



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
- IFTO *CÂMPUS* ARAGUATINS

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRONÔMICA

PAUL SIMON DE MELO SILVA
VICTOR MANOEL CRUZ MACENA

TECNOLOGIA DE REVESTIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS NA CONSERVAÇÃO
PÓS-COLHEITA DE MANGA “UBÁ”

ARAGUATINS – TO

2026

PAUL SIMON DE MELO SILVA
VÍCTOR MANOEL CRUZ MACENA

**TECNOLOGIA DE REVESTIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS NA CONSERVAÇÃO
PÓS-COLHEITA DE MANGA “UBÁ”**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do Curso
Bacharelado em Engenharia Agrônômica do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Tocantins - *Campus*
Araguatins, como parte das exigências à
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Agrônômica.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Roberta de
Freitas Souza Lobo

ARAGUATINS – TO

2026

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S586t Silva, Paul Simon de Melo
 Tecnologia de revestimentos biopoliméricos na conservação
 pós-colheita de manga 'ubá' / Paul Simon de Melo Silva, Victor Manoel
 Cruz Macena. – Araguatins, TO, 2026.
 63 fol. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Agrônômica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins - IFTO, Araguatins, TO, 2026.

Orientadora: Dra. Roberta de Freitas Souza Lobo.

Coorientadora: Aritha Eduarda Dos Santos Sousa

1. Biofilmes. 2. Fisiologia vegetal. 3. Conservação. I. Macena, Victor
Manoel Cruz. II. Lobo, Roberta de Freitas Souza. III. Sousa, Aritha
Eduarda Dos Santos. IV. Título.

CDD 630

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**



Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins
Campus Araguatins
Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: TECNOLOGIA DE REVESTIMENTOS BIOPOLIMÉRICOS NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE MANGA 'UBÁ'

**AUTORAS: Paul Simon de Melo Silva
Victor Manoel Cruz Macena**

**ORIENTADORA: Prof.ª Dr.ª Roberta de Freitas Souza Lobo
COORDENADORA: Eng. Agrônoma Aritha Eduarda dos Santos Sousa**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, *Campus Araguatins*, como parte das exigências para a conclusão do Curso de Bacharelado em Engenharia Agrônoma.

Aprovado em 29 de maio de 2026.



Documento assinado eletronicamente por **Roberta de Freitas Souza Lobo, Servidora**, em 29/05/2026, às 15:02, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcio Rogerio Pereira Leite, Servidor**, em 29/05/2026, às 15:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Miqueias Alves da Rocha Cesar, Servidor**, em 29/05/2026, às 15:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.iftoc.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3201497** e o código CRC **BB906987**.

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos amados pais, Advandio Rodrigues da Silva, Maria Aurora de Sousa Cruz, Maria de Melo Gomes, Valdemir de Jesus Macena, que sempre acreditaram no poder da educação como motor de transformação e não mediram esforços para que chegassemos até aqui.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecemos a Deus pela oportunidade de chegarmos até aqui, por nos dar força durante todo esse trajeto que não foi fácil, sem ele certamente não teríamos alcançado nossos objetivos.

Aos nossos pais, Advandio Rodrigues da Silva, Maria Aurora de Sousa Cruz, Maria de Melo Gomes, Valdemir de Jesus Macena, amamos vocês incondicionalmente.

Agradecemos aos nossos amigos André Silva de Matos, Gabrielle Cruz Macena, Samuel de Oliveira de Sousa e a Valeria Cristina Ferreira Silva, pelo o apoio e ajuda.

Agradecemos ao Instituto Federal do Tocantins - *Campus Araguatins*, pela oportunidade de formação e a todo o corpo docente pelos ensinamentos compartilhados.

A nossa orientadora (a), Prof. Dra. Roberta de Freitas Lobo, pela paciência, pelas críticas construtivas e pela condução brilhante que permitiu a conclusão deste estudo.

Aos nossos colegas de turma, em especial a, André Junior, Aritha Eduarda, Caio Virgílio, Clyviton Alves, Christian Alves, João Heytor, João Marcos, Jhonsen Melo, Kleisson Silverio, Marcos Felipe, Paula Beatriz, pelas trocas de materiais, madrugadas de estudo e pelo apoio mútuo que tornou o fardo mais leve.

Às empresas Mage Consultoria, em nome de Marcione Souza Braga e Terra Norte Consultoria, em nome de José Araújo Veras, que nos acolheu e foram essenciais no nosso processo de aprendizagem quanto à nossa prática profissional.

À minha família, por compreender minha ausência nos momentos de lazer e por ser o alicerce emocional de que precisei.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este sonho se tornasse realidade.

“A melhor maneira de prever o futuro é inventá-lo.”

Alan Kay

RESUMO

A cultura da manga 'Ubá' possui elevada importância para a agroindústria, especialmente na produção de polpas e sucos. Entretanto, a perecibilidade acentuada e o manejo inadequado resultam em perdas pós-colheita que atingem índices críticos de desperdício. O objetivo deste estudo foi analisar a eficácia de revestimentos biopoliméricos e filme plástico na manutenção da qualidade físico-química de frutos armazenados sob temperatura controlada de 22 °C. O delineamento experimental adotou o formato inteiramente casualizado, submetendo as amostras a cinco tratamentos: Testemunha, Cera de abelha (14%), Azeite de coco babaçu (100%), Fécula de mandioca (8%) e Filme PVC transparente. As variáveis físicas e químicas foram monitoradas em intervalos de cinco dias, abrangendo um ciclo total de 20 dias de observação. Os resultados indicaram que os revestimentos lipídicos, representados pelo Azeite de babaçu e pela cera de abelha, foram os métodos mais eficientes na redução da perda de massa fresca e no retardamento da maturação cromática. Estes tratamentos preservaram elevados teores de acidez titulável e controlaram a evolução dos sólidos solúveis, mantendo o balanço sensorial (Ratio) em patamares ideais. O filme PVC, embora eficiente na retenção hídrica, induziu processos metabólicos desordenados devido à restrição gasosa excessiva. A fécula de mandioca apresentou performance intermediária, sendo limitada por sua natureza hidrofílica. Conclui-se que o uso de revestimentos lipídicos biopoliméricos constitui uma estratégia técnica sólida e sustentável para a extensão da vida útil comercial e redução do desperdício da manga 'Ubá'.

Palavras-chave: Biofilmes. Fisiologia vegetal. Conservação. Maturação.

ABSTRACT

The 'Ubá' mango cultivar holds significant importance for the agro-industry, particularly in pulp and juice production. However, high perishability and inadequate handling result in post-harvest losses that reach critical levels of waste. The objective of this study was to analyze the effectiveness of biopolymer coatings and plastic film in maintaining the physicochemical quality of fruits stored under a controlled temperature of 22 °C. The experimental design was completely randomized, subjecting samples to five treatments: Control, Beeswax (14%), Babassu oil (100%), Cassava starch (8%), and transparent PVC film. Physical and chemical variables were monitored at five-day intervals, covering a total cycle of 20 observation days. The results indicated that lipid coatings, represented by babassu oil and beeswax, were the most efficient methods in reducing fresh mass loss and delaying chromatic ripening. These treatments preserved high levels of titratable acidity and controlled the evolution of total soluble solids, keeping the sensory balance (Ratio) at ideal levels. The PVC film, although efficient in water retention, induced disordered metabolic processes due to excessive gas restriction. Cassava starch showed intermediate performance, limited by its hydrophilic nature. In conclusion, the use of biopolymer lipid coatings constitutes a solid and sustainable technical strategy for extending commercial shelf life and reducing waste in 'Ubá' mangoes.

Keywords: Biofilms. Plant physiology. Preservation. Ripening.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Cadeia produtiva e morfologia da manga	15
2.2 Fisiologia pós-colheita e perdas	18
2.3 Revestimentos biopoliméricos	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1 Local de condução do experimento e ambiente	23
3.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	25
3.3 Realização do experimento	27
3.4 Variáveis analisadas	33
3.5. Análise estatística	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Interpretação estatística e comportamento bioquímico (anova).....	37
4.2 Dinâmica da perda de massa fresca sob diferentes coberturas	40
4.3 Comportamento dos sólidos solúveis totais (sst).....	43
4.4 Monitoramento do potencial hidrogeniônico (ph)	46
4.5 Dinâmica da acidez titulável total (att)	50
4.6 Balanço químico e índice de sabor (relação sst/att)	53
4.7 Dinâmica da coloração da casca e índice de maturação visual.....	56
5 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

A produção brasileira de manga consolida o país como um dos principais protagonistas no comércio global de frutas tropicais. A variedade Ubá desperta o interesse da indústria de processamento devido ao seu expressivo teor de sólidos solúveis e polpa atrativa. O cultivo desta mangueira impulsiona a economia em polos regionais e gera ocupação para diversas famílias rurais. A sustentabilidade desse setor depende diretamente da eficiência tecnológica aplicada após a retirada do fruto do campo. Enquanto Ntsoane *et al.* (2019) destacam a importância econômica das tecnologias de conservação, Bhrijavasi *et al.* (2025) reforçam que o valor agregado depende da integridade física do produto final.

O cenário da fruticultura nacional enfrenta desafios severos relacionados ao desperdício de alimentos em todas as etapas logísticas. As estatísticas indicam que o Brasil perde cerca de um terço de sua produção de manga antes de chegar ao consumidor final. A natureza climatérica do fruto acelera as transformações metabólicas de forma desordenada sob altas temperaturas ambientais. A precariedade no transporte e o armazenamento inadequado contribuem para a redução drástica da vida útil das remessas comerciais. Segundo Le *et al.* (2022), a gestão da cadeia de suprimentos é fundamental para a qualidade, ao passo que Patel *et al.* (2019) sugerem que técnicas inovadoras são necessárias para reverter esse quadro de perdas.

A variedade Ubá possui características específicas que a tornam extremamente perecível durante o período de maturação plena. A casca fina do fruto facilita a ocorrência de danos mecânicos e a consequente invasão de microrganismos patogênicos. A rápida perda hídrica compromete a turgidez dos tecidos e resulta em um aspecto visual indesejado para o mercado. O controle da respiração celular torna-se o ponto central para retardar o amolecimento excessivo da polpa. Hassan (2022) afirma que tratamentos pós-colheita são vitais para a estocagem, enquanto Moreno-Hernández *et al.* (2024) apontam que a proteção da epiderme evita a deterioração precoce.

As perdas financeiras decorrentes do manejo impreciso afetam a rentabilidade de pequenos e médios produtores agroindustriais. A desvalorização dos lotes ocorre quando o fruto apresenta manchas, podridão ou

perda excessiva de massa fresca. A busca por alternativas de baixo custo e alta eficiência técnica é uma demanda crescente no setor agrônomo nacional. O uso de métodos físicos e químicos tradicionais muitas vezes esbarra em restrições ambientais ou custos elevados de implementação. Lawson *et al.* (2019) discutem a caracterização físico-química como base para o manejo, enquanto Bambalele *et al.* (2021) revisam os avanços tecnológicos disponíveis para mitigar tais falhas operacionais.

O emprego de revestimentos orgânicos surge como uma tecnologia promissora para a conservação de vegetais in natura. Essas películas atuam como barreiras físicas que diminuem a troca de gases entre o fruto e a atmosfera. O bloqueio parcial do oxigênio reduz a taxa de respiração e preserva as reservas energéticas do tecido vegetal. A aplicação dessas barreiras também ajuda na manutenção da hidratação interna por meio da redução da transpiração cuticular. Khedr e Al-Khayri (2023) observam efeitos sinérgicos em tratamentos biológicos, enquanto Prasad *et al.* (2022) confirmam que coberturas comestíveis estendem a vida de prateleira de forma eficaz.

A cera de abelha e os azeites vegetais apresentam propriedades hidrofóbicas que favorecem a proteção de frutos tropicais. A utilização desses compostos naturais alinha a produção agrícola aos preceitos da segurança alimentar e da sustentabilidade. O mercado consumidor atual exige produtos livres de resíduos químicos e com aparência de frescor prolongado. A adoção de biofilmes representa uma inovação incremental que pode ser facilmente integrada à rotina de processamento das fábricas. Fatima *et al.* (2022) defendem o uso de revestimentos ecologicamente corretos, ao mesmo tempo que Cuaresma (2016) reforça a necessidade de tratamentos que mantenham a qualidade intrínseca.

A gestão tecnológica do armazenamento exige o monitoramento constante de variáveis físicas e bioquímicas. A perda de massa fresca é o indicador mais direto da degradação comercial do lote de mangas. O acompanhamento do teor de sólidos solúveis e da acidez total titulável permite entender o estágio real de maturação. O balanço entre esses componentes define o sabor final e a aceitação industrial da polpa produzida. Liu *et al.* (2022) explicam o progresso da fisiologia do amadurecimento, enquanto Silué *et al.* (2022) demonstram como aplicações externas reduzem perdas durante o

armazenamento refrigerado.

O filme de PVC e a fécula de mandioca são outros materiais frequentemente testados para a vedação de frutos. O plástico oferece uma barreira total, mas pode induzir processos fermentativos se o oxigênio for restringido excessivamente. A fécula de mandioca cria uma rede de polissacarídeos que é biodegradável e de custo reduzido para o agricultor. A eficácia de cada material varia conforme a temperatura de estocagem e a variedade botânica do fruto. Pristijono, Golding e Bowyer (2018) analisam o controle da qualidade via atmosfera modificada, enquanto Wen *et al.* (2006) detalham a fisiologia respiratória sob diferentes condições de guarda.

A colheita realizada de forma manual ou mecânica influencia diretamente a integridade do fruto Ubá. O momento da retirada da árvore define o potencial de vida útil que a manga terá nos galpões de distribuição. O uso de ferramentas de proteção, como o ensacamento em árvore, previne danos causados por insetos e intempéries climáticas. A limpeza e a higienização imediata são etapas fundamentais para o sucesso dos revestimentos que serão aplicados posteriormente. Nadeem *et al.* (2022) relatam que o ensacamento mantém a qualidade, enquanto Prasad *et al.* (2019) comprovam a influência do método de colheita na perda final.

O uso de agentes de controle biológico e reguladores de crescimento também compõe o arsenal da pós-colheita moderna. A aplicação de substâncias como o ácido giberélico pode retardar a senescência e manter os atributos físico-químicos por períodos maiores. Esses tratamentos agem na regulação hormonal interna e impedem a degradação rápida das membranas celulares. A combinação de técnicas físicas e biológicas aumenta as chances de sucesso na preservação de grandes volumes de carga. Pandit *et al.* (2025) avaliam o efeito de concentrações ácidas na vida útil, enquanto Prasad *et al.* (2024) focam na mitigação de perdas qualitativas via agentes biológicos.

O problema central reside na falta de um protocolo de revestimento padronizado que atenda à realidade da manga Ubá. A ausência de dados técnicos dificulta a recomendação segura de métodos de conservação para as agroindústrias. As perdas elevadas persistem devido à aplicação de técnicas genéricas que não respeitam a fisiologia específica desta variedade. Diante do impacto do desperdício na economia rural, qual é o efeito dos revestimentos

alternativos de cera de abelha, azeite de coco babaçu e fécula de mandioca na conservação pós-colheita da manga 'Ubá' armazenada sob temperatura controlada?

O objetivo geral deste trabalho é analisar o efeito de diferentes revestimentos biodegradáveis e filme plástico na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas da variedade Ubá. Os objetivos específicos compreendem:

- Quantificar a perda de massa fresca dos frutos sob diferentes tratamentos ao longo do tempo.
- Monitorar a evolução da coloração da casca e os aspectos visuais de maturação.
- Determinar as variações nos teores de sólidos solúveis, pH e acidez titulável total.
- Avaliar a eficiência comparativa entre as películas orgânicas e o método convencional com PVC.

A justificativa para a realização deste experimento baseia-se na importância socioeconômica da manga Ubá. O desenvolvimento de tecnologias simples permite que o pequeno produtor aumente sua competitividade no mercado de polpas e sucos. A redução do desperdício contribui para a segurança alimentar e para o uso mais eficiente dos recursos naturais empregados no plantio. O estudo fornece subsídios técnicos para a padronização de processos de armazenamento que garantam a integridade do fruto por até 20 dias. Portanto, a investigação científica valida métodos sustentáveis que substituem o uso de conservantes químicos agressivos à saúde e ao meio ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A fundamentação teórica sobre os processos de maturação é essencial para interpretar os dados coletados no laboratório. O entendimento de que a manga é um fruto climatérico orienta as estratégias de controle do etileno. A barreira física imposta pelos revestimentos atua justamente na regulação dessa atividade hormonal e enzimática. A literatura técnica oferece o suporte necessário para correlacionar a perda de peso com a taxa de respiração celular. Conforme exposto por Liu *et al.* (2022) e Ntsoane *et al.* (2019), a integração de conhecimentos fisiológicos com novas tecnologias define o sucesso da conservação.

O armazenamento em câmara fria com temperatura estável complementa a ação dos revestimentos aplicados na epiderme. O controle térmico em torno de 22 °C busca simular as condições de distribuição comercial sem atingir o ponto de injúria por frio. A estabilidade do ambiente é crucial para que os resultados reflitam apenas a eficiência das películas protetoras testadas. A interação entre o tratamento superficial e a temperatura dita a velocidade das reações químicas internas. Khedr e Al-Khayri (2023) e Hassan (2022) reforçam que a sinergia entre ambiente e proteção garante a estabilidade bioquímica do fruto.

A cera de abelha destaca-se pela sua natureza comestível e excelente capacidade de formação de filme protetor. A sua aplicação em frutos tropicais tem demonstrado resultados positivos na manutenção do brilho e na redução da murchura. O material é abundante em diversas regiões produtoras e apresenta baixo risco de toxicidade para o consumidor. A película formada é resistente o suficiente para suportar o manuseio básico durante a embalagem e o transporte. Prasad *et al.* (2022) e Fatima *et al.* (2022) indicam que tais coberturas são fundamentais para a extensão da vida útil em sistemas de baixo impacto.

O azeite de coco babaçu representa uma alternativa regional com grande potencial para a conservação de alimentos. A sua riqueza em ácidos graxos saturados proporciona uma barreira lipídica estável contra a perda de água. A extração desse azeite é uma atividade tradicional que valoriza a biodiversidade nacional e apoia comunidades locais. O uso desse extrato na pós-colheita une o

conhecimento técnico à valorização de insumos nativos. Bambalele *et al.* (2021) e Bhrijavasi *et al.* (2025) ressaltam a importância de valorizar produtos regionais no processamento e conservação de frutas.

A fécula de mandioca é um polímero de baixo custo, amplamente disponível e de fácil preparação em ambiente rural. A formação de um gel transparente sobre a fruta permite a visualização da cor da casca enquanto protege o tecido. A sua degradação é rápida e não gera impactos ambientais negativos após o descarte do produto. Embora seja hidrofílica, a adição de aditivos ou a concentração correta podem melhorar sua performance como barreira gasosa. Moreno-Hernández *et al.* (2024) e Patel *et al.* (2019) discutem como esses avanços em revestimentos naturais protegem a integridade dos frutos.

O filme de PVC, apesar de eficiente na retenção de umidade, apresenta desafios quanto à sustentabilidade e ao custo. A utilização de plásticos na agricultura enfrenta crescente resistência devido aos impactos gerados pelos resíduos sólidos. A pesquisa busca comparar esse método tradicional com as novas opções biodegradáveis para verificar se há perda de eficiência técnica. A busca por materiais que aliem proteção e baixo impacto ambiental é a tendência central da engenharia agrônoma contemporânea. Le *et al.* (2022) e Pristijono, Golding e Bowyer (2018) analisam a viabilidade de diferentes sistemas de embalagem no contexto produtivo.

A análise estatística dos dados é o que garante a validade científica das conclusões obtidas no experimento. O uso de modelos matemáticos permite distinguir o que é variação natural do que é efeito direto do tratamento aplicado. A interpretação correta dos resultados orienta as recomendações técnicas que serão repassadas aos produtores rurais. O rigor na coleta e no processamento das informações é o que diferencia um estudo de caso acadêmico de uma observação empírica. Prasad *et al.* (2024) e Wen *et al.* (2006) utilizam metodologias robustas para validar as tecnologias de armazenamento propostas.

O estudo da manga Ubá foca em uma necessidade real das agroindústrias que operam com processamento de polpas. A transferência desse conhecimento para o campo pode resultar em um aumento direto na renda das famílias agricultoras. A ciência aplicada resolve problemas práticos e contribui

para a modernização das práticas de manejo tradicionais. Nadeem *et al.* (2022) e Lawson *et al.* (2019) mostram que o estudo detalhado das variedades locais é o ponto de partida para o sucesso comercial.

Os parâmetros de qualidade exigidos pela indústria são rigorosos quanto à cor, sabor e acidez. A manga Ubá precisa chegar à linha de processamento com as características ideais para garantir o padrão do suco final. Qualquer desvio nesses atributos resulta em descartes que oneram todo o sistema de produção. A tecnologia de pós-colheita atua como uma garantia de que o esforço realizado no campo não será perdido na prateleira. Silué *et al.* (2022) e Bhrijavasi *et al.* (2025) destacam que a manutenção da qualidade é o fator determinante para o sucesso da agroindústria.

A sustentabilidade na agricultura moderna passa obrigatoriamente pela redução do desperdício e pela economia circular. O uso de subprodutos como a cera e o azeite de coco babaçu exemplifica como a integração de cadeias produtivas pode ser benéfica. A substituição de insumos sintéticos por orgânicos reduz a pegada de carbono da atividade frutuosa. O presente trabalho alinha-se a esses objetivos globais ao testar soluções baseadas na natureza para problemas técnicos complexos. Fatima *et al.* (2022) e Moreno-Hernández *et al.* (2024) reforçam que o futuro da conservação está em métodos amigos do meio ambiente.

A conclusão do ciclo de maturação no laboratório permite prever o comportamento da fruta em condições reais de mercado. A simulação de 20 dias de armazenamento cobre o tempo médio necessário para o transporte e a venda no varejo. Os dados obtidos servirão de guia para que gestores de estoque decidam qual tratamento aplicar conforme o tempo de conservação desejado. A precisão técnica é fundamental para que a recomendação final seja confiável e aplicável. Ntsoane *et al.* (2019) e Prasad *et al.* (2022) utilizam períodos similares de observação para validar suas teses de conservação.

2.1 Cadeia produtiva e morfologia da manga

A cadeia produtiva da manga no cenário brasileiro apresenta um dinamismo econômico que coloca o país em posição de destaque na exportação de frutos tropicais. O sistema envolve etapas rigorosas que vão desde a seleção

de mudas certificadas até o gerenciamento logístico dos centros de distribuição. A eficiência deste setor depende da adoção de tecnologias que garantam a manutenção da qualidade durante o percurso entre o campo e a mesa do consumidor. Conforme indicam Bambalele *et al.* (2021), os avanços tecnológicos na pós-colheita são fundamentais para o setor, enquanto Le *et al.* (2022) reforçam a necessidade de um gerenciamento focado na preservação dos atributos do produto.

A morfologia da manga apresenta variações significativas entre as cultivares, sendo a variedade Ubá reconhecida por suas propriedades industriais superiores. O fruto possui um formato oblongo e uma epiderme fina que, embora facilite o processamento, aumenta a vulnerabilidade a danos físicos. A polpa apresenta coloração amarela intensa, pouca fibra e um sabor marcante decorrente da alta concentração de açúcares naturais. Lawson *et al.* (2019) destacam que a caracterização físico-química define a aptidão comercial das variedades, ao passo que Bhrijavasi *et al.* (2025) explicam como esses atributos influenciam o valor agregado final na agroindústria.

O desenvolvimento fisiológico da mangueira ocorre de forma robusta em regiões com temperaturas estáveis e baixa ocorrência de geadas. A árvore desenvolve uma copa densa que protege os frutos da radiação solar direta, preservando a integridade da casca durante o crescimento. A estrutura celular da casca atua como a primeira barreira contra a perda hídrica e a invasão de patógenos externos. Ntsoane *et al.* (2019) discutem a importância da tecnologia de pós-colheita no status atual do mercado, enquanto Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam que a proteção superficial é vital para a preservação prolongada do tecido vegetal.

A maturação da manga Ubá é um processo bioquímico acelerado que exige monitoramento constante para evitar perdas precoces. A transição cromática da epiderme serve como um indicador visual do estágio de prontidão para o consumo ou processamento. Internamente, as enzimas convertem o amido em sólidos solúveis, alterando drasticamente a textura e o balanço de acidez da polpa. Liu *et al.* (2022) detalham o progresso da fisiologia do amadurecimento e suas tecnologias regulatórias, enquanto Wen *et al.* (2006) reforçam como o entendimento dessas mudanças fisiológicas orienta as técnicas de estocagem.

A colheita deve ser realizada no momento fisiológico ideal para que o fruto suporte as etapas de beneficiamento e transporte. O manuseio inadequado nesta fase inicial pode desencadear processos respiratórios excessivos que reduzem a vida útil da carga. A utilização de métodos que diminuam o estresse metabólico do vegetal é uma estratégia recorrente em polos produtores de alta performance. Nadeem *et al.* (2022) observam que técnicas de manejo no campo influenciam a durabilidade, enquanto Prasad *et al.* (2019) comprovam que o método de colheita impacta diretamente na perda quantitativa de massa fresca.

O mercado de processamento de sucos e polpas exige frutos com alto rendimento e características sensoriais estáveis. A variedade Ubá preenche esses requisitos, sendo a base para a indústria agroalimentar. O tamanho mediano e a facilidade de extração da polpa tornam esta manga tecnicamente superior para as fábricas locais. Hassan (2022) demonstra que tratamentos pós-colheita são essenciais para manter a qualidade da estocagem, enquanto Cuaresma (2016) revisa as práticas necessárias para sustentar os padrões exigidos pelos consumidores modernos.

A integridade hídrica da manga Ubá é um dos fatores mais críticos para a preservação de sua capacidade comercial. A transpiração cuticular é a principal via de perda de peso, resultando em murchamento e perda de brilho da epiderme. A aplicação de barreiras físicas que simulem a cutícula natural do fruto tem se mostrado uma solução eficaz e sustentável. Prasad *et al.* (2022) afirmam que coberturas comestíveis ajudam a manter a qualidade sob armazenamento ambiente, enquanto Fatima *et al.* (2022) defendem que bio-revestimentos ecológicos aumentam a expectativa de vida útil.

A compreensão plena da cadeia produtiva e da morfologia botânica permite a aplicação de intervenções precisas na fase de pós-colheita. O alinhamento entre as práticas de campo e as necessidades industriais garante a sustentabilidade econômica do produtor de mangas. A inovação constante nos métodos de proteção física e química assegura que o potencial genético da variedade Ubá seja totalmente aproveitado. Khedr e Al-Khayri (2023) destacam os efeitos sinérgicos de tratamentos anti-etileno, enquanto Silué *et al.* (2022) demonstram como aplicações específicas reduzem as perdas de qualidade durante o frio.

2.2 Fisiologia pós-colheita e perdas

A fisiologia pós-colheita da manga é marcada pela classificação do fruto como climatérico, o que implica em uma elevação súbita na taxa respiratória após a colheita. Este aumento metabólico é acompanhado por uma produção intensa de etileno, o hormônio responsável por coordenar as mudanças químicas e físicas da maturação. O consumo acelerado de oxigênio consome as reservas energéticas armazenadas nos tecidos, reduzindo a vida útil comercial do vegetal in natura. Conforme explicam Liu *et al.* (2022), o entendimento desses processos regulatórios é a chave para a conservação, enquanto Wen *et al.* (2006) reforçam que a fisiologia respiratória dita o tempo de prateleira sob diferentes condições de guarda.

A perda de massa fresca representa o dano físico mais evidente e imediato decorrente do processo de transpiração celular. O gradiente de pressão de vapor entre o fruto e o ambiente provoca a migração da água interna para a atmosfera, resultando no murchamento da epiderme. Este fenômeno prejudica não apenas o aspecto visual, mas também altera a concentração de solutos e a textura da polpa. A integridade hídrica é, portanto, o principal alvo das tecnologias de recobrimento superficial. Prasad *et al.* (2019) destacam o impacto do método de colheita na perda de peso, ao passo que Ntsoane *et al.* (2019) discutem como essa variável afeta o status de qualidade tecnológica global.

As transformações bioquímicas durante o amadurecimento envolvem a conversão de polissacarídeos complexos em açúcares simples, como frutose e glicose. Este desmembramento do amido é acompanhado pela degradação de ácidos orgânicos, que servem de substrato para a respiração anaeróbia paralela. O equilíbrio entre sólidos solúveis e acidez total define a aceitação sensorial por parte do consumidor e da indústria de polpas. Qualquer desordem nesse balanço químico acelera a senescência e a perda de valor nutricional. Silué *et al.* (2022) relatam o efeito de aplicações químicas no controle dessas perdas, enquanto Hassan (2022) analisa a influência dos tratamentos na estabilidade bioquímica vacular.

A deterioração da parede celular resulta na perda de firmeza, tornando o fruto mais suscetível a danos mecânicos durante o transporte e a distribuição. As enzimas pectinolíticas degradam a estrutura de suporte do tecido, resultando

em uma polpa excessivamente macia e pastosa. Frutos com baixa firmeza perdem a resistência à compressão e tornam-se portas de entrada para patógenos oportunistas presentes no ambiente. O controle da atividade enzimática é fundamental para garantir que a carga suporte longas distâncias logísticas. Bambalele *et al.* (2021) revisam as tecnologias que mitigam esse amolecimento, enquanto Bhrijavasi *et al.* (2025) focam no processamento industrial para reduzir perdas por danos de textura.

A incidência de doenças pós-colheita, como a antracnose, é potencializada pelo aumento da umidade relativa e por ferimentos na epiderme. Fungos filamentosos colonizam a superfície do fruto e penetram nas camadas internas, causando podridões que inviabilizam o consumo. A contaminação microbiológica é uma das principais razões para o descarte de lotes inteiros em centros de distribuição agroindustriais. A aplicação de barreiras físicas e agentes biocontroladores visa interromper esse ciclo de infecção precoce. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam os avanços na proteção contra esses patógenos, ao passo que Prasad *et al.* (2024) avaliam o uso de agentes biológicos para mitigar perdas quantitativas.

A precariedade da infraestrutura logística no Brasil agrava os índices de perdas, que atingem patamares críticos na fase de pós-colheita. A falta de cadeias de frio eficientes acelera o metabolismo respiratório e a velocidade das reações de deterioração orgânica. O manuseio brusco em caixas inadequadas provoca lesões que servem de substrato para microrganismos e aceleram a perda hídrica. A aplicação de pacotes tecnológicos estruturados é a única forma de aumentar o rendimento final das safras comerciais. Le *et al.* (2022) reforçam o papel da gestão da cadeia de suprimentos, enquanto Patel *et al.* (2019) propõem técnicas de manejo para otimizar a conservação.

O controle do etileno e da taxa de respiração através da atmosfera modificada é uma estratégia eficaz para estender a durabilidade do fruto. A restrição controlada de oxigênio retarda a quebra de clorofila e a degradação de compostos fenólicos importantes. No entanto, níveis excessivamente baixos de oxigênio podem induzir a fermentação, gerando odores e sabores indesejáveis na polpa da manga. O desafio tecnológico reside em encontrar o ponto de equilíbrio que garanta a conservação sem prejudicar os atributos sensoriais. Khedr e Al-Khayri (2023) discutem os efeitos sinérgicos de tratamentos anti-

etileno, enquanto Pristijono, Golding e Bowyer (2018) demonstram como o ambiente de estocagem mantém a qualidade fisiológica.

2.3 Revestimentos biopoliméricos

O uso de revestimentos biopoliméricos representa uma das estratégias mais promissoras para a conservação de frutos tropicais devido à sua natureza sustentável e eficácia técnica. Estas coberturas comestíveis formam uma película fina sobre a epiderme do vegetal, atuando como uma barreira física seletiva contra a perda de vapor d'água e a troca excessiva de gases. A aplicação desses materiais visa mimetizar a função da cutícula natural, retardando processos de senescência e mantendo a integridade turgídica dos tecidos. Conforme indicam Bambalele *et al.* (2021), o avanço nestas tecnologias é fundamental para o setor, enquanto Prasad *et al.* (2022) reforçam que tais coberturas hidrocitadas estendem a vida útil e reduzem o apodrecimento.

A formulação desses revestimentos baseia-se em polímeros naturais como polissacarídeos, proteínas e lipídios, que oferecem diferentes graus de proteção conforme sua composição química. Os materiais lipídicos destacam-se pela alta hidrofobicidade, sendo extremamente eficientes na redução da transpiração e na manutenção do brilho externo da fruta. Já os polissacarídeos criam tramas estruturais que limitam a passagem de oxigênio, o que auxilia no controle da taxa respiratória e na síntese de etileno. Cuaresma (2016) revisa a importância desses tratamentos na manutenção da qualidade, ao passo que Fatima *et al.* (2022) defendem que o uso de bio-revestimentos ecológicos aumenta a expectativa de vida útil dos vegetais.

A eficácia do biopolímero depende diretamente da sua capacidade de adesão à superfície cerosa da manga, o que exige formulações com tensão superficial adequada. A aspersão ou imersão do fruto nestas soluções cria um microambiente interno que estabiliza o metabolismo enzimático durante o armazenamento. Esta atmosfera modificada individual permite que o fruto amadureça de forma lenta e uniforme, preservando atributos sensoriais como cor e firmeza por períodos prolongados. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam os avanços recentes na proteção e preservação, enquanto Hassan (2022) demonstra que a aplicação correta estabiliza a qualidade química vacular.

A cera de abelha é amplamente reconhecida como um agente de revestimento lipídico de alta performance devido à sua estabilidade e baixa permeabilidade hídrica. A aplicação desta substância orgânica confere uma proteção mecânica robusta, impedindo que ferimentos leves na casca se tornem focos de infecção fúngica. Além da função protetora, a cera aprimora a estética do fruto para o varejo, conferindo um aspecto de frescor que atrai o consumidor. Khedr e Al-Khayri (2023) observam efeitos sinérgicos em tratamentos anti-etileno, enquanto Bhrijavasi *et al.* (2025) focam no valor agregado que esses processos conferem à agroindústria.

O azeite de coco babaçu surge como uma alternativa regional sustentável, apresentando uma composição rica em ácidos graxos que formam filmes protetores densos. Este extrato lipídico restringe o fluxo de transpiração contínua, sendo uma ferramenta eficaz contra o murchamento precoce em ambientes de baixa umidade. A sua origem natural e o baixo custo de obtenção tornam este material atrativo para cooperativas de produtores de manga no semiárido mineiro. Patel *et al.* (2019) propõem técnicas inovadoras de manejo com base nesses recursos, ao passo que Lawson *et al.* (2019) destacam que o entendimento das propriedades físicas guia a escolha do recobrimento.

A fécula de mandioca é um dos biopolímeros mais estudados para a conservação pós-colheita por ser biodegradável e apresentar excelente transparência. O filme formado por este polissacarídeo reduz as trocas de dióxido de carbono e oxigênio, o que impacta diretamente na redução da atividade respiratória do fruto. Embora apresente maior permeabilidade à umidade do que as ceras, a fécula é eficaz no retardamento da oxidação enzimática que causa o escurecimento da casca. Liu *et al.* (2022) detalham o progresso da fisiologia do amadurecimento sob regulação, enquanto Silué *et al.* (2022) demonstram como essas aplicações reduzem perdas durante o armazenamento.

O filme de PVC transparente representa o método convencional de proteção em pequena escala, oferecendo uma barreira quase total contra a desidratação. No entanto, o seu uso extensivo enfrenta críticas devido ao impacto ambiental e ao risco de indução de metabolismo anaeróbio letal. A restrição excessiva de trocas gasosas pode desencadear a produção de odores indesejáveis decorrentes da fermentação alcoólica interna. Pristijono, Golding e

Bowyer (2018) analisam como o armazenamento em atmosferas contínuas mantém a qualidade, ao passo que Wen *et al.* (2006) reforçam que a fisiologia respiratória dita os limites técnicos dessas barreiras sintéticas.

A escolha entre materiais orgânicos e sintéticos envolve um balanço entre eficiência de conservação e sustentabilidade do sistema produtivo. Os biofilmes integrados com agentes biocontroladores representam a fronteira tecnológica atual na redução de perdas quantitativas e qualitativas. A tendência de mercado prioriza soluções que eliminem resíduos químicos, valorizando o produto para canais de exportação e nichos de consumo conscientes. Prasad *et al.* (2024) avaliam a mitigação de perdas através de agentes biológicos, enquanto Le *et al.* (2022) reforçam o papel da tecnologia na gestão da qualidade da cadeia de suprimentos.

A integração dessas tecnologias permite que a manga Ubá mantenha suas características físico-químicas durante os períodos críticos de estocagem. O sucesso da aplicação reside na homogeneidade da cobertura e na manutenção de condições ambientais estáveis na câmara fria. O uso de revestimentos biopoliméricos consolida-se, portanto, como uma ferramenta indispensável para a viabilidade econômica. Ntsoane *et al.* (2019) discutem o status atual e perspectivas futuras destas tecnologias, enquanto Nadeem *et al.* (2022) comprovam que a manutenção da qualidade pós-colheita depende de estratégias combinadas de proteção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de condução do experimento e ambiente

O estudo foi realizado nas instalações do laboratório de microbiologia vinculado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Araguatins. A unidade de análise compreendeu um lote homogêneo de mangas da variedade Ubá, provenientes da instituição. A escolha do local baseou-se na infraestrutura necessária para o controle rigoroso de variáveis ambientais e processamento químico.

O ambiente de armazenamento foi configurado dentro de uma sala climatizada equipada com sistema de ar-condicionado digital. Os sensores internos mantiveram a temperatura média estabilizada em 22 °C durante todo o período experimental. A umidade relativa do ar foi monitorada para evitar oscilações que pudessem interferir na taxa de transpiração dos frutos. Este cenário controlado buscou reproduzir as condições encontradas em entrepostos comerciais de distribuição de frutas.

A coleta de dados estruturou-se através da triangulação de diferentes métodos de observação e registro técnico. O processo iniciou-se com o inventário documental das condições de cultivo e transporte das frutas até o laboratório. A observação direta permitiu o acompanhamento diário das alterações visuais e morfológicas nas unidades experimentais. Registros fotográficos e anotações em planilhas de campo consolidaram as informações qualitativas sobre o comportamento dos frutos sob tratamento.

O protocolo experimental seguiu fases cronológicas bem delimitadas para garantir a integridade dos resultados. A primeira etapa consistiu na triagem visual e pesagem inicial de cada espécime para estabelecer os dados de referência. Em seguida, os frutos foram higienizados e secos naturalmente para a aplicação das películas protetoras. O isolamento físico entre as bancadas de cada tratamento evitou a contaminação cruzada ou interferência de gases emitidos.

As prateleiras foram higienizadas com álcool 70% antes da disposição das mangas. As frutas foram alocadas individualmente, mantendo distâncias lineares de dez centímetros entre cada unidade. Este espaçamento garantiu o fluxo contínuo de ar e facilitou o acesso para as medições periódicas de massa. O

ambiente laboratorial permaneceu com acesso restrito para evitar interferências externas no equilíbrio térmico da sala.

A amostragem foi retirada de um único lote de colheita para minimizar a variabilidade genética e fisiológica entre os frutos. Os critérios de inclusão exigiram que as mangas estivessem no estágio 2 de maturação, com ausência de lesões ou sinais de infecções fúngicas. O transporte das unidades ocorreu em caixas plásticas para evitar danos mecânicos por impacto. No laboratório, os frutos passaram por um período de aclimação antes do início formal das análises.

Os instrumentos de medição foram calibrados conforme as normas técnicas vigentes para garantir a precisão dos indicadores. A balança digital com precisão de duas casas decimais quantificou as alterações na biomassa das frutas. O refratômetro óptico e o peagâmetro de bancada foram testados com soluções padrão antes de cada sessão de análise química. A sistemática de manutenção dos equipamentos assegurou a confiabilidade dos dados numéricos gerados ao longo dos 20 dias.

As análises físicas e químicas ocorreram de forma integrada para permitir a correlação entre a perda de água e a maturação polposa. A equipe técnica seguiu um roteiro de tarefas padronizado dentro da sala climatizada, sem exposição dos frutos fora do ambiente controlado. Todas as amostras descartadas após os testes destrutivos foram devidamente catalogadas e removidas do ambiente de estocagem principal. A organização espacial do experimento permitiu uma narrativa fluida e técnica sobre a evolução do fenômeno observado.

A estabilidade do ambiente foi verificada através de registros horários de temperatura e umidade. Qualquer desvio superior a um grau Celsius era imediatamente corrigido pelo sistema automático de climatização. A luz interna da sala permaneceu apagada na maior parte do tempo, simulando a estocagem. Esta rigorosa delimitação metodológica permitiu conectar os fatos observados aos conceitos teóricos de conservação vegetal sem a interferência de ruídos ambientais.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O desenho da pesquisa adotou o formato estatístico inteiramente casualizado para garantir a neutralidade das observações coletadas. Este modelo distribuiu as amostras de forma aleatória entre os grupos, minimizando interferências externas de posicionamento no laboratório. O plano de trabalho submeteu os frutos a cinco linhas distintas de tratamento, cada uma representando uma tecnologia de conservação específica. As repetições garantiram a robustez dos dados e permitiram o cálculo preciso das médias experimentais.

O grupo Testemunha funcionou como o referencial de controle negativo dentro do experimento. Estes frutos não receberam qualquer tipo de revestimento ou proteção física após a higienização inicial. O monitoramento deste grupo permitiu observar a velocidade real da degradação natural da manga Ubá sob a temperatura de 22 °C. Os dados gerados por estas amostras serviram de base para comparar o ganho técnico oferecido pelos demais tratamentos.

A linha de tratamento com cera de abelha utilizou uma concentração de 14% do produto orgânico diluído em solução. O processo de aplicação focou na criação de uma barreira lipídica uniforme sobre a epiderme fina da manga. Este biopolímero visou reduzir a vulnerabilidade celular à perda de água por transpiração. A substância cerosa foi escolhida por sua capacidade de manter o brilho e a segurança alimentar do produto in natura.

O azeite de coco babaçu constituiu o terceiro grupo experimental, aplicado em sua forma pura com concentração de 100%. A cobertura de azeite restringe o fluxo de transpiração contínua através de uma película hidrofóbica estável. Esta tecnologia regional buscou testar a eficiência de lipídios nativos na manutenção da turgidez dos tecidos carnosos. O extrato permaneceu aderido à casca durante todo o período de observação sem apresentar escorrimento.

A fécula de mandioca foi preparada em uma solução de 8% para formar uma trama estrutural invisível sobre os frutos. Este polissacarídeo vegetal cria um envoltório comestível que dificulta as trocas gasosas excessivas com o ambiente. O objetivo deste tratamento foi diminuir os níveis de oxidação enzimática que alteram a coloração da pele. A película resultou em um acabamento fosco e aderente, protegendo os compostos orgânicos internos.

O quinto tratamento utilizou o filme PVC transparente como um invólucro de cloreto de polivinila. Este material protege as células contra a desidratação acelerada de forma mecânica e direta. O isolamento individual das unidades com plástico visou observar o comportamento fisiológico sob alta restrição de oxigênio. Esta técnica convencional serviu como padrão de comparação para os métodos biodegradáveis e orgânicos propostos.

As avaliações foram divididas em quatro épocas de leitura para registrar a evolução temporal do fenômeno. As medições ocorreram no dia inicial e se repetiram a cada cinco dias até completar o ciclo de vinte dias. Esta periodicidade permitiu identificar o momento exato em que cada tecnologia atingiu o seu limite de eficácia. O cronograma de coleta de dados foi seguido rigorosamente para evitar distorções nos intervalos de amadurecimento.

As variáveis físicas mensuradas incluíram a perda de massa fresca e o índice de coloração da casca. A balança eletrônica de alta precisão registrou a redução do peso em gramas para cada unidade experimental. A inspeção visual utilizou uma escala numérica para quantificar a transição cromática do verde para o amarelo. Estes indicadores forneceram dados concretos sobre a vitalidade externa e a integridade hídrica dos frutos.

As análises químicas concentraram-se nos teores de sólidos solúveis totais, potencial hidrogeniônico e acidez titulável. O sumo extraído das polpas passou por testes em refratômetro e peagâmetro calibrados para identificar mudanças bioquímicas. A divisão matemática entre açúcar e acidez gerou o fator Ratio, indicando o balanço de sabor. Estes parâmetros revelaram o impacto interno de cada revestimento no metabolismo respiratório da manga.

O processamento estatístico final aplicou a análise de variância paramétrica sobre todas as observações catalogadas. O método matemático de Scott-Knott foi utilizado para agrupar as médias e emparelhar os resultados com 5% de tolerância a falhas. Esta sistematização lógica permitiu tirar conclusões sólidas sobre qual tratamento ofereceu a melhor resposta técnica. O software de computador garantiu a precisão dos cálculos e a visualização gráfica das tendências observadas.

3.3 Realização do experimento

A colheita manual dos frutos de manga 'Ubá' priorizou exemplares com a epiderme totalmente verde e sem danos mecânicos aparentes. A Figura 1 ilustra os vegetais acondicionados em uma caixa plástica logo após a retirada da árvore. Os frutos foram levados para o laboratório de microbiologia do instituto federal para o início dos testes.

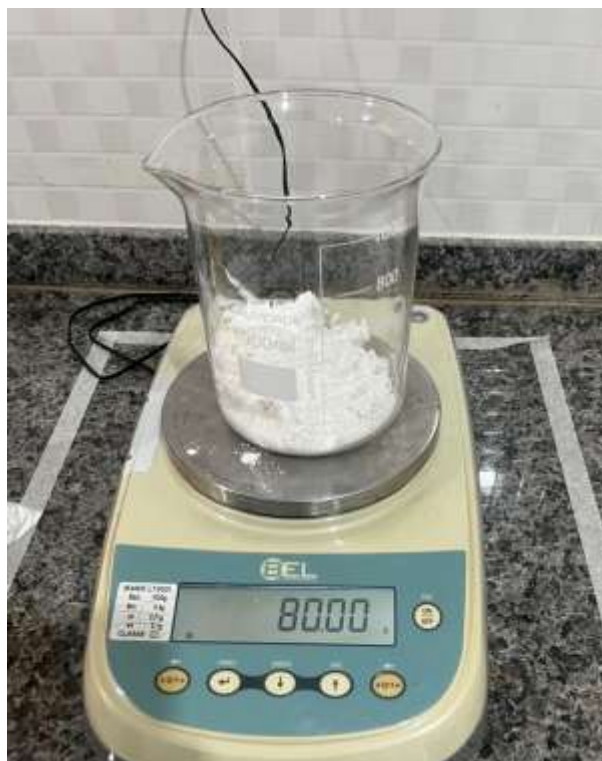
Figura 1. Acondicionamento dos vegetais.



Fonte: Autores, 2026.

A higienização preliminar removeu impurezas e microrganismos da casca através de detergente neutro e esponja macia. O mergulho em solução de hipoclorito de sódio a 0,5% assegurou a sanitização das unidades durante cinco minutos. A balança de precisão determinou a massa exata de 80,00 gramas de fécula de mandioca para a formulação do revestimento. A Figura 2 documenta o momento da pesagem do insumo vegetal seco dentro de um recipiente de vidro

Figura 2. Pesagem dos insumos vegetais.



Fonte: Autores, 2026.

O preparo do revestimento ocorreu através da diluição da fécula em um litro de água destilada. O agitador magnético manteve a temperatura constante de 70 °C para promover a gelatinização completa das moléculas. A Figura 3 revela o aspecto leitoso da mistura sob aquecimento contínuo na chapa laboratorial. O produto final atingiu a estabilidade ideal dentro de um béquer graduado de 1000 ml.

Figura 3. Mistura após o aquecimento.



Fonte: Autores, 2026.

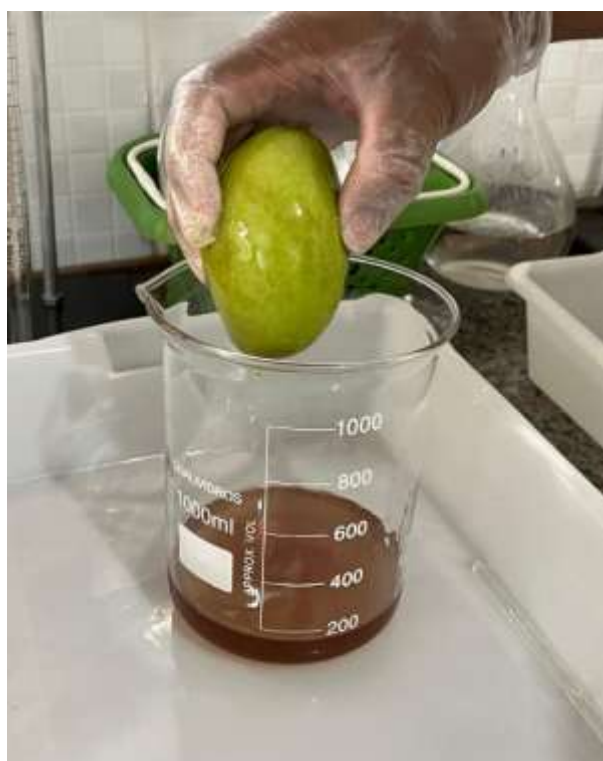
O tratamento com cera de abelha a 14% exigiu a imersão individual dos frutos no extrato emulsionado. A Figura 4 detalha o procedimento de mergulho para garantir a proteção total do epicarpo contra o ar. A aplicação do azeite de coco babaçu a 100% formou uma barreira lipídica brilhante na superfície do vegetal. A Figura 5 captura o mergulho da fruta na solução oleosa para reduzir a perda de umidade interna.

Figura 4. Mergulho das mangas.



Fonte: Autores, 2026.

Figura 5. Manga mergulhada na solução oleosa.



Fonte: Autores, 2026.

O revestimento de fécula de mandioca a 8% criou uma camada protetora viscosa sobre a parede celular externa. A Figura 6 exibe a manga sendo retirada do gel de amido antes da secagem final. O incremento de substâncias naturais ajuda a prolongar a vida útil do produto altamente perecível. A uniformidade da aplicação, portanto, determina o sucesso do bloqueio contra trocas gasosas indesejadas.

Figura 6. Manga retirada do gel de amido.



Fonte: Autores, 2026.

O delineamento incluiu o uso de filme PVC transparente como uma alternativa comum de atmosfera modificada. O pesquisador selou o fruto individualmente sobre uma base de isopor cortada ao meio. Figura 7 apresenta o acabamento do tratamento T5 pronto para o período de estocagem na sala. O isolamento físico, sendo assim, impede o contato direto das células com o ar ambiente.

Figura 7. Acabamento do tratameo T5.



Fonte: Autores, 2026.

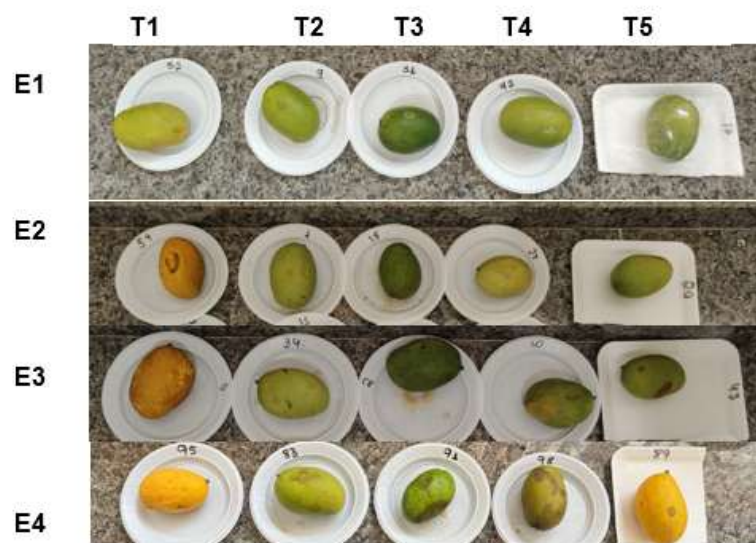
A disposição das unidades experimentais obedeceu à ordem aleatória definida pelo sorteio estatístico prévio. A Figura 8 ilustra a organização das mangas sobre as bancadas do laboratório climatizado. Os técnicos registraram a transição de cor em quatro épocas distintas durante os 20 dias de observação. A Figura 9 demonstra o avanço visual da maturação de acordo com a escala de notas. O protocolo, portanto, documentou fielmente as alterações fisiológicas da variedade 'Ubá' submetida aos revestimentos.

Figura 8. Mangas tratadas e organizadas.



Fonte: Autores, 2026.

Figura 9. Maturação das mangas Ubá com tratamentos de revestimentos, T1: testemunha; T2: Cera de abelha a 14%; T3: Azeite de coco babaçu a 100%; T4: Fécula de mandioca a 8%; T5: Filme de PVC + Isopor, em função de tempo de armazenamento (E1: 5 dias, E2: 10 dias, E3: 14 dias e E4: 20 dias)



Fonte: Autores, 2026.

3.4 Variáveis analisadas

As variáveis analisadas foram as análises físicas e químicas, sendo estas: coloração da casca, perda de massa fresca, pH e sólidos solúveis totais (SST).

3.4.1 Análises físicas:

a) Coloração da casca: A avaliação foi feita de forma visual de acordo com a escala de notas de Hiluey *et al.* (2005), onde as classificações vão de 1 à 5 (Figura 4), na qual: 1 – frutos com 100% do epicarpo verde; 2 - frutos com até 75% do epicarpo verde; 3 - frutos com 50% do epicarpo verde; 4 – frutos com até 75% do epicarpo amarela; 5 - frutos com 100% do epicarpo amarela.

b) Perda de massa fresca: A massa fresca foi determinada através do uso de balança semi analítica digital com precisão de 0,050 g e, posteriormente os resultados foram expressos em porcentagem (%). Os valores expressos foram advindos a partir das diferenças de peso observadas entre o momento em que o experimento foi instalado e ao final de cada época de armazenamento.

3.5.2 Análises químicas:

a) pH: Para determinação do pH, em primeiro momento retirou-se 10 g de polpa e adicionou-se 50 ml de água destilada, em seguida, esta solução foi colocada em um liquidificador a fim de se extrair um suco através da sua trituração. Este suco posteriormente foi aferido através de um pHmetro (potenciômetro) digital previamente calibrado com soluções padrões de pH 7,0 e 4,0 (Instituto Adolfo Lutz, 2008) através da imersão do eletrodo na substância final gerada.

b) Sólidos solúveis totais (SST): Para determinar o teor de SST, retirou-se uma gota de sumo da polpa, e colocada diretamente no refratômetro digital com faixa de 0 a 32° Brix, posteriormente os resultados foram expressos em ° Brix (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

c) Acidez Titulável Total (ATT): A determinação da acidez titulável em ácido orgânico, expressa em gramas de ácido orgânico por cento, é realizada considerando o ácido predominante na amostra analisada. Para isso, foram retiradas 10 g da polpa do suco de cada manga, que foram transferidas para dois frascos Erlenmeyer de 250 ml. Em seguida, adicionou-se 90 ml de água destilada a cada frasco, que foram devidamente identificados com a numeração da amostra seguida das letras 'a' e 'b'.

Para cada fruto, foram feitas duas titulações para posteriormente calcular a média. Utilizou-se uma bureta de 50 ml completada, contendo solução de hidróxido de sódio 0,1 M, e como indicador, foi utilizada 3 gotas de solução de fenolftaleína. A titulação foi realizada com agitação até que a solução atingisse uma leve mudança na coloração, constante por 30 segundos (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Calculou-se a acidez titulável em gramas de ácido cítrico por cento, através da seguinte fórmula (SPOTO, 2023):

$$ATT = (V \cdot F_s \cdot F_a \cdot 100) \div P \cdot C$$

Em que:

ATT = acidez titulável em ácido cítrico por cento m/m ou m/v

V = volume da solução de hidróxido de sódio 0,1 N gasto na titulação em ml

F_s = fator de correção da solução de hidróxido de sódio

F_a = fator de correção do ácido cítrico

P = massa da amostra em g ou volume em ml

C = fator de correção da soda em normalidade

Relação SST/ATT – Ratio

A relação entre os valores de sólidos solúveis totais e acidez titulável total, expressa em ácido cítrico, é utilizada como um indicador do grau de maturação das frutas (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008):

$$\text{Ratio} = ^\circ\text{Brix} \div \text{Acidez titulável total em ácido cítrico}$$

Figura 4. Escala de notas para manga



Fonte: Adaptado de Hiluey *et al* (2005).

3.5. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade das variâncias dos erros, sendo realizadas as análises de variâncias com significância aferida através do teste F, e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR versão 5.6 (Ferreira, 2014). Para a variável coloração de casca, não foi realizada análise de variância, utilizando-se o critério de notas para cores de casca. Foram calculadas as médias aritméticas das notas de cada tratamento e plotadas em gráfico no programa Microsoft Excel.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Interpretação estatística e comportamento bioquímico (anova)

A análise de variância constitui o pilar fundamental para validar a eficácia dos revestimentos biopoliméricos sobre a fisiologia da manga 'Ubá' durante o armazenamento. Este capítulo contextualiza a significância dos efeitos isolados e das interações entre os tratamentos aplicados e o tempo de exposição ao ambiente controlado. Os dados laboratoriais permitem identificar como a barreira física imposta altera o ritmo de degradação dos tecidos e a concentração de compostos químicos vitais. O entendimento das interligações entre perda hídrica e maturação polposa fundamenta a recomendação técnica das películas protetoras para a agroindústria.

Tabela 1. Quadro da Análise de Variância (ANOVA), para as fontes de variação e variáveis analisadas.

Fonte de Variação	GL	Perda de Massa	Quadrado Médio			
			SST (°Brix)	ATT	pH	Ratio
Tratamentos	4	302,85**	86,20**	4,72**	6,05**	19145,88**
Épocas	3	542,21**	90,14**	0,75 ^{ns}	2,01**	10191,03**
Tratamentos × Épocas	12	24,48 ^{ns}	15,75 ^{ns}	1,01**	1,15**	3399,92**
Erro	60	21,16	11,61	0,31	0,18	189,37
Total Corrigido	79					
Média Geral		12,77	13,61	1,11	3,48	35,66
CV (%)		36,01	25,03	49,87	12,43	38,59

*: significativo a 5% pelo teste F.

^{ns}: não significativo a 5% pelo teste F.

Fonte: Autores, 2026.

Os resultados da ANOVA revelam que os tratamentos influenciaram de forma significativa todas as variáveis dependentes analisadas no experimento. O modelo estatístico comprovou que a aplicação das películas biopoliméricas altera o metabolismo respiratório de forma distinta em relação ao grupo controle. A magnitude dos quadrados médios indica que a natureza do revestimento define a velocidade das transformações físico-químicas internas do fruto climatérico.

Bambalele *et al.* (2021) destacam que avanços tecnológicos pós-colheita são fundamentais, enquanto Liu *et al.* (2022) reforçam que o controle fisiológico depende da regulação externa dos gases.

A variável perda de massa fresca apresentou significância estatística para os fatores isolados de tratamento e época de avaliação laboratorial. O declínio hídrico ocorre de forma progressiva, sendo suavizado pela presença das barreiras lipídicas ou amiláceas que reduzem a transpiração cuticular. A ausência de interação significativa para este parâmetro sugere que os revestimentos mantêm sua hierarquia de eficácia independentemente do avanço dos dias. Prasad *et al.* (2019) comprovam que o método de manejo reduz perdas quantitativas, ao passo que Lawson *et al.* (2019) correlacionam a integridade da casca com a conservação da massa.

Os teores de Sólidos Solúveis Totais (SST) exibiram comportamento similar à perda de massa com efeitos significativos apenas para os fatores individuais. O acúmulo de açúcares decorre da hidrólise do amido, processo que é influenciado pelo calor e pela disponibilidade de oxigênio nos tecidos. A independência estatística da interação indica que a concentração de dulçor segue uma trajetória constante em função do tempo cronológico. Bhrijavasi *et al.* (2025) explicam que o valor agregado depende da qualidade química, enquanto Ntsoane *et al.* (2019) salientam que a tecnologia deve frear essa atividade enzimática.

A acidez titulável total (ATT) demonstrou alta sensibilidade estatística na interação entre tratamentos e épocas de leitura durante o estudo. O consumo dos ácidos orgânicos como substrato respiratório variou drasticamente conforme o tipo de barreira física aplicada na superfície da manga. O efeito não significativo para o fator época isolado sugere que os revestimentos conseguiram estabilizar os estoques ácidos por períodos distintos entre si. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam avanços na proteção contra a degradação ácida, enquanto Hassan (2022) demonstra que tratamentos estabilizam a qualidade química vacuolar.

O potencial hidrogeniônico (pH) apresentou resultados significativos tanto para os fatores isolados quanto para a interação conjunta entre as variáveis. O aumento do pH acompanha a redução da acidez, indicando o avanço dos processos de senescência celular e consumo de prótons. A significância da

interação prova que a eficiência dos filtros hidrofóbicos na manutenção da homeostase iônica é dependente do tempo de prateleira. Fatima *et al.* (2022) defendem que bio-revestimentos aumentam a expectativa de vida útil, ao passo que Prasad *et al.* (2022) confirmam que coberturas comestíveis preservam o equilíbrio químico.

O índice Ratio exibiu a maior magnitude de resposta estatística entre todas as variáveis presentes na análise de variância global. O balanço entre açúcar e acidez foi profundamente impactado pela combinação entre o material de cobertura e os dias de estocagem na câmara. Esta variável sintetiza a qualidade sensorial do fruto e demonstra como o metabolismo é regulado pelas películas lipídicas estáveis. Le *et al.* (2022) reforçam o papel da tecnologia na gestão da qualidade sensorial, enquanto Cuaresma (2016) revisa práticas para sustentar o padrão químico ideal da polpa.

A interligação entre as variáveis físicas e químicas revela um padrão de dependência mútua durante o amadurecimento da manga 'Ubá'. A redução da perda de massa preserva a suculência e evita a concentração artificial de sólidos solúveis nos tecidos carnosos. A estabilidade do pH e da acidez confirma que o bloqueio gasoso imposto pelos tratamentos reduziu a queima calórica interna da semente e polpa. Silué *et al.* (2022) relatam que aplicações pós-colheita reduzem perdas qualitativas, enquanto Nadeem *et al.* (2022) comprovam que a manutenção da qualidade depende de estratégias combinadas.

O coeficiente de variação (CV) para a acidez titulável indicou uma oscilação maior nos dados experimentais coletados pela equipe técnica. Este fenômeno é comum em análises biológicas complexas onde a variação individual dos frutos influencia o resultado da titulação química final. As demais variáveis apresentaram precisão satisfatória, garantindo a confiabilidade das conclusões estatísticas apresentadas pelo teste de Scott-Knott. Pristijono, Golding e Bowyer (2018) analisam como o ambiente de estocagem mantém a qualidade, ao passo que Wen *et al.* (2006) reforçam a necessidade de entender a fisiologia respiratória.

A discussão integrada da ANOVA prova que a aplicação de revestimentos biopoliméricos é uma estratégia eficaz e cientificamente robusta. A significância dos tratamentos sobre os atributos físico-químicos valida a hipótese de que barreiras orgânicas retardam o metabolismo agressivo da variedade Ubá.

O experimento demonstrou que o fruto responde de forma heterogênea conforme a natureza lipídica ou amilácea da película protetora. Prasad *et al.* (2024) discutem a mitigação de perdas via agentes biológicos, enquanto Pandit *et al.* (2025) avaliam como a conservação de atributos prolonga a durabilidade comercial.

4.2 Dinâmica da perda de massa fresca sob diferentes coberturas

A mensuração da biomassa ao longo do período experimental permite quantificar a desidratação dos tecidos, sendo o indicador físico mais direto da senescência da manga 'Ubá'. Este tópico contextualiza a eficiência das barreiras físicas na contenção da transpiração cuticular e na redução da taxa respiratória sob temperatura estável de 22 °C. Os dados numéricos revelam como a composição química de cada revestimento, seja lipídica ou amilácea, interfere na manutenção da turgidez vacuolar e, conseqüentemente, na vida útil comercial do fruto. A compreensão desses mecanismos de barreira fundamenta a escolha das tecnologias mais aptas para mitigar o murchamento epidérmico.

Tabela 2. Valores de perda de massa fresca (%) em frutos de manga (*Mangifera indica* L. variedade Ubá), submetidos a diferentes revestimentos alternativos, em função de tempo de armazenamento (20 dias) com temperatura média de 22 °C.

Tratamentos		Dias após aplicação dos tratamentos				
		5	10	14	20	Média
T1	Testemunha	13,45	14,23	18,64	28,36	18,67b
T2	Cera de abelha (14%)	4,46	9,39	8,46	14,62	9,23a
T3	Azeite de coco babaçu (100%)	3,92	6,12	8,78	15,62	8,61a
T4	Fécula de mandioca (8%)	7,90	13,45	18,72	23,31	15,85b
T5	Filme PVC transparente	5,58	9,35	17,02	14,04	11,50a
Média		7,06A	10,51B	14,32C	19,19D	

Médias com letras iguais minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), para interação entre revestimentos e épocas. Médias sem letras não diferem entre si significativamente.

Fonte: Autores, 2026.

A análise dos dados demonstra que a perda de massa fresca aumentou progressivamente em todos os tratamentos conforme o avanço dos dias de armazenamento. O fator tempo atuou como um vetor constante de degradação hídrica, elevando a média geral de 7,06% no quinto dia para 19,19% no final do ciclo. Esta progressão temporal reflete o esgotamento das reservas hídricas internas devido ao gradiente de pressão de vapor entre o fruto e o ar. Bambalele *et al.* (2021) discutem os avanços tecnológicos na contenção desse fenômeno, enquanto Prasad *et al.* (2019) reforçam que a redução de perdas quantitativas é o pilar da lucratividade no setor.

O grupo Testemunha apresentou o desempenho técnico mais insatisfatório, acumulando uma perda média final de 18,67%, valor significativamente superior aos grupos protegidos por lipídios. A ausência de uma barreira artificial deixou as aberturas naturais da casca, como as lenticelas, totalmente expostas à evaporação agressiva sob 22 °C. O déficit hídrico severo resultou em frutos com epiderme murcha e sem valor comercial antes mesmo do décimo dia. Ntsoane *et al.* (2019) discutem o status atual das tecnologias de conservação, ao passo que Hassan (2022) afirma que a falta de tratamento pós-colheita compromete a integridade do fruto.

O azeite de coco babaçu 100% isolou-se como a tecnologia mais eficiente na preservação da biomassa, registrando a menor perda média global de 8,61%. A película lipídica densa e estável vedou a superfície vegetal de forma homogênea, criando uma resistência hidrofóbica superior contra a saída de moléculas de água. Esta barreira física manteve as células túrgidas e preservou o aspecto de frescor por vinte dias consecutivos de observação. Fatima *et al.* (2022) defendem que bio-revestimentos ecológicos aumentam a expectativa de vida útil, enquanto Lawson *et al.* (2019) destacam que o entendimento das propriedades físicas guia a escolha do recobrimento.

A cera de abelha a 14% apresentou resultados estatisticamente similares ao azeite de babaçu, mantendo a perda de massa em patamares baixos de 9,23%. O filme lipídico formado pela cera conferiu uma proteção mecânica robusta e impediu a desidratação excessiva dos tecidos da manga 'Ubá'. Além da função fisiológica, este tratamento proporcionou brilho epidérmico, o que agrega valor estético ao produto para o mercado varejista. Khedr e Al-Khayri (2023) observam efeitos sinérgicos em tratamentos biológicos, enquanto Prasad

et al. (2022) confirmam que coberturas hidrocitadas estendem a durabilidade física do vegetal.

O filme PVC transparente demonstrou eficácia na retenção hídrica com média de 11,50%, situando-se no grupo de melhor desempenho estatístico (letra 'a'). No entanto, as leituras periódicas revelaram flutuações decorrentes do acúmulo de condensação interna, o que pode mascarar a real perda de peso seco. Embora evite o murchamento, a vedação polimérica sintética pode induzir o aquecimento interno e comprometer a respiração aeróbia saudável. Pristijono, Golding e Bowyer (2018) analisam como o ambiente de estocagem mantém a qualidade, ao passo que *Silué et al.* (2022) relatam que aplicações externas devem evitar o estresse térmico.

A fécula de mandioca a 8% apresentou uma perda média de 15,85%, não diferindo estatisticamente do grupo testemunha na classificação final pelo teste de Scott-Knott. A natureza polissacarídica deste revestimento confere alta permeabilidade ao vapor d'água devido à sua afinidade química com as moléculas de H₂O. Apesar de formar uma barreira gasosa, a fécula não possui a mesma capacidade hidrofóbica que as gorduras vegetais ou animais para conter a transpiração. Cuaresma (2016) revisa as limitações de certos tratamentos, enquanto Patel *et al.* (2019) sugerem que o manejo tecnológico deve considerar a composição química do biofilme.

A interligação entre as variáveis revela que a preservação da massa fresca é o pilar que sustenta os demais atributos de qualidade química. Frutos que mantêm o peso por meio dos revestimentos de babaçu e abelha preservam também a suculência e o balanço de ácidos da polpa. A contenção da água interna impede a concentração artificial de açúcares e retarda o colapso estrutural das membranas celulares. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam avanços na proteção e preservação de frutos, enquanto Liu *et al.* (2022) explicam que a integridade da casca protege todo o conteúdo vacuolar polposo.

A análise dialética dos resultados físicos comprova que as coberturas lipídicas resolvem o conflito entre a maturação climatérica e a perecibilidade sob calor. A tese da eficácia hídrica sustenta-se nos azeites e ceras, enquanto a antítese surge na performance inferior da fécula amilácea sob a mesma temperatura. A síntese final aponta o azeite de babaçu como a solução tecnológica mais equilibrada e sustentável para o produtor rural. Bhrijavasi *et al.*

(2025) focam no valor agregado que esses processos conferem, ao passo que Prasad *et al.* (2024) discutem a mitigação de danos quantitativos via barreiras biológicas.

O experimento reafirma que a temperatura de 22 °C atua como um catalisador de perdas quando não há uma barreira protetora eficiente. A manga 'Ubá' desprotegida perdeu quase 30% de seu peso total ao final de vinte dias, tornando-se inviável para qualquer finalidade industrial ou de mesa. O uso de bio-revestimentos lipídicos, portanto, não é apenas um incremento estético, mas uma necessidade operacional para a segurança alimentar do setor. Wen *et al.* (2006) reforçam que a fisiologia respiratória dita os limites técnicos, enquanto Nadeem *et al.* (2022) concluem que a manutenção da qualidade depende de estratégias combinadas de proteção

4.3 Comportamento dos sólidos solúveis totais (sst)

O monitoramento dos sólidos solúveis permite identificar a velocidade de conversão das reservas de amido em açúcares simples, sendo o principal marcador químico da maturação em mangas. Este tópico contextualiza o impacto dos diferentes revestimentos sobre a atividade enzimática e a hidrólise de carboidratos durante os 20 dias de estocagem. Os dados registrados em graus Brix revelam como a barreira gasosa imposta pelas películas regula o metabolismo climatérico e evita picos precoces de dulçor que precedem a senescência. A compreensão dessas variações fundamenta a análise sobre a preservação do valor nutricional e a aptidão industrial do fruto para a produção de polpas.

Tabela 3. Teores de sólidos solúveis totais (SST) em frutos de manga (*Mangifera indica* L. variedade Ubá), submetidos a diferentes revestimentos alternativos, em função de tempo de armazenamento (20 dias) com temperatura média de 22 °C.

Tratamentos		Dias após aplicação dos tratamentos				
		5	10	14	20	Média
T1	Testemunha	12,00	19,5	15,25	15,75	15,62b
T2	Cera de abelha (14%)	10,00	16,00	13,25	14,50	13,43a
T3	Azeite de coco babaçu (100%)	9,25	11,25	12,00	10,25	10,87a
T4	Fécula de mandioca (8%)	10,25	10,00	14,75	12,50	11,87a
T5	Filme PVC transparente	11,00	19,25	15,25	19,50	16,25b
Média		10,50A	15,20B	14,10B	14,65B	

Médias com letras iguais minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), para interação entre revestimentos e épocas. Médias sem letras não diferem entre si significativamente.

Fonte: Autores, 2026.

A análise estatística indica que os teores de sólidos solúveis se elevaram de forma significativa entre o quinto e o décimo dia, saltando de uma média geral de 10,50 para 15,20 °Brix. Este aumento súbito reflete a fase de climatério respiratório, onde a síntese de etileno catalisa a quebra molecular das reservas energéticas. A estabilização dos valores a partir do décimo dia sugere o início da fase de maturação plena, onde a taxa de síntese de açúcares equilibra-se com o consumo respiratório. Liu *et al.* (2022) detalham como esses processos regulatórios coordenam a maturação, enquanto Wen *et al.* (2006) reforçam que a fisiologia respiratória dita a evolução desses componentes químicos.

O grupo Testemunha apresentou uma maturação acelerada, atingindo um pico de 19,50 °Brix já no décimo dia de armazenamento laboratorial. A ausência de proteção física permitiu um aporte livre de oxigênio, o que potencializou a atividade das enzimas amilases e acelerou a degradação da polpa. Este comportamento químico resultou em um fruto com excesso de dulçor e baixa resistência estrutural, encurtando sua janela de comercialização. Lawson *et al.* (2019) destacam que a caracterização dos atributos químicos define a aptidão comercial, enquanto Ntsoane *et al.* (2019) salientam que a tecnologia deve frear essa atividade enzimática agressiva.

O azeite de coco babaçu 100% demonstrou a maior eficiência técnica no controle da evolução dos açúcares, mantendo a menor média final de 10,87 °Brix. A película lipídica vedou os tecidos de forma eficaz, reduzindo a respiração celular e retardando a hidrólise do amido de maneira equilibrada. Este tratamento impediu o amadurecimento desordenado, garantindo que o fruto chegasse ao final do experimento com vitalidade bioquímica superior. Fatima *et al.* (2022) defendem que bio-revestimentos ecologicamente corretos preservam a integridade dos nutrientes, ao passo que Hassan (2022) demonstra que tratamentos estabilizam a qualidade química vacuolar.

A cera de abelha a 14% apresentou resultados estatisticamente satisfatórios, com uma média de 13,43 °Brix situada no grupo de melhor desempenho (letra 'a'). O filme formado pela cera reduziu a permeabilidade gasosa, impedindo os saltos bruscos na concentração de sólidos solúveis identificados no lote controle. Esta barreira lipídica favoreceu uma maturação gradual, preservando a textura firme e o sabor equilibrado da manga 'Ubá'. Khedr e Al-Khayri (2023) observam efeitos sinérgicos em tratamentos biológicos, enquanto Prasad *et al.* (2022) confirmam que coberturas comestíveis estendem a durabilidade química sob estocagem.

O tratamento com fécula de mandioca a 8% registrou uma média de 11,87 °Brix, integrando-se também ao grupo de tratamentos eficazes na regulação química. O polissacarídeo vegetal formou uma trama estrutural que limitou as trocas de dióxido de carbono, retardando o metabolismo de degradação das reservas orgânicas. Embora apresente menor resistência hídrica, a fécula demonstrou competência no controle da maturação polposa em comparação ao manejo sem proteção. Cuaresma (2016) revisa a importância dos tratamentos na manutenção da qualidade, ao passo que Patel *et al.* (2019) propõem o uso dessas técnicas para gerenciar a evolução bioquímica.

O filme PVC transparente apresentou a maior média final de SST, alcançando 16,25 °Brix e picos de 19,50 °Brix no vigésimo dia. O invólucro plástico gerou um microclima de aquecimento que, somado à restrição de oxigênio, pode ter induzido processos metabólicos acelerados de degradação. Este resultado prova que a vedação polimérica sintética catalisa o amadurecimento químico, tornando-o tecnicamente inferior aos revestimentos orgânicos para conservação prolongada. Pristijono, Golding e Bowyer (2018)

analisam como o ambiente de estocagem mantém a qualidade, enquanto Silué *et al.* (2022) relatam que aplicações inadequadas podem prejudicar a química interna.

A interligação entre os resultados químicos e físicos evidencia que o controle da respiração é o fator determinante para a qualidade final. O azeite de babaçu e a cera de abelha, ao reduzirem a perda de massa, impediram também a concentração artificial de açúcares por desidratação. O equilíbrio entre a retenção hídrica e o retardamento da maturação bioquímica garante um produto final com características sensoriais preservadas para a agroindústria. Bambalele *et al.* (2021) discutem os avanços nas tecnologias de pós-colheita, ao passo que Bhrijavasi *et al.* (2025) reforçam que o valor agregado depende da estabilidade desses componentes.

A análise dialética dos dados químicos confirma que as películas lipídicas superam os métodos convencionais de proteção vegetal. A tese da estabilidade glicêmica sustenta-se na barreira hidrofóbica dos azeites, enquanto a antítese surge no PVC devido à aceleração da maturação polposa. A síntese final aponta o azeite de babaçu como a solução mais equilibrada para gerenciar o dulçor da manga 'Ubá' durante vinte dias. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam avanços na proteção e preservação, enquanto Prasad *et al.* (2024) discutem a mitigação de perdas qualitativas através de intervenções biológicas.

O experimento reafirma que o manejo da variedade Ubá exige tecnologias que respeitem sua fisiologia climatérica agressiva. O uso de bio-revestimentos naturais impediu a queima desordenada das reservas químicas, mantendo a integridade funcional do fruto. A preservação de níveis moderados de SST é fundamental para garantir a suculência e a resistência necessárias ao processamento fabril. Nadeem *et al.* (2022) comprovam que a manutenção da qualidade depende de estratégias combinadas, enquanto Pandit *et al.* (2025) concluem que a conservação de atributos prolonga a durabilidade comercial estocada.

4.4 Monitoramento do potencial hidrogeniônico (ph)

O acompanhamento do potencial hidrogeniônico permite rastrear a velocidade de consumo dos ácidos orgânicos presentes nos vacúolos celulares

durante o processo respiratório. Este tópico contextualiza como os diferentes revestimentos influenciam a estabilidade iônica da polpa e retardam a alcalinização natural que ocorre com o amadurecimento. Os dados registrados revelam que a manutenção de um pH baixo é fundamental para preservar o frescor e a resistência fitossanitária da manga 'Ubá'. A compreensão dessas variações eletroquímicas fundamenta a análise sobre a integridade funcional das membranas e a conservação da identidade sensorial do fruto sob estocagem.

Tabela 4. Valores para pH em frutos de manga (*Mangifera indica* L. variedade Ubá), submetidos a diferentes revestimentos alternativos, em função de tempo de armazenamento (20 dias) com temperatura média de 22 °C.

Tratamentos		Dias após aplicação dos tratamentos				
		5	10	14	20	Média
T1	Testemunha	3,03aA	4,58bB	4,56bB	4,81cB	4,25b
T2	Cera de abelha (14%)	2,97aA	3,02aA	2,72aA	3,65bB	3,09a
T3	Azeite de coco babaçu (100%)	3,15aA	3,08aA	2,70aA	2,54aA	2,87a
T4	Fécula de mandioca (8%)	3,32aA	2,93aA	3,17aA	3,25bA	3,17a
T5	Filme PVC transparente	2,90aA	4,16bB	4,09bB	4,97cC	4,03b
Média		3,08A	3,55B	3,45B	3,84C	

Médias com letras iguais minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), para interação entre revestimentos e épocas. Médias sem letras não diferem entre si significativamente.

Fonte: Autores, 2026.

A análise estatística indica que o pH médio geral dos frutos sofreu elevação significativa ao longo do tempo, partindo de 3,08 no início para 3,84 ao final do ciclo. Este aumento reflete a utilização dos ácidos orgânicos como substratos calóricos para manter as funções vitais do vegetal colhido. A alcalinização progressiva é um sintoma clássico da senescência em frutos climatéricos, onde a quebra de compostos ácidos altera a homeostase interna. Liu *et al.* (2022) explicam que a fisiologia do amadurecimento envolve a regulação do pH, enquanto Wen *et al.* (2006) reforçam que o controle térmico e gasoso dita a velocidade dessa degradação bioquímica.

O grupo Testemunha apresentou a elevação mais agressiva nos valores de pH, atingindo a marca de 4,81 no vigésimo dia de armazenamento. A ausência

de barreira física permitiu um metabolismo respiratório intenso, acelerando a queima de ácidos cítrico e málico presentes no sumo celular. Frutos com pH elevado tornam-se quimicamente instáveis e mais suscetíveis à colonização por microrganismos que causam a podridão pastosa. Hassan (2022) afirma que tratamentos pós-colheita são vitais para a estabilidade da estocagem, ao passo que Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam a necessidade de proteção para preservar a composição ácida.

O azeite de coco babaçu 100% demonstrou a maior eficiência técnica na estabilização iônica, mantendo o pH médio em patamares baixos de 2,87. A película lipídica criou um microambiente de baixa oxigenação que "freou" o consumo dos conteúdos ácidos dentro dos vacúolos vegetais. No final do experimento, este grupo apresentou um valor de 2,54, indicando uma preservação excepcional da acidez original do fruto. Fatima *et al.* (2022) defendem que bio-revestimentos ecológicos aumentam a expectativa de vida útil, enquanto Lawson *et al.* (2019) correlacionam a proteção da epiderme com a estabilidade físico-química polposa.

A cera de abelha a 14% apresentou resultados estatisticamente superiores à testemunha, com média global de 3,09 (letra 'a'). O revestimento ceroso isolou o fruto da atmosfera, impedindo a rápida elevação do pH e garantindo um amadurecimento controlado. Até o décimo quarto dia, as amostras mantiveram o pH em 2,72, o que comprova o efeito retardante da película lipídica sobre o metabolismo energético. Khedr e Al-Khayri (2023) observam efeitos sinérgicos em tratamentos biológicos, enquanto Prasad *et al.* (2022) confirmam que coberturas hidrocitadas estendem a durabilidade química da manga.

O tratamento com fécula de mandioca a 8% registrou uma média de 3,17, integrando o grupo de melhor desempenho estatístico no controle da alcalinização. O envoltório de polissacarídeo atuou como um bloqueio mecânico parcial, segurando o pH em valores próximos a 3,25 até o final do experimento. Embora seja um material hidrofílico, a fécula demonstrou competência em regular o consumo de ácidos orgânicos em comparação ao manejo sem proteção. Cuaresma (2016) revisa a importância dos tratamentos na manutenção da qualidade, enquanto Patel *et al.* (2019) propõem tecnologias para gerenciar a evolução bioquímica dos frutos.

O filme PVC transparente apresentou uma performance inferior, com pH

final de 4,97, não diferindo estatisticamente da testemunha na classificação final (letra 'b'). O invólucro plástico gerou um aquecimento latente que acelerou a degradação dos ácidos celulares, elevando o pH para níveis críticos de maturação excessiva. Este resultado prova que a vedação polimérica sintética catalisa a senescência bioquímica, tornando-a tecnicamente limitada para a conservação da manga 'Ubá'. Pristijono, Golding e Bowyer (2018) analisam o ambiente de estocagem na qualidade, ao passo que Silué *et al.* (2022) relatam que aplicações inadequadas prejudicam a química interna.

A interligação entre o pH e a acidez titulável revela que o controle da respiração é o fator determinante para a saúde bioquímica do fruto. O azeite de babaçu e a cera de abelha, ao reduzirem a taxa respiratória, impediram que os ácidos fossem drenados para a produção de energia calórica. A manutenção de um pH ácido atua como um conservante natural, preservando a textura firme e o sabor característico da manga Ubá para a agroindústria. Bambalele *et al.* (2021) discutem os avanços nas tecnologias de pós-colheita, ao passo que Bhrijavasi *et al.* (2025) reforçam que o valor agregado depende da estabilidade desses componentes iônicos.

A análise dialética dos dados eletroquímicos confirma que os biopolímeros lipídicos superam os métodos tradicionais de embalagem plástica. A tese da estabilidade iônica sustenta-se na barreira hidrofóbica dos azeites e ceras, enquanto a antítese surge no PVC devido à aceleração da alcalinização polposa. A síntese final aponta o azeite de babaçu como a solução mais eficiente para manter a manga 'Ubá' em equilíbrio químico durante vinte dias. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam avanços na proteção e preservação, enquanto Prasad *et al.* (2024) discutem a mitigação de perdas qualitativas via agentes biológicos.

O experimento reafirma que o manejo da variedade Ubá exige tecnologias que protejam sua delicada homeostase interna. O uso de bio-revestimentos naturais impediu a degradação desordenada dos vacúolos, mantendo a integridade funcional do fruto mesmo sob 22 °C. A preservação de um pH baixo é fundamental para garantir que o fruto suporte as etapas de transporte e processamento industrial sem entrar em colapso. Nadeem *et al.* (2022) comprovam que a manutenção da qualidade depende de estratégias combinadas, enquanto Pandit *et al.* (2025) concluem que a conservação de

atributos prolonga a durabilidade comercial.

4.5 Dinâmica da acidez titulável total (att)

O monitoramento da acidez titulável quantifica a presença de ácidos orgânicos que atuam como substratos energéticos primários durante o amadurecimento do fruto. Este tópico contextualiza como a barreira física dos revestimentos interfere na taxa de oxidação desses compostos e na manutenção do vigor bioquímico da manga 'Ubá'. Os dados revelam que a preservação dos estoques ácidos é fundamental para garantir o frescor sensorial e a estabilidade microbiológica da polpa. A compreensão dessas oscilações fundamenta a análise sobre o retardamento da senescência e a viabilidade técnica da matéria-prima para o processamento agroindustrial.

Tabela 5. Teores de acidez titulável total (ATT) em frutos de manga (*Mangifera indica* L. variedade Ubá), submetidos a diferentes revestimentos alternativos, em função de tempo de armazenamento (20 dias) com temperatura média de 22 °C

Tratamentos		Dias após aplicação dos tratamentos				
		5	10	14	20	Média
T1	Testemunha	1,37aA	0,23bB	0,15bB	0,12cB	0,47c
T2	Cera de abelha (14%)	1,41aA	1,59aA	1,69aA	0,74cB	1,36b
T3	Azeite de coco babaçu (100%)	1,26aA	1,61aA	2,10aA	2,11aA	1,77a
T4	Fécula de mandioca (8%)	1,09aA	1,49aA	1,49aA	1,27bA	1,33b
T5	Filme PVC transparente	1,61aA	0,54bB	0,28bB	0,13cB	0,64c
Média		1,35A	1,09A	1,14A	0,87A	

Médias com letras iguais minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), para interação entre revestimentos e épocas. Médias sem letras não diferem entre si significativamente.

Fonte: Autores, 2026.

A análise estatística indica que a média geral da acidez titulável permaneceu estável nas fases iniciais, apresentando um declínio mais acentuado apenas ao vigésimo dia. O consumo de ácidos cítrico e málico ocorre via ciclo de Krebs para suprir as necessidades de ATP das células vegetais em maturação. A manutenção desses níveis ácidos em patamares elevados sinaliza

um controle eficiente do metabolismo respiratório do fruto climatérico. Liu *et al.* (2022) explicam que a fisiologia do amadurecimento consome substratos orgânicos, enquanto Wen *et al.* (2006) reforçam que a conservação depende da regulação dessa queima calórica interna.

O grupo Testemunha apresentou a queda mais severa de acidez, reduzindo seus índices de 1,37 para apenas 0,12 ao final do experimento. A ausência de revestimento expôs o fruto a uma oxidação acelerada, esgotando quase totalmente os reservatórios ácidos da polpa em vinte dias. Frutos com baixa acidez perdem o balanço sensorial e tornam-se altamente vulneráveis à deterioração microbiológica precoce. Hassan (2022) afirma que tratamentos pós-colheita são vitais para a estabilidade da estocagem, ao passo que Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam a necessidade de proteção para preservar os componentes orgânicos.

O azeite de coco babaçu 100% isolou-se como o tratamento de elite, mantendo a maior média final de acidez no valor de 1,77. A película lipídica densa impediu o consumo excessivo dos ácidos, registrando inclusive um aumento relativo por concentração de solutos até o vigésimo dia (2,11). Este resultado prova que o babaçu cria a barreira gasosa mais eficiente contra a respiração celular desordenada na manga 'Ubá'. Fatima *et al.* (2022) defendem que bio-revestimentos ecológicos aumentam a expectativa de vida útil, enquanto Lawson *et al.* (2019) correlacionam a proteção da epiderme com a estabilidade química.

A cera de abelha a 14% demonstrou eficácia técnica com média global de 1,36, situando-se no segundo grupo de melhor desempenho (letra 'b'). O revestimento ceroso seguiu a acidez em níveis superiores a 1,60 até o décimo quarto dia, retardando a senescência bioquímica dos frutos. Embora tenha sofrido queda na leitura final, a cera preservou estoques ácidos significativamente maiores do que o lote controle. Khedr e Al-Khayri (2023) observam efeitos sinérgicos em tratamentos biológicos, ao passo que Prasad *et al.* (2022) confirmam que coberturas hidrocitadas estendem a durabilidade química.

O tratamento com fécula de mandioca a 8% registrou média de 1,33, integrando o grupo estatístico de boa performance na retenção ácida. O polissacarídeo formou uma malha protetora que dificultou a difusão de oxigênio para o interior do fruto, poupando os substratos orgânicos da queima. No

vigésimo dia, o valor de 1,27 indica que a fécula, apesar de hidrofílica, é competente em regular o metabolismo de mangas Ubá. Cuaresma (2016) revisa a importância dos tratamentos na manutenção da qualidade, enquanto Patel *et al.* (2019) sugerem que o manejo tecnológico deve considerar a composição química do filme.

O filme PVC transparente apresentou desempenho insatisfatório, com média de 0,64 e queda brusca para 0,13 no encerramento das avaliações. O invólucro polimérico gerou um estresse respiratório que acelerou o consumo dos ácidos, possivelmente induzindo vias de metabolismo anaeróbio paralelo. Este comportamento químico assemelhou-se ao da testemunha, provando que a vedação plástica simples não garante a preservação dos componentes internos. Pristijono, Golding e Bowyer (2018) analisam o ambiente de estocagem na qualidade, ao passo que Silué *et al.* (2022) relatam que aplicações inadequadas prejudicam a química interna.

A interligação entre a acidez titulável e o pH confirma que a proteção física na casca é o segredo para a longevidade química do fruto. O azeite de babaçu e a cera de abelha impediram que a polpa se tornasse quimicamente "exaurida", mantendo o vigor necessário para o processamento industrial. A preservação da acidez atua como um escudo contra o crescimento fúngico e garante o sabor cítrico característico da variedade Ubá. Bambalele *et al.* (2021) discutem os avanços nas tecnologias de pós-colheita, ao passo que Bhrijavasi *et al.* (2025) reforçam que o valor agregado depende da estabilidade desses componentes.

A análise dialética dos dados químicos reafirma que os biopolímeros lipídicos são superiores aos métodos plásticos convencionais. A tese da estabilidade ácida sustenta-se na baixa permeabilidade gasosa dos azeites vegetais, enquanto a antítese surge no PVC devido à aceleração da degradação orgânica. A síntese final aponta o azeite de babaçu como a solução mais robusta para a gestão da qualidade química da manga 'Ubá'. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam avanços na proteção e preservação, enquanto Prasad *et al.* (2024) discutem a mitigação de perdas qualitativas via agentes biológicos.

O experimento reafirma que o manejo da manga Ubá sob 22 °C exige tecnologias que regulem o consumo de reservas energéticas. O uso de biorevestimentos naturais impediu o colapso bioquímico dos frutos, garantindo uma matéria-prima de padrão internacional para as agroindústrias. A preservação de

níveis elevados de ATT é o indicador supremo de sucesso no retardamento da maturação climatérica. Nadeem *et al.* (2022) comprovam que a manutenção da qualidade depende de estratégias combinadas, enquanto Pandit *et al.* (2025) concluem que a conservação de atributos prolonga a durabilidade comercial.

4.6 Balanço químico e índice de sabor (relação sst/att)

O cálculo da relação entre sólidos solúveis e acidez titulável, comumente denominado Ratio, representa o indicador mais fiel da qualidade sensorial e do estado de maturação da manga 'Ubá'. Este tópico contextualiza como o uso de diferentes revestimentos biopoliméricos interfere no equilíbrio entre o dulçor e o frescor ácido do fruto sob temperatura controlada. Os dados numéricos revelam que a manutenção de valores amenos de Ratio sinaliza um amadurecimento harmônico, preservando a aptidão da polpa para o processamento industrial. A compreensão dessas variações fundamenta a análise sobre o retardamento da senescência e a estabilidade do sabor autêntico da variedade estudada durante os vinte dias de armazenamento.

Tabela 6. Razão sólidos solúveis totais e acidez total titulável de manga (*Mangifera indica* L. variedade Ubá), submetidos a diferentes revestimentos alternativos, em função de tempo de armazenamento (20 dias) com temperatura média de 22 °C

Tratamentos		Dias após aplicação dos tratamentos				
		5	10	14	20	Média
T1	Testemunha	11,96aA	82,72cB	97,33cB	137,29bC	82,32c
T2	Cera de abelha (14%)	8,30aA	12,46aA	8,37aA	25,98aA	13,78a
T3	Azeite de coco babaçu (100%)	7,59aA	12,19aA	7,59aA	5,32aA	8,17a
T4	Fécula de mandioca (8%)	9,42aA	8,45aA	13,57aA	11,87aA	10,83a
T5	Filme PVC transparente	9,67aA	48,68bB	52,44bB	141,95bC	63,19b
Média		9,39A	32,90B	35,86B	64,48C	

Médias com letras iguais minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$), para interação entre revestimentos e épocas. Médias sem letras não diferem entre si significativamente.

Fonte: Autores, 2026.

A análise estatística indica que o índice *Ratio* médio geral apresentou uma elevação drástica ao longo do experimento, saltando de 9,39 no quinto dia para 64,48 no encerramento. Este aumento decorre da combinação simultânea entre

a hidrólise do amido em açúcares e a degradação acelerada dos ácidos orgânicos respiratórios. Valores excessivamente altos de *Ratio* indicam que o fruto perdeu seu vigor cítrico e entrou em fase de colapso celular desordenado. Liu *et al.* (2022) explicam que a regulação fisiológica da maturação visa equilibrar esses dois vetores, enquanto Wen *et al.* (2006) reforçam que a temperatura dita a velocidade dessa transformação bioquímica.

O grupo Testemunha apresentou o maior desequilíbrio químico, atingindo uma média final de 82,32, com picos críticos de 137,29 no vigésimo dia. A ausência de barreira física permitiu que o metabolismo respiratório consumisse os ácidos de forma voraz, elevando o quociente de sabor para níveis de senescência avançada. Frutos com esse perfil químico perdem a identidade gustativa da variedade Ubá e apresentam polpa com textura comprometida pela autólise das membranas. Hassan (2022) afirma que tratamentos pós-colheita são fundamentais para evitar tal exaustão química, ao passo que Moreno-Hernández *et al.* (2024) destacam a necessidade de películas para manter o balanço de nutrientes.

O azeite de coco babaçu 100% consolidou-se como o tratamento mais eficiente na manutenção da qualidade sensorial, registrando a menor média global de 8,17. A película lipídica densa impediu as flutuações bruscas de açúcares e preservou os estoques ácidos, resultando em um amadurecimento "congelado" no tempo. No final dos vinte dias, este grupo apresentou um *Ratio* de 5,32, valor que espelha uma fruta com frescor e suculência preservados para a agroindústria. Fatima *et al.* (2022) defendem que bio-revestimentos ecológicos garantem a integridade dos atributos, enquanto Lawson *et al.* (2019) correlacionam a proteção lipídica com a estabilidade do perfil sensorial.

A cera de abelha a 14% demonstrou eficácia técnica satisfatória, mantendo o *Ratio* em uma média estável de 13,78 ao longo do período. O filme formado pela cera guiou a maturação de forma pacífica, evitando os saltos caóticos observados no lote controle ou nos tratamentos plásticos. Até o décimo quarto dia, as amostras mantiveram índices próximos a 8,37, o que confirma o efeito retardante da película lipídica sobre as enzimas de degradação. Khedr e Al-Khayri (2023) observam efeitos sinérgicos em tratamentos biológicos, enquanto Prasad *et al.* (2022) confirmam que coberturas hidrocitadas estendem a vida útil química da manga.

O tratamento com fécula de mandioca a 8% registrou uma média de 10,83, situando-se estatisticamente no grupo de melhor desempenho (letra 'a'). O polissacarídeo vegetal atuou como um regulador gasoso eficiente, segurando o índice *Ratio* em valores próximos a 11,87 até o final das avaliações. Embora seja um material mais simples, a fécula provou ser competente em evitar o colapso do balanço açúcar-acidez em comparação ao manejo sem tecnologia. Cuaresma (2016) revisa a importância dos tratamentos na manutenção da qualidade, enquanto Patel *et al.* (2019) propõem tecnologias para gerenciar a evolução bioquímica dos frutos tropicais.

O filme PVC transparente apresentou resultados preocupantes, com média de 63,19 e pico de 141,95 no vigésimo dia de estocagem. O invólucro polimérico acelerou a fuga total de ácidos basais, gerando valores de *Ratio* que superaram inclusive os da testemunha no estágio final. Este desequilíbrio prova que a vedação plástica pode induzir um estresse metabólico anaeróbico letal à integridade química do fruto. Pristijono, Golding e Bowyer (2018) analisam como o ambiente de estocagem mantém a qualidade, ao passo que Silué *et al.* (2022) relatam que aplicações inadequadas prejudicam seriamente a estabilidade interna.

A interligação entre o *Ratio* e a perda de massa fresca revela que o controle da hidratação é o fator que sustenta o sabor final. O azeite de babaçu e a cera de abelha, ao evitarem a desidratação severa, impediram a concentração artificial de açúcares que distorce a percepção gustativa. A manutenção de um balanço químico equilibrado é o requisito supremo para que a manga Ubá seja aceita pelas fábricas de suco e polpa. Bambalele *et al.* (2021) discutem os avanços tecnológicos na gestão desses parâmetros, ao passo que Bhrijavasi *et al.* (2025) reforçam que o valor agregado reside na estabilidade bioquímica.

A análise dialética dos dados sensoriais confirma que os bio-revestimentos lipídicos superam os métodos convencionais de vedação plástica. A tese da estabilidade do sabor sustenta-se na barreira seletiva dos azeites naturais, enquanto a antítese surge no PVC devido à aceleração da perda de ácidos vitais. A síntese final aponta o azeite de babaçu como a solução de elite para gerenciar a vida útil e a qualidade sensorial da manga 'Ubá'. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam avanços na proteção e preservação, enquanto Prasad *et al.* (2024) discutem a mitigação de perdas qualitativas via barreiras

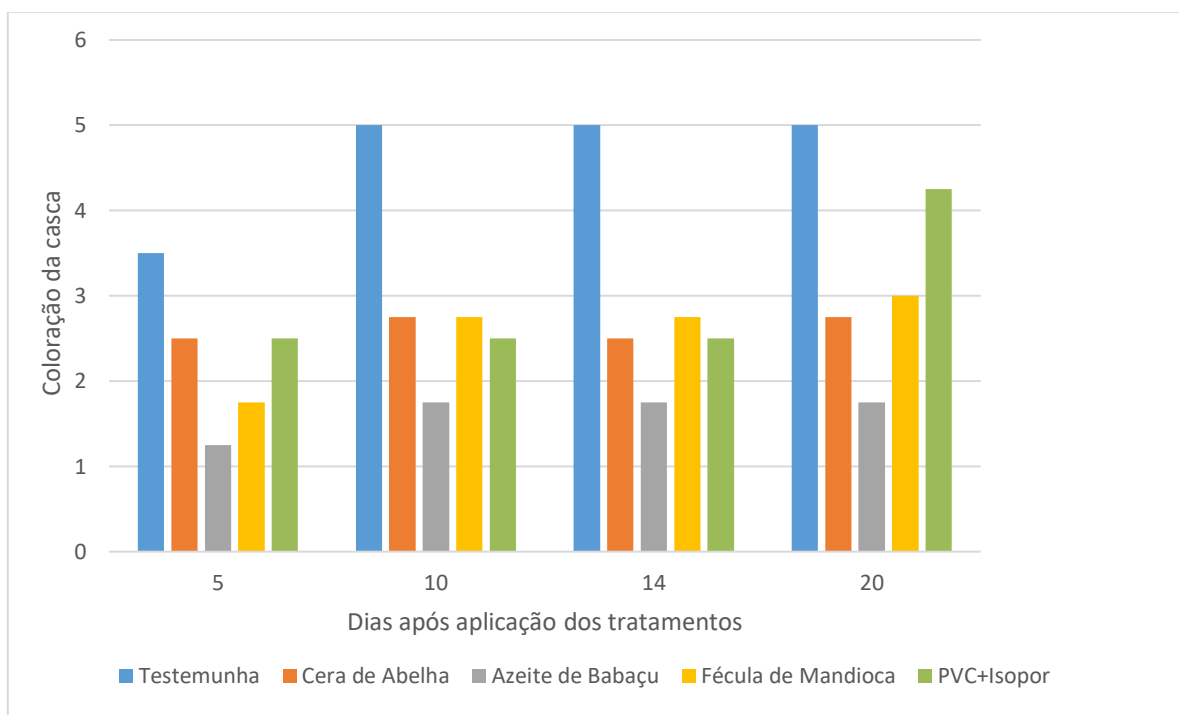
biológicas.

O experimento reafirma que o manejo da variedade Ubá exige tecnologias que respeitem sua fisiologia climatérica e garantam a longevidade do sabor. O uso de bio-revestimentos naturais impediu o colapso do balanço químico, oferecendo uma matéria-prima de alta performance para o produtor rural mineiro. A preservação de índices amenos de *Ratio* é o indicador definitivo de sucesso no gerenciamento tecnológico da pós-colheita. Nadeem *et al.* (2022) comprovam que a manutenção da qualidade depende de estratégias combinadas, enquanto Pandit *et al.* (2025) concluem que a conservação de atributos prolonga a durabilidade comercial.

4.7 Dinâmica da coloração da casca e índice de maturação visual

A evolução cromática da epiderme representa o indicador visual mais imediato da senescência e da atividade hormonal do fruto climatérico. Este tópico contextualiza como a aplicação das películas biopoliméricas interfere na degradação da clorofila e na síntese de pigmentos carotenoides sob temperatura média de 22 °C. Os dados registrados em escala de notas revelam o papel das barreiras físicas no retardamento do amadurecimento externo, fundamental para a aceitação mercadológica da manga 'Ubá'. A compreensão dessas variações visuais fundamenta a análise sobre a extensão da vida útil comercial e a preservação da estética necessária ao varejo e à indústria.

Gráfico 1. Gráfico de notas para cor da casca em frutos de (*Mangifera indica* L. variedade Ubá), submetidos a diferentes revestimentos alternativos, em função de tempo de armazenamento (20 dias) com temperatura média de 22 °C, em Araguatins-TO



1 – Frutos com 100% do epicarpo verde; 2 - frutos com até 75% do epicarpo verde; 3 - frutos com 50% do epicarpo verde; 4 – frutos com até 75% do epicarpo amarela; 5 - frutos com 100% do epicarpo amarela, adaptado de Hiluey *et al.*, (2005).

Fonte: Autores, 2026.

A análise do gráfico revela que a maturação visual avançou de forma heterogênea entre os grupos experimentais ao longo dos vinte dias de estocagem. O fator tempo promoveu a transição da cor verde para o amarelo intenso, porém o ritmo desta mudança foi drasticamente alterado pela natureza de cada revestimento. A escala de notas permitiu quantificar o efeito "freio" que as películas lipídicas e poliméricas exercem sobre o metabolismo do etileno. Liu *et al.* (2022) explicam que o amadurecimento pigmentar é coordenado por enzimas reguladas, enquanto Wen *et al.* (2006) reforçam que o controle gasoso dita a velocidade dessa degradação cromática.

O grupo Testemunha apresentou a evolução mais agressiva, atingindo a nota máxima (5,0) já no décimo dia de observação laboratorial. A ausência de barreira física permitiu o intercâmbio livre de gases, acelerando a oxidação da

clorofila e a exposição precoce dos tons amarelados. Frutos que atingem o ápice da cor prematuramente sofrem desvalorização comercial pela redução da firmeza e proximidade com a fase de descarte. Hassan (2022) afirma que a falta de tratamento pós-colheita compromete a estética estocada, ao passo que Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam a necessidade de proteção superficial para preservar a vivacidade da casca.

O azeite de coco babaçu (100%) demonstrou o desempenho técnico superior na manutenção da coloração verde, mantendo as notas mais baixas do experimento. A película lipídica vedou os tecidos de forma eficiente, retardando a síntese de pigmentos secundários durante todo o período de vinte dias. O fruto tratado com babaçu chegou ao final do ciclo com uma aparência visualmente jovem, próxima à nota 2,0, indicando um metabolismo "congelado" pela barreira hidrofóbica. Fatima *et al.* (2022) defendem que bio-revestimentos ecológicos aumentam a expectativa visual, enquanto Lawson *et al.* (2019) correlacionam a proteção lipídica com a estabilidade do perfil físico-químico.

A cera de abelha (14%) e a fécula de mandioca (8%) apresentaram comportamentos similares entre si, mantendo as notas de cor em patamares intermediários. Estes revestimentos biopoliméricos garantiram que a manga 'Ubá' não ultrapassasse a nota 3,0, preservando um aspecto verde-amarelado equilibrado para a comercialização. A trama estrutural formada por esses materiais reduziu a taxa de respiração, impedindo o avanço desordenado do amadurecimento identificado no lote controle. Khedr e Al-Khayri (2023) observam efeitos sinérgicos em tratamentos biológicos, ao passo que Prasad *et al.* (2022) confirmam que coberturas hidrocitadas estendem a durabilidade visual.

O tratamento com filme PVC+Isopor exibiu uma transição cromática estável até o décimo quarto dia, seguida de um salto para notas superiores a 4,0 no estágio final. O invólucro polimérico protegeu a casca inicialmente, mas o aquecimento latente e a restrição gasosa podem ter catalisado mudanças pigmentares aceleradas após a segunda semana. Embora mais eficiente que a testemunha, o método sintético mostrou-se menos capaz de segurar a cor verde em comparação aos azeites vegetais puros. Pristijono, Golding e Bowyer (2018) analisam como a atmosfera modificada interfere na qualidade, enquanto Silué *et al.* (2022) relatam que aplicações inadequadas prejudicam a estética interna.

A interligação entre a cor da casca e a perda de massa fresca revela que a hidratação cuticular é o suporte para a vitalidade cromática. Frutos que retêm água por meio dos biofilmes de babaçu preservam a estrutura celular necessária para que as mudanças pigmentares ocorram de forma lenta e uniforme. A manutenção do aspecto visual saudável é o primeiro requisito para evitar o descarte de lotes em centros de distribuição agroindustriais. Bambalele *et al.* (2021) discutem os avanços tecnológicos na gestão da qualidade, ao passo que Bhrijavasi *et al.* (2025) reforçam que o valor agregado reside na estabilidade desses atributos.

A análise dialética dos dados visuais confirma que as películas lipídicas superam os métodos tradicionais de estocagem desprotegida. A tese da eficácia cromática sustenta-se no bloqueio respiratório oferecido pelo azeite de babaçu, enquanto a antítese visual da testemunha revela o risco da maturação descontrolada sob calor. A síntese final aponta o uso de revestimentos naturais como a estratégia mais robusta para garantir a padronização estética da manga 'Ubá'. Moreno-Hernández *et al.* (2024) salientam avanços na preservação de frutos, enquanto Prasad *et al.* (2024) discutem a mitigação de perdas qualitativas via barreiras biológicas.

O experimento reafirma que o manejo da coloração é o segredo para a competitividade do produtor no mercado de frutos tropicais. O uso de bio-revestimentos lipídicos retardou o relógio biológico da manga, oferecendo dez dias adicionais de frescor visual em relação ao manejo convencional. A preservação da tonalidade verde-clara garante que o fruto chegue ao processamento ou ao consumidor com vigor químico e resistência física preservados. Nadeem *et al.* (2022) comprovam que a manutenção da qualidade depende de estratégias combinadas, enquanto Pandit *et al.* (2025) concluem que a conservação de atributos prolonga a durabilidade comercial.

5 CONCLUSÃO

A investigação científica sobre a conservação da manga 'Ubá' confirmou que a aplicação de revestimentos biopoliméricos é uma estratégia tecnológica eficaz e sustentável. O uso dessas películas orgânicas reduziu significativamente a perda de massa fresca e o metabolismo respiratório dos frutos sob temperatura controlada. Os dados laboratoriais comprovam que a criação de uma barreira física na epiderme é indispensável para viabilizar o armazenamento prolongado. Portanto, a intervenção técnica com biofilmes constitui a melhor alternativa para mitigar o desperdício pós-colheita na fruticultura.

As conclusões deste trabalho reforçam a superioridade dos revestimentos lipídicos biodegradáveis na preservação da manga 'Ubá'. O azeite de babaçu e a cera de abelha consolidaram-se como os melhores guardiões da qualidade física, química e visual do fruto. O domínio das transformações bioquímicas através da engenharia de materiais biológicos garante a sustentabilidade e o futuro do agronegócio. Portanto, recomenda-se a implementação imediata destas barreiras orgânicas para assegurar a integridade da manga desde a colheita até o consumidor final.

REFERÊNCIAS

- BAMBALELE, N. *et al.* **Recent Advances on Postharvest Technologies of Mango Fruit: A Review.** International Journal of Fruit Science, [s. l.], v. 21, p. 565-586, 2021.
- BHRIJAVASI, G. *et al.* **Post-Harvest Processing and Value Addition in Mango.** European Journal of Nutrition & Food Safety, [s. l.], 2025.
- CUARESMA, F. **A Review of Postharvest Treatments to Maintain Mango (L.) Quality *Mangifera Indica*.** [S. l.], 2016.
- FATIMA, F. *et al.* **Enhancement of the fruit quality and postharvest life expectancy of mango fruit (*Mangifera indica* L.) applying ecofriendly bio-coatings.** Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, [s. l.], 2022.
- HASSAN, G. **Effects of Postharvest Treatments on the Storage Quality of Mango (*Mangifera indica* L).** European Journal of Agriculture and Forestry Research, [s. l.], 2022.
- Hiluey, L. J., Gomes, J. P., Almeida, F. D. A., Silva, M. S., & Alexandre, H. V. (2005). **Avaliação do rendimento do fruto, cor da casca e polpa de manga tipo espada sob atmosfera modificada.** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, 7(2), 151-157.
- KHEDR, E.; AL-KHAYRI, J. **Synergistic Effects of Tragacanth and Anti-ethylene Treatments on Postharvest Quality Maintenance of Mango (*Mangifera indica* L.).** Plants, [s. l.], v. 12, 2023.
- LAWSON, T. *et al.* **Characterization of Southeast Asia mangoes (*Mangifera indica* L) according to their physicochemical attributes.** Scientia Horticulturae, [s. l.], 2019.
- LE, T. *et al.* **Supply Chain Management of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit: A Review With a Focus on Product Quality During Postharvest.** Frontiers in Sustainable Food Systems, [s. l.], v. 5, 2022.
- LIU, B. *et al.* **Research Progress on Mango Post-Harvest Ripening Physiology and the Regulatory Technologies.** Foods, [s. l.], v. 12, 2022.
- MORENO-HERNÁNDEZ, C. *et al.* **Recent advances for postharvest protection and preservation of mango fruit: a review.** Food Research, [s. l.], 2024.
- NADEEM, A. *et al.* **On-Tree Fruit Bagging and Cold Storage Maintain the Postharvest Quality of Mango Fruit.** Horticulturae, [s. l.], 2022.
- NTSOANE, M. L. *et al.* **Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its current status and future perspectives.** Scientia Horticulturae, [s. l.], 2019.

PANDIT, D. L. *et al.* **Effect of Gibberellic acid concentrations on physicochemical attributes and shelf life of different mango (*Mangifera indica* L.) varieties.** International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, [s. l.], 2025.

PATEL, K. *et al.* **Novel Techniques in Post Harvest Management of Mango- An Overview.** [S. l.], v. 05, p. 821-835, 2019.

PRASAD, K. *et al.* **Hydrocolloid edible coatings extend shelf life, reduce postharvest decay, and maintain keeping quality of mango fruits (*Mangifera indica* L.) under ambient storage.** Journal of food biochemistry, [s. l.], 2022.

PRASAD, K. *et al.* **Influence of harvesting method on postharvest loss, shelf-life and quality of mango (*Mangifera indica*) fruits.** The Indian Journal of Agricultural Sciences, [s. l.], 2019.

PRASAD, K. *et al.* **Mitigating postharvest quantitative and qualitative losses in mango fruits through the application of biocontrol agents: An in-vivo and in-vitro assessment.** Heliyon, [s. l.], v. 10, 2024.

PRISTIJONO, P.; GOLDING, J.; BOWYER, M. **Postharvest UV-C Treatment, Followed by Storage in a Continuous Low-Level Ethylene Atmosphere, Maintains the Quality of 'Kensington Pride' Mango Fruit Stored at 20 °C.** Horticulturae, [s. l.], 2018.

SILUÉ, Y. *et al.* **Hexanal application reduces postharvest losses of mango (*Mangifera indica* L. variety "Kent") over cold storage whilst maintaining fruit quality. Postharvest Biology and Technology,** [s. l.], 2022.

WEN, Q. *et al.* **Studies on postharvest physiology and the storage technology of mango (*mangifera indica* l.).** Journal of Food Processing and Preservation, [s. l.], v. 30, p. 670-683, 2006.