bioplastics**, p. 19–20, 2022.

FAO. OECD-FAO **Agricultural Outlook 2021-2030**. OECD, 2021. DOI <https://doi.org/10.1787/19428846-en>.

FARAHNAKY, A.; SABERI, B.; MAJZOBI, M. Effect of glycerol on physical and mechanical properties of wheat starch edible films. **Journal of Texture Studies**, v. 44, n. 3, p. 176–186, 2013. DOI <https://doi.org/10.1111/jtxs.12007>.

FELICIO, N. T. F. *et al.* Effect of biodegradable coatings on the shelf life of Hancornia speciosa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 51, p. 1–8, 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/1983-40632021v51i64825>.

FERREIRA, D. C. M.; MOLINA, G.; PELISSARI, F. M. Effect of Edible Coating from Cassava Starch and Babassu Flour (Orbignya phalerata) on Brazilian Cerrado Fruits Quality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 1, p. 172–179, 31 jan. 2020. DOI <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02366-z>.

FILHO, A. N. K. *et al.* Qualidade da borracha e teor de borracha seca (DRC) do látex de clones amazônicos de seringueira. **Revista UA Ciências Agrárias**, v. 5, p. 47–56, 1996.

FLORIANO, J. F. *et al.* Comparative study of Bone tissue accelerated regeneration by latex membranes from *Hevea brasiliensis* and *Hancornia speciosa*. **Biomedical Physics and Engineering Express**, v. 2, n. 4, 2016. DOI : 10.1088/2057-1976/2/4/045007.

FOLINO, A.; PANGALLO, D.; CALABRÒ, P. S. Assessing bioplastics biodegradability by standard and research methods: Current trends and open issues. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 2, p. 109-424, abr. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.109424>.

FRANÇA, G. *et al.* Parâmetros colorimétricos no sistema CIELAB para madeiras de florestas naturais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 16, n. 30, p. 435, 15 dez. 2019. DOI 10.4336/2018.pfb.38e201601394.

GADALETA, G. *et al.* Life cycle assessment of end-of-life options for cellulose-based bioplastics when introduced into a municipal solid waste management system. **Science of the Total Environment**, v. 871, p. 161-958, Out. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161958>.

GALDEANO, M. C. *et al.* Efeito do Processamento e das Condições Ambientais nas Propriedades de Matérias Biodegradáveis de Amido de Aveia. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 24, n. 1, p. 80–87, 2014. DOI <https://doi.org/10.4322/polimeros.2013.073>.

GASPAR, M. C.; BRAGA, M. E. M. Edible films and coatings based on agrifood residues: a new trend in the food packaging research. **Current Opinion in Food Science**, v. 50, p. 101-006, 2023. DOI: 10.1016/j.crfs.2022.09.008.

GHASEMLOU, M. *et al.* Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. **Carbohydrate Polymers**, v. 98, n. 1, p. 1117–1126, 2013. DOI <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.026>.

GODINHO, D. *et al.* Caracterização de frutos de mangabas (*Hancornia speciosa* Gomes) e estudo de processo de extração da polpa. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 2, n. 3, p. 1–7, 2015.

GOMES DE MENEZES, F. L. *et al.* TiO₂-enhanced chitosan/cassava starch biofilms for sustainable food packaging. **Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 630, p. 127-661, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127661>.

GOMES, W. P. **Prevulcanização do látex natural extraído da “*Hancornia speciosa* gomes” (mangabeira) e da “*Hevea brasiliensis*” (seringueira)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

GONÇALVES, G. A. S. **Estabilidade da Polpa de Mangaba (*Hancornia speciosa* gomes) congelada e armazenada**. 2017. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017.

GUNDEWADI, G. *et al.* Nanoemulsion based alginate organic coating for shelf life extension of okra. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 18, p. 1–12, 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.08.002>.

GUTIÉRREZ, T. J. *et al.* Physico-chemical properties of edible films derived from native and phosphorylated cush-cush yam and cassava starches. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 3, p. 1–8, 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.09.002>.

HAFILA, K. Z. *et al.* Effect of palm wax on the mechanical, thermal, and moisture absorption properties of thermoplastic cassava starch composites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 194, p. 851–860, jan. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.11.139>.

HELIODORO, V. F. M. **Estudo das propriedades físico-químicas de filmes de amido e blends amido/latex: propriedades térmicas e de transporte de vapor de água**. 2013. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

HERNÁNDEZ, M. S.; LUDUEÑA, L. N.; FLORES, S. K. Citric acid, chitosan and oregano essential oil impact on physical and antimicrobial properties of cassava starch films. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, v. 5, p. 100–307, jun. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100307>.

HOLSBACH, F. M. S. *et al.* Avaliação da vida útil de mamão formosa (*Carica papaya* L.) minimamente processado utilizando coberturas de amido de mandioca e óleo essencial de cravo. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 6, n. 4, p. 78–96, 2019. DOI: 10.18067/jbfs.v6i4.269. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106921>.

HUANG, S. *et al.* New insight into starch retrogradation: The effect of short-range molecular order in gelatinized starch. **Food Hydrocolloids**, v. 120, n. 29, p. 106–921, nov. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106921>.

IBGE. Produção da Extração Vegetale da Sivilcutura. **IBGE**, v. 36, p. 1–8, 2022.

JANTANASAKULWONG, K. *et al.* Reactive blending of thermoplastic starch, epoxidized natural rubber and chitosan. **European Polymer Journal**, v. 84, p. 292–299, nov. 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2016.09.035>.

JANTASRIRAD, S. *et al.* Effect of filler and sonication time on the performance of brown alga (*Sargassum plagiophyllum*) filled cassava starch biocomposites. **Algal Research**, v. 56, p. 102–321, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102321>.

JARAMILLO, C. M. *et al.* Biofilms based on cassava starch containing extract of yerba mate as antioxidant and plasticizer. **Starch/Staerke**, v. 67, n. 9–10, p. 780–789, 2015. DOI: 10.1002/star.201500033.

JIANG, X. *et al.* Studies of the plasticizing effect of different hydrophilic inorganic salts on starch/poly (vinyl alcohol) films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 82, n. 3, p. 223–230, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.046>.

JUCÁ, T. L. *et al.* Aspectos etnobotânicos e potencial farmacológico de plantas laticíferas localizadas no sítio São Vicente, município de Santana do Matos, Rio Grande do Norte. **Revista Extensão & Sociedade**, v. 8, p. 49, 2016. DOI: <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2021v10i3.p145-154>.

JÚNIOR, M. S. S. *et al.* Conservação Pós-Colheita de Mangaba sob Refrigeração e Modificação da Atmosfera de Armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 78–86, 2008. DOI: 10.5216/pat.v38i2.4170.

JÚNIOR PERES, J. B. R. **Estudo das Características do látex e da borracha de Hevea brasiliensis cultivadas e nativas da Amazônia**. 2019. Tese de Doutorado – (Doutorado em Química) - UNB, 2019.

KEDZIERSKI, M. *et al.* Why is there plastic packaging in the natural environment? Understanding the roots of our individual plastic waste management behaviours. **Science of The Total Environment**, v. 740, p. 139–985, out. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139985>.

KONICA MINOLTA. Os colorímetros simplificam a identificação das cores . **Valores tristímulus XYZ e Espaço de cor Yxz**. p. 15–19, 2017.

KUMARI, S. V. G.; PAKSHIRAJAN, K.; PUGAZHENTHI, G. Recent advances and future prospects of cellulose, starch, chitosan, polylactic acid and polyhydroxyalkanoates for sustainable food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 221, p. 163–182, nov. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.08.203>.

LA, D. D. *et al.* Effects of antibacterial ZnO nanoparticles on the performance of a chitosan/gum arabic edible coating for postharvest banana preservation. **Progress in Organic Coatings**, v. 151, p. 106–057, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106057>.

LA FUENTE, C. I. A. *et al.* Ozonation of cassava starch to produce biodegradable films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 141, p. 713–720, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.09.028>.

LÉDO, A. DA S. *et al.* A Cultura Da Mangaba. Coleção plantar, **EMBRAPA**, n. 73, Brasília-DF, 2015. ISBN 978-85-7035-509-6.

LEKSAWASDI, N. *et al.* Corn starch reactive blending with latex from natural rubber using Na⁺ ions augmented carboxymethyl cellulose as a crosslinking agent. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 1–10, 2021. DOI <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98807-x>.

LIM, W. S. *et al.* Heat-sealing property of cassava starch film plasticized with glycerol and sorbitol. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, p. 100–556, dez. 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100556>.

LIMA, J. P. DE; *et al.* Climacteric pattern of mangaba fruit (*Hancornia speciosa* Gomes) and its responses to temperature. **Scientia Horticulturae**, v. 197, p. 399–403, dez. 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.059>.

LIU, X. *et al.* Mechanistic studies of starch retrogradation and its effects on starch gel properties. **Food Hydrocolloids**, v. 120, n. 29, p. 106–914, nov. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106914>.

MADDALOZZO, A. E. D. **Obtenção e caracterização de curativos de látex de borracha natural com adição de hidroxiapatita e nanopartículas de prata para usos biomédicos**. 2021. Dissertação

(Mestrado em Biotecnologia) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

MAJEED, T. *et al.* Role of additives in starch-based edible films and coating: A review with current knowledge. **Progress in Organic Coatings**, v. 181, p. 107-597, ago. 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107597>.

MARIANO-NASSER, F. A. D. C. *et al.* Conservação de mangabas submetidas à aplicação de quitosana. **Científica**, v. 44, n. 3, p. 279, 18 jul. 2016. DOI: 10.15361/19845529.2016v44n3p279-285.

MAT YASIN, N.; AKKERMANS, S.; VAN IMPE, J. F. M. Enhancing the biodegradation of (bio) plastic through pretreatments: A critical review. **Waste Management**, v. 150, 2021, p. 1–12, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.004>.

MATOS, C. F.; GALEMBECK, F.; ZARBIN, A. J. G. Multifunctional nanocomposites of natural rubber latex and carbon nanostructures. **Revista Virtual de Química**, v. 150, 2021, p. 1–12, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.06.004>.

MEDA, A. *et al.* Determination of the total phenolic, flavonoid and proline contents in Burkina Fasan honey, as well as their radical scavenging activity. **Food Chemistry**, v. 91, n. 3, p. 571–577, jul. 2005. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.006>.

MEDEIROS TEODOSIO, A. E. M. *et al.* Effects of edible coatings of Chlorella sp. containing pomegranate seed oil on quality of Spondias tuberosa fruit during cold storage. **Food Chemistry**, v. 338, 2020, p. 127-916, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127916>.

MÉITÉ, N. *et al.* Effect of metakaolin content on mechanical and water barrier properties of cassava starch films. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 40, p. 186–194, abr. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.03.005>.

MENEZES, F. L. G. DE. **Avaliação de filmes biopoliméricos com incorporação de nanopartículas de tio2 e sua aplicação na conservação pós-colheita do mamão**. 2021. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

MONTEIRO, M. K. S. *et al.* Analysis of water barrier, mechanical and thermal properties of nanocoposites based on cassava starch and natural clay or modified by anionic exchange. **Materials Research**, v. 20, p. 69–76, 2017. DOI <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-1087>.

MONTEIRO, M. K. S. *et al.* Incorporation of bentonite clay in cassava starch films for the reduction of water vapor permeability. **Food Research International**, v. 105, 2017, p. 637–644, mar. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.030>.

MORELLI, F. C.; FILHO, A. R. Nanocompósitos de polipropileno e argila organofílica: Difração de raio X, espectroscopia de absorção na região do infravermelho e permeação ao vapor d'água. **Polimeros**, v. 20, n. 2, p. 121–125, 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S0104-14282010005000014>.

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. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.083>.

NASCIMENTO, R. S. M.; CARDOSO, J. A.; COCOZZA, F. D. M. Caracterização física e físico-química de frutos de mangabeira (*Hancornia speciosa* Gomes) no oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 8, p. 856–860, ago. 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n08p856-860>.

NASSER, F. A. C. M. *et al.* Uso de sachê de permanganato de potássio na pós-colheita de mangabas. **Nativa**, v. 3, n. 4, p. 246–251, 20 dez. 2015. DOI 10.14583/2318-7670.v03n04a04.

NASSER, F. A. DE C. M. **Conservação pós-colheita de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes)**. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Ilha 54 Solteira, 2014.

NAWAB, A. *et al.* Biodegradable film from mango kernel starch: Effect of plasticizers on physical, barrier, and mechanical properties. **Starch/Staerke**, v. 68, n. 9–10, p. 919–928, 2016. DOI: 10.1002/star.201500349.

OLIVEIRA, A. K. DE S. **Efeito antioxidante e hepatoprotetor de mangaba (*Hancornia speciosa* g.) Em modelo de estresse oxidativo induzido por tetracloreto de carbono**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

OLIVEIRA, A. P. Quality of mangabeira fruits from different maturation stages treated with CaCl₂. **Research, Society and Development**, v. 10, p. 1–9, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i3.13340.

OLIVEIRA, B. N. F. **Filmes mistos de alginato de sódio e cera de abelha: preparação, caracterização e aplicação em embalagens para mel de abelha (*apis mellifera* l.)**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ambiente, Sociedade e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

OLIVEIRA, T. Í. S. *et al.* Bionanocomposite films based on polysaccharides from banana peels. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 101, p. 1–8, 2017. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.068.

OLIVEIRA, V. R. L. *et al.* Use of biopolymeric coating hydrophobized with beeswax in postharvest conservation of guavas. **Food Chemistry**, v. 259, p. 55–64, 2018. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.03.101.

OLIVEIRA, V. R. L. **Avaliação da incorporação de cera de abelha na hidrofobização de filmes biopoliméricos e seu efeito como cobertura na conservação pós-colheita da goiaba**. Mossoró RN: UFERSA, 2017. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2017.

ORDOÑEZ, R.; ATARÉS, L.; CHIRALT, A. Physicochemical and antimicrobial properties of cassava starch films with ferulic or cinnamic acid. **LWT - Food Science and Technology**, v. 144, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111242.

PAULA, L. C. **Efeito de diferentes métodos de conservação sobre os compostos bioativos e atividade antioxidante de mangaba (*Hancornia speciosa gomes*)**. 2015. Dissertação

(Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

PEREIRA, G. V. *et al.* Effect of the Mixture of Polymers on the Rheological and Technological Properties of Composite Films of Acoupa Weakfish (*Cynoscion acoupa*) and Cassava Starch (*Manihot esculenta* C.). **Food and Bioprocess Technology**, v. 14, n. 7, p.1199–1215, 30 jul. 2021. DOI <https://doi.org/10.1007/s11947-021-02622-1>.

PÉREZ-VERGARA, L. D. *et al.* Development and characterization of edible films based on native cassava starch, beeswax, and propolis. **Official Journal of the Society of Nutrition and Food Science**, v. 21, p. 39–49, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2020.09.002>.

PERFEITO, D. G. DE A. **Processamento da polpa de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes)**. 2014. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.

PINHEIRO, E. *et al.* O Látex e a Borracha da Mangabeira. **EMBRAPA**, v. 202, n. Dezembro, p. 1089–1096, 2004.

PLACIDO, G. R. *et al.* Use of pectin in the storage of mangaba fruits (*Hancorniaspeciosa* Gomes) associated with refrigeration. **African Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 39, p. 2786–2799, 2015. DOI: 10.5897/AJB2015.14526.

PODSHIVALOV, A. *et al.* Gelatin/potato starch edible biocomposite films: Correlation between morphology and physical properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 1162–1172, 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.10.079>.

PRODÓSSIMO, V. Polímero de interesse industrial : um estudo sobre a borracha Polymer of industrial interest : **Study on rubber**. p. 852–881, 2021. DOI <https://doi.org/10.29327/269504.3.2-35>.

QUEIROZ, E. L. *et al.* Propriedades químicas e mecânicas de filme bioativo de amido de mandioca com adição de extrato de jamelão (*Syzygium cumini* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. 1–11, 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/1981-6723.21620>.

RAMAKANTH, D. *et al.* UV-activated oxygen scavenging system based on natural rubber latex from *Hevea brasiliensis* for active packaging applications. **Industrial Crops and Products**, v. 178, p. 114-658, 2022. DOI: 10.1016/j.indcrop.2022.114658.

REIS, A. F.; SCHMIELE, M. Características e potencialidades dos frutos do Cerrado na indústria de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, p. 1–12, 2019. DOI <https://doi.org/10.1590/1981-6723.15017>.

RIYAJAN, S.-A.; PATISAT, S. A Novel Packaging Film from Cassava Starch and Natural Rubber. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 7, p. 2845–2854, 8 jul. 2018. DOI <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1172-5>.

ROMEO, R. *et al.* Effects of phenolic enrichment on vitamin C and antioxidant activity of commercial orange juice. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. 1–12, 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/1981-6723.13019>.

- ROUILLY, A.; RIGAL, L.; GILBERT, R. G. Synthesis and properties of composites of starch and chemically modified natural rubber. **Polymer**, v. 45, n. 23, p. 7813–7820, out. 2004. DOI <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.09.043>.
- SALES, M. J. A.; SCHLEMMER, D.; RESCK, I. S. Preparação, caracterização e degradação de blendas PS/TPS usando glicerol e óleo de buriti como plastificantes. **Polimeros**, v. 20, n. 1, p. 6–13, 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S0104-14282010005000002>.
- SANTOS, A. F. DOS *et al.* Conservação pós-colheita de mangaba em função da maturação, atmosfera e temperatura de armazenamento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 85–91, mar. 2009. DOI <https://doi.org/10.1590/S0101-20612009000100014>.
- SANTOS NEVES, J. DOS; *et al.* Evaluation of the osteogenic potential of *Hancornia speciosa* latex in rat calvaria and its phytochemical profile. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 183, p. 151–158, 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jep.2016.02.041>.
- SARAK, S. *et al.* Film coating based on native starch and cationic starch blend improved postharvest quality of mangoes. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 209, p. 125–131, jun. 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.04.014>.
- STROHECKER, R., HENNING, H.M. Analisis de vitaminas: métodos comprobados. Madrid: **Paz Montalvo**, 1967. 428p.
- SHLUSH, E.; DAVIDOVICH-PINHAS, M. Bioplastics for food packaging. **Trends in Food Science and Technology**, v. 125, p. 66–80, 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.04.026>.
- SID, S. *et al.* Bio-sourced polymers as alternatives to conventional food packaging materials: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 115, n. Jun, p. 87–104, 2021. DOI <https://doi.org/10.3390/foods11193087>.
- SILVA, A. I. M. DA. **Filmes e Revestimentos Comestíveis de Quitosana e Óleos Essenciais na Qualidade de Camarão litopenaues vannamei Congelado**. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias., v. 1, n. 1, p. 168, 2018.
- SILVA, A. M. L. DA; MARTINS, B. DE A.; DEUS, T. N. DE. **Avaliação do teor de ácido ascórbico em frutos do cerrado durante o amadurecimento e congelamento**. Estudos, v. 36, n. 11, p. 1159–1169, 2009.
- SILVA, A. V. C. Vida útil de mangaba colhida em dois estádios de maturação. Boletim de Pesquisa Número 9 - **Embrapa**, p. 1 – 59, 2013.
- SILVA, C. N. DA; FUKUOKA, T. M.; MANHANI, M. R. Produção e caracterização de biofilmes de fécula de mandioca com extratos aquoso e alcoólico de própolis. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 19, p. 1257–1272, 2021. DOI: [10.21438/rbgas\(2021\)081941](https://doi.org/10.21438/rbgas(2021)081941).
- SILVA JUNIOR, J. F. A cultura da mangaba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 1–192, 2003.

- SILVA, L. E. P. DA *et al.* Características de qualidade de bananas cv. BRS Vitória em elevada maturação cultivadas em Bananeiras-PB. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e381996854, 22 ago. 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.6854.
- SILVA, O. A. *et al.* Effects of a Native Cassava Starch, Chitosan, and Gelatin-Based Edible Coating over Guavas (*Psidium guajava* L.). **ACS Food Science & Technology**, v. 1, n. 7, p. 1247–1253, 20 ago. 2021. DOI <https://doi.org/10.1590/fst.26221>.
- SILVA SIQUEIRA, A. P. **Desenvolvimento fisiológico e avaliação pós-colheita de mangaba (*Harconia speciosa gomes*)**. 2017. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.
- SOARES, A. C. **Qualidade pós-colheita de mangabas (*Hancornia speciosa gomes*) hidrorresfriadas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimento) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021.
- SOARES SOARES, M. *et al.* Conservação Pós-Colheita De Mangaba Sob Refrigeração. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 78–86, 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000500021>.
- SOUZA, A. F. *et al.* Fisiologia do amadurecimento de mamões de variedades comercializadas no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 318–328, jun. 2014. DOI <https://doi.org/10.1590/0100-2945-215/13>.
- SOUZA, J. D. R. P. **Coberturas comestíveis a base de quitosana e fécula de mandioca: desenvolvimento e impacto sobre a qualidade sensorial e vida de prateleira da mangaba (*Hancornia speciosa gomes*)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) -Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2012.
- SUHAG, R. *et al.* Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. **Food Research International**, v. 136, p. 109-582, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>.
- TARIQUE, J.; SAPUAN, S. M.; KHALINA, A. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 13-900, 6 dez. 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-93094-y.
- TEIXEIRA, L. V. Análise Sensorial Na Indústria De Alimentos. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**. “Candido Tostes”, v. 64, n. 366, p. 12–21, 2009.
- THIRUCHELVI, R.; DAS, A.; SIKDAR, E. Bioplastics as better alternative to petro plastic. Materials Today: **Proceedings**, v. 37, p. 1634–1639, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.176>.
- TOSUN, I.; USTUN, N. S.; TEKGULER, B. Physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 1, p. 87–90, fev. 2008. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-90162008000100012>.
- TRAVALINI, A. P. *et al.* Cassava starch films reinforced with lignocellulose nanofibers from cassava bagasse. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 139, p. 1151–1161, out. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.115>.

TYAGI, P. *et al.* Advances in barrier coatings and film technologies for achieving sustainable packaging of food products – A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 115, p. 461–485, 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.036>.

VAEZI, K.; ASADPOUR, G.; SHARIFI, H. Effect of ZnO nanoparticles on the mechanical, barrier and optical properties of thermoplastic cationic starch/montmorillonite biodegradable films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 124, p. 519–529, mar. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.142>.

VARGAS, V. H. **Aplicação de diferentes estratégias para o aprimoramento das propriedades de filmes biodegradáveis à base de gelatina**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

VENÂNCIO, C.; LOPES, I.; OLIVEIRA, M. Bioplastics: known effects and potential consequences to marine and estuarine ecosystem services. **Chemosphere**, v. 309, p. 136810, dez. 2022. DOI [10.1016/j.chemosphere.2022.136810](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136810).

VIANA, A. N. N. **Cera de carnaúba em camada sobre filmes e coberturas de fécula de mandioca e seu impacto na vida útil do tomate**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2020.

VIDAL, R. F. **Qualidade, compostos bioativos e atividade antioxidante de genótipos de mangabeiras (*Hancornia speciosa* gomes) nativos do litoral cearense**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

VIÉGAS, L. P. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

VINET, L.; ZHEDANOV, A. A ‘missing’ family of classical orthogonal polynomials. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, v. 44, n. 8, p. 085201, 25 fev. 2011. DOI [10.1088/1751-8113/44/8/085201](https://doi.org/10.1088/1751-8113/44/8/085201).

VIVAN, A. C. *et al.* Desenvolvimento e análise sensorial de geléia de beterraba com banana. **Conjecturas**, v. 22, n. 6, p. 717–728, 15 jun. 2022. DOI: [10.53660/CONJ-1096-R16](https://doi.org/10.53660/CONJ-1096-R16).

WONGWAT, S.; YOKSAN, R.; HEDENQVIST, M. S. Bio-based thermoplastic natural rubber based on poly(lactic acid)/thermoplastic starch/calcium carbonate nanocomposites. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 208, p. 973–982, maio 2022. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.175>.

XAVIER, T. D. N. *et al.* Filmes biopoliméricos baseados em fécula, quitosana e cera de carnaúba e suas propriedades. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, n. 4, p. 1–12, 2020. DOI <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1166>.

YANG, J. *et al.* Preparation and characterization of bioplastics from silylated cassava starch and epoxidized soybean oils. **Carbohydrate Polymers**, v. 300, p. 120253, 2023 DOI <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.120253>.

YANG, N. *et al.* Effects of primary, secondary and tertiary structures on functional properties of thermoplastic starch biopolymer blend films. **International Journal of Biological**

Macromolecules, v. 236, n. 3501, p. 124006, maio 2023. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124006>.

YAO DÉsirÉ, A. *et al.* Starch-based edible films of improved cassava varieties Yavo and TMS reinforced with microcrystalline cellulose. **Heliyon**, v. 7, n. 4, p. 06-804, abr. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06804>.

ZAREIE, Z.; YAZDI, F. T.; MORTAZAVI, S. A. Development and characterization of antioxidant and antimicrobial edible films based on chitosan and gamma-aminobutyric acid-rich fermented soy protein. **Carbohydrate Polymers**, v. 244, p. 116491, 2020. DOI: 10.1016/j.carbpol.2020.116491.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. Métodos Físico-Químicos para análise de alimentos. 4. ed. **SÃO PAULO**: Instituto Adolfo Lutz, 2008. v. 4

ZHAO, X. *et al.* Bio-based blends from poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) and natural rubber for packaging applications. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n. 15, p. 1–14, 2019a. DOI <https://doi.org/10.1002/app.47334>.

ZHAO, X. *et al.* Optimal mechanical properties of biodegradable natural rubber-toughened PHBV bioplastics intended for food packaging applications. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 21, p. 100348, set. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100348>.

ZHOU, Y. *et al.* Effects of cinnamon essential oil on the physical, mechanical, structural and thermal properties of cassava starch-based edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 184, p. 574–583, ago. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.067>.

ZITHA, E. Z. M. **Impacto do processamento, embalagem e tempo de armazenamento sobre a qualidade da geleia de mangaba (*Hancornia speciosa gomes*)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

ZOUNGRANAN, Y. *et al.* Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 5, p. 104396, 2020. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104396>.

APENDICE A– TABELA COM AS CONCENTRAÇÕES EM MASSA (g) PARA OBTENÇÃO DOS BIOFILMES

Tabela 3 - Concentrações obtidas no planejamento experimental para formulação dos filmes de fécula de mandioca e látex de mangabeira.

Ensaio	Massa borracha	Massa látex	Massa glicerol	Massa fécula	Água destilada
1	0,0872	0,6877	0,1436	1,7692	97,3995
2	0,5128	4,0442	0,1436	1,3436	94,4686
3	0,5128	4,0442	0,3564	1,1308	94,4686
4	0,0872	0,6877	0,3564	1,5564	97,3995
5	0,6000	4,7319	0,2500	1,1500	93,8681
6	0,3000	2,3659	0,4000	1,3000	95,9341
7	0,0000	0,0000	0,2500	1,7500	98,0000
8	0,3000	2,3659	0,1000	1,6000	95,9341
9.1	0,3000	2,3659	0,2500	1,4500	95,9341
9.2	0,3000	2,3659	0,2500	1,4500	95,9341
9.3	0,3000	2,3659	0,2500	1,4500	95,9341

Fonte: O autor (2023).

APENDICE B – FORMULARIO PADRÃO DA PESQUISA DE ANÁLISE SENSORIAL

QUADRO DE ANÁLISE SENSORIAL				
Nome: _____ Sexo: M () F () Faixa etária: () 18-25 anos; () 26-35 anos; () acima de 36 anos. Prezado (a), este instrumento é parte de uma pesquisa desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da UFERSA, em Mossoró/RN. Trata-se de uma avaliação qualitativa denominada de “análise sensorial”. Você está recebendo uma amostra contendo cinco (5) frutos da mangaba, os frutos nas bandejas estão codificados utilizando três dígitos distintos. Sua participação é relevante, logo, avalie atentamente utilizando os parâmetros conforme o quadro avaliativo.				
Amostra	Aceitação (1-4)	Odor (1-4)	Ocorrência de Fungo (1-4)	Adesividade do Filme (1-4)
373				
272				
188				
288				
Aceitação = 1) Excelente (fresco) ; 2) Bom (desidratação leve, aparentemente fresco comerciável); 3) Aceitável (desidratação moderada, comerciável); 4) inaceitável (desidratação grave, enrugado, mofo). Odor = 1) Excelente (sem odor desagradável); 2) Bom (odor desagradável muito leve apenas na abertura) 3) Aceitável (odor desagradável leve); 4) Inaceitável (odor desagradável moderado ou grave). Ocorrência de fungo = 1) Excelente (ausência de fungo); 2) Bom (fungo leve afetando pequenas áreas do fruto); 3) Aceitável (fungo moderado afetando até duas áreas diferentes do fruto); 4) Inaceitável (Fungo severo afetando mais de 50% do fruto). Adesividade do filme = 1) Excelente (sem descamação); 2) Bom (leve descamação); 3) Aceitável (com descamação afetando pequenas áreas do fruto); 4) Inaceitável (com descamação intensa afetando mais de 50% do fruto).				

Fonte: O autor (2023).