



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Engenharia Química
Curso de Engenharia de Alimentos

Julia Gabrielle Azevedo da Silva

**Revestimento Nanoestruturado no Mamão: Uma estratégia para
Redução de Perdas e Prolongamento de *Shelf Life***

Recife
2024

Julia Gabrielle Azevedo da Silva

"Revestimento Nanoestruturado no Mamão: Uma estratégia para redução de perdas e prolongamento do *Shelf Life*"

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

Orientador: Profº Drº Rodrigo de Oliveira Simões

Recife
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Júlia Gabrielle Azevedo da.

Revestimento Nanoestruturado no Mamão: Uma estratégia para redução de perdas e prolongamento do Shelf Life / Júlia Gabrielle Azevedo da Silva. - Recife, 2024.

41 p. : il.

Orientador(a): Rodrigo de Oliveira Simões

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Alimentos - Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. nanotecnologia. 2. shelf life. 3. revestimento comestível. 4. mamão. 5. embalagem. I. Simões, Rodrigo de Oliveira. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

Julia Gabrielle Azevedo da Silva

"Revestimento Nanoestruturado no Mamão: Uma estratégia para redução de perdas e prolongamento do *Shelf Life*"

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

Aprovado em: 27/03/2024

Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 **RODRIGO DE OLIVEIRA SIMÕES**
Data: 21/03/2025 12:49:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof Dr Rodrigo de Oliveira Simões (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **ANDRELINA MARIA PINHEIRO SANTOS**
Data: 26/03/2025 05:53:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Drª Andrelina Maria Pinheiro Santos
Universidade Federal de Pernambuco

Documento assinado digitalmente
 **MERCIA AURELIA GONCALVES LEITE**
Data: 25/03/2025 14:24:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Drª Mércia Aurélia Gonçalves Leite
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse trabalho a cada estudante que, em meio às imprevisibilidades da vida acadêmica, tiveram que se contrapor às suas inseguranças e incertezas ao longo do processo. E para cada leitor, meu maior aprendizado:
"É preciso que eu suporte duas ou três larvas se quiser conhecer as borboletas" (Pequeno príncipe)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, gostaria de agradecer por todas as oportunidades que me tem proporcionado e por toda sabedoria e privilégios que me tem concebido ao longo de todos esses anos de formação.

À minha família, minha eterna gratidão por toda confiança depositada, em especial ao meu pai, Edvaldo Azevedo e meu irmão, João Vitor, que à seu modo sempre estiveram ao meu lado, e à minha mãe Fernanda Carla, pois sem seu abraço e palavras de encorajamento, não teria triunfado perante cada momento de incerteza. Ao Mário Felix, muito obrigado por acreditar em mim quando as dúvidas permeavam muitos dos meus dias.

Ao Jefferson Coelho, por todo incentivo desde a idealização, e à Bárbara Emanuelle por todo suporte durante os dias mais críticos da etapa experimental, meu muito obrigado.

À meus caros amigos e colegas de curso, serei eternamente grata por cada risada e conversa que desfrutamos, especialmente àqueles que mais demonstraram solidariedade e que acompanharam cada etapa desse árduo processo.

Ao meu orientador, professor Rodrigo Simões, agradeço pela paciência e disponibilidade para sanar cada dúvida. Também expresso minha gratidão a cada professor, técnico e colega da área que busquei quando necessitava de algum suporte.

Por fim, a todos aqueles que foram mencionados e aos que não foram, meu enorme reconhecimento, pois vocês contribuíram de forma inenarrável para o alcance de mais essa conquista!

RESUMO

A indústria de alimentos tem por objetivo, além de fabricar, manter a integridade, qualidade e segurança dos produtos até o consumidor final. As diferenças fisiológicas e metabólicas existentes entre alimentos de origem animal e vegetal tornam esse, um processo complexo e distinto. Enquanto os produtos de origem animal têm prazo de validade curto devido a reações químicas após o abate, os produtos vegetais continuam seu metabolismo após a colheita, exigindo cuidados especiais para controlar o amadurecimento. A implementação de revestimentos alimentícios ganhou destaque nas últimas décadas, especialmente para sua aplicação no setor de fruticultura, visando prolongar sua vida útil de forma segura e economicamente viável. Nessa vertente, revestimentos à base de polímeros naturais aliados à nanotecnologias têm se mostrado uma alternativa a ser explorada, como é o caso da cobertura analisada neste trabalho, constituída por uma matriz de alginato formadora de nanocápsulas antimicrobianas (extrato natural) cuja a patente não pode ser detalhada, com o intuito de reduzir a degradação do mamão na pós-colheita. Análises foram feitas ao longo do experimento, a fim de avaliar a eficácia do revestimento durante o amadurecimento de mamões revestidos. Durante o acompanhamento, foi percebida uma menor incidência de contaminação microbiológica, e segundo as análises realizadas uma menor perda de massa fresca, em uma diferença de cerca de 8,72% em comparação com os frutos não revestidos. Os resultados também mostraram uma preservação maior da firmeza dos frutos e uma menor oscilação na acidez e nos sólidos solúveis. O revestimento aplicado aos mamões influenciou positivamente seu processo de maturação e na manutenção das características comerciais desejáveis aos frutos, resultando em um aumento de vida útil de pelo menos dois dias em relação ao controle. A aplicação industrial deste revestimento, de acordo com os resultados, pode reduzir significativamente os impactos das perdas ao longo da cadeia produtiva, especialmente no setor de exportação, representando assim um potencial ganho econômico para os produtores e uma enorme contribuição para questões ambientais.

Palavras chave: *nanotecnologia, shelf life, revestimento comestível, mamão, embalagem*

ABSTRACT

The food industry aims, in addition to manufacturing, to maintain the integrity, quality and safety of products until the final consumer. The physiological and metabolic differences between foods of animal and plant origin make this a complex and distinct process. While animal products have a short shelf life due to chemical reactions after slaughter, plant products continue their metabolism after harvest, requiring special care to control ripening. The implementation of food coatings has gained prominence in recent decades, especially for its application in the fruit growing sector, aiming to extend its useful life in a safe and economically viable way. In this aspect, coatings based on natural polymers combined with nanotechnology have proven to be an alternative to be explored, as is the case of the coating analyzed in this work, consisting of an alginate matrix forming antimicrobial nanocapsules (natural extract) whose patent cannot be detailed, with the aim of reducing post-harvest degradation of papaya. Analyzes were carried out throughout the experiment in order to evaluate the effectiveness of the coating during the ripening of coated papayas. During monitoring, a lower incidence of microbiological contamination was noticed, and according to the analyzes carried out, a lower loss of fresh mass, a difference of around 8.72% compared to uncoated fruits. The results also showed greater preservation of fruit firmness and less fluctuation in acidity and soluble solids. The coating applied to papayas positively influenced their maturation process and the maintenance of the fruits' desirable commercial characteristics, resulting in an increase in shelf life of at least two days in relation to the control. The industrial application of this coating, according to the results, can significantly reduce the impacts of losses throughout the production chain, especially in the export sector, thus representing a potential economic gain for producers and a huge contribution to environmental issues.

Keywords: *nanotechnology, shelf life, edible coating, papaya, packaging*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Teste de bancada: aplicação experimental do revestimento	17
Quadro 1 - Esquematização dos Grupos de tratamento por período de monitoramento/observação	18
Figura 2 - Disposição dos frutos do mamoeiro para acompanhamento de perda de massa fresca	18
Figura 3 - Representação da forma de medição	20
Figura 4 - Comparativo entre o mamão do grupo A (controle) e grupo B (revestido) ao término do 9º dia de teste	22
Figura 5 - Evolução do processo de maturação nos dias de duração do teste	24
Figura 6 - Perda de massa fresca dos frutos de mamão dos Grupos A e B, durante o período pós-colheita	25
Figura 7 - Perda média de massa fresca dos frutos de mamão dos Grupos A e B, durante o período pós-colheita	25
Figura 8 - Monitoramento da perda (%) média de massa fresca no período	26
Figura 9 - Monitoramento da firmeza do mamão no período	28
Figura 10 - Monitoramento da acidez titulável da polpa do mamão no período	29
Figura 11 - Monitoramento de do pH da polpa do mamão no período	29
Figura 12 - Monitoramento de sólidos solúveis no período	30
Figura 13 - Cenário de exportação global de frutas tropicais	33
Figura 14 - Gráfico de produção do Mamão no Brasil nos últimos 5 anos	33
Figura 15 - Fluxograma de processos	34
Figura 16 - Tanque agitador	35
Figura 17 - Sistema de aspersão	35
Figura 18 - Exaustores utilizados para circulação de ar forçada	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ATT	Acidez Titulável Total
POA	Produtos de Origem Animal
POV	Produtos de Origem Vegetal
v/v	relação Volume / Volume
SS	Sólidos Solúveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FAO	Food and Agriculture Organization of United Nations
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
U.R.	Umidade Relativa

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	12
4. METODOLOGIA	16
4. 1. TESTES DE BANCADA	16
4. 1. 1. ANÁLISE DE MASSA FRESCA	18
4. 1. 2. ANÁLISE DE DUREZA	19
4. 1. 3. EXTRAÇÃO DO SUCO	20
4. 1. 4. ANÁLISE DE ACIDEZ TITULÁVEL	20
4. 1. 5. ANÁLISE DE pH	20
4. 1. 6. ANÁLISE DE SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)	21
4. 2. ANÁLISE DE MERCADO	21
4. 3 . ANÁLISE DE DADOS	21
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5. 1. TESTES DE BANCADA	21
5. 2. VIABILIDADE DE PROCESSO	32
6. CONCLUSÃO	37
7. REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

Uma das principais motivações de uma indústria de alimentos é fazer com que seus produtos cheguem ao consumidor final, com integridade, qualidade e segurança. É um grande desafio, para concretização desta missão, está nas particularidades e características distintas que cada alimento tem, pois cada um pode apresentar uma resposta diferente às mais diversas condições de processamento e armazenamento, assim como a forma que este deve chegar ao consumidor final, dependerá também das suas respectivas expectativas e necessidades.

Garantir a integridade, qualidade e segurança dos alimentos na indústria alimentícia é crucial para o enfrentamento de desafios específicos no processamento e armazenamento de diversas categorias de produtos, sejam de origem animal ou vegetal. Em especial, se tratando de produtos hortícolas que realizam processos metabólicos próprios que potencializa sua degradação, tem-se a necessidade crescente de investimentos em inovações tecnológicas para serem implementadas ao longo da cadeia de produção, especialmente para frutas tropicais como o mamão, que possui uma alta sensibilidade em sua manipulação (Kumar, 2020).

De maneira geral, podemos dizer que as matérias-primas utilizadas na indústria em questão, podem ser divididas em dois grandes grupos, as de origem animal e as de origem vegetal. Independentemente, se consumidas *in natura* ou não, cada um desses grupos alimentícios têm um comportamento fisiológico e metabólico que deve ser levado em consideração, para que mantenha suas características físico-químicas e sensoriais preservadas e, principalmente, evitando sua deterioração.

Os Produtos de Origem Animal (POA), como produtos cárneos, ovos, leites e seus derivados, normalmente têm um tempo de vida útil de prateleira pós abate e extração, bastante curto, uma vez que seus componentes centesimais, por exemplo, sofrem reações químicas inerentes a um estado de degradação, e por isso, precisam de intervenções que desaceleram tais reações ou que as interrompem temporariamente, de alguma forma. Um exemplo clássico de intervenção é a manipulação da energia, sob a forma de calor, seja na sua retirada do produto alimentício, com a refrigeração e/ou congelamento, ou com a sua adoção, quando do emprego de processamento térmico com elevação de temperatura.

Já para os Produtos de Origem Vegetal (POV), a situação torna-se um pouco mais complexa, pois são materiais que possuem um metabolismo fisiológico que continua acontecendo mesmo após sua colheita (Koblitz, 2008), fazendo com que seu manuseio precise de uma maior atenção e consideração, para que permaneçam com as suas características desejadas. No caso das frutas, ao longo de seu desenvolvimento, atividades como a respiração (consumo de oxigênio e liberação de CO₂, água e energia) e produção de hormônios (etileno), por exemplo, são cruciais para seu processo de amadurecimento e, responsáveis por gerar mudanças nas suas estruturas, tanto físicas (degradação da celulose e pectina,

gerando amolecimento dos tecidos, produção de pigmentos que alteram sua coloração, etc) quanto químicas (conversão de açúcares complexos em simples, aumentando o grau de dulçor).

Entretanto, após a colheita, existem frutos que continuam a realizar estes processos metabólicos de forma mais ativa, denominados de frutos climatéricos como, por exemplo, a banana e o abacate, os quais são bastante conhecidos por tal característica. Enquanto outros, passam por um decaimento nestas atividades metabólicas e entram em seu estágio de senescência, conhecidos como os frutos não-climatéricos como, por exemplo, a uva e o morango (Chitarra & Chitarra, 2005).

O conhecimento sobre esses processos metabólicos e a fisiologia vegetal é primordial para a obtenção de produtos de origem vegetal no grau de maturação e características desejáveis, seja para o seu consumo direto (*in natura*), seja para o seu processamento e geração de novos produtos alimentícios. Aliado a isso, existem diversas tecnologias desenvolvidas que visam prolongar o tempo de conservação destes alimentos sem que haja danos expressivos e/ou interferência nestes fatores, especialmente preservando sua integridade original. Um grande exemplo disso, é a utilização de diversos tipos de revestimentos que atuam na superfície do fruto como, uma película protetora que pode assumir diferentes papéis neste processo de conservação.

A aplicação de revestimentos alimentícios pós-colheita surge como uma solução tecnológica viável para estender a vida útil dos produtos e conservar suas características essenciais, onde sua implementação pode ocorrer em diversas fases da cadeia produtiva, desde a pós-colheita até os pontos de venda finais, como supermercados, conferindo maior durabilidade e qualidade aos alimentos. Nas últimas décadas, as linhas de pesquisas envolvendo revestimentos alimentícios, em especial para os vegetais, ganhou um expressivo destaque em todo o mundo, isso porque a utilização e a implementação de tais ferramentas, favorece o ganho não apenas no quesito tecnológico, mas também buscam ser alternativas de baixo custo ou economicamente mais viáveis do que outros métodos, sustentáveis e o principal, que sejam seguros à saúde, uma vez que não devem apresentar nenhum tipo de toxicidade para o consumidor.

De maneira geral, serão levantados os aspectos no âmbito da tecnologia de alimentos, não apenas em relação à sua implementação e, conseqüentemente, funcionamento, mas também em relação aos reflexos da aplicação do revestimento alimentício no mamão. Além disso, alguns aspectos no âmbito da engenharia serão levados em consideração, como a logística dos processos envolvidos, dos ganhos que a nova tecnologia poderá trazer para o cenário atual, junto ao impacto nas perdas que acontecem ao longo de toda a cadeia pós-colheita. E, associando ainda, a implementação desta tecnologia de alimentos junto à economia, a fim de possibilitar o aumento da vida útil de prateleira do mamão.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho, foi explorar os resultados obtidos com a aplicação de um revestimento alimentício pós-colheita no mamão, desenvolvido e fornecido por uma empresa parceira, de forma a analisar sua utilização em larga escala, como um meio de prolongar o *shelf life* de produtos alimentícios na indústria.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

No mercado mundial, não restam dúvidas a respeito do Brasil ocupar um papel já consolidado de destaque como um dos grandes produtores e exportadores de commodities agrícolas. Dentro do setor de hortifruti, sua posição torna-se ainda mais privilegiada, como exportador de frutas frescas para grandes potências como: Estados Unidos, União Europeia, China, Japão e Emirados Árabes Unidos. Segundo pesquisas realizadas pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA-ESALQ) da Universidade de São Paulo, esses números têm alcançado um considerável crescimento nos últimos anos. Só no ano de 2023 os resultados obtidos do setor superaram em aproximadamente 30,5% o ano de 2022 e, a exemplo disso, só na UE o Brasil representou cerca de 90% das importações de mamão no ano de 2022, volume esse que chega a ultrapassar o marco de 29 mil toneladas da fruta, de acordo com estatísticas da Comissão Europeia. Para que todos esses marcos possam ter sido alcançados, questões como aspectos fisiológicos destes produtos alimentícios foram considerados em sua manipulação, assim como a utilização de tecnologias e estratégias na sua conservação.

As frutas e hortaliças possuem um alto índice de perecibilidade quando comparado a outros tipos de alimentos, isso porque possuem diferentes etapas de desenvolvimento que se iniciam no campo e vão muito além da etapa pós-colheita, ou seja, há existência de processos metabólicos que independem de sua ligação com a planta de origem, tornando este, um ponto chave nos desafios de lidar com esses alimentos (Koblitz, 2008). Ainda no campo, os vegetais devem alcançar determinados parâmetros de crescimento e qualidade, para que possam ser colhidos no momento exato onde se encontrem no seu máximo potencial de pré-maturação, ou seja, que alcancem um volume que traga rentabilidade econômica aos produtores, sem estarem em seu ponto ótimo para o consumo.

A partir do momento que os vegetais são colhidos, a interrupção da realização de fotossíntese e nutrição através da planta de origem, faz com que o monitoramento de seus processos fisiológicos, passe a ocorrer primordialmente graças à atividade respiratória, assim o organismo passa a consumir suas reservas energéticas para que as reações metabólicas e seu desenvolvimento tenham continuidade (Chitarra & Chitarra, 2005). Cada vegetal possui um comportamento metabólico distinto, que pode variar de acordo com as condições de manipulação, armazenamento e até com o tipo de cultivar em questão, o que faz com que a compreensão destas peculiaridades seja primordial para que a qualidade destes alimentos seja mantida, com o mínimo percentual de perdas pós-colheita.

As principais etapas de desenvolvimento dos frutos podem ser descritas como pré-maturação, maturação e senescência. A pré-maturação, como mencionado, engloba os processos que ocorrem no campo, enquanto as etapas seguintes têm seu início e seguem sem representar um estado fisiológico fixo, ou seja, não possuem um período de duração pré definido, e podem ter início, sem que haja o término do anterior (Li et al., 2018). Desta forma, a etapa de maturação dos frutos é marcada por transformações físicas e bioquímicas que contribuem para a construção de importantes características comerciais de interesse, como alterações na cor, sabor, aroma e textura, tendo sua conclusão com o amadurecimento completo da fruta.

Durante esse período, a respiração como precursora de tais transformações é caracterizada pelo consumo do oxigênio (O_2), liberação de gás carbônico (CO_2) e produção de etileno (C_2H_4), tornando estes, os principais parâmetros do monitoramento de evolução metabólica do organismo. Isso porque essa taxa de respiração é altamente afetada por estresses externos, atuando como mediadora dos efeitos dessas mudanças em seu metabolismo interior, e assim os frutos passam a respirar com maior intensidade e, conseqüentemente, suas transformações acontecem de forma mais rápida (Kou et al., 2018).

O etileno, tido como hormônio do amadurecimento, graças às reações bioquímicas ocorrentes neste período, é sintetizado pelo fruto e liberado em sua forma gasosa, tornando-se um uniformizador das características internas e externas de amadurecimento da fruta. Sua atuação ocorre de forma diferente e em decorrência disso, têm-se a distinção de dois grupos cujo comportamento do etileno ocorre de forma distinta, os frutos climatéricos e os não-climatéricos (Fabi et al., 2019). No primeiro, temos frutos que após a colheita sofrem com um aumento acentuado e autocatalítico deste hormônio, ao terem sua taxa de respiração elevada, desencadeando-se a liberação do etileno que age como indutor da respiração, ou seja, um ciclo que potencializa essa fase crítica (Kou et al., 2021). Como membros característicos deste grupo, temos a manga, banana, abacate e o mamão, que será objeto de análise.

Em contrapartida, os frutos não climatéricos tendem a manter uma taxa de atividade respiratória baixa porém contínua, ao longo do tempo, não conseguindo chegar de forma significativa ao pleno amadurecimento após colhidos e assim, necessitando de maiores avanços em suas características na pré-colheita, para que possam ser retirados de seu local de origem. Quando expostos a determinadas condições de armazenamento, ou em contato com o etileno de forma exógena, esse grupo pode apresentar comportamento semelhante ao climatérico, porém de forma pontual e enquanto exposto ao estímulo em questão (Chen et al., 2018). A título de exemplo, temos alguns cítricos como o abacaxi, laranja e limão, e representantes de outros grupos como morango e uva.

O mamão (*Carica papaya* L.) é um fruto climatérico característico de regiões tropicais e subtropicais, de alta procura e interesse comercial ao redor de todo o mundo. Uma das principais razões para tal, está relacionado a seu valor nutricional, uma vez que é baixo em valor calórico e rico em vitaminas e sais minerais, possui

polpa de textura e sabor agradáveis, de uma coloração alaranjada característica, assim como externamente, varia com o estado de maturação, podendo estar desde o verde a tons amarelos e alaranjados (EMBRAPA, 2022).

Assim como as demais frutas pertencentes a esse grupo, o mamão é uma fruta extremamente sensível às mudanças nas condições de armazenamento, em especial à danos mecânicos. Outro ponto importante que diz respeito a seu metabolismo, é que o mamão possui uma alta taxa de respiração, fazendo com que ele tenha um pico climatérico relativamente curto, chegando rapidamente à senescência, ou seja, é uma fruta que demanda certos cuidados na sua manipulação e armazenamento, e ainda sim possui um tempo de vida útil extremamente curto (Miguel et al., 2024). Este comportamento faz com que haja certas limitações para a comercialização desse fruto, desde a logística envolvida, até o tempo necessário para que as perdas existentes não sejam maiores.

Ao longo da cadeia logística que esses produtos percorrem, encontram-se suscetíveis às alterações de temperatura, umidade relativa (%U.R.), concentração de gases no ambiente de armazenamento e injúrias mecânicas, que quando não controladas, acabam contribuindo com o aumento de perdas e, conseqüentemente, senescência acelerada. Amadurecimento precoce, murchamento, escurecimento e surgimento de microrganismos, são alguns dos principais problemas enfrentados desde as etapas iniciais de colheita, classificação, embalagem, até as etapas de transporte, armazenamento e comercialização (Chitarra & Chitarra, 2005). Para enfrentar tais desafios, o desenvolvimento de tecnologias e estratégias pós-colheitas, como a utilização de atmosferas controladas, controle do etileno, processos de refrigeração e revestimentos alimentícios, têm sido um fator chave nas últimas décadas, como alternativas para preservar a qualidade e mitigar as perdas nesse setor.

Dentro das estratégias de princípios para a conservação de alimentos, um conceito bastante abordado trata da teoria dos obstáculos de Leistner ou Teoria da Barreiras, onde são utilizados diversos mecanismos que visam preservar a qualidade dos alimentos, fazendo com que cheguem ao seu consumidor final de forma íntegra e segura. Entretanto, quando se trata de alimentos consumidos *in natura*, como é o caso do mamão e demais frutas, a variedade de tratamentos que podem ser submetidos é limitada, a fim de que não sofram a perda de seus constituintes de interesse, nem sofram algum tipo de descaracterização em decorrência desses processos (Moraes et al., 2020). Nesse cenário, entram a utilização de revestimentos que agem como uma barreira de proteção entre o fruto e o ambiente, que somados às condições adequadas de refrigeração e embalagens, contribuem para o alcance desse objetivo.

As primeiras utilizações de revestimentos em comidas registradas na história da sociedade humana, datam por volta do século 12 com os chineses e sua aplicação de ceras em frutas cítricas como a laranja e o limão, para aumento de sua durabilidade. Hoje em dia com os diversos avanços na ciência dos alimentos, é possível compreender os mecanismos envolvidos por trás dessa ação e saber que

essas substâncias podem assumir diversas funções para além de sua conservação, bem como serem feitas de diferentes matrizes e serem obtidas de diversas formas.

A utilização de substâncias naturais para a formação de películas que permitam seu consumo juntamente com os alimentos, vêm sendo uma temática bastante explorada nas últimas décadas, especialmente por conta dos inúmeros benefícios que podem trazer à sociedade, seja ambiental e economicamente. Denominados biopolímeros, essas substâncias são compostas por cadeias lipídicas, proteicas e/ou por carboidratos, sendo obtidas ou extraídas de alimentos ou resíduos da indústria, por produção microbiana, entre outras fontes, e recebem essa denominação devido a sua biodegradabilidade (Hassan et al., 2024).

A aplicação desses filmes se dá primordialmente de duas formas, por imersão, onde o alimento é imerso na solução filmogênica, ou por aspersão, quando essa solução é pulverizada ou aspergida sobre a superfície a ser revestida, ou seja, uma característica desse tipo de revestimento, é sua forma fluida permitir que se molde à diferentes formas quando seco, podendo assim ser usado em diferentes alimentos (Ediyilyam et al., 2021). A depender de sua composição essas películas apresentam diferentes comportamentos, seja na permeabilidade de gases e vapores d'água, capacidade de proteção física como barreira mecânica, interações químicas com o alimento e ação microbiana, fazendo desses, fortes aliados na manutenção da qualidade dos elementos e no prolongamento de sua vida de prateleira.

Dentre o que foi mencionado, existem outras vantagens que contribuem para a exploração dos revestimentos e sua aplicação na indústria, dentre elas a capacidade de agregar em sua composição, componentes que podem interagir com o alimento ou o ambiente no qual está inserido, denominados revestimentos ativos, com a presença de substâncias antioxidantes e microbianas, que podem não apenas influenciar seu metabolismo e *shelf life*, como também tornar esses alimentos mais atrativos sensorialmente ao consumidor (Devi et al., 2024).

Para a escolha ou formulação dessas películas, diversos fatores devem ser considerados, o objetivo buscado e a funcionalidade que ela deve assumir, bem como o alimento a ser revestido em questão e a existência de metabolismo que influenciará diretamente em seu desempenho (Chettri et al., 2023). Sua utilização em alimentos frescos como os vegetais, é um desafio e um dos principais objetos de estudo, uma vez que são organismos vivos que realizam atividades metabólicas, reduzindo significativamente seu tempo de consumo após saírem do campo e toda a logística envolvida até chegar ao consumidor final, a depender do alimento.

Com isso, os revestimentos comestíveis e filmes ativos vêm se mostrando uma alternativa promissora para minimizar as perdas na pós-colheita, pois além de formarem uma barreira protetora ao redor das frutas, agem como redutores da taxa respiratórias, regulando os processos de troca gasosa com o ambiente, retardando a perda de água e protegendo contra a proliferação de microrganismos contaminantes (Jafarzadeh et al., 2021). Junto a isso, estudos trazem a existência de revestimentos que liberam compostos bioativos na superfície das frutas, atuando como antioxidantes e antimicrobianos, que ajudam a preservar a qualidade das frutas e consequentemente prolonga sua vida útil de prateleira.

A utilização da nanotecnologia associada a essas ferramentas de conservação, têm ganho cada vez mais espaço nas pesquisas e na indústria, porque atuam de forma a potencializar a efetividade destes revestimentos. Estas estruturas em escala nanométrica, favorecem o arranjo entre as moléculas tornando-as muito mais próximas e conferindo-lhes muitas vezes, novas propriedades e características (MCTI, 2022). A inserção de nanotecnologias em revestimentos pode acontecer desde a utilização de nanocomponentes até sua nanoestruturação, e que consiste na formação de nanoestruturas em seu processo de produção.

O material abordado neste trabalho, consiste em um revestimento nanoestruturado a base de alginato de sódio, um polissacarídeo atóxico amplamente utilizado na indústria de alimentos pelo seu caráter espessante, estabilizante e por ser de baixo custo (Zhou et al., 2024). Nesta aplicação, o alginato atua como um plastificante, formando um gel que possibilita a formação de um filme incolor e de alta resistência, e que ao ser produzido juntamente com uma substância antimicrobiana, forma nanocápsulas desse composto (Ediyilyam et al., 2021).

A redução destas perdas não só beneficia os produtores e consumidores no âmbito econômico, pois atrelados à sua implementação estão os fatores ambientais, com um impacto positivo na geração de resíduos gerados. Uma vez que menos materiais poliméricos precisem ser utilizados e menos desperdício de alimentos, significam uma menor geração de materiais sólidos poluentes e uma menor emissões de gases de efeito estufa associadas ao transporte, armazenamento e decomposição desses resíduos (Hassan et al., 2024).

De maneira geral, a compreensão de todos esses fatores e aspectos, é essencial para garantir máxima eficácia no prolongamento da vida útil desses alimentos, assegurando-se desta forma, a lucratividade dos produtores e a contribuição para a segurança alimentar, que atendam à crescente demanda do consumidor global.

4. METODOLOGIA

Nos tópicos a seguir, serão apresentados os pontos primordiais para o alcance dos objetivos deste trabalho. Inicialmente, apresentamos o passo a passo envolvendo a realização dos testes experimentais, que buscaram demonstrar o comportamento fisiológico do mamão com e sem a utilização do revestimento, a fim de analisar sua efetividade em relação ao tempo de maturação do fruto e quais foram os reflexos observados em suas características físico-químicas. Em seguida, um recorte do cenário atual do setor será apresentado de onde foram levantadas e mapeadas as informações a respeito das perdas envolvendo a cadeia logística do mamão. Por fim, a apresentação dos dados obtidos neste trabalho, será feita e analisada em paralelo com a realidade deste mercado.

4. 1. TESTES DE BANCADA

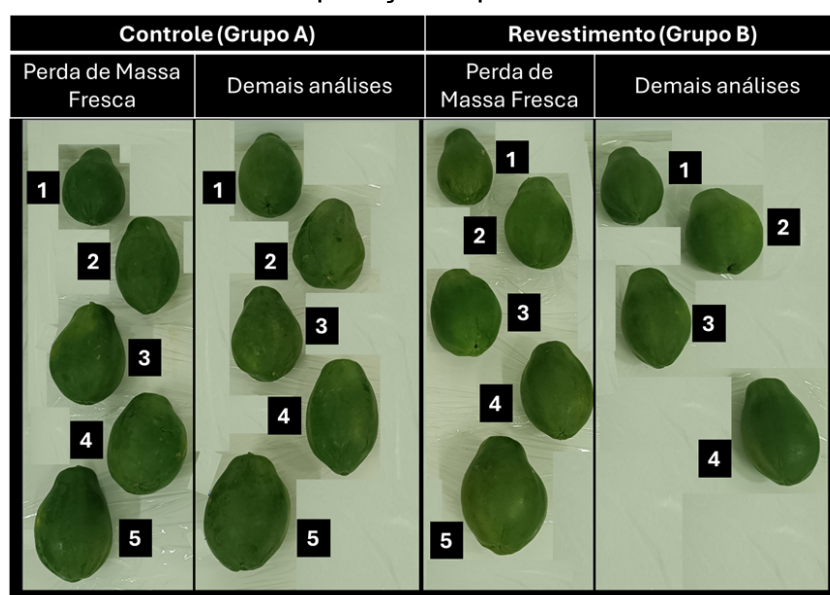
O mamão foi utilizado na realização desta pesquisa por possuir um período de maturação e pico climatérico mais curto, em comparação às outras frutas, otimizando-se desta forma, a realização de todo o processo experimental, o qual durou cerca de 13 (treze) dias, desde a aplicação do revestimento até o último dia de monitoramento/observação (Fabi et al., 2019). E a variedade escolhida e adquirida no Centro de Abastecimento e Logística de Pernambuco (CEASA/PE) foi a *Carica papaya* L. por questões de tamanho e custo, uma vez que na região de Recife, onde foi realizado o experimento, também há uma grande disponibilidade desta fruta.

Para início da pesquisa, determinou-se o quantitativo de frutos necessários que seriam submetidos ao período de monitoramento/observação e realização das seguintes análises: perda de massa fresca, acidez titulável, dureza e °Brix/sólidos solúveis (Vieira et al., 2021). Essas análises foram realizadas em intervalos de 3 dias, assim como o monitoramento/observação de suas características essenciais, ao longo do amadurecimento dos frutos.

Os frutos foram divididos em dois grupos de proporcionais tamanhos, sendo o primeiro grupo, nosso referencial controle ou “branco”, ou seja, frutos sem tratamento, e o segundo grupo, os frutos que foram tratados, ou seja, que receberam uma camada do revestimento alimentício. Para o preparo da solução revestidora, foi realizada a diluição de uma parte do gel concentrado, produzido e fornecido por uma empresa parceira, para duas partes de água, assim numa proporção 1:2 v/v, que foi posteriormente pulverizada na superfície de cada um dos frutos, com o auxílio de um pulverizador manual tipo *spray*.

Em seguida, todos os mamões foram dispostos lado a lado em uma bancada previamente preparada e higienizada (Figura 1), onde ficaram acondicionados em temperatura ambiente de 21 °C e Umidade Relativa (%U.R.) de 65% por um período de 13 (treze) dias.

Figura 1 – Teste de bancada: aplicação experimental do revestimento



Fonte: De autoria própria

Foram utilizados, no total 20 frutos de mamão; divididos em dois grupos: Grupo A e Grupo B, que como ilustrado na esquematização (Quadro 1) correspondem respectivamente, ao Controle e ao Revestimento Alimentício:

Quadro 1 - Esquematização dos Grupos de tratamento por período de monitoramento/observação

Grupo A		Grupo B	
A 1	A Dia 0	B 1	B Dia 0
A 2	A Dia 3	B 2	B Dia 3
A 3	A Dia 6	B 3	B Dia 6
A 4	A Dia 9	B 4	B Dia 9
A 5	A Dia 13	B 5	B Dia 13

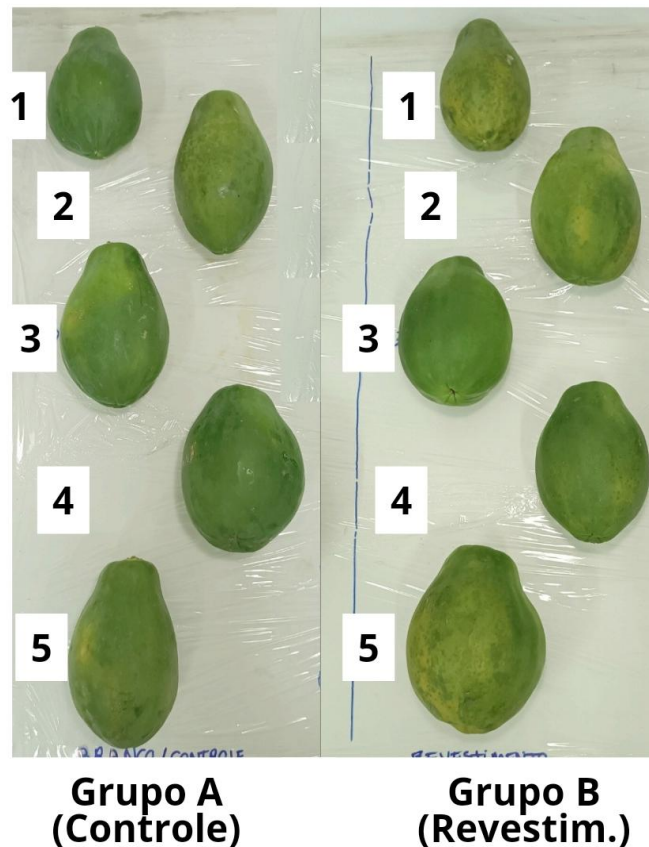
Fonte: De autoria própria

Para as amostras nomeadas de 1 a 5, tanto no Grupo A quanto no Grupo B, correspondem aos mamões que foram acompanhados para as análises de perda de massa fresca. Já em relação às amostras nomeadas do dia 0 até o dia 13, tanto no Grupo A quanto no Grupo B, correspondem aos mamões que foram submetidos às demais análises físico-químicas (acidez titulável, dureza e °Brix/sólidos solúveis), realizadas nos respectivos dia 0, dia 3, dia 6, dia 9 e dia 13.

4. 1. 1. ANÁLISE DE MASSA FRESCA

Para realizar esse acompanhamento da perda de massa fresca dos frutos do mamoeiro ao longo desta pesquisa, foram realizadas medições utilizando uma balança digital de bancada, com precisão de duas casas decimais. A cada medição, os frutos foram retirados um a um da bancada e colocados sobre a balança, quando seus respectivos valores foram registrados em uma planilha e em seguida devolvidos à sua posição inicial.

Figura 2 - Disposição dos frutos do mamoeiro para acompanhamento de perda de massa fresca



Fonte: De autoria própria

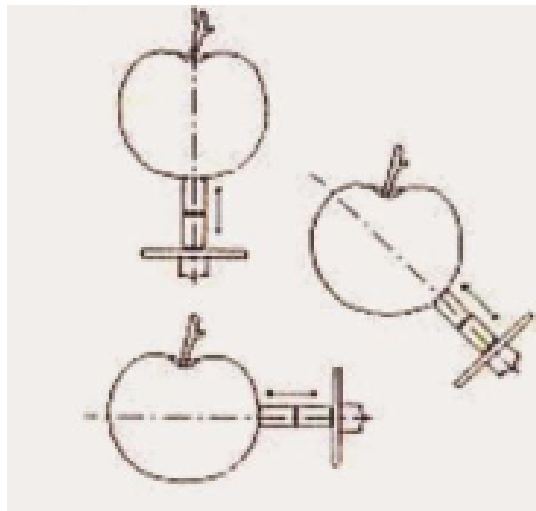
Para calcular o percentual de perda de massa, foi realizada a diferença entre a massa no dia de monitoramento (massa final) em relação à massa inicial do experimento:

$$\text{Perda de massa (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100 \quad \text{Equação (1)}$$

4. 1. 2. ANÁLISE DE DUREZA

Para realização da análise de dureza, ou firmeza da casca do fruto, foi utilizado um penetrômetro digital modelo PTR-300 com ponteira de 08 mm de diâmetro. As frutas foram retiradas da bancada de disposição e foram analisadas, nos frutos de ambos os grupos A e B, e de acordo com os respectivos dias de análise. As leituras foram feitas ao submeter a fruta ao dinamômetro, com inserção da ponteira até a marcação correspondente, e com a configuração que registra o pico máximo de força exercido, que corresponde ao limite antes do rompimento da casca e a penetração na polpa. Além disso, para cada fruta, foram realizadas três medições em diferentes eixos, de acordo com a ilustração abaixo (Figura 3) e segundo a recomendação do fabricante, realizando a medição, com o sensor ao longo da ponta devendo estar alinhado à fruta a ser medida no eixo latitudinal, no eixo transversal e no eixo longitudinal. Os resultados foram registrados em Newtons(N).

Figura 3 – Representação da forma de medição



Fonte: Manual de instruções PTR-300 (2012)

4. 1. 3. EXTRAÇÃO DO SUCO

Para realização das análises físico-químicas descritas do item 4.1.4 ao 4.1.6, foi necessário a extração do suco da polpa do mamão. Para isso, foram pesados aproximadamente 5 g da polpa do mamão, utilizando uma balança analítica de modelo MG214Ai, para cada 100 mL de água destilada, e juntos foram processados com o auxílio de um triturador.

4. 1. 4. ANÁLISE DE ACIDEZ TITULÁVEL TOTAL (ATT)

A acidez titulável total (ATT) foi determinada pelo método de Titulação segundo Normas Analíticas da Instituição Adolfo Lutz (2008), onde 5 g da polpa de mamão foram devidamente homogeneizados com 100 mL de água destilada e adicionadas 3 gotas de fenolftaleína a 1%, utilizada como indicador. Esta solução foi titulada com NaOH 0,1M até atingir o ponto de viragem final. Os resultados obtidos foram expressos em porcentagem (%) de acidez, segundo a equação abaixo.

$$Acidez\ titulável\ \% = \frac{V_{NaOH} * f * M * 100}{m_{amostra}} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde f e M são respectivamente, fator de correção e a molaridade da solução de hidróxido de sódio.

4. 1. 5. ANÁLISE DE pH

As medições de pH foram realizadas com um pHmetro digital, modelo NT PHM, ao inserir o eletrodo em amostras de 20 ml do suco, preparado segundo o item 4.1.3. descrito anteriormente.

4. 1. 6. ANÁLISE DE SÓLIDOS SOLÚVEIS (°BRIX)

Os sólidos solúveis (SST) foram medidos diretamente com um refratômetro analógico (modelo RTD-95), utilizando amostras do suco preparado segundo o item 1.4.3. e os resultados expressos em °Brix.

4. 2. ANÁLISE DE MERCADO

A fim de analisar as perdas existentes e o impacto econômico que elas representam na cadeia pós-colheita do mamão, isto é, desde a saída dos frutos após a colheita até os centros de distribuição e, conseqüentemente, consumidores finais, foi realizado o cruzamento de alguns dados obtidos através de uma pesquisa aprofundada. O levantamento foi realizado primordialmente, utilizando-se dados e informações disponíveis nos sites oficiais do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO).

4. 3. ANÁLISE DE DADOS

Para a análise dos dados obtidos na realização desta pesquisa foi elaborada uma planilha de controle, onde todos os resultados encontrados com as análises físico-químicas foram registrados e deles, foram feitos os cálculos estatísticos de média e variância, e obtidos gráficos de monitoramento para cada tipo de análise realizada, de acordo com o comportamento do mamão no estágio de maturação fisiológica em que se encontrava os frutos do mamoeiro, nos dias de avaliação durante o período pós-colheita.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O experimento realizado e os resultados das análises obtidos, foram desmembrados, a fim de aprofundar as discussões e conclusões obtidas, que serão utilizadas como embasamento, no tópico referente à análise de mercado, onde serão discutidos os impactos econômicos que a aplicação desse revestimento pode trazer à indústria.

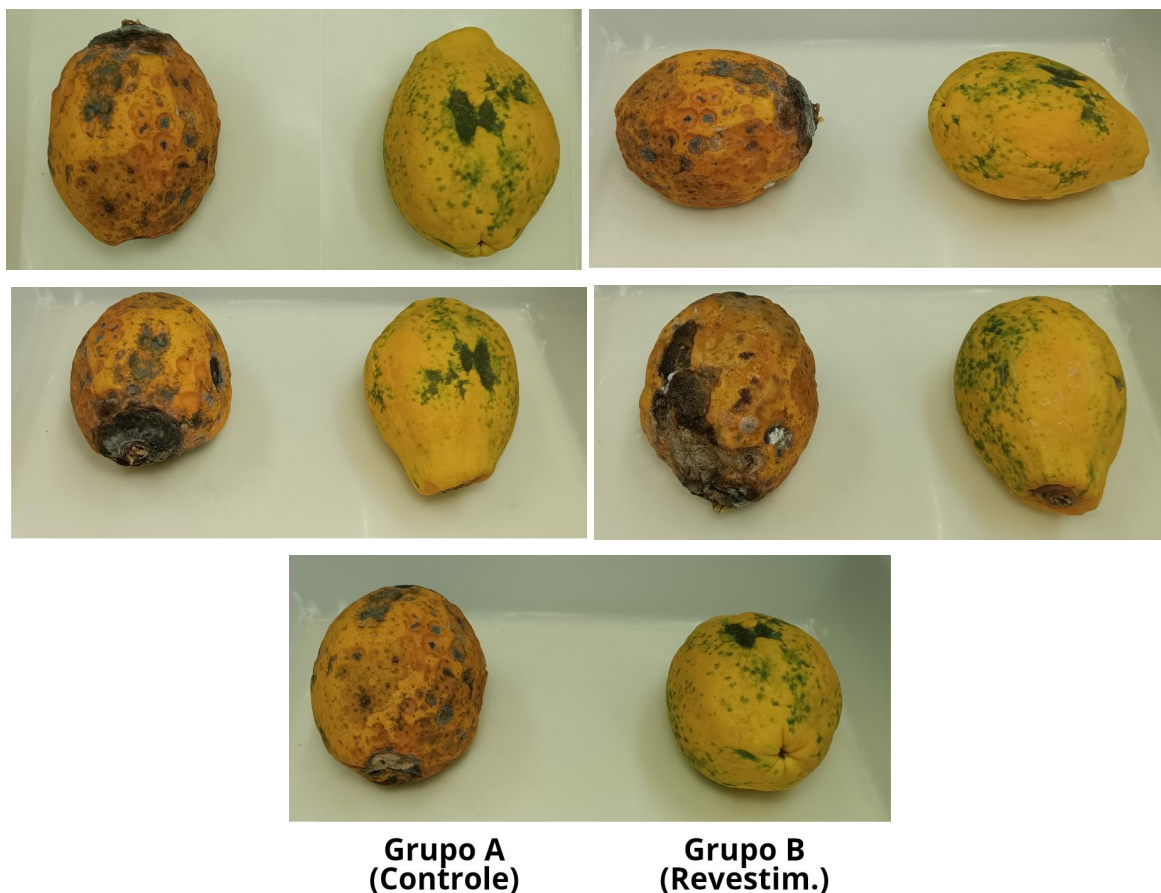
5. 1. TESTES DE BANCADA

Como mencionado anteriormente, o monitoramento dos parâmetros de maturação fisiológica das frutas, é primordial para o devido direcionamento do manuseio e, para a compreensão a respeito da efetividade da aplicação do revestimento alimentício, assim como para outras demais ações que objetivam a preservação de sua vida útil de prateleira. Dessa forma, serão apresentados a

seguir, os resultados obtidos nos testes comparativos realizados para monitoramento da maturação fisiológica dos frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.) que receberam o tratamento em questão.

Inicialmente, serão apresentadas abaixo as imagens (registros fotográficos), obtidas durante os dias de monitoramento no período pós-colheita e armazenamento dos frutos, juntamente com as observações condizentes ao estado dos frutos, ou seja, uma análise qualitativa visual, como por exemplo na coloração das amostras observadas e as condições que os frutos se mostraram após os dias de observação.

Figura 4 - Comparativo entre o mamão do grupo A (controle) e grupo B (revestido) ao término do 9º dia de teste



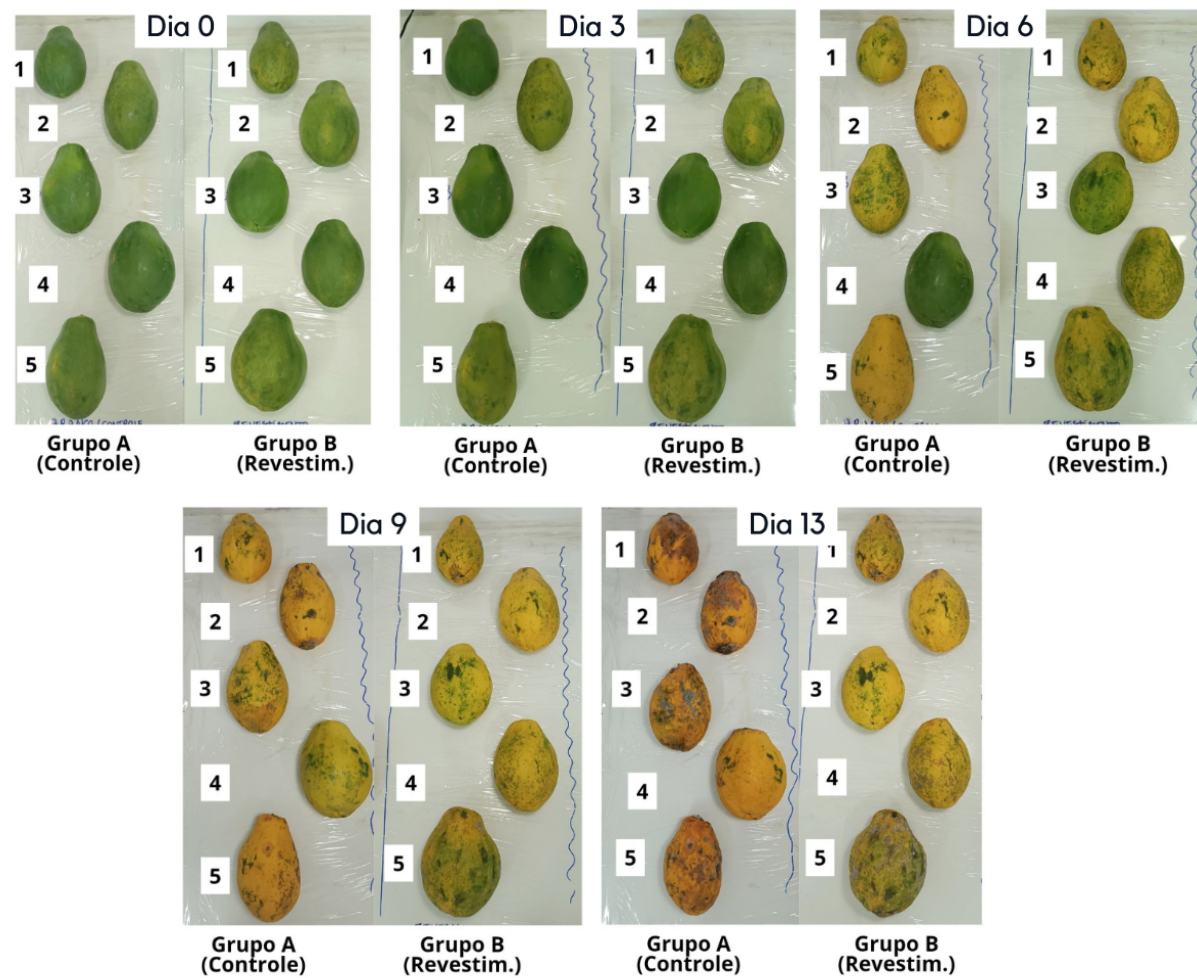
Fonte: De autoria própria

Por si só, os aspectos visuais das frutas no decorrer das análises mostraram-se bastante significativos, com o aparecimento de focos de contaminação microbiana (não foram realizadas análises para caracterização), murchamento e outras consequências da deterioração dos frutos controle, em comparação com as amostras revestidas. Esses resultados podem se tornar decisivos no que diz respeito à percepção do consumidor, uma vez que a aparência e integridade dos frutos é um quesito determinante em sua comercialização.

Durante o período de observação, foi possível visualizar uma vantagem de aproximadamente 2-3 dias em relação aos frutos revestidos e o controle. Isso porque o revestimento mostrou preservar determinadas características do produto (que serão aprofundadas adiante) ao longo de seu processo de maturação em todas as amostras observadas até o 9º dia, enquanto isso, no controle já eram visíveis sinais avançados de deterioração e proliferação microbiana. Além disso, ainda no 13º dia de acompanhamento, mais da metade das amostras revestidas mantinham em bom estado de integridade, em comparação com o grupo controle, onde todas as amostras estavam comprometidas.

Outro ponto importante de se apontar, diz respeito à uniformização na coloração dos frutos, que apesar da não realização de análises colorimétricas, mostrou-se mais gradual para o grupo B (revestido) e condizente com suas demais características. Já para o grupo controle, nesse processo de amadurecimento sua coloração entre o 6º e 9º dia mudou drasticamente entre as amostras não revestidas, fazendo com que passassem de frutos aparentemente verdes para frutos maduros demais.

Figura 5 - Evolução do processo de maturação nos dias de duração do teste

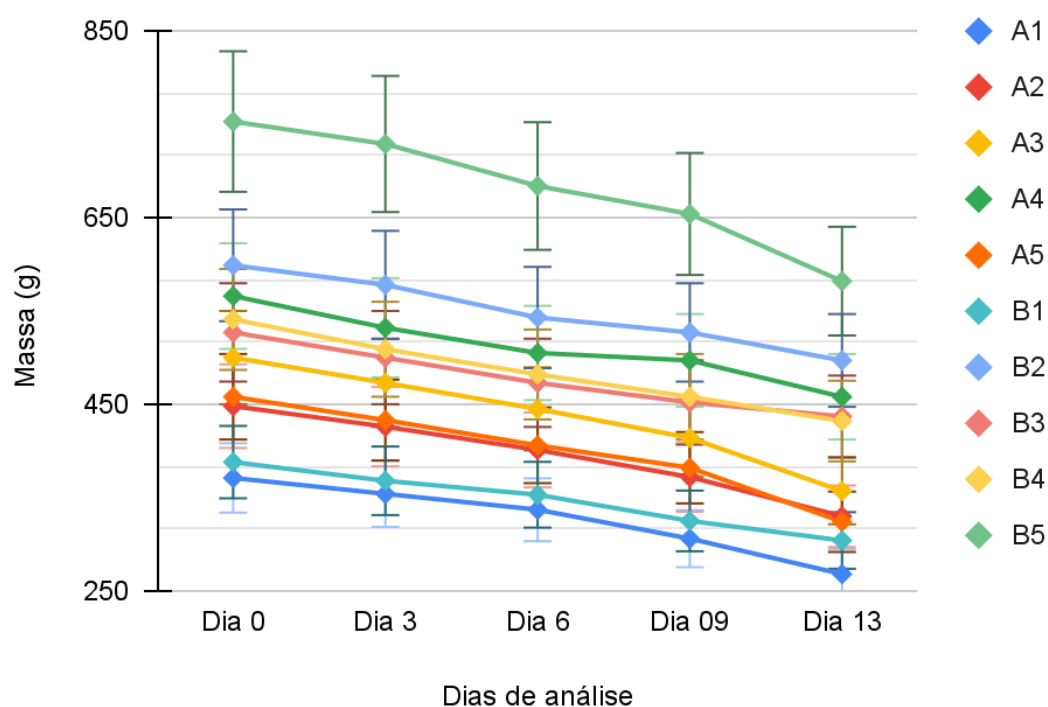


Fonte: De autoria própria

Levando em consideração as observações relatadas, durante o período pós-colheita dos frutos do mamoeiro (*Carica papaya* L.), apresentamos a seguir, os resultados obtidos junto das análises físico-químicas realizadas durante este período de monitoramento do grau de maturação fisiológica dos frutos.

Apresentamos o monitoramento em relação à perda de massa fresca dos frutos do Grupo A (Controle) e dos frutos do Grupo B (Tratamento: Revestimento) (Figura 15).

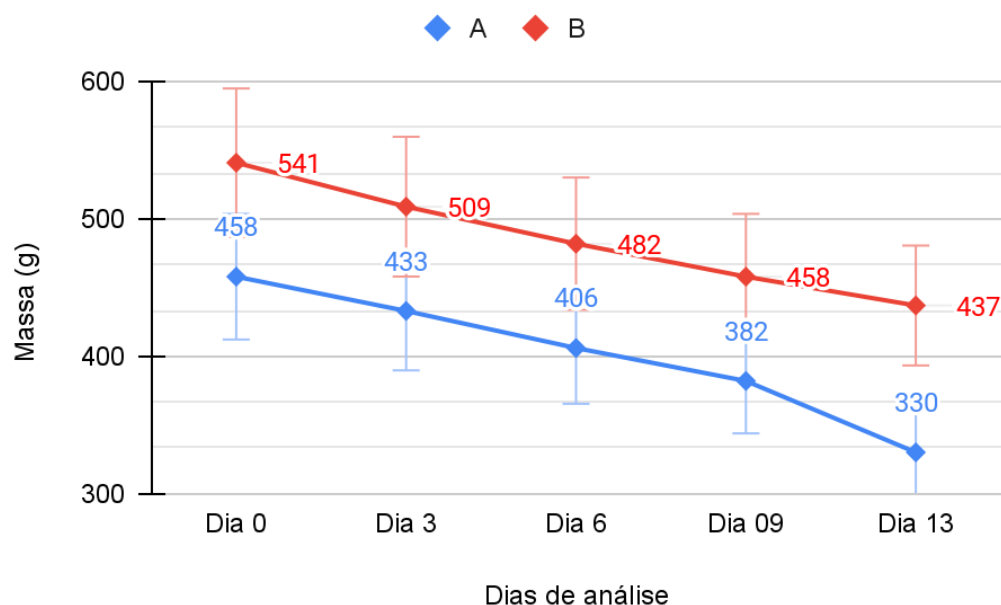
Figura 6 - Perda de massa fresca dos frutos de mamão dos Grupos A e B, durante o período pós-colheita



Fonte: De autoria própria

Para favorecer uma melhor visualização, em relação à perda de massa fresca dos frutos de mamão, apresentamos também, o acompanhamento médio (Figura 16), junto desta análise para dos dois Grupos em estudo nesta pesquisa.

Figura 7 - Perda média de massa fresca dos frutos de mamão dos Grupos A e B, durante o período pós-colheita



Fonte: De autoria própria

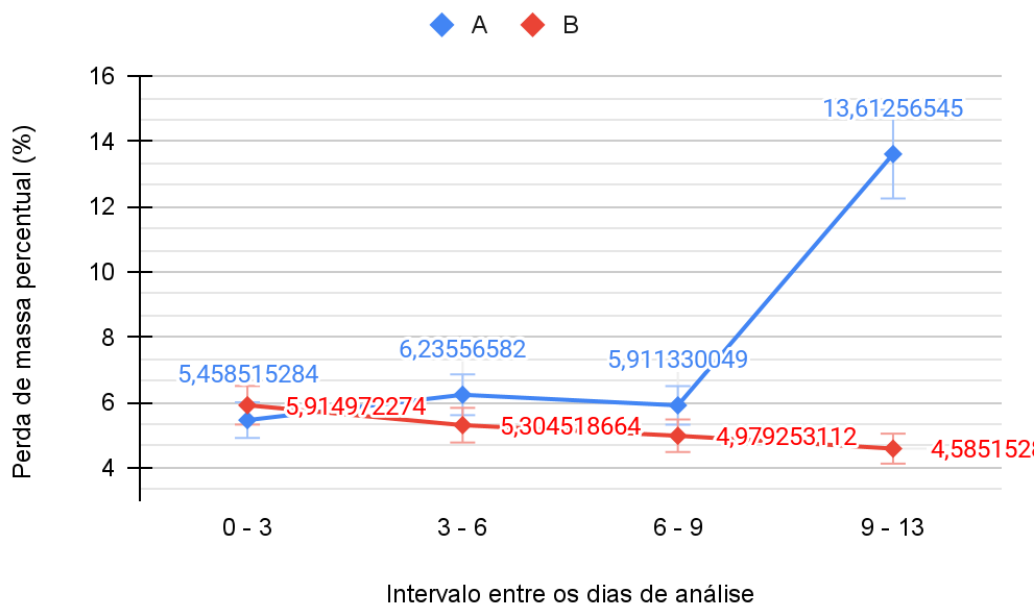
Observa-se, pelo comportamento apresentado na Figura 15 e na Figura 16, uma perda de massa fresca semelhante nos frutos, de ambos os Grupos (A e B), nos primeiros dias de tratamento, quando armazenados em condições de temperatura 21 °C e umidade relativa 65%.

Entretanto, com o passar dos dias, durante o período pós-colheita, em especial após o 6º dia de tratamento, que os frutos pertencentes ao Grupo A (Controle) começaram a apresentar expressivos pontos de contaminação microbiana e que, a perda de massa fresca começou a se intensificar, dobrando-se de valor, entre os dois últimos dias de análise (9º e 13º dias), elevando-se consideravelmente, o valor médio na perda de massa fresca dos frutos deste Grupo para 27,94%.

Em contrapartida, a perda percentual de massa fresca dos frutos do Grupo B se manteve em queda gradual, durante todo o período de observação, com valor médio chegando próximo dos 19,22%, ou seja, uma diferença percentual de perda de massa fresca considerável entre os frutos tratados e os não tratados (Figura 17).

Resultados similares foram obtidos em diversos outros trabalhos nas últimas décadas, como é o caso do Tiago M. Vieira para a revista *Foods* (2021) e Alisson do Nascimento para a revista *Membranes* (2023). Nesses trabalhos, os pesquisadores analisaram géis à base de diferentes biopolímeros, contendo óleos essenciais como agentes antimicrobianos, revestindo figo e mamão, respectivamente, por um determinado período de armazenamento. Em ambos artigos, foi possível comprovar a eficiência dos revestimentos em reduzir a perda de massa fresca dos frutos e outras mudanças ocasionadas pelo processo de amadurecimento, em comparação com o controle.

Figura 8 - Monitoramento da perda (%) média de massa fresca no período



Fonte: De autoria própria

Estes dados (Figura 17) elucidam o tratamento com o revestimento alimentício, como uma estratégia para a redução no processo respiratório dos frutos do mamoeiro, e consequentemente redução na perda de massa fresca do mamão, em comparação aos frutos não tratados, o que repercute também em um menor impacto econômico durante a sua comercialização.

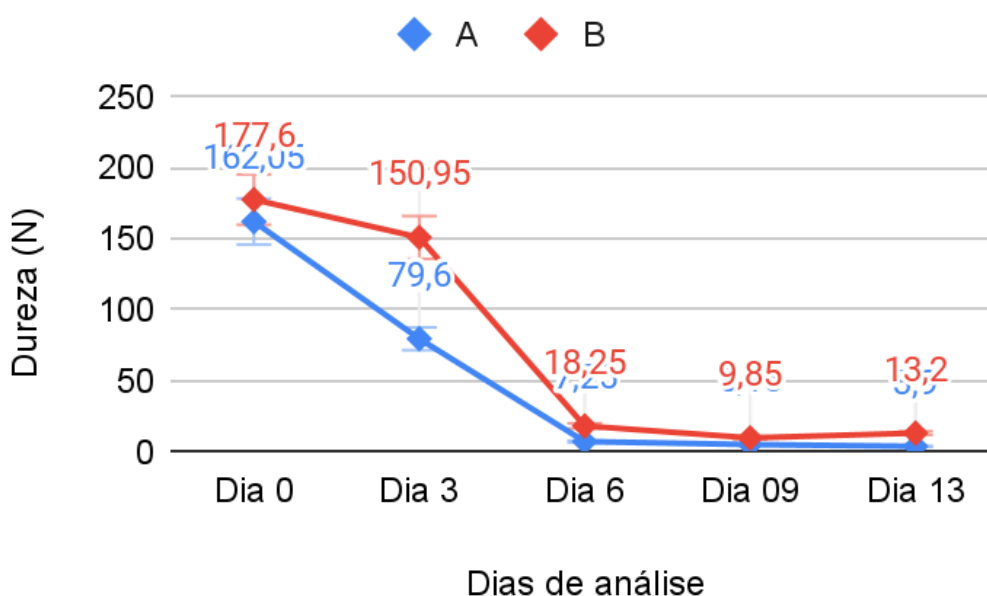
Importante e necessário salientar que, o componente principal do revestimento alimentício e, responsável pela formação da película em volta do fruto do mamão, é o alginato e que, apesar das suas fortes características e benefícios para uma tecnologia de conservação pós-colheita, possui uma atuação efetivamente limitada como uma barreira que impeça a liberação de vapores d'água oriundos do processo respiratório da fruta, se comparado à outros biopolímeros que também são explorados pela indústria (Huq et al., 2012; Cheng et al., 2012).

Como forma de aprimoramento do revestimento alimentício, é interessante explorar a utilização de outros compostos que possam potencializar essa característica de barreira e que impeça a perda de água do fruto. Alguns estudos trazem como proposta, a utilização de blends de géis que combinam características de diferentes substâncias como, por exemplo, a utilização de Alginato e Quitosana, acrescidos com o nano ZnO (Arroyo, 2018) que garante uma menor troca de vapores d'água.

A obtenção de melhores resultados, através da utilização de blends de géis, por exemplo, pode trazer um reflexo econômico ainda maior, uma vez que a precificação desse tipo produto é feita através de seu peso, pois sua aplicação causa consequentemente, uma redução nas perdas de massa fresca dos produtos e assim, trariam um aumento percentual no valor agregado com a venda e/ou revenda do mamão.

Além de questões econômicas, alguns parâmetros analisados estão relacionados às características qualitativas do mamão, que influenciam fortemente em sua comercialização. Na Figura 18, está registrado o comportamento médio da dureza do mamão ao longo do período pós-colheita após o tratamento, apresentado nos mamões do Grupo A e do Grupo B.

Figura 9 - Monitoramento da firmeza do mamão no período



Fonte: De autoria própria

Com o decorrer dos dias de análise, o processo de amadurecimento do mamão, gera uma série de reações bioquímicas que transformam as estruturas do fruto. No caso da pectina, por exemplo, uma das principais estruturas responsável por dar firmeza à casca do fruto, os processos de hidrólise e de solubilização decorrentes de sua transformação, determinam consequentemente, o amaciamento do fruto (do Prado et al., 2016).

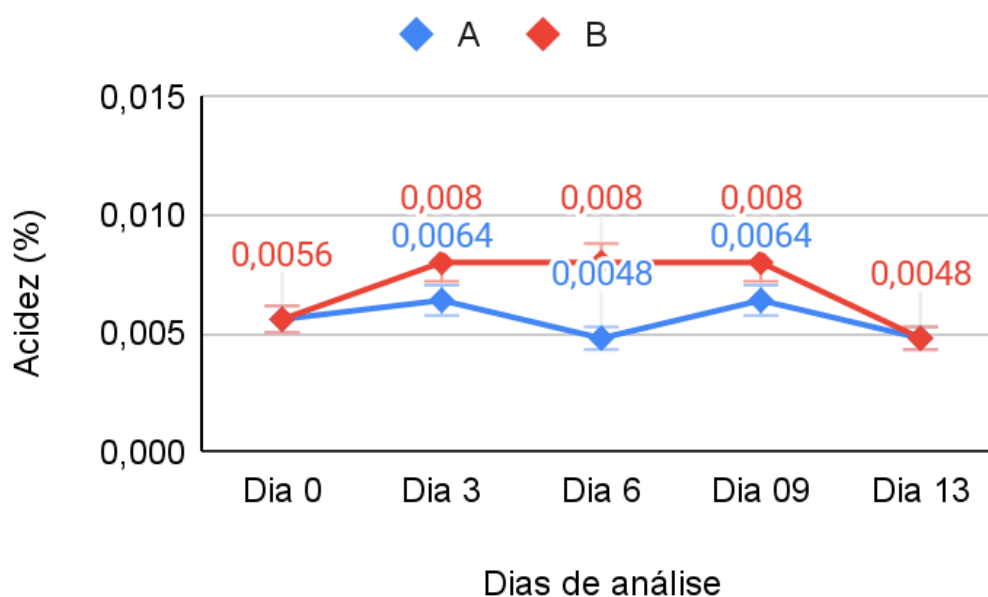
Os resultados obtidos com a utilização do penetrômetro, como esperado, elucidam o declínio da firmeza do mamão com o passar dos dias em ambos os frutos de mamão nos dois Grupos em análise, ilustrando a continuidade do processo de maturação, corroborando as observações descritas nos registros anteriores. Entretanto, é possível observar que para os frutos do Grupo A (Controle), o declínio aconteceu de forma mais acentuada, quando comparamos com os frutos do Grupo B (Tratamento: Revestimento alimentício).

Este fato leva à conclusão de que, os frutos contendo o revestimento, podem manter seu processo de maturação em atividade, mas a hidrólise de suas substâncias estruturais sofrem um menor impacto, o que corrobora com os resultados também observados por Vieira (2021). Havendo esse retardo nas mudanças estruturais que prejudicam, consequentemente, seu processo de comercialização, há também uma grande ganho comercial uma vez que

encontram-se menos suscetíveis à estresses por injúrias mecânicas que poderiam potencializar seu processo de senescência (do Prado et al., 2016).

Da mesma forma, no pós colheita e consecutivas etapas de transporte e armazenamento, há um aumento gradual na concentração de ácidos orgânicos, sucedida por um decréscimo quando são consumidos como substrato para a respiração do fruto e nas transformações dos açúcares (Fabi et al., 2019). Abaixo (gráfico 4), temos os resultados obtidos nas análises de acidez titulável:

Figura 10 - Monitoramento da acidez titulável da polpa do mamão no período

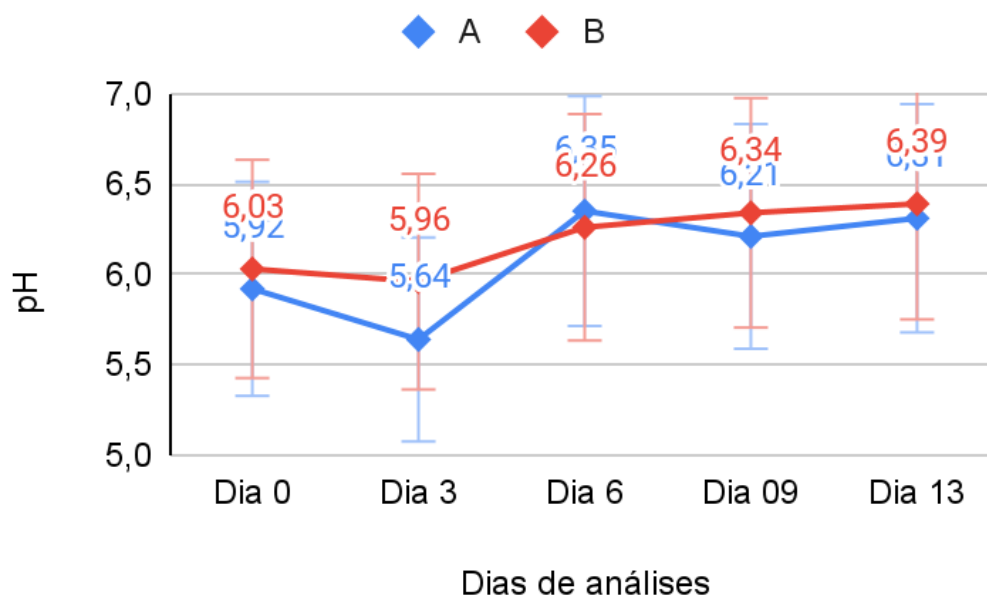


Fonte: De autoria própria

É possível observar que houve um acréscimo esperado na acidez da polpa das amostras nos primeiros dias de análise, entretanto, esse comportamento é um pouco distinto entre os grupos. Enquanto tem-se um aumento inicial que se estabiliza nos resultados do grupo B, cujo os mamões receberam o revestimento, nos resultados do grupo A que não receberam o revestimento, é possível observar que os valores de acidez oscilam e são menores em comparação com o outro grupo, entretanto não há uma grande diferença entre eles.

Assim, temos um reflexo desejável na conversão dos ácidos orgânicos durante a maturação dos frutos, entretanto não há uma variação significativa para que a presença do revestimento seja justificada entre os grupos analisados. Quando passamos para o monitoramento do pH da polpa da fruta, também um parâmetro fundamental juntamente com acidez, uma vez que monitoram essa relação da presença dos ácidos orgânicos, temos o gráfico abaixo com a representação dos resultados obtidos:

Figura 11 - Monitoramento do pH da polpa do mamão no período

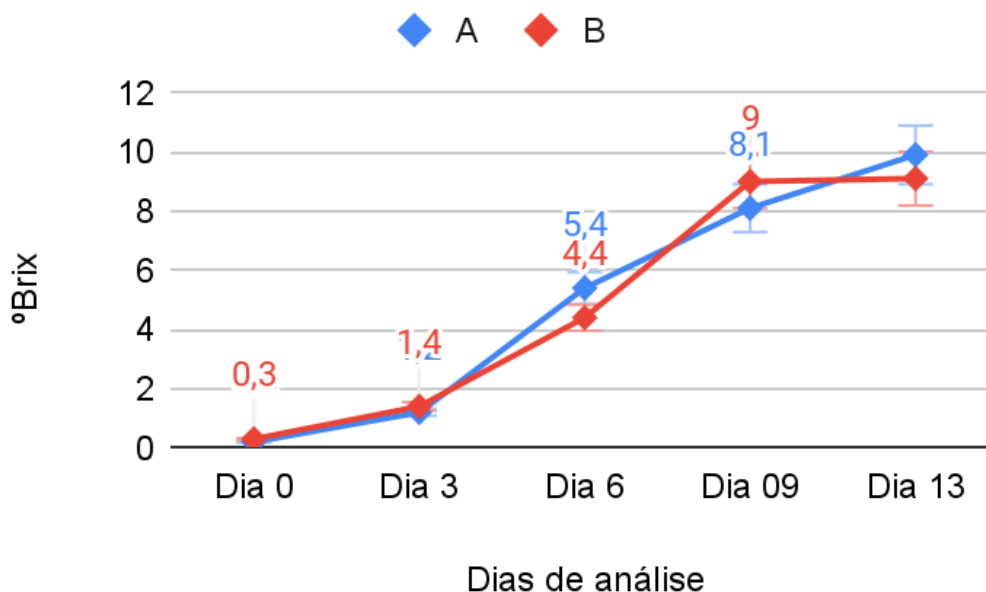


Fonte: De autoria própria

Como fica claro no comportamento dos gráficos, é possível perceber que não há uma discrepância muito grande entre os resultados dos dois grupos, o que pode levar a inferir que, para esse parâmetro bem como na acidez, o revestimento não interferiu significativamente na realização das reações bioquímicas de amadurecimento do fruto, a ponto de haver uma discrepância entre os grupos observados. Conclusões similares foram obtidas por Nascimento (2023) e Betty Arroyo (2018) em sua tese de mestrado, especialmente em relação ao pH.

Ainda dentro das transformações bioquímicas dos processos de maturação, com a realização das atividades respiratórias do fruto, incluindo liberação de vapor d'água, e as transformações de açúcares complexos gerando um aumento nas concentrações de açúcares simples, traz o aumento significativo de sólidos solúveis (não apenas carboidratos) na polpa do fruto (Fabi et al., 2019). Para o monitoramento desse parâmetro, os resultados obtidos através da medição do refratômetro, obtidos em °Brix, foram registrados e mostrados abaixo (Figura 21):

Figura 12 - Monitoramento de sólidos solúveis no período



Fonte: De autoria própria

Como esperado, é possível observarmos que houve esse aumento no teor do °Brix de ambos os grupos A e B, seguindo o curso de amadurecimento, principalmente nos primeiros dias de análise (dias 0 e 3) onde o comportamento foi bastante próximo, entretanto, a partir do 6º dia esse aumento tornasse mais gradual e em menor ritmo no grupo B, o qual contém o revestimento em análise, quando comparado ao grupo A, que não contém o revestimento.

É possível visualizar também que entre o 6º e 9º dia, que enquanto os mamões do grupo B estão chegando ao valor desejado de sólidos solúveis para o fruto maduro, no grupo A há um decaimento nesse valor, em razão ao início dos processos de senescência (que serão observados nos registros fotográficos da Figura 14), comportamento esse que se mantém até o último dia de análises do experimento. Esses comportamentos são coerentes com o que é descrito por João Paulo Fabi para a revista Plant Science (2019), a respeito das transformações fisiológicas do mamão ocasionadas pelo seu amadurecimento, e no comportamento dos frutos climatéricos segundo Chitarra & Chitarra (2005).

Como um todo, nas análises de perda de massa fresca, da firmeza e coloração, foi possível observar o reflexo qualitativamente e quantitativamente que o revestimento trouxe para os frutos, já para os demais parâmetro monitorados, não apresentaram resultados altamente discrepantes entre si, mostrando que não há interferências negativas ao processo de amadurecimento, e que para resultados mais positivos sempre há necessidade de mais estudos em cima desse material para um melhor mapeamento e melhoria de seu desempenho em relação a sua aplicação no mamão.

De maneira geral, com os resultados obtidos no experimento realizado, podemos concluir que tais comportamentos ocorrem porque o revestimento aplicado ao grupo B, geram uma influência no processo de maturação do mamão, em

especial por seus processos respiratórios e proteção microbiana, ou seja, a cobertura acaba atuando como um regulador de permeabilidade nas trocas que ocorrem entre o fruto e o ambiente no qual está inserido e protege o fruto da proliferação de microrganismos que deterioram o produto e geram um estresse que acelera seu processo de maturação. Todos esses pontos geram impacto sobre a perda de massa, mudança de coloração e firmeza dos tecidos que em termos técnicos do metabolismo da fruta, fazem com que:

- A hidrólise das pectinas ocorra de forma mais lenta, mantendo a firmeza dos tecidos por um período de tempo mais prolongado, sobretudo a firmeza da casca, isso traz grandes benefícios comerciais no que diz respeito à aceitação sensorial da fruta, uma vez que o amolecimento excessivo gerado pelo processo de maturação, faz com que haja uma rejeição ao chegar ao consumidor final, em preferência a frutos mais firmes.
- O crescimento microbiano seja impedido, minimizando assim fontes de estresse metabólico às frutas, que aceleram sua maturação, e reduzindo as perdas por contaminação do alimento.
- A liberação gradual de vapor d'água pela regulação das taxas respiratórias, ocasionando uma menor perda percentual de massa fresca.
- Evolução dos processos de transformação bioquímica, que contribuem com a formação de *flavor* e dulçor das frutas, compatíveis com o período de armazenamento e o estado de maturação.

Como reflexo desses processos, temos um fruto com um período de vida útil muito maior, mantendo por mais tempo suas características comerciais de interesse e assim reduzindo o percentual de perdas ao longo da cadeia produtiva.

5. 2. VIABILIDADE DE PROCESSO

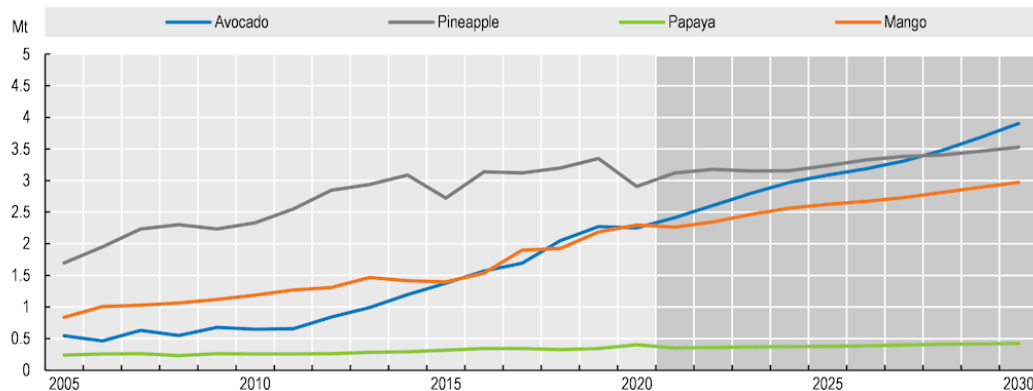
A busca por uma alimentação mais natural, associado aos avanços tecnológicos que propiciam a chegada de alimentos frescos em todo o planeta, possibilitou a popularização de frutas tropicais, que são características de certas regiões, em diversos outros países, fazendo com que esse mercado chegue a mobilizar mais de 10 bilhões de dólares anualmente em exportação (FAO, 2022).

Segundo a Food and Agriculture Organization of United Nations, os principais destinos dessas exportações são para os Estados Unidos e União Européia, e as principais frutas desse grupo são Manga, Goiaba, Abacaxi e, abordado neste trabalho, o mamão, que sozinho representa 5% do volume total em toneladas de frutas tropicais exportadas globalmente e em dólares, esse valor representa cerca de 3% do volume total.

Além disso, segundo estimativas realizadas pelo órgão, a previsão é que o volume de produção mundial para o mamão chegue a 18 Mt em 2030, apontando como principais desafios para esse crescimento e sua maior exploração extensiva, a alta perecibilidade e sensibilidade da fruta durante o transporte, explicitando assim a

necessidade de maiores investimentos em inovações tecnológicas tanto na cadeia de frio quanto no setor de embalagens e transporte, que possibilitem um maior tempo de vida útil para esses alimentos (FAO, 2021).

Figura 13 - Cenário de exportação global de frutas tropicais

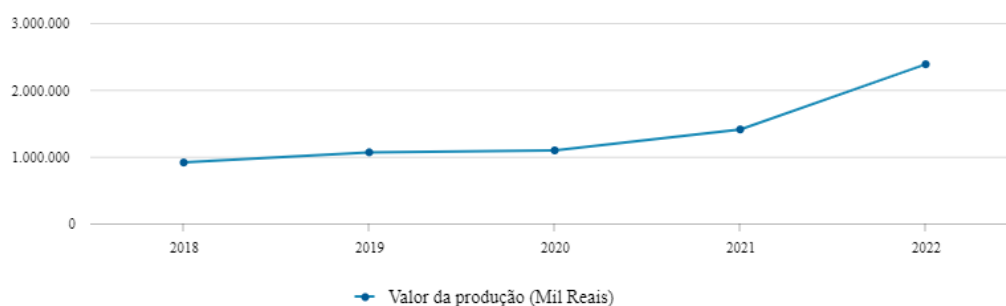


Fonte: FAO (2021)

Como levantado anteriormente, o Brasil é não só um dos maiores produtores como também exportadores de frutas tropicais no mundo, e se tratando do mamão, de acordo com a FAO, assumiu em 2021 o segundo lugar como maior exportador mundial da fruta, tendo como principal destino a União Européia. De acordo com levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em conjunto com o Ministério da Agricultura e Pecuária, o Brasil produziu em 2022 quase 2,5 bilhões de reais da fruta, um aumento de mais de 65% em relação ao ano anterior.

Figura 14 - Gráfico de produção do Mamão no Brasil nos últimos 5 anos

Série histórica (BR) - Mamão - Valor da produção



Fonte: IBGE (2023)

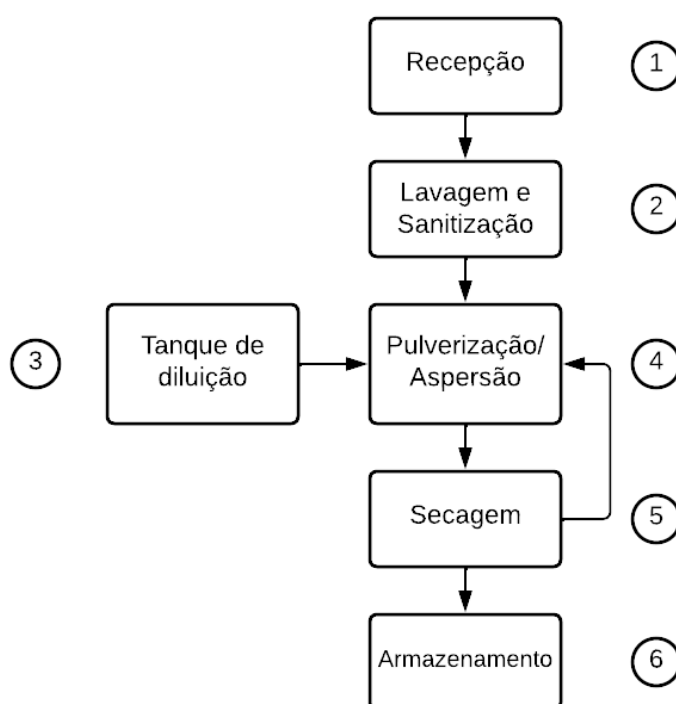
Considerando o percentual de perda de massa obtido nos resultados experimentais, é possível visualizar o impacto que pode ser alcançado com a implementação desse revestimento em larga escala. Ainda segundo o IBGE, o Brasil produziu aproximadamente 1,1 Mt de mamão no ano de 2022, considerando a diferença de 8,72% entre a perda de massa global dos mamões controle (grupo A) e os contendo o revestimento (grupo B), esse percentual sobre o volume de produção

no país poderia elevar o volume de produção para aproximadamente 1,2 Mt, refletindo em um ganho econômico de mais de 209 milhões de reais.

A implementação de tecnologias que buscam agregar valor ao produto, e nesse caso aumentar o tempo de conservação do mamão, influenciam em seu custo e consequentemente no valor final de venda. Em geral, o processo logístico do mamão destinado ao processo de exportação, tende a possuir um investimento tecnológico maior em decorrência da sensibilidade do fruto e da sua necessidade de duração por períodos maiores para transporte a longas distâncias.

De toda forma, a aplicação desse revestimento na cadeia produtiva do mamão pode ter tanto um caráter corretivo quanto o preventivo, ou seja, respectivamente inibir o crescimento de microrganismos existentes ou impedir que microrganismos contaminem a superfície do alimento. Para que atue preventivamente, é necessário que haja uma etapa de sanitização da fruta, que preceda a aplicação do filme, fazendo com que a concentração microbiana seja a menor possível, dessa forma, a figura a seguir mostra como se pode ocorrer o processo para implementação do revestimento:

Figura 15 - Fluxograma de processos



Fonte: De autoria própria

Em relação ao processo descrito no fluxograma da Figura 24, sua montagem consiste em uma linha onde, após recepcionadas (1), as frutas passam por uma lavagem e sanitização (2), seja por imersão em água com solução sanitizante em tanques ou por aspersão enquanto são mecanicamente escovadas em uma esteira transportadora. Em seguida, são transportadas para uma esteira onde o revestimento paralelamente diluído em um tanque de agitação (3), é aspergido

(método de aplicação utilizado no trabalho) sobre a superfície das frutas (4), passando depois por um processo de secagem por circulação de ar através de ventiladores (5), essas etapas são realizadas repetidas vezes a depender do número de camadas desejadas que a fruta tenha, para então serem armazenadas posteriormente (6).

A logística do processo, é muito semelhante ao realizado para limpeza e sanitização de frutas que normalmente já acontecem nos centros de distribuição e exportação, com a diferença de que ao invés de estar sendo utilizada uma solução sanitizante, é utilizado o revestimento na diluição indicada e com uma etapa posterior de secagem mecânica, como foi descrito anteriormente. Em relação aos equipamentos utilizados para esses processos, somam-se aos processos de lavagem e sanitização:

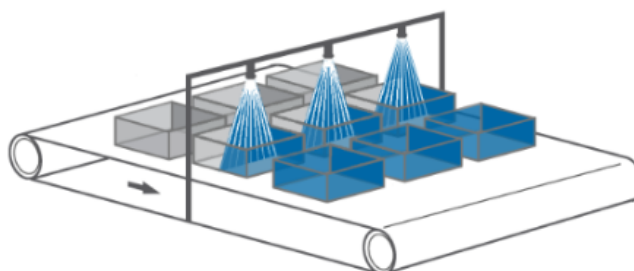
Figura 16 - Tanque agitador



Fonte: SYBS, 2024

Para o preparo do revestimento, que consiste na sua diluição em água, são utilizados tanques com agitação mecânica, cuja capacidade irá depender do volume de frutas a ser revestido. Acoplado a ele, um sistema de tubulações que irá transportar por gravidade ou bombeamento, o revestimento ao ponto de aplicação.

Figura 17 - Sistema de aspersão



Fonte: Blog Spray, 2024

O sistema consiste em bicos aspersores que pulverizam sobre as frutas na esteira transportadora, o revestimento canalizado do tanque de agitação.

Figura 18 - Exaustores utilizados para circulação de ar forçada



Fonte: RioFlux, 2024

Para realizar e otimizar o processo de secagem do revestimento, é necessária a circulação de ar pelas frutas, assim, um sistema de ventiladores ou exaustores no decorrer da esteira auxiliará nesse processo, para que sejam então levadas para uma nova etapa de revestimento, ou destinadas ao armazenamento.

O momento de aplicação dessa película, pode ocorrer desde a pós colheita, nas conhecidas “*packing-houses*” ou galpões de embalo, onde o mamão é preparado para o transporte, seja para centro de distribuições ou transportadoras de exportação, como pode ocorrer também nos estabelecimentos de destinação final,

como supermercados. O principal ponto que ditará essa questão, é o período de armazenamento desejado, uma vez que o quanto antes no estágio de maturação esse revestimento for aplicado, por mais tempo o produto ficará viável.

Como descrito, os equipamentos envolvidos na implementação desse revestimento em uma linha produtiva, são compatíveis com atividades já realizadas no setor, tornando assim esse processo viável e de fácil implementação. Entretanto, tratando-se de viabilidade econômica, é necessário a realização de estudos mais aprofundados para não só quantificar o volume de revestimento necessário por tonelada de fruta, como também para compreender o número de camadas aplicáveis, realização do dimensionamento da escala de interesse e orçamento do processo em si, para assim analisar a rentabilidade do processo e seu retorno financeiro.

6. CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o revestimento à base de alginato, com nanocápsulas contendo substâncias antimicrobianas, pode sim desacelerar o processo de maturação pós-colheita do mamão, reduzindo principalmente a perda de massa, em uma diferença de 8,72% em relação ao controle, e potencialmente retardando suas transformações bioquímicas. Além disso, mostrou-se capaz de controlar o crescimento microbiano, mantendo a integridade do fruto por mais tempo. Os testes revelaram diferenças significativas entre os mamões revestidos e não revestidos em relação à perda de massa e firmeza, já os resultados para acidez titulável e sólidos solúveis, não mostraram diferenças tão expressivas. Sendo assim, enquanto os frutos revestidos apresentaram uma menor perda de massa e maior firmeza, mantendo características sensoriais desejáveis por mais tempo, os não revestidos mostraram sinais de deterioração mais rápida, como contaminação microbiológica e murchamento.

Ainda sim, é importante que para a aplicação desse revestimento com a obtenção de resultados mais satisfatórios, sejam feitos estudos que mapeiem o comportamento respiratório do mamão, como por exemplo através da quantificação de liberação de CO₂ e etileno, juntamente com a análise dos componentes de sua formulação e possíveis melhorias que venham a potencializar suas propriedades de barreiras. Outro ponto importante trata da identificação dos microrganismos responsáveis pela deterioração observada no experimento, entendendo quais fatores tenham contribuído para o seu aparecimento e acima de tipo, como trazer melhorias que venham a garantir cada vez mais a segurança e integridade do alimento e de seus consumidores.

De maneira geral, os resultados obtidos foram promissores, especialmente no quesito sensorial, cuja integridade física do mamão como um atrativo ao consumidor, já torna sua implementação de interesse comercial. Atrelado a isso,

reduções de perdas e a simplicidade de seu processo de aplicação, abrem margem para um promissor aliado para o setor de hortifruti, seja ele para mercado interno ou externo.

7. REFERÊNCIAS

ARROYO, Betty Del Carmen Jarma. Revestimentos bioativos a base de alginato e quitosana aditivados com nanoZnO para aplicação em goiabas (*Psidium guajava* L.). 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

BARBOZA, H. T. G.; SOARES, A. G.; FERREIRA, J. C. S.; FREITAS SILVA, O. Edible films and coatings: concept, application, and use in post-harvested fruits and vegetables. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 9, p. e9911931418, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i9.31418. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/31418>. Acesso em: 21 dez. 2023.

CHEN, Y.; GRIMPLET, J.; DAVID, K.; CASTELLARIN, S. D.; TEROL, J.; WONG, D. C. J.; LUO, Z.; SCHAFFER, R.; CELTON, J. M.; TALON, M.; GAMBETTA, G. A.; CHERVIN, C. Ethylene receptors and related proteins in climacteric and non-climacteric fruits. *Plant Science*, v. 276, p. 63-72, nov. 2018. DOI: 10.1016/j.plantsci.2018.07.012. PMID: 30348329.

CHETTRI, S.; SHARMA, N.; MOHITE, A. M. Edible coatings and films for shelf-life extension of fruit and vegetables. *Biomaterials Advances*, v. 154, p. 213632, nov. 2023. DOI: 10.1016/j.bioadv.2023.213632. PMID: 37742558.

CHITARRA, Maria Isabel Fernandes; CHITARRA, Adimilson Bosco. Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.

DEVI, L. S.; JAISWAL, A. K.; JAISWAL, S. Lipid incorporated biopolymer-based edible films and coatings in food packaging: a review. *Current Research in Food Science*, v. 8, p. 100720, mar. 2024. DOI: 10.1016/j.crfs.2024.100720. PMID: 38559379.

DO NASCIMENTO, A.; TONETO, L. C.; LEPAUS, B. M.; VALIATI, B. S.; FARIA-SILVA, L.; DE SÃO JOSÉ, J. F. B. Effect of edible coatings of cassava starch incorporated with clove and cinnamon essential oils on the shelf life of papaya. *Membranes (Basel)*, v. 13, n. 9, p. 772, ago. 2023. DOI: 10.3390/membranes13090772. PMID: 37755194.

DO PRADO, S. B.; MELFI, P. R.; CASTRO-ALVES, V. C.; BROETTO, S. G.; ARAÚJO, E. S.; DO NASCIMENTO, J. R.; FABI, J. P. Physiological degradation of

pectin in papaya cell walls: release of long chains galacturonans derived from insoluble fractions during postharvest fruit ripening. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 1120, jul. 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.01120. PMID: 27512402.

EDIYILYAM, S.; GEORGE, B.; SHANKAR, S. S.; DENNIS, T. T.; WACŁAWEK, S.; ČERNÍK, M.; PADIL, V. V. T. Chitosan/gelatin/silver nanoparticles composites films for biodegradable food packaging applications. *Polymers (Basel)*, v. 13, n. 11, p. 1680, maio 2021. DOI: 10.3390/polym13111680. PMID: 34064040.

FABI, J. P.; DO PRADO, S. B. R. Fast and furious: ethylene-triggered changes in the metabolism of papaya fruit during ripening. *Frontiers in Plant Science*, v. 10, p. 535, abr. 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00535. PMID: 31105730.

FAO. Major tropical fruits: preliminary results 2021. Rome, 2022.

FELLOWS, P. Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e práticas. Editorial Acribia, S. A., 2006. 602 p.

FERNANDES, Karina Felix Dias. Aplicação de revestimentos à base de alginato de sódio incorporados de bactérias lácticas para controle de antracnose em goiaba e manga. 2021. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Nutrição) – Programa de Pós-graduação em Ciências da Nutrição, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB.

HASSAN, F.; MU, B.; YANG, Y. Natural polysaccharides and proteins-based films for potential food packaging and mulch applications: a review. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 261, p. 129628, mar. 2024. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129628. PMID: 38272415.

HUQ, T.; SALMIERI, S.; KHAN, A.; KHAN, R. A.; TIENA, C. L.; RIEDL, B. Nanocrystalline cellulose (NCC) reinforced alginate-based biodegradable nanocomposite film. *Carbohydrate Polymers*, v. 90, p. 1757-1763, 2012.

IKUDEMAJU, A. S.; OLABAYO, M. T.; ADENIRAN, S. A. The development of edible coatings for food shelf-life extension: a review. *Journal of Food Science and Technology*, v. 6, n. 2, p. 76-89, 2021.

KHAN, F.; AHMED, S.; ALI, S.; ABBAS, M. Optimization of shelf-life of minimally processed papaya using edible coating. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 47, n. 2, p. e16322, fev. 2023. DOI: 10.1111/jfpp.16322.

MORAIS, K. C. B.; LIMA, S. R.; ALVES, J. P.; ARAÚJO, M. A. M. Revestimentos comestíveis na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 11, n. 3, p. 25-34, 2022.

MOURA, S. C. S. R.; BERGAMASCO, R. Aplicação de revestimentos comestíveis em frutas tropicais. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 30, n. 2, p. 340-352, jun. 2008. DOI: 10.1590/S0100-29452008000200015.

OLIVEIRA, D. S. B.; COSTA, J. L. O.; ALMEIDA, D. P. F. Papaya fruit softening and gene expression of expansins and pectinases as affected by ethylene and 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, v. 112, p. 107-113, set. 2016. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2015.09.019.

RAMACHANDRAIAH, K.; LEE, W. J.; CHIN, K. B. Recent developments in natural antimicrobials based biodegradable films for improving the shelf-life of food. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 22, n. 16, p. 9195, ago. 2021. DOI: 10.3390/ijms22169195.

RAMOS, O. L.; FERNANDES, J. C.; SILVA, S. I.; MONTEIRO, P. R. Edible films and coatings from whey protein. *Journal of Food Engineering*, v. 167, p. 56-61, jul. 2015. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.01.026.

SILVA, L. B.; MARTINS, F. A.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, G. B. Uso de revestimentos à base de amido de mandioca na conservação de goiabas. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 38, n. 1, p. 125-130, jan./mar. 2016. DOI: 10.4025/actasciagron.v38i1.26239.

TRIPATHI, P.; DUBEY, N. K.; SHUKLA, A. K. Use of some essential oils as post-harvest botanical fungicides in the management of grey mould of grapes caused by *Botrytis cinerea*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 24, n. 1, p. 39-46, jan. 2008. DOI: 10.1007/s11274-007-9435-6.

ZHANG, W.; LI, H.; GENG, Z.; HUANG, S. Edible films and coatings loaded with natural antimicrobial compounds for food preservation: a review. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, v. 69, n. 9, p. 2545-2561, fev. 2021. DOI: 10.1021/acs.jafc.1c00567.