



Revestimentos Biodegradáveis à Base de Fécula de Mandioca na Conservação Pós-colheita da Banana

Álesson Antônio Silva de Souza, Perla Joana Souza Gondim

Resumo

As tecnologias pós-colheita voltadas à conservação de frutas têm ganhado destaque nos últimos anos, impulsionadas pela crescente demanda por alimentos com melhor qualidade sensorial e visual e maior vida útil. Nesse contexto, as coberturas biodegradáveis à base de biopolímeros naturais têm se mostrado alternativas promissoras, devido ao baixo custo, à biodegradabilidade e ao potencial de aplicação em sistemas sustentáveis de conservação de alimentos. A banana (*Musa spp.*), uma das frutas mais consumidas mundialmente, apresenta elevada perecibilidade, o que contribui para perdas significativas durante o armazenamento e comercialização. Diante desse cenário, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de revestimentos biodegradáveis à base de fécula de mandioca (*Manihot esculenta*) na conservação pós-colheita de bananas. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, em arranjo fatorial 3×4 , com três tratamentos (controle, fécula de mandioca a 4% e fécula de mandioca a 8%) e quatro períodos de armazenamento (3, 6, 9 e 12 dias). Foram avaliadas características físicas e físico-químicas dos frutos. Os resultados indicaram que os revestimentos com fécula de mandioca foram eficientes na redução da perda de massa e na manutenção das características físico-químicas dos frutos, destacando-se a concentração de 8% como a mais eficaz para prolongar a vida útil das bananas. Além dos benefícios tecnológicos, o uso desse biopolímero natural reforça os princípios da bioeconomia e da economia circular, ao valorizar recursos renováveis amplamente disponíveis em regiões tropicais. Dessa forma, a aplicação dessa tecnologia sustentável pode contribuir para a redução de perdas pós-colheita, agregação de valor à produção agrícola e geração de impactos socioeconômicos positivos para agricultores familiares e pequenas agroindústrias.

Palavras-chave: *Musa spp.* *Manihot esculenta*. Pós-colheita. Tecnologias sustentáveis.

1. Introdução

A fruticultura brasileira destaca-se no cenário agrícola mundial por sua expressiva produção, impulsionada por uma vasta biodiversidade e pela riqueza de seus biomas, climas e solos. Nesse contexto, a atividade configura-se como estratégica para a economia, a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável do país. Segundo Petry et al. (2025), além de sua relevância interna, as frutas produzidas no Brasil vêm ganhando destaque no mercado internacional, desempenho que está diretamente associado aos avanços científicos e tecnológicos que ampliam a competitividade do setor.

Paralelamente, observa-se a incorporação de práticas alinhadas aos princípios da sustentabilidade e da economia circular, promovendo o aproveitamento integral da produção, a valorização de frutas frescas ou processadas e a redução de perdas. Apesar desse potencial, o setor enfrenta o desafio da elevada perecibilidade dos produtos, principalmente na região tropical, onde as condições ambientais aceleram os processos de amadurecimento e senescência, comprometendo a qualidade pós-colheita e gerando impactos negativos para produtores, distribuidores e consumidores.

Entre os frutos tropicais que apresentam altas taxas de perdas, destaca-se a banana (*Musa spp.*), uma cultura de alto valor econômico e alimentar, amplamente consumida no Brasil tanto in natura quanto na forma processada. A cultura apresenta excelente adaptação e rendimento em todas as regiões do país, merecendo destaque o estado do Amazonas, que registrou uma produção de aproximadamente 174 mil toneladas em 2024, de acordo com dados do IBGE. Por apresentar comportamento climatérico, a banana possui alta taxa respiratória e intensa produção de etileno durante a curva de maturação. Esses fatores fisiológicos aceleram a senescência e reduzem drasticamente a sua vida útil pós-colheita, tornando o fruto altamente suscetível à perda de massa, alterações sensoriais indesejáveis e deterioração microbiológica.

Ao longo das últimas décadas, diversas tecnologias foram desenvolvidas com o objetivo de mitigar essas perdas e prolongar a longevidade dos frutos, incluindo o aprimoramento da cadeia de frio, o uso de irradiação e a aplicação de ceras comerciais ou polímeros sintéticos. Essas estratégias visam retardar o metabolismo vegetal, minimizar danos fisiológicos e microbiológicos, e preservar os atributos físico-químicos e sensoriais até que o produto alcance o consumidor final.

Nesse cenário, métodos inovadores e sustentáveis de conservação têm ganhado protagonismo, especialmente os revestimentos biodegradáveis, que surgem como alternativas sustentáveis às tecnologias convencionais. Segundo Andriani e Handayani (2023), esses revestimentos atuam como barreiras semipermeáveis às trocas gasosas e à perda de

umidade, contribuindo diretamente para a redução da taxa respiratória e o retardamento do amadurecimento. Além disso, tais matrizes poliméricas podem funcionar como veículos para a incorporação de compostos bioativos, como antioxidantes e agentes antimicrobianos naturais, agregando valor funcional e sanitário aos alimentos.

Pesquisas recentes demonstram que os revestimentos biodegradáveis são capazes de prolongar significativamente a vida útil de frutos, mantendo sua qualidade sensorial, com a vantagem de serem sustentáveis e biocompatíveis com o organismo humano. Galvão (2024) destaca essa tecnologia como particularmente promissora para frutos tropicais que, devido às elevadas taxas respiratórias e ao comportamento climatérico, apresentam vida útil pós-colheita reduzida, geralmente variando entre três e cinco dias.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de revestimento biodegradável à base de fécula de mandioca na conservação pós-colheita de bananas produzidas no município de Humaitá, Amazonas, visando contribuir para o desenvolvimento de estratégias tecnológicas aplicáveis à redução de perdas e à manutenção da qualidade de frutos em regiões de clima tropical.

Referencial Teórico

Panorama da bananicultura e desafios pós-colheita

A fruticultura constitui um dos segmentos mais relevantes da agricultura mundial. No Brasil, está presente em todos os estados, favorecida pela diversidade de climas, solos e variedades de frutas. Nesse contexto, consolida-se como uma importante estratégia socioeconômica para a geração de emprego e renda no meio rural, além de contribuir para a segurança alimentar e a diversificação das economias regionais.

Uma das regiões com grande diversidade de espécies frutíferas é a Amazônia. Segundo Cuéllar Álvarez (2025), essas culturas desempenham papel relevante tanto na conservação quanto na restauração dos ecossistemas, além de apresentarem importância econômica, bioquímica e agroindustrial, contribuindo para sua valorização no mercado mundial.

Dentre os frutos produzidos, destaca-se a banana (*Musa spp.*), amplamente disseminada no mundo e com grande relevância no Brasil, onde é cultivada em todas as regiões, com diversas variedades. O fruto apresenta elevado valor nutricional e grande versatilidade na alimentação humana, sendo considerado uma importante fonte de energia. Em termos de produção, o Brasil ocupa a quarta posição mundial, porém com baixa participação no mercado exportador, em função do elevado consumo interno.

No estado do Amazonas, segundo o IBGE (2024), a produção alcançou aproximadamente 69 mil toneladas, com destaque para a região do rio Madeira, incluindo municípios como Manicoré, Novo Aripuanã e Humaitá, importantes polos produtores. Apesar dessa expressiva produção, a cultura da banana enfrenta desafios significativos no período pós-colheita.

Entre esses desafios, destacam-se as elevadas perdas, estimadas entre 25% e 50%, associadas a alterações fisiológicas, amolecimento dos tecidos, deterioração microbiológica e manuseio inadequado durante o transporte e armazenamento (Shinga et al., 2025). Nesse contexto, tecnologias como o desenvolvimento de revestimentos biodegradáveis têm sido estudadas como alternativas para reduzir essas perdas. Dentre elas, destaca-se a fécula de mandioca, um biopolímero de baixo custo e fácil acesso, com potencial para prolongar a vida útil e retardar o amadurecimento, tornando o fruto mais atrativo ao consumidor.

Fisiologia e Bioquímica do amadurecimento

O processo de maturação dos frutos envolve uma série de transformações fisiológicas, bioquímicas e estruturais que ocorrem após a colheita. Esse processo compreende alterações metabólicas complexas, nas quais diversas enzimas têm sua atividade intensificada, resultando em modificações físicas e químicas, como a perda de massa por transpiração e a oxidação de substratos respiratórios, redução da acidez, aumento de sólidos solúveis e mudanças na coloração da casca. A banana, por ser um fruto climatérico, tende a continuar o amadurecimento após a colheita, atingindo um pico respiratório característico.

Nesse contexto, a respiração do fruto constitui uma atividade fisiológica essencial, associada ao consumo de oxigênio (O_2) e à liberação de dióxido de carbono (CO_2). Além disso, fatores como a temperatura exercem forte influência sobre esse processo, sendo observado que o aumento térmico eleva significativamente a taxa respiratória. Conforme relatado por Triardianto et al. (2026), incrementos de 10 °C podem duplicar a taxa de respiração, intensificando o metabolismo do fruto.

Nesse sentido, a banana apresenta elevada taxa respiratória, a qual se intensifica ao longo do amadurecimento, uma vez que a respiração envolve a degradação de compostos orgânicos, como carboidratos, proteínas e lipídios, em moléculas mais simples, com liberação de energia na forma de ATP. Entre os principais substratos respiratórios presentes nos frutos destacam-se os açúcares e os ácidos orgânicos, geralmente armazenados nos vacúolos celulares. A composição e a proporção desses compostos desempenham papel fundamental na determinação do sabor e do paladar do fruto, estando diretamente rela-

cionadas às alterações sensoriais observadas durante o amadurecimento. Esse metabolismo respiratório também se associa ao avanço da maturação e, posteriormente, à senescência dos frutos (Sugianti et al., 2022).

A partir dessas transformações metabólicas, diversas alterações tornam-se evidentes durante a maturação dos frutos, destacando-se a conversão do amido em açúcares simples, a degradação da clorofila e a modificação da estrutura das paredes celulares, processos que contribuem para o amolecimento da polpa e o desenvolvimento das características sensoriais desejáveis pelos consumidores (Moreno et al., 2021).

O amadurecimento da banana também está associado a mudanças visíveis na coloração da casca, que evolui do verde para o amarelo, iniciando-se, geralmente, na região central do fruto e avançando em direção às extremidades. Essas alterações estão relacionadas a transformações bioquímicas e biofísicas que impactam diretamente a qualidade e a vida útil do produto (Ringer e Blanke, 2021). Essas transformações são fortemente reguladas pela ação do etileno, hormônio vegetal chave no controle do amadurecimento em frutos climatéricos.

Dinâmica do etileno na pós-colheita do fruto

O etileno é um hormônio vegetal gasoso que desempenha papel fundamental na regulação do amadurecimento de frutos, especialmente em espécies climatéricas. Durante o desenvolvimento dos frutos, a produção de etileno ocorre em baixos níveis na fase pré-climatérica, aumentando progressivamente à medida que o fruto se aproxima do amadurecimento, desencadeando uma série de respostas fisiológicas (Arista e Ardiningtyas, 2024).

Durante esse processo, pequenas quantidades de etileno são capazes de estimular sua própria síntese, caracterizando um mecanismo autocatalítico. Esse aumento na produção do hormônio ativa diversas reações metabólicas no tecido do fruto, incluindo a degradação da clorofila, a conversão de amido em açúcares, a modificação da pectina e a transformação de compostos orgânicos complexos em moléculas mais simples (Hewajulige e Premaseela, 2020).

O etileno atua como a principal molécula reguladora do amadurecimento e da qualidade em frutos climatéricos, tendo sua biossíntese a partir da metionina, via S-adenosilmetionina (SAM) e ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), sendo regulada principalmente pelas enzimas ACC sintase e ACC oxidase. Nesse contexto, a compreensão dos mecanismos relacionados à biossíntese e à ação do etileno é fundamental para o desenvolvimento de estratégias que permitam controlar ou retardar o amadurecimento,

contribuindo para a redução das perdas pós-colheita e para a manutenção da qualidade dos frutos durante o armazenamento e a comercialização (Wang et al., 2024).

Tecnologias de revestimentos biodegradáveis

A conservação pós-colheita de frutas e hortaliças tem recebido crescente atenção, impulsionada pelas exigências dos consumidores por produtos com maior qualidade e vida útil prolongada. Nesse contexto, os revestimentos biodegradáveis têm sido amplamente estudados como uma alternativa tecnológica promissora para a redução de perdas e a manutenção da qualidade dos alimentos.

Esses revestimentos são aplicados diretamente sobre a superfície do produto e atuam como barreiras semipermeáveis, capazes de regular as trocas gasosas e a perda de umidade entre o fruto e o ambiente externo. Como consequência, contribuem para a redução da taxa respiratória, o retardamento do amadurecimento e a minimização da perda de massa e de compostos voláteis (Andrade et al., 2022).

Além de sua função como barreira física, os revestimentos biodegradáveis podem incorporar compostos bioativos, como antioxidantes e agentes antimicrobianos, ampliando sua funcionalidade na conservação de produtos frescos. Nesse sentido, os materiais biodegradáveis destacam-se em relação aos polímeros sintéticos, devido à sua biodegradabilidade, segurança e potencial de preservação das propriedades sensoriais (Mendonça, 2023).

Entre os biopolímeros utilizados, os materiais à base de amido têm se destacado devido ao seu baixo custo, ampla disponibilidade e biodegradabilidade. A fécula de mandioca, em particular, apresenta elevado potencial para a formulação de revestimentos biodegradáveis aplicados na conservação pós-colheita de frutas e hortaliças.

Estudos indicam que a incorporação de compostos adicionais em revestimentos à base de amido pode melhorar suas propriedades funcionais, contribuindo para a redução de alterações fisiológicas e bioquímicas durante o armazenamento. Além disso, esses materiais apresentam elevada aceitação ambiental, sendo considerados alternativas promissoras aos revestimentos sintéticos (Oyom et al., 2022).

Pesquisas conduzidas com diferentes espécies frutíferas têm demonstrado resultados positivos na utilização de revestimentos biodegradáveis à base de fécula de mandioca. Pereira et al. (2019), por exemplo, observaram que sua aplicação contribuiu para a preservação de características físico-químicas importantes em frutos de caju, como cor, acidez titulável e teor de vitamina C.

Adicionalmente, a combinação de diferentes biopolímeros pode potencializar os efeitos dos revestimentos. Felicio et al. (2021) demonstraram que a associação de quito-

sana, proteína do soro de leite, amido de mandioca e ácido láctico foi eficaz em retardar o amadurecimento de frutos de *Hancornia speciosa*, promovendo melhorias em parâmetros como pH, acidez e sólidos solúveis.

Dessa forma, a escolha do revestimento adequado para cada espécie frutífera é fundamental para garantir a manutenção da qualidade pós-colheita, devendo atuar como barreira protetora contra danos mecânicos e microbiológicos, além de reduzir perdas de compostos voláteis e preservar a aparência e a qualidade sensorial dos frutos.

Apesar dos avanços no uso de revestimentos biodegradáveis em diversas frutíferas, a aplicação específica de diferentes concentrações de fécula de mandioca em bananas cultivadas nas condições edafoclimáticas do Amazonas ainda demanda investigação. Diante da necessidade de tecnologias de baixo custo para a região do Rio Madeira, o estudo do efeito do revestimento torna-se essencial para validar a eficiência na manutenção da qualidade pós-colheita do fruto.

Metodologia

Bananas (*Musa* spp.) foram adquiridas de um produtor local na comunidade de São Miguel, situada na zona rural de Humaitá, Amazonas, Brasil. Os frutos foram colhidos no ponto de maturação “de vez,” caracterizado pelo preenchimento dos cachos e desprendimento fácil das flores secas. Após a colheita, as bananas foram transportadas para o Laboratório de Fitotecnia do Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), no campus de Humaitá.

Para assegurar a qualidade dos frutos, foi realizada uma seleção com base no estágio de maturação e em uma inspeção visual. A sanitização foi feita por meio da imersão dos frutos em uma solução de hipoclorito de sódio a 2,5% (160 mL diluídos em 2 L de água deionizada) por três minutos, seguida de drenagem em bandejas para a remoção do excesso da solução sanitizante.

A cobertura biodegradável foi preparada em concentrações de 4% e 8% de fécula de mandioca. Para isso, foram pesados 40 g e 80 g de fécula, respectivamente, cada uma dissolvida em 1 L de água deionizada. As misturas foram aquecidas em fogo médio até gelificação completa e, em seguida, resfriadas em banho-maria. A aplicação das coberturas foi realizada por imersão dos frutos nas suspensões de fécula por três minutos, e depois os frutos foram colocados em bandejas para remoção do excesso da cobertura. Em seguida, os frutos foram acondicionados individualmente em embalagens e armazenados a 14 °C em câmara BOD por um período de 12 dias.

A perda de massa dos frutos foi monitorada ao longo do experimento. A pesagem inicial foi realizada em uma balança semi-analítica (RADAGW), logo após a aplicação do revestimento com as amostras do dia 12. A variação de perda de massa foi calculada pela equação $(\text{Massa inicial} - \text{Massa final}) / (\text{Massa inicial})$, em que os resultados foram expressos em g.

O pH da polpa foi determinado utilizando 5 g da polpa de cada amostra, diluída em 50 mL de água destilada. As medições foram realizadas com um pHmetro (Aifakt), calibrado e operado conforme as instruções do fabricante.

Para a determinação dos sólidos solúveis (SS), foi utilizada a polpa da fruta, com leituras realizadas em um refratômetro digital (Megabrix) previamente calibrado com água destilada, sendo os resultados expressos em °Brix.

A acidez titulável (AT) foi determinada pelo método titulométrico. Para essa análise, 5 g de polpa foram diluídos em 50 ml de água destilada, sendo adicionadas quatro gotas de solução de fenolftaleína a 1% como indicador, conforme o método oficial 942.15 da AOAC (2019). A titulação foi realizada com solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,1 mol L⁻¹) até o aparecimento de coloração rósea persistente. Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido málico.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 3 × 4, composto por três tratamentos de revestimento: T1 (controle – água destilada), T2 (fécula de mandioca a 4%) e T3 (fécula de mandioca a 8%), e quatro períodos de armazenamento (3, 6, 9 e 12 dias). Cada parcela experimental foi constituída por um fruto, com três repetições por tratamento.

Os dados experimentais foram organizados e analisados utilizando o software R (R Core Team, 2023), com auxílio do pacote expdes.pt, empregando a função fat2.dbc. Inicialmente, os resíduos do modelo foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro–Wilk ($p \leq 0,05$). Após a verificação dos pressupostos estatísticos, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Quando observadas interações significativas entre os fatores, realizou-se o desdobramento das interações para melhor interpretação dos efeitos dos tratamentos. Adicionalmente, foram ajustados modelos de regressão para avaliar o comportamento das variáveis ao longo do período de armazenamento. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Os frutos de banana (*Musa* spp.) submetidos aos diferentes tratamentos apresentaram modificações visuais ao longo do período de armazenamento, evidenciando de forma

consistente a influência do revestimentos biodegradáveis à base de fécula de mandioca sobre a dinâmica do amadurecimento. Observou-se heterogeneidade na coloração da epiderme, caracterizada pelo amarelecimento progressivo em parte dos frutos, enquanto outros ainda mantinham aproximadamente 30% da superfície verde. Tal variação sugere diferenças no estágio fisiológico inicial, fator que pode interferir diretamente na resposta ao tratamento e na taxa de evolução do amadurecimento.

No 12º dia de armazenamento, constatou-se a presença de manchas escuras na região próxima ao pedúnculo, mais pronunciadas nos frutos pertencentes ao tratamento controle. Embora esse escurecimento não tenha afetado a integridade da polpa, constitui um indicativo do avanço do processo de senescência. Do ponto de vista comercial, esse aspecto assume relevância, uma vez que a aparência externa é determinante na decisão de compra, podendo comprometer a aceitação do produto pelo consumidor, conforme descrito por Pereira et al. (2023).



Figura 1 Frutos de banana revestidos com fécula de mandioca aos 12 dias de armazenamento em BOD a 14 °C. *Fonte:* Autor (2024).

Nesse contexto, Soares et al. (2020), citados por Moraes et al. (2022), ressaltam que a aparência visual representa um dos principais atributos de qualidade considerados no momento da aquisição de frutos. Esse parâmetro está diretamente associado às transformações bioquímicas inerentes ao amadurecimento, especialmente à degradação da clorofila, catalisada pela enzima clorofilase, e à subsequente síntese de carotenoides, responsáveis

pela mudança da coloração verde para amarela. Assim, a adoção de estratégias que retardem esses processos metabólicos mostra-se essencial para a preservação da qualidade visual, ampliação da vida útil e redução de perdas pós-colheita.

Os resíduos do modelo ajustado para a variável perda de massa (PM) apresentaram distribuição normal, conforme indicado pelo teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,55$), atendendo ao pressuposto de normalidade ao nível de 5% de significância. A análise de variância revelou efeito significativo dos fatores tratamento e tempo de armazenamento de forma isolada, não sendo observada interação significativa entre esses fatores. Esses resultados evidenciam que os tratamentos exerceram influência sobre a perda de massa dos frutos de banana (*Musa spp.*), assim como houve variação dessa variável ao longo do período de armazenamento.

Diante da ausência de interação significativa, procedeu-se à análise dos efeitos simples. O efeito dos tratamentos foi avaliado por meio do teste de Tukey a 5% de probabilidade, enquanto o efeito do tempo de armazenamento foi analisado por regressão, adotando-se modelo quadrático (2º grau), o qual melhor descreveu o comportamento da variável ao longo do tempo.

Conforme apresentado na Tabela 1, o tratamento controle (T1) apresentou maior média de perda de massa em bananas armazenadas em câmara BOD a 14 °C, quando comparado aos frutos submetidos ao revestimentos biodegradáveis à base de fécula de mandioca nas concentrações de 4% (T2) e 8% (T3). Verificou-se diferença estatisticamente significativa entre o tratamento controle e os tratamentos com aplicação de fécula de mandioca, evidenciando a eficácia do revestimento na redução da perda de massa. Por outro lado, não foi observada diferença significativa entre as concentrações de 4% e 8%, segundo o teste de Tukey ($p \leq 0,05$), indicando comportamento semelhante entre esses níveis de concentração.

Tabela 1 Perda de massa da banana (*Musa spp.*) utilizando diferentes concentrações de fécula de mandioca.

Tratamento	Médias
Tratamento Controle	0,1630 a
Fécula de mandioca 4%	0,1453b
Fécula de mandioca 8%	0,1409b
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si.	

Fonte: Autor (2024).

Na Figura 2, observa-se a confirmação visual dos resultados obtidos na análise estatística, evidenciando que a perda de massa foi mais acentuada ao longo do tempo no tratamento controle (T1). Em contraste, os tratamentos com aplicação de fécula de mandioca (T2 e T3) apresentaram menor redução de massa, indicando a eficácia do revestimentos biodegradáveis na conservação dos frutos. Embora ambos os níveis de concentração tenham demonstrado efeito positivo, não se verificou diferença expressiva entre as concentrações de 4% e 8%, corroborando os resultados do teste estatístico.

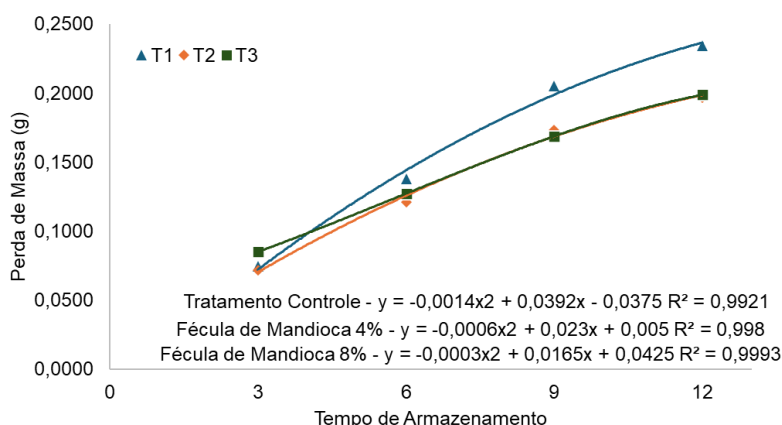


Figura 2 Perda de massa da banana (*Musa* spp.) ao longo do tempo de armazenamento. Fonte: Autor (2024).

A eficiência da fécula de mandioca na redução da perda de massa pode ser atribuída à formação de uma barreira protetora na superfície do fruto, especialmente em maiores concentrações e quando associada à refrigeração. Essa barreira atua reduzindo a desidratação osmótica da casca, limitando a transpiração e as trocas gasosas. Como consequência, há menor absorção de O_2 e redução na liberação de CO_2 , contribuindo para a desaceleração do metabolismo e da perda de água.

Resultados semelhantes foram reportados por Portela et al. (2022), ao avaliarem o uso de revestimento à base de fécula de mandioca em bananas 'Nanica', observando perdas médias de massa em torno de 12% durante o armazenamento. Em contrapartida, Bragança et al. (2021) não identificaram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos avaliados, sendo constatada apenas uma redução gradual da massa ao longo do tempo.

A redução da perda de massa observada neste estudo está diretamente relacionada à formação de uma barreira semipermeável proporcionada pelo revestimento biodegradável. De acordo com Santos et al. (2020), esse tipo de revestimento modifica a atmosfera

ao redor do fruto, reduzindo a taxa de transpiração e as trocas gasosas, favorecendo a retenção de água e contribuindo, assim, para a manutenção da qualidade pós-colheita.

O teor de açúcares nos frutos constitui um atributo fundamental da qualidade sensorial, influenciando diretamente o sabor e a aceitação pelo consumidor. Para a variável sólidos solúveis (SS), os resíduos do modelo atenderam ao pressuposto de normalidade, conforme indicado pelo teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,59$). A análise de variância revelou interação significativa entre os fatores tratamento e tempo de armazenamento, além de efeitos significativos dos fatores de forma isolada, evidenciando que a resposta dos tratamentos variou ao longo do período avaliado.

Conforme apresentado na Tabela 2, no terceiro dia de armazenamento, não houve diferença estatística entre o tratamento controle e o tratamento com fécula de mandioca a 8%, enquanto o tratamento com fécula de mandioca a 4% diferiu significativamente dos demais. Ao longo do armazenamento, observa-se que o tratamento com fécula de mandioca a 8% foi mais eficiente na manutenção dos teores de sólidos solúveis até o 9º dia, comportamento que não se manteve no 12º dia, quando não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 2 Sólidos Solúveis (°Brix) da banana (*Musa* spp.) tratados com diferentes concentrações de fécula de mandioca.

Tratamento	Dias de armazenamento			
	3	6	9	12
Tratamento controle	20,53 ^a	12,53 ^b	16,53 ^c	21,7 ^{ns}
Fécula de Mandioca 4%	12,7 ^b	13,4 ^b	13,05 ^b	20,1 ^{ns}
Fécula de Mandioca 8%	20,8 ^a	19,63 ^a	20,21 ^a	21,13 ^{ns}
Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. ns = não significativo				

Fonte: Autor (2024).

A variação nos teores de sólidos solúveis entre os tratamentos ao longo do tempo pode ser atribuída, em grande parte, às diferenças no estágio de maturação dos frutos. Em frutos revestidos, observa-se redução na taxa respiratória, o que implica menor consumo de açúcares como substrato energético, contribuindo para a manutenção dos teores de SS em determinados períodos do armazenamento.

Os resultados obtidos diferem daqueles reportados por Santos et al. (2024), que não observaram efeito significativo do tipo de revestimento ou do tempo de armazenamento sobre os sólidos solúveis em melões minimamente processados armazenados por 14 dias a

5 °C. Por outro lado, os valores observados neste estudo foram inferiores aos descritos por Vieira et al. (2021), que relataram estabilidade em torno de 24 °Brix durante nove dias de armazenamento. No presente trabalho, os valores variaram entre 16,53 °Brix e 20,21 °Brix, evidenciando variações entre os tratamentos e ao longo do período de avaliação.

Adicionalmente, a barreira formada pelo revestimento biodegradável tende a reduzir a atividade enzimática, especialmente de enzimas como amilase e fosforilase, envolvidas na conversão de reservas em açúcares solúveis. Como consequência, há menor acúmulo de açúcares livres, refletindo em valores mais baixos de °Brix ao longo do armazenamento.

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), o teor de sólidos solúveis constitui uma medida indireta do conteúdo de açúcares nos frutos, estando seu aumento diretamente associado ao avanço do processo de amadurecimento. Dessa forma, o comportamento observado neste estudo reforça a influência dos revestimentos biodegradáveis na modulação do metabolismo dos frutos e na manutenção de sua qualidade pós-colheita.

Observou-se que as médias de acidez titulável no tratamento controle (0,45% de ácido málico) e no tratamento com fécula de mandioca a 8% (0,47% de ácido málico) não diferiram estatisticamente (Figura 3). O menor teor de ácido málico foi registrado no tratamento com fécula de mandioca a 4% no terceiro dia de armazenamento, evidenciando comportamento distinto em relação aos demais tratamentos. Adicionalmente, o tratamento com fécula de mandioca a 8% apresentou redução gradual da acidez ao longo do período de armazenamento, atingindo 0,38% de ácido málico no sexto dia. De forma geral, o tratamento com fécula de mandioca a 4% manteve os menores valores de acidez ao longo de todo o período avaliado.

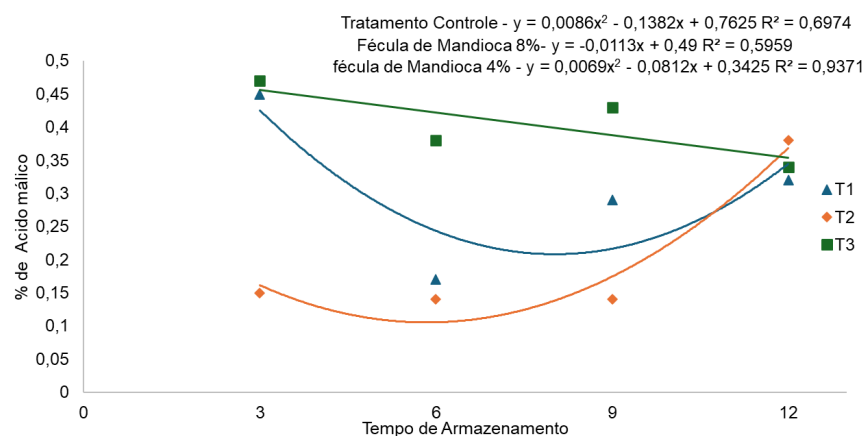


Figura 3 Acidez titulável (AT) da banana (*Musa spp.*) ao longo do tempo de armazenamento. *Fonte:* Autor (2024).

A redução da acidez titulável ao longo do armazenamento está diretamente associada ao avanço do processo de amadurecimento, uma vez que os ácidos orgânicos, como o ácido málico, são progressivamente utilizados no metabolismo respiratório e na conversão em açúcares solúveis (Magri et al., 2024). Esse comportamento é característico de frutos climatéricos e reflete a intensificação das atividades metabólicas durante a maturação.

Resultados semelhantes foram descritos por Pigozzi (2020), que observaram redução inicial da acidez em bananas durante o armazenamento, seguida por discreto aumento nos estágios finais de maturação. De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), embora haja tendência geral de decréscimo da acidez ao longo do amadurecimento, oscilações pontuais podem ocorrer em função do estágio fisiológico e das condições de armazenamento.

Do ponto de vista bioquímico, a diminuição da acidez está relacionada à utilização do ácido málico no ciclo respiratório, particularmente no ciclo de Krebs, no qual atua como substrato energético. A aplicação do revestimentos biodegradáveis contribui para a modulação desse processo, uma vez que promove a formação de uma barreira semipermeável que reduz a taxa respiratória dos frutos. Como consequência, há menor degradação do ácido málico, favorecendo sua permanência por maior período nos tecidos e resultando na desaceleração do metabolismo. Esse efeito reforça o papel do revestimento na manutenção da qualidade pós-colheita e no prolongamento da vida útil dos frutos.

Para a variável pH, observou-se interação significativa entre os fatores tratamento e tempo de armazenamento, evidenciando dependência entre esses fatores. A normalidade dos resíduos foi confirmada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,14$), validando a aplicação da análise de variância. Para descrever a variação temporal dentro de cada tratamento, ajustou-se modelo de regressão de terceiro grau, o qual permitiu representar adequadamente o comportamento da variável ao longo do período experimental.

Na Figura 4, verifica-se que os frutos revestidos com fécula de mandioca a 4% apresentaram os maiores valores de pH nos dias 3 (5,65) e 9 (5,56) de armazenamento. O tratamento controle, por sua vez, apresentou aumento expressivo ao longo do tempo, passando de 4,45 no início do armazenamento para 5,78 no nono dia, superando os demais tratamentos. Em contrapartida, os frutos revestidos com fécula de mandioca a 8% apresentaram, de modo geral, valores de pH inferiores durante grande parte do período avaliado. No 12º dia, observou-se tendência de estabilização dos valores entre os tratamentos, indicando convergência no estágio de maturação.

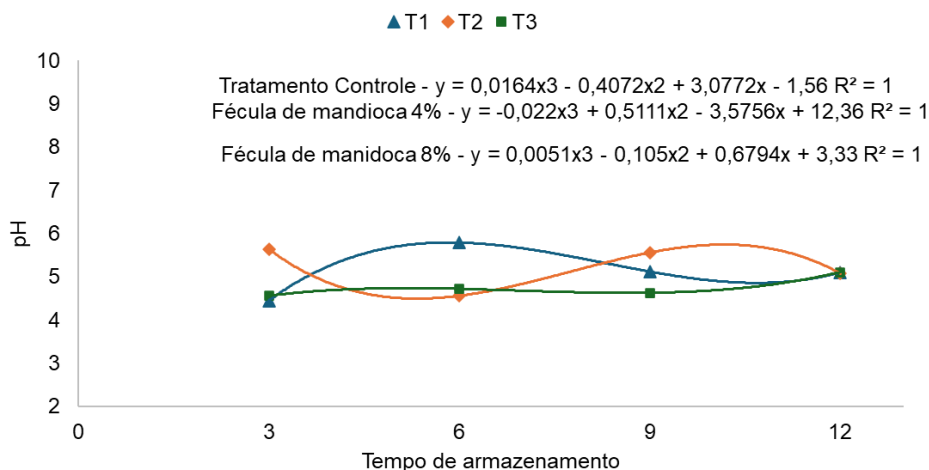


Figura 4 pH da banana (*Musa spp.*) ao longo do tempo de armazenamento, onde T1= Tratamento controle, T2= Fécula de mandioca 4% e T3= Fécula de mandioca 8% armazenadas na BOD 14 °C. *Fonte:* Autor (2024).

Resultados semelhantes foram reportados por Nascimento (2023), ao avaliar a aplicação de fécula de mandioca em pitaya (*Hylocereus undatus*), observando aumento gradual dos valores de pH durante o armazenamento. Por outro lado, Araújo Faustino et al. (2023), ao estudarem revestimentos à base de fécula de mandioca associados à cera de abelha em frutos de umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), verificaram redução do pH, evidenciando que essa resposta pode variar em função da espécie e das condições de armazenamento.

O aumento do pH observado, especialmente no tratamento controle, está associado à intensificação do metabolismo respiratório e ao consumo de ácidos orgânicos durante o amadurecimento, o que resulta na redução da acidez e consequente elevação do pH, em concordância com o comportamento observado para a acidez titulável. Nos frutos submetidos ao revestimentos biodegradáveis, esse processo tende a ocorrer de forma mais lenta, em função da redução das trocas gasosas e da taxa respiratória.

No caso do tratamento com fécula de mandioca a 8%, a maior concentração do revestimento pode ter promovido a formação de uma barreira mais eficiente, limitando de forma mais intensa as trocas gasosas. Esse efeito pode levar à redução da respiração aeróbica e, em determinadas condições, favorecer vias metabólicas alternativas, com formação de subprodutos associados à fermentação, incluindo compostos ácidos. Esse comportamento contribui para a manutenção de valores de pH relativamente mais baixos ao longo do armazenamento, reforçando o papel do revestimento na modulação do metabolismo pós-colheita dos frutos.

conclusões

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam que a aplicação de revestimentos biodegradáveis à base de fécula de mandioca constitui uma alternativa eficiente para a conservação pós-colheita de bananas (*Musa spp.*). Entre os tratamentos avaliados, a concentração de 8% destacou-se pela maior eficiência na redução da perda de massa ao longo do armazenamento, evidenciando seu potencial como tecnologia aplicada à manutenção da qualidade dos frutos.

Adicionalmente, os tratamentos com fécula de mandioca nas concentrações de 4% e 8% apresentaram efeitos positivos sobre os parâmetros físico-químicos avaliados, incluindo sólidos solúveis, acidez titulável e pH, contribuindo para a preservação das características de qualidade durante o armazenamento. Ressalta-se que a concentração de 8% foi capaz de manter a qualidade pós-colheita das bananas até o 9º dia, indicando maior eficácia na desaceleração do metabolismo e no prolongamento da vida útil dos frutos.

Por fim, a adoção dessa tecnologia apresenta potencial para reduzir perdas pós-colheita, agregar valor à produção agrícola e fortalecer cadeias produtivas locais. Trata-se de uma alternativa de baixo custo, de fácil aplicação e alinhada a princípios de sustentabilidade, favorecendo a agroindustrialização em pequena escala e o aproveitamento de matérias-primas regionais. Dessa forma, o uso de revestimentos à base de fécula de mandioca configura-se como uma estratégia viável e promissora para o manejo pós-colheita de frutos climatéricos.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, L. P. et al. Efeito de diferentes condições de conservação na qualidade da cereja cv. Satin. **Prunus – Pós-Inovação no Pós-Colheita de Pêssego e Cereja**, v. 3, p. 106–128, 2022. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10400.11/7964>. Acesso em: 11 nov. 2024.
- ANDRIANI, V.; HANDAYANI, N. A. Tecnologia recente de produção de revestimento comestível: uma revisão. **Materials Today: Proceedings**, v. 87, p. 200–206, 2023.
- AOAC. **Official methods of analysis**. 21. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2019.
- ARISTA, N. I. D.; ARDININGTYAS, S. A. Comparative analysis of ethylene-induced ripening in climacteric and non-climacteric fruits. **Social Agriculture, Food System, and Environmental Sustainability**, v. 1, n. 2, p. 90–100, 2024.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005.
- CUÉLLAR ÁLVAREZ, L. N. et al. Potencial bioativo e agroindustrial de espécies frutíferas amazônicas: uma revisão. **Cogent Food & Agriculture**, v. 11, n. 1, 2025.

- DE ARAÚJO FAUSTINO, C. F. et al. Avaliação do comportamento pós-colheita de frutos do umbuzeiro submetidos ao revestimento com cera de abelha e fécula de mandioca. **RECIMA21**, v. 4, n. 2, 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 8 abr. 2026.
- MAGRI, A. et al. Effect of edible coating on pear fruit quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 212, 2024.
- MORENO, J. L. et al. Alterações fisiológicas durante o amadurecimento da banana. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, 2021.
- NASCIMENTO, A. B. S. **Uso de biofilmes na pós-colheita de pitaya**. 2023. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/2824>. Acesso em: 1 out. 2024.
- PIGOZZI, M. T. et al. Qualidade pós-colheita de banana com revestimento. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, 2020.
- PORTELA, E. R. et al. Análise físico-química na pós-colheita. **EIGEDIN**, v. 6, n. 1, 2022.
- R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.
- SANTOS, E. F. S. et al. **Mudanças fisiológicas na maturação de frutos**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/29605>. Acesso em: 30 out. 2024.
- SANTOS, K. L. et al. Perdas e desperdícios de alimentos no Brasil. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, 2020.
- SHINGA, M. H. et al. Advances in edible coatings on bananas. **Plants**, v. 14, 2025.
- SUGIANTI, C. et al. Postharvest technologies in banana supply chain. **Reviews in Agricultural Science**, v. 10, 2022.
- TRIARDIANTO, D. et al. Modelagem da taxa respiratória da banana Cavendish (*Musa acuminata* cv. Cavendish) sob diferentes temperaturas de armazenamento. In: **BIO Web of Conferences**. [S. l.]: EDP Sciences, 2026. p. 02010.
- VIEIRA, C. R.; ALVES, É. E.; OLIVEIRA, N. J. F. de; CARELI, R. T. (org.). **Tecnologia de alimentos: embalagens de alimentos, desenvolvimento e processamento de alimentos** [recurso eletrônico]. Montes Claros: ICA/UFMG, 2021. 364 p. ISBN 978-65-88389-12-6.
- WANG, R. et al. Delay of banana ripening using 1-MCP. **Scientia Horticulturae**, v. 326, 2024.

