



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL

Sandy Raiele Sena Monteiro

Efeito de embalagens de atmosfera modificada e filtros de etileno na conservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' e 'Palmer' cultivadas no Vale do São Francisco

Petrolina - PE

2025

Sandy Raiele Sena Monteiro

Efeito de embalagens de atmosfera modificada e filtros de etileno na conservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' e 'Palmer' cultivadas no Vale do São Francisco

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal do *Campus* de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Tonetto de Freitas

Coorientadora: Dra. Luana Ferreira dos Santos

Petrolina - PE

2025

M775e

Monteiro, Sandy Raiele Sena

Efeito de embalagens de atmosfera modificada e filtro de etileno na conservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' e 'Palmer' cultivadas no Vale do São Francisco / Sandy Raiele Sena Monteiro. — Petrolina-PE, 2025.
xvii, 100 f. il.; 29 cm.

Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina-PE, 2025.

Orientador: Profº Drº Sérgio Tonetto de Freitas.

Inclui referências.

1. Manga - Cultivo. 2. Manga - Exportação - Brasil. 3. Manga - Pós-colheita. I. Título. II. Freitas, Sérgio Tonetto de. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 634.34

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UNIVASF.
Bibliotecária: Andressa Laís Machado de Matos CRB – 4/2240.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PRODUÇÃO VEGETAL**

Sandy Raiele Sena Monteiro

FOLHA DE APROVAÇÃO

Efeito de embalagens de atmosfera modificada e filtros de etileno na conservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' e 'Palmer' cultivadas no Vale do São Francisco

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Produção Vegetal, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco

Aprovado em: 27 de fevereiro de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



SERGIO TONETTO DE FREITAS
Data: 14/05/2025 10:44:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Sérgio Tonetto de Freitas
Embrapa Semiárido/PPGA-PV UNIVASF

Documento assinado digitalmente



LUANA FERREIRA DOS SANTOS
Data: 14/05/2025 12:13:39-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Luana Ferreira dos Santos
Embrapa Semiárido

Documento assinado digitalmente



VESPASIANO BORGES DE PAIVA NETO
Data: 14/05/2025 17:54:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Vespasiano Borges de Paiva Neto
Universidade Federal do Vale do São Francisco
(PPGA-PV UNIVASF)

Documento assinado digitalmente



KARLA DOS SANTOS MELO DE SOUSA
Data: 14/05/2025 10:53:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Karla dos Santos Melo de Sousa
Universidade Federal do Vale do São Francisco
(UNIVASF)

DEDICATÓRIA

Aos meus avós Benigna Cardoso Monteiro e Bartolomeu de Brito Monteiro (in memoriam).

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me sustentou e me deu forças em meio às diversas adversidades que surgiram durante este período.

À minha amada grande família, minha fonte inesgotável de amor e incentivo, em especial à minha mãe Ana Ilsa, meu pai Edson Monteiro, minha irmã Cindy, meu irmão Cauê e meu padrasto Marconde.

Ao meu namorado Leonardo, por todo o apoio e suporte emocional nos momentos difíceis.

Ao meu orientador, Dr. Sérgio Tonetto, pela oportunidade, dedicação e todo o conhecimento compartilhado.

À minha coorientadora, Luana Ferreira, por toda a atenção e suporte.

Aos amigos que fiz nesta trajetória de mestrado no Laboratório de Fisiologia Pós-colheita da Embrapa-Semiárido: Bruna, Jasciane, Nilo, Tassiane, João, Mikaele, Micaele A., Ester e Caio. Obrigada por tornarem tudo mais leve e fácil.

Às amigadas que construí na Univasf: Brena, Taise e Charem.

Aos meus amigos da vida em especial Igor, Gabriela, Carleani, João Lucas, Elias, Luis e Valber que sempre vibram a cada conquista minha.

Aos professores Dr. Jeffrey K. Brecht e Dr. Steven A. Sargent da Universidade da Flórida, EUA, expresso minha mais sincera gratidão pelas contribuições com os materiais e conhecimentos que foram fundamentais para realizar os trabalhos de pesquisa. Suas contribuições foram imprescindíveis para o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também pela valiosa colaboração com a pesquisa realizada no Brasil. A confiança depositada e a parceria estabelecida foram fundamentais para os resultados alcançados.

Meu agradecimento se estende à empresa It's Fresh pela gentil disponibilização dos filtros e embalagem com absorção de etileno, assim como à empresa Hazel Technologies pelo fornecimento das embalagens de atmosfera modificada.

Agradeço à Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, a todos os membros do corpo docente e de assistência durante este período.

À Embrapa-Semiárido e a todos os funcionários que auxiliaram na pesquisa.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (Facepe) pela concessão da bolsa e incentivo à pesquisa.

As empresas produtoras e exportadoras de mangas Argofruta Comercial Exportadora Ltda., Ibacem Agrícola, Comércio e Exportação Ltda. e Special Fruit pelo fornecimento das frutas utilizadas nas pesquisas.

O meu eterno agradecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização desta pesquisa e desta importante etapa da minha carreira.

RESUMO

O Submédio do Vale do São Francisco é um importante polo de produção de manga no Brasil. No entanto, a alta perecibilidade devido ao rápido amadurecimento representa um fator limitante para a comercialização das frutas em mercados distantes. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de embalagens de atmosfera modificada (AM), com filtro de absorção de etileno, na preservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' e 'Palmer' produzidas no inverno e verão no Vale do São Francisco. Após a colheita, as frutas foram armazenadas sem embalagem de AM (controle); com embalagem de polietileno contendo membranas BreathWay (BW) com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade aos gases O₂ e CO₂, com e sem filtro de absorção de etileno; e frutas embaladas em sacos de polietileno perfurado com a mesma tecnologia de absorção de etileno. O armazenamento foi realizado por um período de 28 dias a 9 °C, com umidade relativa de 85-90%. Após o armazenamento, as embalagens foram abertas e as frutas foram transferidas para a temperatura de 20 °C por 4 dias para simular a vida de prateleira. As embalagens de AM mostraram-se eficazes na redução da perda de massa e inibição dos processos de amadurecimento de mangas 'Tommy Atkins' e 'Palmer'. A embalagem BWC apresentou maior eficiência na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins', reduzindo a incidência de podridão e desordens fisiológicas. Mangas 'Palmer' apresentaram menor taxa respiratória e incidência de nariz mole com a utilização das embalagens de AM.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L.; tecnologias pós-colheita; exportação de frutas; absorção de etileno.

ABSTRACT

The sub-middle São Francisco Valley is an important mango production region in Brazil. However, high perishability and the need to control the accelerated ripening processes limit mango commercialization in distant markets. The objective of this study was to evaluate the efficiency of using modified atmosphere packaging with an ethylene absorption filter in maintaining the postharvest quality of 'Tommy Atkins' and 'Palmer' mangos produced in the winter and summer in the São Francisco Valley. After harvest, the fruit were unpackaged (control); packaged in polyethylene bags with BreathWay (BW) membranes with low (BWC), medium (BWA), or high (BWB) permeability to O₂ and CO₂, with and without an ethylene absorption filter; and packaged in perforated polyethylene bags with the same ethylene absorption technology. The fruit were then stored for 28 days at 9 °C, 85-90% RH, during which time the internal atmosphere of the packages was evaluated weekly. After 28 days of storage, the packages were removed and the fruit were kept for another 4 days at 20 °C to simulate shelf life. After 28 days of storage and 4 days of shelf-life (28 + 4 days), the respiration rate, ripening index, peel and pulp color, pulp firmness, soluble solids, titratable acidity, soluble solids/titratable acidity ratio, dry matter, and incidence of rot and physiological disorders were evaluated. The modified atmosphere packaging proved effective in reducing mass loss and ripening of 'Tommy Atkins' and 'Palmer' mangos. For 'Tommy Atkins', the packages with lower O₂ permeability were effective in controlling physiological disorders and rot incidence. Packed 'Palmer' mangos showed lower respiration rate and incidence of soft nose.

Key-words: *Mangifera Indica L.*; Postharvest technologies; Fruit export; ethylene absorption.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I. Fundamentação teórica

Pág.

Figura 1. Demonstração do funcionamento da tecnologia da embalagem de atmosfera modificada. 26

Capítulo II. Avaliação de embalagens de atmosfera modificada na conservação pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' produzidas no Vale do São Francisco

Figura 1. Sintomas visuais de desordens fisiológicas e podridão em mangas 'Tommy Atkins'. 41

Figura 2. Determinação semanal dos níveis de O₂, CO₂ e etileno presentes nas embalagens de mangas 'Tommy Atkins' cultivadas no inverno (esquerda) e verão (direita) no Vale do São Francisco e armazenadas em condições de AM a 9°C por 28 dias e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. 43

Figura 3. Representação visual do avanço do amadurecimento de mangas 'Tommy Atkins' cultivadas no inverno no Vale do São Francisco e armazenadas por 28 dias a 9°C em condições de AM e após 4 dias de vida de prateleira a 20°C. 45

Figura 4. Representação visual do avanço do amadurecimento de mangas 'Tommy Atkins' cultivadas no verão no Vale do São Francisco e armazenadas por 28 dias a 9°C em condições de AM e após 4 dias de vida de prateleira a 20°C. 46

Figura 5. Efeito de diferentes embalagens de AM na taxa respiratória e perda de massa de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C. 48

Figura 6. Efeito de diferentes embalagens de AM no índice de maturação, firmeza da polpa e matéria seca de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no Vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C. 51

Figura 7. Efeito de diferentes embalagens de AM na cor da casca e cor da polpa de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno 52

(esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C.

Figura 8. Efeito de diferentes embalagens de AM nos sólidos solúveis, acidez titulável e relação (SS/AT) de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C. 54

Figura 9. Efeito de diferentes embalagens de AM na incidência de desordens fisiológicas e podridão de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno e verão, após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C. 56

Figura 10. Análise de componentes principais (PCA) das características-físico químicas de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas em diferentes embalagens de AM. A) Componentes principais da colheita de inverno B) Componentes principais da colheita de verão. 57

Capítulo III. Análise do efeito de diferentes embalagens de atmosferas modificadas associadas a filtro de absorção de etileno na qualidade pós-colheita de mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco. 76

Figura 1. Sintomas visuais de desordens fisiológicas e podridão em mangas 'Palmer'. 77

Figura 2. Determinação semanal dos níveis de O₂, CO₂ e etileno presentes nas embalagens de mangas 'Palmer' cultivadas no inverno (esquerda) e verão (direita) no Vale do São Francisco e armazenadas em condições de AM a 9°C por 28 dias e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C. 78

Figura 3. Representação visual do avanço do amadurecimento de mangas 'Palmer' cultivadas no inverno no Vale do São Francisco e armazenadas por 28 dias a 9°C em condições de AM e após 4 dias de vida de prateleira a 20°C. 79

Figura 4. Representação visual do avanço do amadurecimento de mangas 'Palmer' cultivadas no verão no Vale do São Francisco e armazenadas por 28 dias a 9°C em condições de AM e após 4 dias de vida de prateleira a 20°C. 80

Figura 5. Efeito de diferentes embalagens de AM na taxa respiratória e perda de 82 massa de mangas 'Palmer', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C.

Figura 6. Efeito de diferentes embalagens de AM no índice de maturação, firmeza 85 da polpa e matéria seca de mangas 'Palmer', colhidas no Vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C.

Figura 7. Efeito de diferentes embalagens de AM na cor da casca e cor da polpa de mangas 'Palmer', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno 86 (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C.

Figura 8. Efeito de diferentes embalagens de AM nos sólidos solúveis, acidez titulável e relação (SS/AT) de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no vale do São 88 Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C.

Figura 9. Efeito de diferentes embalagens de AM na incidência de desordens fisiológicas e podridão de mangas 'Palmer', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 89 9°C e mais 4 dias de armazenamento de vida de prateleira a 20°C.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AM-	Atmosfera modificada
EAM-	Embalagem de atmosfera modificada
SS -	Sólidos solúveis
AT -	Acidez titulável
DA-meter	Índice de maturação
EAM-	Embalagem de absorção de etileno
BWA-	Embalagem de atmosfera modificada com etiqueta de média permeabilidade a gases
BWB-	Embalagem de atmosfera modificada com etiqueta de alta permeabilidade a gases
BWC-	Embalagem de atmosfera modificada com etiqueta de baixa permeabilidade a gases
PEAD-	Polietileno de alta densidade
CF-	Com filtro de absorção de etileno
SF-	Sem filtro de absorção de etileno

SUMÁRIO

	Pág.
1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 MANGA.....	19
3.1.1 Características gerais	19
3.1.2 Produção nacional e importância econômica no Vale do São Francisco ..	20
3.1.3 ‘Tommy Atkins’	21
3.1.4 ‘Palmer’	21
3.2 METABOLISMO DA MANGA E MODIFICAÇÕES DURANTE O AMADURECIMENTO	22
3.3 EMBALAGEM EM ATMOSFERA MODIFICADA (MAP).....	24
3.4 ETILENO: O HORMÔNIO DO AMADURECIMENTO	27
3.4.1 Características gerais	27
3.4.2 Síntese e inibição	28
4 REFERÊNCIAS	30
Capítulo II: Avaliação de embalagens de atmosfera modificada e absorção de etileno na conservação pós-colheita de mangas ‘Tommy Atkins’ produzidas no Vale do São Francisco	35
RESUMO.....	35
ABSTRACT.....	36
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAIS E MÉTODOS	38
2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	38
2.2 ATMOSFERA INTERNA DAS EMBALAGENS.....	38
2.3 ANÁLISE DE QUALIDADE DAS FRUTAS.....	39
3.RESULTADOS	42
3.1 ATMOSFERA INTERNA DAS EMBALAGENS.....	42
3.2 ANÁLISE DE QUALIDADE DAS FRUTAS.....	47

4.DISSCUSSÃO	58
5. CONCLUSÕES	66
6. REFERÊNCIAS	67

Capítulo III: Análise do efeito de diferentes embalagens de atmosferas modificadas associadas a filtro de absorção de etileno na qualidade pós-colheita de mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco	70
RESUMO.....	70
ABSTRACT.....	70
1.INTRODUÇÃO	71
2.MATERIAIS E MÉTODOS	73
2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	73
2.2 ATMOSFERA INTERNA DAS EMBALAGENS.....	74
2.3 ANÁLISE DE QUALIDADE DAS FRUTAS.....	74
3.RESULTADOS	77
3.1 Atmosfera interna das embalagens.....	77
3.2 Análise de qualidade das frutas.....	81
4.DISSCUSSÃO	90
5. CONCLUSÕES	95
6. REFERÊNCIAS	96
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100

1 INTRODUÇÃO

A região do Submédio do Vale do São Francisco, localizada entre os estados da Bahia e Pernambuco, no Nordeste brasileiro, é reconhecida como um grande polo de fruticultura irrigada. Esta atividade é um dos principais pilares responsáveis pelo desenvolvimento socioeconômico da região (Observatório da Manga, 2023; Macedo, 2024). Dentre as frutas produzidas, a região destaca-se pela produção e exportação de manga, sendo responsável por 82% da produção e 93% da exportação nacional, colocando o país na sexta posição no ranking mundial dos maiores produtores desta fruta (Abrafrutas, 2023).

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta tropical nativa do sudeste da Ásia, amplamente conhecida como a "rainha das frutas" (Bambale et al., 2021; Vilvert et al., 2022;). Apesar de sua grande popularidade e apreciação, a manga amadurece rapidamente após a colheita, devido à sua classificação como fruta climatérica, que apresenta alta taxa respiratória e perecibilidade. Os processos de manejo pós-colheita, como transporte e armazenamento, afetam a qualidade dessas frutas, podendo acelerar as mudanças físico-químicas que influenciam na aceitação pelos consumidores. Essas mudanças incluem redução da firmeza, rápidas alterações de coloração, aumento dos sólidos solúveis, acentuada diminuição da acidez, perda de peso, entre outras modificações bioquímicas prejudiciais a qualidade da manga (Nstoane et al., 2019; Rego et al., 2023).

Diante disso, a adoção de tecnologias que visam prolongar a vida útil e manter a qualidade das mangas é essencial para atender a demanda dos consumidores por frutas de alta qualidade no mercado de exportação. A embalagem de atmosfera modificada (AM) é uma tecnologia que resulta na redução dos níveis de O_2 e no aumento dos níveis de CO_2 e vapor d'água na atmosfera ao redor das frutas. Essas alterações inibem a atividade respiratória e a desidratação, bem como diminui a síntese de etileno (Chitarra & Chitarra, 2005; Asrey et al., 2023;). Logo, a AM desacelera os principais processos metabólicos relacionados ao amadurecimento de frutas climatéricas, mantendo a qualidade pós-colheita por períodos mais prolongados (Perumal, 2021; Singla et al., 2022).

Além da diminuição da taxa respiratória, o controle da ação de etileno em ambientes de armazenamento é crucial para a conservação pós-colheita, uma vez que esse hormônio está diretamente relacionado às transformações

fisiológicas e bioquímicas relacionadas ao amadurecimento e senescência de frutas climatéricas (Chitarra & Chitarra, 2005; Rego et al., 2023). Neste contexto, embalagens de AM podem ter seu efeito amplificado na inibição do amadurecimento de frutas com a adição sistemas de absorção de etileno (Botton, Tonutti & Ruperti, 2019; Brecht et al., 2020). Logo, a combinação de embalagens de AM com filtros de absorção de etileno apresenta uma estratégia com alto potencial para a manutenção da qualidade pós-colheita de mangas produzidas no Vale do São Francisco.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficiência de embalagens de AM e filtro de absorção de etileno na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas produzidas no Vale do São Francisco em diferentes épocas de cultivo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a eficiência de embalagens de AM com diferentes permeabilidades a O₂ e CO₂ sobre a manutenção da qualidade pós-colheita de mangas ‘Tommy Atkins’ e ‘Palmer’;
- Identificar a melhor embalagem de AM para mangas ‘Tommy Atkins’ e ‘Palmer’ colhidas em diferentes épocas de cultivo;
- Avaliar o efeito da utilização de filtro de absorção de etileno em embalagens de AM para a manutenção da qualidade pós-colheita de mangas ‘Tommy Atkins’ e ‘Palmer’ colhidas em diferentes épocas de cultivo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 MANGA

3.1.1 Características gerais

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta tropical nativa do sul e sudeste asiático, cultivada há mais de 4.000 anos (Narayana, 2012). A propagação da espécie acompanhou a expansão humana, sendo amplamente cultivada em diversas regiões do mundo para diferentes finalidades, como a produção comercial de frutas e a formação de árvores de jardim ou de sombra (Yahia, 2011). Atualmente, sua distribuição abrange mais de 100 países, com 50 variedades catalogadas (Bally, 2006; Vilvert et al., 2022; Macedo et al., 2024).

A mangueira pertence à família Anacardiaceae, a qual possui 80 gêneros e aproximadamente 800 espécies adaptadas às condições tropicais e subtropicais (Yadav & Singh, 2017; Dias et al., 2023). Trata-se de uma planta perene e lenhosa, com porte médio a alto, variando entre 3 e 10 metros; sob condições florestais, pode atingir até 30 metros de altura (Costa & Santos, 2004; Bally, 2006; Yahia, 2011). Possui uma copa perene, arredondada e simétrica, com variações em sua densidade, porte e formato, dependendo dos tratamentos culturais utilizados (Bally, 2006; Neto, 2021).

Cerca de 50 variedades de manga já foram catalogadas, sendo possível encontrar folhas e frutas diversas, além de classificar as variedades como precoces, médias ou tardias (Bally, 2006). A coloração das folhas varia de acordo com a idade e a variedade: quando jovens, apresentam tonalidade que pode variar de verde a arroxeada ou amarronzada; quando maduras, assumem uma coloração verde escura e brilhante, o que pode ser uma característica distintiva entre as variedades (Costa & Santos, 2004; Bally, 2006).

A fruta da mangueira é botanicamente classificada como drupa e apresenta diferentes formatos e tamanhos, podendo pesar até 2 quilogramas (Neto, 2021). A coloração da casca das frutas varia conforme a variedade e o estágio de maturação, apresentando tonalidades que vão do verde ao amarelo, passando por avermelhadas, roxas, rosas, amarelo-alaranjadas e vermelhas. A polpa dessas frutas também sofre alterações durante a maturação, passando de uma tonalidade branco-esverdeada para amarela ou laranja em todas as cultivares (Brecht et al., 2010; Derese, 2017; Yadav, 2017; Neto, 2021).

A manga, quando madura, possui um aroma e sabor adocicados característicos e uma cor vibrante que a torna atrativa sensorialmente. Além disso,

ela é rica em fibras, vitaminas, minerais e ácidos graxos poli-insaturados (ômega 3 e 6), que proporcionam diversos benefícios à saúde humana (Lebaka, 2021; Perumal et al., 2021; Macedo, 2024). A fruta pode ser consumida de diversas formas, sendo a principal *in natura*, mas também é encontrada na forma de sucos, doces, geleias e sorvetes (Fonseca et al., 2006; SEBRAE, 2024). Esses atributos e a diversidade de formas de consumo fazem com que a manga ocupe a segunda posição no ranking das frutas tropicais mais comercializadas no mundo, apresentando uma ampla gama de sabores e uma quantidade bastante variável de fibras em sua composição (Neto et al., 2021; Vilvert et al., 2022).

3.1.2 Produção nacional e importância econômica no Vale do São Francisco

A mangueira chegou ao Brasil durante o período colonial, por volta do século XVIII, sendo inicialmente introduzida na Bahia. A árvore demonstrou boa adaptação às condições de cultivo, principalmente devido ao clima tropical encontrado no país, e sua disseminação para outros estados ocorreu por volta de 1960, com fins comerciais (Costa & Santos, 2004). Atualmente, o Brasil ocupa a sexta posição entre os países produtores de manga, com uma produção anual de 1,2 milhão de toneladas, ficando atrás apenas da Índia (26 milhões de toneladas), Indonésia (4,1 milhões), China (3,8 milhões), Paquistão (2,8 milhões) e México (2,5 milhões de toneladas) (ABRAFRUTAS, 2024).

A mangicultura exerce um impacto significativo no desenvolvimento social e econômico do Brasil, especialmente na região do Submédio do Vale do São Francisco, que abrange os estados da Bahia e Pernambuco (Lima, 2023). O êxito da produção e exportação de mangas no Brasil é atribuído a essa região, a qual responde por 82% da produção nacional e cerca de 93% das mangas exportadas pelo país (ABRAFRUTAS, 2024).

De acordo com os relatórios do Observatório do Mercado da Manga (2024), as exportações do país atingiram marcas históricas em 2023, com um volume exportado de 266 mil toneladas, gerando uma receita de US\$ 315 milhões. Dentre os principais destinos da manga produzida na região do Submédio do Vale do São Francisco, destaca-se a Holanda, que recebe cerca de 45,3% do escoamento, seguida pelos Estados Unidos (18,35%), Espanha (17,93%), Reino Unido (6,06%) e Portugal (3,95%).

As condições climáticas do semiárido, aliadas ao investimento em sistemas de produção, manejo adequado e à utilização de alta tecnologia, possibilitam a produção de diferentes variedades de manga em todas as épocas do ano, ampliando a exploração do potencial da região (Fonseca et al., 2006; Vilvert, 2022; Cordeiro et al., 2023).

A busca por cultivares que apresentem alta produtividade, coloração atrativa, sabor adocicado, baixo teor de fibras e resistência a doenças, como antracnose, além de serem adequadas ao manuseio e transporte para mercados distantes, tornou-se uma necessidade no mercado de exportação (Costa & Santos, 2004; Fonseca et al., 2006). Neste contexto, as cultivares Tommy Atkins, Palmer, Kent e Keitt foram ganhando espaço no cultivo na região.

3.1.3 'Tommy Atkins'

Tommy Atkins é uma cultivar originária da Flórida, caracterizada por frutas de porte médio a grande, com peso variando entre 400 e 700 g, e formato oblongo oval a ovóide oblongo. Apresenta casca grossa, espessa e lisa, com coloração que varia do laranja-amarelado ao vermelho-púrpura brilhante. A polpa possui coloração amarelo-escuro e um teor sólidos solúveis em torno de 17% (Costa & Santos, 2004; Fonseca et al., 2006; Lima, 2021).

De acordo com o guia de identificação da CEAGESP, a cultivar Tommy Atkins é precoce e apresenta um teor médio de fibras. Essa variedade se destaca pela facilidade de indução floral, alta produtividade, resistência a danos mecânicos e a infecções, como a antracnose, o que proporciona uma boa conservação pós-colheita (Fonseca et al., 2006).

3.1.4. 'Palmer'

A manga 'Palmer' tem origem em parentais desconhecidos na Flórida (EUA). Apresenta elevado desempenho produtivo, com uma relação polpa/fruta de 72%. A fruta possui tamanho médio, formato elíptico e casca fina, que varia de verde-arroxeadada a vermelho-escuro, conforme o grau de maturação. A polpa é quase isenta de fibras, de coloração amarelada, firme e com um teor de sólidos solúveis de aproximadamente 21,6% (Lima, 2021; Ceagesp, 2024).

Comparada a outras cultivares, especialmente à Tommy Atkins que por muito tempo dominou as áreas cultivadas na região do Vale do São Francisco, a cultivar Palmer apresenta menor suscetibilidade ao colapso interno, maior teor

de sólidos solúveis e menor quantidade de fibra (Neto et al., 2018; Macedo et al., 2024). Essas características contribuíram para a expansão da produção desta cultivar na região do Vale do São Francisco.

3.2 Metabolismo da manga e modificações durante amadurecimento

Após a colheita, frutas e hortaliças mantêm suas atividades biológicas, resultando no amadurecimento e, posteriormente, na senescência (Brecht et al., 2020). O amadurecimento é uma fase que se inicia no final da maturação, durante a qual ocorrem diversas modificações bioquímicas e fisiológicas na fruta, que passa do estágio verde para o maduro, tornando-se apto para o consumo. Após o amadurecimento, inicia-se a senescência, caracterizada pela predominância de processos oxidativos que ocasionam a perda da viabilidade para o consumo (Chitarra e Chitarra, 2005; Rego et al., 2023). Esses processos são inevitáveis e irreversíveis, alterando radicalmente a qualidade geral das frutas, os quais podem ser desacelerados com o uso de tecnologias adequadas de conservação (Neto et al., 2018).

A manga apresenta um metabolismo climatérico, caracterizado por altas taxas respiratórias e de produção de etileno após a colheita. Isso resulta em um aumento na velocidade das reações bioquímicas, levando a um amadurecimento e envelhecimento fisiológico precoces (Costa et al., 2018; Santos et al., 2023).

A respiração aeróbica é o principal processo metabólico que ocorre após a colheita de frutas. Por meio dessa reação, é fornecida a energia necessária para as modificações bioquímicas relacionadas ao amadurecimento das frutas (Fang & Wakisaga, 2021). Esse processo envolve a quebra oxidativa das reservas orgânicas, como açúcares e ácidos, em moléculas mais simples, como CO₂ e H₂O, resultando na liberação de energia (Falagan et al., 2018; Bunkar et al., 2023). À medida que a fruta amadurece, sua taxa respiratória aumenta, o que, conseqüentemente, eleva o consumo dessas substâncias e reduz sua vida útil (Liu et al., 2022).

As frutas em estádios de maturação menos avançados caracterizam-se pela sua textura dura, alto teor de amido, baixo teor de carotenoides e açúcares, além de um elevado teor de ácidos orgânicos (Narayana et al., 2012).

Durante o processo de amadurecimento ocorrem diversas mudanças fisiológicas como a síntese e degradação de compostos que alteram características organolépticas da fruta. Ocorre a conversão do amido em

açúcares, como glicose e frutose, diminuição do teor de ácidos orgânicos e a síntese de compostos aromáticos característicos da fruta através da desestruturação da parede celular, pela ação de enzimas como a poligalacturonase (PG), a pectinaesterase, a celulase e a β -galactosidase, que degradam polímeros como a celulose, hemicelulose e pectina (Brecht et al., 2020). Além disso, ocorre a degradação dos pigmentos verdes (clorofila) e a síntese de outros pigmentos (carotenoides) na casca e na polpa, assim como ocorre o desenvolvimento do sabor e aroma característicos da fruta madura (Narayana et al., 2012; Neto et al., 2018; Rego et al., 2023).

A velocidade das reações bioquímicas em uma fruta climatérica, como a manga, é maior em condições de altas taxas respiratórias e presença do hormônio do amadurecimento conhecido como etileno o que acelera o processo de amadurecimento e senescência de frutas (Santos et al., 2023; Costa et al., 2018). Assim, o comércio internacional de mangas frescas é limitado em função do caráter altamente perecível da fruta, que a torna amplamente suscetível a perdas pós-colheita durante o transporte e armazenamento. Portanto, é necessário utilizar tecnologias que visem desacelerar esse metabolismo e prolongar a vida pós-colheita das frutas (Ntesoane et al., 2019; Brecht et al., 2024).

Uma alternativa para estender a vida útil das frutas é a diminuição da temperatura de armazenamento, que reduz o metabolismo e a respiração, sendo essa uma tecnologia bastante consolidada (Santos et al., 2023). Contudo, essa tecnologia, isoladamente, não é suficiente para que as mangas mantenham suas características desejáveis para o consumo fresco, visto que o período de transporte para diferentes mercados pode ser relativamente longo e os padrões de qualidade, cada vez mais exigentes (Costa et al., 2018).

Associadas à refrigeração, podem ser utilizadas outras tecnologias como inibidores de etileno e a atmosfera modificada (AM) para auxiliar na manutenção da qualidade pós-colheita de frutas, estas tecnologias atuam diretamente no metabolismo respiratório das frutas, desacelerando os processos relacionados ao amadurecimento e senescência (Wei et al., 2021; Vilvert et al., 2022).

3.3 Embalagem de atmosfera modificada (EAM)

Considerando a perecibilidade dos produtos alimentícios frescos, a indústria está constantemente inovando em tecnologias que visam assegurar as

características originais desses produtos, aumentando seu tempo de prateleira e valor agregado no mercado (Figo et al., 2021). Inicialmente, as embalagens tinham como função apenas acondicionar, proteger, comunicar e valorizar o alimento para a sua comercialização, interagindo de forma indireta com a mercadoria. Com o passar do tempo, as embalagens passaram a desempenhar um papel direto na manutenção da qualidade dos produtos (Oubahou et al., 2019).

As embalagens de atmosfera modificada são uma tecnologia que utiliza uma barreira artificial, comumente um polímero, para isolar o produto armazenado da atmosfera externa, criando sua própria composição gasosa em função do produto armazenado (Chitarra & Chitarra, 2005; Falagan & Terry, 2018). Essa tecnologia aplicada na conservação de diversos alimentos foi introduzida na década de 1960 para manter a qualidade natural dos produtos frescos associados ao armazenamento refrigerado (Kargwal et al., 2020).

A utilização da tecnologia das embalagens de AM é capaz de alterar a proporção relativa dos gases da atmosfera ao redor do produto. Naturalmente, a composição de gases na atmosfera é 78% de nitrogênio (N_2), 21% de oxigênio (O_2), 0,03% de dióxido de carbono (CO_2) e vestígios de outros gases nobres (Mullan & McDowell, 2011). A embalagem de AM tem como princípio a redução nos níveis de O_2 e aumento nos níveis de CO_2 devido a atividade respiratória de frutas e hortaliças, resultando na inibição do metabolismo, desidratação e crescimento de patógenos (Githiga et al., 2014; Kargwal et al., 2020; Bambale, 2021; Singla et al., 2022).

A concentração dos gases é um fator crucial para a taxa respiratória de produtos em sistemas de embalagens de AM. A respiração, por sua vez, é o principal evento metabólico responsável por processos oxidativos após a colheita de frutas e hortaliças. A baixa disponibilidade de O_2 inibe o processo respiratório e com ele o fornecimento de energia química, resultando em uma vida útil mais longa para a fruta embalada, pela preservação de suas reservas energéticas (Brecht et al., 2020; Bunkar et al., 2023; Rashvand et al., 2023). A presença do O_2 em níveis elevados também está envolvida em reações de escurecimento e oxidação de pigmentos, prejudiciais à apresentação dos alimentos em geral. Com a menor disponibilidade de O_2 , essas reações são drasticamente reduzidas (Kargwal et al., 2020).

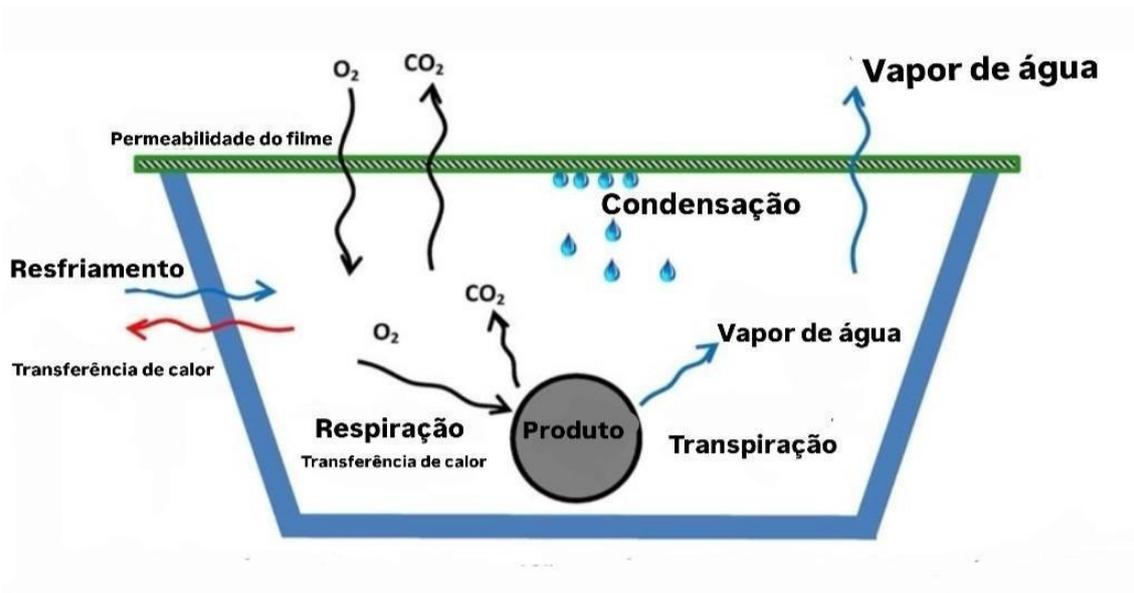
A síntese e a ação do etileno são inibidas pela redução nos níveis de O_2 e aumento nos níveis de CO_2 dentro das embalagens (Githiga et al., 2014; Ebrahimi et al., 2022). Com uma maior concentração de CO_2 , no ambiente de armazenamento, ele irá atuar como inibidor competitivo ao se ligar aos receptores de etileno inibindo assim o processo de amadurecimento de frutas (Chitarra & Chitarra, 2005). Além disso, baixos níveis de O_2 e altos de CO_2 oferecem outros benefícios, como a inibição do crescimento de patógenos (Mullan & McDowell, 2011; Brecht, 2019).

Entretanto, apesar da exposição a altos níveis de O_2 causar uma respiração acelerada e, conseqüentemente, o consumo das reservas energéticas das frutas, a exposição a níveis muito baixos de O_2 e a concentrações excessivas de CO_2 pode levar à respiração anaeróbica, resultando na síntese de etanol, morte dos tecidos e perda das frutas (Singla et al., 2022). Dessa forma, é primordial estar atento a faixa de O_2 e CO_2 na embalagem para reduzir de forma eficiente o metabolismo da fruta sem interferir em suas características qualitativas e quantitativas (Bender & Brecht, 2000; Chitarra & Chitarra, 2005; Buessa, 2019).

A modificação da composição atmosférica no interior da embalagem pode ser realizada de forma ativa ou passiva. A diferença entre os dois métodos está no processo de inserção de uma composição gasosa diferente da atmosférica natural antes de selar a embalagem (Kargwal et al., 2020). Enquanto a atmosfera modificada passiva evolui e alcança a composição desejada devido ao metabolismo da fruta, a atmosfera modificada ativa substitui a composição atmosférica natural do interior da embalagem por uma combinação gasosa desejada (Fang & Wakisaga, 2021; Rashvand et al., 2023).

A obtenção de uma atmosfera ideal no interior das embalagens de AM depende de diversos fatores como as condições intrínsecas da fruta como a variedade, o peso, taxa de respiração, estágio fisiológico de maturação. As condições de armazenamento (temperatura e umidade relativa) e as características do material da embalagem, como a espessura da embalagem, a área de superfície, a taxa de permeação aos gases (Fig. 1) (Belay et al., 2016; Falagan & Terry, 2018; Kargwal et al., 2020; Buesa & Salvador, 2022; Bunkar et al., 2023; Rashvand et al., 2023).

Figura 1. Demonstração do funcionamento da tecnologia da embalagem de atmosfera modificada.



Fonte: Belay et al. (2016) (adaptado).

A seleção de filmes poliméricos para AM além de levar em consideração a permeabilidade do filme aos gases O_2 e CO_2 devem ser transparentes, leves, não tóxicos, ter boa resistência mecânica, facilidade de conformação, boa vedação térmica e apresentar maior permeabilidade ao CO_2 do que ao O_2 (Mullan & McDowell, 2011; Oubahou et al., 2019).

Poucos tipos de filmes são comumente utilizados para a produção de embalagens de AM. Os mais utilizados são o cloreto de polivinila (PVC), o poliestireno (PS), o polietileno (PE), incluindo o polietileno de baixa densidade (LDPE) e o polietileno de alta densidade (HDPE), além do polipropileno (PP) (Singla et al., 2022).

Apesar destes materiais serem os mais utilizados, Ping Qu (2022) discute a necessidade de desenvolver novos materiais para a produção de filmes, além dos polímeros comerciais tradicionais, como o uso de materiais biodegradáveis. Vilvert et al. (2022) produziram embalagens biodegradáveis à base de quitosana e óxido de grafeno. As avaliações realizadas no estudo demonstraram que a embalagem biodegradável foi capaz de retardar de forma eficiente o amadurecimento de mangas 'Palmer' durante o armazenamento, de forma semelhante às embalagens convencionais.

3.4 Etileno: O hormônio do amadurecimento

3.4.1 Características gerais

O etileno é um gás inflamável, incolor, com um odor adocicado semelhante ao éter insaturado composto por uma estrutura simétrica, formado por dois carbonos ligados por uma ligação dupla e quatro hidrogênios (Brecht, 2019; Wei et al., 2021). Pode ser encontrado em plantas, frutas e hortaliças e algumas fontes microbianas, além de estar presente na atmosfera devido à poluição oriunda de escapamentos de motores de combustão e atividades industriais (Singla et al., 2022; Asrey et al., 2023).

O etileno é responsável pela sinalização de diversos eventos fisiológicos em todas as fases do desenvolvimento das plantas, incluindo a formação do gancho plumular, a quebra de dormência de sementes e gemas, formação de raízes adventícias e pêlos radiculares, abscisão, indução e inibição da floração, além das respostas aos estresses bióticos e abióticos (Chitarra & Chitarra, 2005; Ebrahimi et al., 2022; Rego et al., 2023).

Estudos indicam que um dos principais papéis do etileno é na regulação do amadurecimento de frutas e vegetais, atuando na expressão de genes que ativam vias metabólicas envolvidas no amadurecimento e induzindo a síntese de enzimas específicas necessárias para as reações bioquímicas associadas a esse processo (Fang & Wakisaga, 2021; Liu et al., 2023). Essas enzimas são essenciais para as modificações físico-químicas, como a síntese de pigmentos e compostos fenólicos, a produção de açúcares pela degradação do amido e as alterações na parede celular que causam o amaciamento dos tecidos durante as fases de amadurecimento (Botton et al., 2019; Rego et al., 2023).

O etileno é fisiologicamente ativo em concentrações extremamente baixas na maioria dos tecidos vegetais, e por ser um gás, difunde-se rapidamente dos locais de produção para os seus receptores celulares onde ativa os processos de resposta (Keller et al., 2013; Pattyn, Hirsch & Poel, 2020). O acúmulo de etileno ocorre principalmente com o avanço do amadurecimento das frutas, devido à sua produção auto catalítica, quanto maior a sua concentração, maior é a produção desse fitohormônio (Brecht, 2019). É possível também observar um aumento na produção de etileno em frutas em resposta a diferentes tipos de estresse, como o ataque de patógenos, danos mecânicos aos tecidos e desordens fisiológicas (Chitarra & Chitarra, 2005; Asrey et al., 2023).

Após a colheita, cada fruta responde de maneira diferente à presença de etileno, sendo esta resposta influenciada por fatores genéticos e fisiológicos, definidos principalmente pelo tipo de metabolismo da fruta, climatérico ou não climatérico (Botton et al., 2019; Kumar et al., 2024). Frutas climatéricas como a manga, após a colheita possuem pico climatérico com um aumento significativo na taxa respiratória e produção autocatalítica de etileno (Costa, et al, 2018; Santos et al., 2023). Taxas elevadas concentrações de etileno podem causar mudanças físico-químicas indesejáveis, resultando em amadurecimento e senescência precoce da fruta, além de aumentar a ocorrência de algumas desordens fisiológicas, o que reduz a vida útil dos produtos hortícolas impossibilitando sua comercialização e ocasionando perdas (Asrey et al., 2023). Com isso, estratégias devem ser adotadas para reduzir a presença de etileno em ambientes de armazenamento e transporte, assim como no interior de embalagens de AM (Wei et al., 2021).

3.4.2 Síntese e inibição

O etileno é sintetizado a partir da metionina. Esse aminoácido passa por uma reação catalisada pela S-adenosilmetionina sintase, utilizando ATP e é convertido em S-adenosilmetionina. O composto formado é então convertido em ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) e metiltioadenosina pela ação da enzima ACC sintase (ACS). Enquanto a metiltioadenosina retorna ao ciclo, regenerando a metionina no denominado ciclo de Yang, o ACC formado segue na reação sendo oxidado a etileno, CO₂ e HCN pela ação da enzima ACC oxidase (ACO), enzima essa que requer O₂ para sua atividade (Chitarra & Chitarra, 2005; Brecht, 2019; Botton, Tonutti & Ruperti, 2019).

O conhecimento das vias de síntese do etileno é um importante aliado para controle da presença desse hormônio no ambiente de armazenamento e transporte de frutas e hortaliças, com a possibilidade de retardar ou impedir o amadurecimento e em alguns casos, até induzir o avanço do amadurecimento (Wei, et al.; 2021; Ebrahimi, et al.; 2022).

Tanto a síntese quanto a ação do etileno podem ser inibidas por diversos métodos. A remoção do etileno pode ser feita bloqueando a via de sinalização da sua produção ou removendo-o após a produção, por meio de processos de oxirredução que utilizam agentes oxidantes. Esses agentes frequentemente

dissociam o etileno em moléculas como CO₂ e H₂O (Liu et al., 2022; Ping et al., 2022).

A inibição da síntese pode ser realizada através de tecnologias como a atmosfera controlada (AC), AM e armazenamento hipobárico. Essas tecnologias controlam a concentração de gases no ambiente de armazenamento, diminuindo o nível de O₂ presente, o que impede a ação da enzima ACC oxidase e a síntese de etileno. Outra abordagem é o uso de métodos químicos, como o aminoetoxivinilglicina (AVG), um inibidor da síntese de etileno que bloqueia a conversão da S-adenosilmetionina em ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), um precursor do etileno (Fang & Wakisaga, 2022; Ebrahimi et al., 2022; Agla et al., 2023;).

A remoção ou inibição da ação também podem ser feitas através de estratégias como ventilação, inibição competitiva, adsorção e oxidação destrutiva (Wei, et al., 2021; Le et al., 2022). Além disso, o CO₂ quando presente em altas concentrações também funciona como um inibidor competitivo pelo sítio de ligação do etileno nos seus receptores, sendo presente quando aplicado tecnologias de armazenamento atmosférico como embalagens de AM (Chitarra & Chitarra, 2005; Brecht, et al., 2020).

A adsorção do etileno em superfícies pode ser realizada utilizando materiais como carvão ativado, bentonita, óxido de alumínio, pó de tijolo, gel de sílica, e materiais argilosos como cristobalita e zeólita. Já a oxidação destrutiva do etileno é feita por métodos físicos com o uso de UV-C, fotocatalise ou com tratamentos térmicos de água ou vapor quente (Asrey, et al., 2023; Kumar et al.; 2024).

Os tratamentos químicos para eliminação do etileno são comumente feitos com o uso de ozônio e permanganato de potássio (KMnO₄), sendo o último amplamente utilizado comercialmente devido a facilidade de utilização e baixo custo associado a ventilação, sendo disponibilizado em sachês, filtros, cobertores e outros dispositivos de captura específicos (Brecht, 2019; Ebrahimi et al., 2022; Dias et al., 2023). O KMnO₄ inicia o processo de oxidação do etileno (CH₂CH₂) transformando-o em acetaldeído (CH₃CHO), que então é oxidado a ácido acético (CH₃COOH), passando por outro processo oxidativo formando dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O) (Amarante et al., 2009; Salinas et al., 2022). Entretanto, o uso do permanganato de potássio deve ser cuidadosamente

controlado para evitar resíduos indesejáveis nas frutas e garantir a segurança alimentar (Dias et al., 2023).

REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS. Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. **Exportações de manga batem recorde em 2023**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2023/12/exportacoes-de-manga-batem-recorde-em-2023/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

AGLAR, E. Efeitos da aminoetoxivinilglicina (AVG) na qualidade da fruta e conteúdo bioativo da fruta jujuba (*Ziziphus jujuba*) colhida em três estágios de maturidade durante armazenamento frio. **Erwerbs-Obstbau**, v. 65, p. 879–888, 2023.

AIT-OUBAHOU, A.; NUR HANANI, Z. A.; JAMILAH, B. Embalagem. In: YAHIA, E. M. (Ed.). **Tecnologia pós-colheita de commodities hortícolas perecíveis**. 1. ed. Woodhead, p. 375–399, 2019.

ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ, M. H.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G.B.; CASTILLEJO, N.; AVALOS-BELMONTES, F.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. Combined effect of modified atmosphere packaging and potassium permanganate-based ethylene scavengers on apricot bioactive compounds. **Acta Hortic.**, v. 1386, p. 231-238, 2024.

ASREY, R.; SHARMA, S.; BARMAN, K.; PRAJAPATI, U.; NEGI, N.; MEENA, N. K. Intervenções biológicas e pós-colheita para manejo do etileno em frutas: uma revisão. **Tecnologia Alimentar Sustentável**, v. 6, 2023.

BAMBALELE, N.; MDITSHWA, A.; TESFAY, S. Avanços recentes em tecnologias pós-colheita de manga: uma revisão. **Revista Internacional de Ciência de Frutas**, v. 1, p. 2021, 1 jan. 2021.

BELAY, Z. A.; OPARA, O. J.; CALEBE, U. L. Abordagens de modelagem para projetar e avaliar o desempenho de sistemas de embalagem com atmosfera modificada (MAP) para produtos frescos: uma revisão. **Embalagem de Alimentos e Prazo de Validade**, v. 10, p. 1-15, 2016.

BENDER, R.; BRECHT, J.; SARGENT, S. Low storage temperature for tree ripe mangoes under controlled atmospheres with elevated CO₂ concentrations. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, 2020.

BOTTON, A.; TONUTTI, P.; RUPERTI, B. Biology and biochemistry of ethylene. In: **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**, v. 1, p. 93–112. 2019.

BRECHT, J. K. Ethylene technology. In: **Postharvest technology of perishable horticultural commodities**. 1. ed. p. 481–497, 2019.

BRECHT, J. K. Mango Postharvest Best Management Practices Manual. **IFAS Extension. Universidade da Flórida**. UC Davis – Centro de Tecnologia pós-colheita. 2020

- BRECHT, J. K.; PLIAKONI, E. D.; BATZIAKAS, K. The impact of temperature on atmosphere requirements and effects: the limits of design and utility for CA/MA/MAP. In: COLES, R.; KIRWAN, M. (Ed.). **Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce**. 1. ed. p. 147–166, 2020.
- BRECHT, J.K.; SARGENT, S.A.; RISTOW, N.; OSUNA GARCÍA, J.A.; SINGH, S. Demonstrating modified atmosphere packaging (MAP) feasibility for mango export. **Acta Horticulturae**, v. 1386, p.161-168, 2024.
- BUNKAR, D.S.; MEENA, K.K. and GOYAL, S.K. Effect of Modified Atmospheric Packaging on Physico-chemical Properties and Puncture Strength of Banarasi Langra Mango (*Mangifera indica*). **Asian Journal of Dairy and Food Research**, v.42, p. 267-272, 2023.
- CHEN, N. WEI, YANG, Y.; CHEN, L.; SHAN, W.; CHEN, J.; LIU, Y.; KUANG, J.; WU, C. Postharvest physiology and handling of guava fruit. **Foods**, v. 13, p. 805, 2024.
- CHITARRA, M. L. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutos e hortaliças - Fisiologia e manuseio. Lavras: **UFLA**. 785p, 2005.
- CORDEIRO, R. D. P.; SANTIAGO PEREIRA, H.; GUABIRABA, B. R. da S.; NETO, A. F.; ARAÚJO, E. P. Estudo do comportamento de preços da manga comercializada na região do Submédio São Francisco no período de 2017 a 2021. Disponível em: <https://revistaft.com.br/estudo-do-comportamento-de-precos-da-manga-comercializada-na-regiao-do-submedio-sao-francisco-no-periodo-de-2017-a-2021/>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- COSTA, J. D. S.; NETO, A.F.; COSTA, M.S.; ALMEIDA, F.A.C. Conservação de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob passiva atmosfera modificada. **Rev. Caatinga**, v. 31, p. 117-125, 2018.
- COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. Cultivo da Mangueira. **Portal Embrapa**, 2004. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/cultivares.htm. Acesso em: 20 abr. 2024.
- COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. Cultivo da Mangueira. Portal Embrapa, 2004. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/cultivares.htm. Acesso em: 20 abr. 2024.
- DERESE, S.; GUANTAI, E.M.; SOUAIBOU, Y.; KUETE, V. *Mangifera indica* L. (Anacardiaceae). In: Medicinal spices and vegetables from Africa. **Academic Press**, p. 451-483, 2017.
- DIAS, W. A.; SILVA, F.; SILVA, L.; SILVA, L.; SOUZA, M.; PEREIRA, A.; PINHEIRO, J.; MIZOBUTSI, G. Conservação pós-colheita de manga 'Palmer' com uso de permanganato de potássio. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v. 16, p. 30019-30032, 2023.
- EBRAHIMI, A.; ZABIHZADEH KHAJAVI, M.; AHMADI, S.; MORTAZAVIAN, A. M.; ABDOLSHAHI, A.; RAFIEE, S.; FARHOODI, M. Novel strategies to control

ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: a review. **Int. J. Environ. Sci. Technol.**, v. 19, p. 4599–4610, 2022.

EMANUEL, M.A.; TENNANT, P.F.; BRECHT, J.K.; HUBER, D.J. Effect of BreatheWay® microporous membrane on gaseous atmosphere and shelf life of ackee fruit. **Acta Hortic.**, v. 1225, p. 173-182, 2018.

FALEGÁN, N.; TERRY, L. A. Recent advances in controlled and modified atmosphere of fresh produce. **Johns. Matthey Technol. Rev.**, v. 62, p. 107–117, 2018.

FANG, Y.; WAKISAKA, M. Uma revisão sobre a preservação de frutas e vegetais em atmosfera modificada com tecnologias de ponta. **Agricultura**, v. 11, p.992, 2021.

FONSECA, N.; CUNHA, G.A.P.; NASCIMENTO, A.S.; FILHO, H.P.S. A cultura da manga. – 2. ed. revisada e ampliada – Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica** 63 p. : il. – (Coleção Plantar, 53). ISBN 85-7383-371-8, 2006.

GHIDELLI, C.; PÉREZ, M. B. G. Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, p. 1-14, 2018.

KUMAR, S.; KUMAR, R.; BIBWE, B. R.; NATH, P.; SINGH, R. K.; MANDHANIA, S.; PAL, A.; SONI, R.; KUMAR, A. Manuseio pós-colheita de etileno com meios oxidativos e absorptivos. **Food Science Technology**, v. 61, p. 813–832, 2024.

LIMA, J. R. Palestra Sebrae. **Portal embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355026/60636822/Palestra+Sebrae/30456f90-e19e-0112-aabd-17035bd86cf1>. Acesso em: 10 abr. 2024.

LEBAKA, V.R.; WEE, Y.J.; YE, W.; KORIVI, M. Composição nutricional e compostos bioativos em três diferentes partes do fruto da manga. **Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública**, v. 18, p. 1-20, 2021.

NARAYANA, C. K.; SUDHAKAR RAO, D.V.; SUSANTA K. R. Mango production, postharvest physiology and storage. In: SIDDIQ, M. (Ed.). **Tropical and subtropical fruits: postharvest physiology, processing and packaging**. 1. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.

MACEDO, W.K.N. Espectroscopia Vis-Nir portátil para a caracterização e predição da qualidade de consumo de mangas ‘Palmer’ produzidas no vale do São Francisco. Dissertação (Mestrado) - **Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Universidade Federal do Vale do São Francisco**, Petrolina, 2024.

MOHAMMED, M.; BRECHT, J. K. Influence of ethylene treatments on ripening and chilling injury alleviation in mango (cv. Palmer). **Fruit. Acta Hortic.**, v. 509, p. 437-446, 2000.

MULLAN, M.; McDOWELL, D. Modified atmosphere packaging. In: COLES, R.; KIRWAN, M. (Ed.). **Food and beverage packaging technology**. 2. ed. Hoboken, NJ: Blackwell Publishing Ltd, 2011.

NETO, F. P. L. Manga: planta. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/manga/pre-producao/caracteristicas/planta>. Acesso em: 15 mar. 2024.

NTSOANE, M. L.; ZUDE-SASSE, M.; SIVAKUMAR, D. Avaliação da qualidade e tecnologia pós-colheita da manga: uma revisão do seu estado atual e perspectivas futuras. **Scientia Horticulturae**, v. 30, p. 2019, 2019.

OBSERVATÓRIO MERCADO DE MANGA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/observatorio-da-manga-2023>. Acesso em: 10 abr. 2024.

PING, Q.; ZHANG, M.; FAN, K.; GUO, Z. Microporous modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh foods: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 62, p. 51-65, 2022.

RÊGO, E. R. FERREIRA, A. P. S.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. Fisiologia e manejo pós-colheita de flores, frutos e hortaliças [recurso eletrônico]. João Pessoa: **Editora UFPB**, 2023. E-book. Disponível em: <http://www.editora.ufpb.br/sistema/press/ISBN:978-65-5942-213-5>.

SANTOS, J. P.; LEITE, G. W. P.; OLIVEIRA, G. da S.; CUNHA JÚNIOR, L. C.; GRATÃO, P. L.; MORAIS, C. de L. M.; TEIXEIRA, G. H. de A. Cold storage of "Palmer" mangoes sorted based on dry matter content using portable near infrared (VIS-NIR) spectrometer. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, p. 13644, 2018.

SINGLA, R.; KAUR, B.; GOEL, R. Controlled atmosphere and modified atmosphere storage for horticulture commodities: a review. **The Pharma Innovation Journal**, v. 11, p. 1581-1589, 2022.

SANTOS, L. F.; VILVERT, J. C.; SOUZA, T. A. de, ALVES, J. S.; RIBEIRO, T. S.; NEUWALD, D. A.; FREITAS, S. T. Minimum O₂ levels during storage to inhibit aerobic respiration and prolong the postharvest life of 'Tommy Atkins' mangoes produced in different growing seasons. **Scientia Horticulturae**, v. 318, p. 112094, 2023.

SINGH, Z.; SINGH, R.; SANE, V.; NATH, P. Mango-postharvest biology and biotechnology. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 32, p. 217-236, 2013.

SIVAKUMAR, D.; JIANG, Y.; YAHIA, E. M. Maintaining mango (*Mangifera indica* L.) fruit quality during the export chain. **Food Research International**, v. 44, p. 1254-1263, 2011.

SINGH, Z. & ZAHARA, S. Controlled Atmosphere Storage of Mango Fruit: Challenges and Thrusts and Its Implications in International Mango Trade. **Acta Horticulturae**, v.1066, p. 179-19, 2015.

TEIXEIRA, G.H. A.; SANTOS, L.O.; JÚNIOT, L.C.C.; DURIGAN, J. F. Effect of carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂) levels on quality of 'Palmer' mangoes under controlled atmosphere storage. **J. Food Sci. Technol.**, v. 55, p. 145-156, 2017.

VILVERT, J.C.; FREITAS, S.T.; FERREIRA, M.A.R.; COSTA, E.B.S.; AROUCHA, E.M.M. Tamanho de amostra para características de qualidade pós-colheita de mangas 'Palmer'. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 43, p. 1-11, 2021.

WEI, H.; SEIDI, F.; ZHANG, T.; JIN, Y.; XIAO, H. Ethylene scavengers for the preservation of fruits and vegetables: a review. **Food Chemistry**, v. 337, p. 1-12, 2020.

WEI, S.; MEI, J.; XIE, J. Effects of different carbon dioxide-modified atmosphere packaging and low-temperature storage at 13 °C on the quality and metabolism in mango (*Mangifera indica* L.). **Agriculture**, v. 11, p. 1-11, 2021.

WILSON, M. D.; STANLEY, R. A.; EYLES, A.; ROSS, T. Innovative processes and technologies for modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, p. 411-422, 2019.

YADAV, D.; SINGH, S. P. Mango: History origin and distribution. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 6, p. 1257-1262, 2017.

YAHIA, E. M. Mango (*Mangifera indica* L.). In: Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits. **Woodhead Publishing**. p. 492-567e, 2011.

CAPÍTULO II: Avaliação de embalagens de atmosfera modificada e absorção de etileno na conservação pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' produzidas no Vale do São Francisco

RESUMO: O mercado de exportação de manga é uma atividade de grande importância econômica no Nordeste brasileiro. No entanto, a fruta amadurece rapidamente após a colheita, o que limita seu transporte para mercados distantes. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de novas embalagens de atmosfera modificada (AM) com diferentes permeabilidades a gases, com ou sem absorção de etileno, para manter a qualidade pós-colheita das mangas 'Tommy Atkins' colhidas nas estações de inverno e verão no Vale do São Francisco. Após a colheita, as frutas foram acondicionadas sem embalagem (controle), com embalagens BreathWay com média (BWA), alta (BWB), ou baixa (BWC) permeabilidade ao O₂ e CO₂, com e sem filtro de absorção de etileno, bem como em embalagem perfurada com tecnologia de absorção de etileno (EAE). Após serem embaladas, as frutas foram armazenadas por 28 dias a 9 °C, com 85-90% de umidade relativa. Após 28 dias de armazenamento, as embalagens foram abertas e as frutas foram caracterizadas quanto à taxa respiratória, índice de maturação, cor da casca e polpa, firmeza da polpa, sólidos solúveis, acidez titulável, relação SS/AT, matéria seca e ocorrência de podridão e desordens fisiológicas. Para simular a vida de prateleira, uma parte das frutas foi mantida por mais 4 dias a 20 °C, sendo então submetida as análises de qualidade. Todas as embalagens de AM foram eficientes na diminuição da taxa respiratória e perda de massa das frutas após o armazenamento e vida de prateleira. A embalagem BWC foi a mais eficiente na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins', reduzindo a incidência de desordens fisiológicas internas. O uso de filtro de absorção de etileno não apresentou efeito significativo na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins'.

Palavras-chave: *Mangifera Indica L.*; tecnologias de armazenamento e transporte de frutas; absorção de etileno.

ABSTRACT: The mango export market is an important economic activity in the Brazilian Northeast. However, the fruit ripens rapidly after harvest, limiting its transportation to distant markets. The objective of this study was to evaluate the effectiveness of new modified atmosphere (MA) packaging with different gas permeability, with or without ethylene absorption, in maintaining the postharvest quality of 'Tommy Atkins' mangos harvested in the winter and summer growing seasons in the São Francisco Valley. After harvest, the fruit were unpackaged (control); packaged in polyethylene bags with BreathWay (BW) membranes with low (BWC), medium (BWA), or high (BWB) permeability to O₂ and CO₂, with and without an ethylene absorption filter; and packaged in perforated polyethylene bags with ethylene absorption technology (EAE). The fruit were then stored for 28 days at 9 °C with 85-90% relative humidity. After 28 days of storage, the packages were opened, and the fruit were evaluated for respiration rate, ripening index, peel and pulp color, pulp firmness, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), SS/TA ratio, dry matter, and the occurrence of rot and physiological disorders. In order to simulate shelf life, part of the fruit was kept for another 4 days at 20 °C and then subjected to quality analyses. All MA packages effectively reduced fruit respiration rate and mass loss during storage and shelf life. BWC package was the most effective in maintaining the postharvest quality of 'Tommy Atkins' mangos, reducing the incidence of physiological disorders. The use of ethylene absorption filters had no significant effect on maintaining the postharvest quality of 'Tommy Atkins' mangos.

Keywords: *Mangifera indica* L.; fruit storage and transportation technologies; ethylene absorption.

1 INTRODUÇÃO

A região do Submédio do Vale do São Francisco, localizada no Nordeste brasileiro é a principal produtora e exportadora de manga do país, respondendo por 82% da produção e 93% da exportação nacional (Abrafrutas, 2023). O mercado de exportação de mangas na região iniciou suas atividades utilizando o transporte aéreo; entretanto, devido à alta demanda do setor e à necessidade de reduzir os custos de produção, houve uma migração para o uso de navios porta-contêineres, permitindo o transporte de um maior volume de carga com menores custos (Lima et al., 2007; Bender, Brecht & Sargent, 2020). Essa

mudança resultou em maior tempo de trânsito e conseqüentemente maior limitação na preservação das características desejáveis ao consumo até o destino final.

A manga apresenta uma curta vida pós-colheita devido ao metabolismo climatérico, caracterizado por altas taxas respiratórias e produção de etileno após a colheita (Brecht, 2019; Rego et al., 2023). Com isso, a manga perde rapidamente sua qualidade de consumo após a colheita, o que se observa na rápida redução da firmeza, mudanças de coloração, aumento do teor de sólidos solúveis, diminuição da acidez, entre outras modificações bioquímicas (Nstoane et al., 2019; Vilvert et al., 2021). Sendo assim, faz-se necessário o uso de estratégias tecnológicas para reduzir o metabolismo e aumentar a manutenção da qualidade pós-colheita das frutas.

Uma tecnologia já consolidada é o armazenamento refrigerado. No entanto, essa isoladamente não é suficiente para garantir a preservação da qualidade das frutas por longos períodos de transporte para mercados distantes (Costa et al., 2018; Santos et al., 2023). Neste caso, a adoção de técnicas complementares à refrigeração torna-se essencial para atender o mercado de exportação de mangas.

A respiração, transpiração e produção de etileno são os principais processos fisiológicos responsáveis pela diminuição da qualidade nutricional e sensorial da manga (Fang & Wakisaka, 2021; Ebrahimi, 2022). As embalagens de atmosfera modificada (AM) representam uma estratégia tecnológica que através de uma barreira artificial à difusão de gases e vapor d'água, diminui a concentração de O_2 e aumenta a de CO_2 no interior da embalagem, atuando diretamente na redução do metabolismo e desidratação de frutas (Fallagan & Terry, 2018; Bambale et al., 2021). Essa tecnologia ainda pode ter seus efeitos amplificados com a adição de outras ferramentas como filtros e sachês que atuam na remoção do etileno no interior da embalagem.

O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de embalagens de AM com diferentes permeabilidades ao O_2 e CO_2 , com ou sem absorção de etileno, na manutenção da qualidade pós-colheita das mangas 'Tommy Atkins' colhidas nas estações de inverno e verão no Vale do São Francisco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Mangas 'Tommy Atkins' foram produzidas em duas estações de cultivo em pomares comerciais no Vale do São Francisco, Petrolina, PE, Brasil. As frutas foram colhidas na safra de inverno (setembro de 2023) e verão (março de 2024) na maturação fisiológica utilizada comercialmente para mercados distantes. Após a colheita, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, Brasil, onde foram selecionadas para uniformidade de tamanho, peso, assim como ausência de doenças e injúrias aparentes.

Após serem lavadas e homogeneizadas, as frutas foram submetidas aos seguintes tratamentos: frutas não embaladas (controle); frutas embaladas em sacos de polietileno com membranas BreathWay (BW), que apresentam baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade aos gases O₂ e CO₂, com e sem filtro de absorção de etileno; e frutas embaladas em sacos de polietileno perfurado com a mesma tecnologia de absorção de etileno. A embalagem BWC foi obtida com a selagem da metade da membrana responsável pela permeabilidade da embalagem BWA, visando reduzir ainda mais a permeabilidade da embalagem aos gases O₂ e CO₂. As embalagens foram disponibilizadas pela Hazel Technologies (Fresno, CA, EUA), enquanto o filtro de absorção de etileno foi fornecido pela It's Fresh Ltd (Burntwood, Reino Unido). Tanto as embalagens quanto os filtros de absorção de etileno foram fornecidos pelo Laboratório de Pós-colheita da Universidade da Florida, FL, Gainesville, EUA.

Cada tratamento foi composto por 4 repetições, contendo 8 frutas cada, totalizando 32 frutas por tratamento. As frutas foram organizadas em contentores plásticos e foram armazenadas a 9°C ($\pm 0,5$ °C) com umidade relativa de 85-90% por 28 dias. Após 28 dias de armazenamento, as frutas foram retiradas das embalagens e mantidas por mais 4 dias a 20°C ($\pm 0,5$ °C) com umidade relativa de 85-90%, para simular o período de transporte refrigerado e vida de prateleira, respectivamente.

2.2 ATMOSFERA INTERNA DAS EMBALAGENS

A concentração dos gases (O₂, CO₂ e etileno (C₂H₄)) dentro das embalagens foi analisada semanalmente utilizando um analisador de gases F-

950 Three Gas Analyzer (Felix Instruments, Camas, WA, EUA). Os resultados do CO₂ e O₂ foram expressos em kPa, enquanto a concentração de etileno foi apresentada em µl L⁻¹.

2.3 ANÁLISE DE QUALIDADE DAS FRUTAS

As análises de qualidade foram realizadas no dia da colheita (0 dias), após 28 dias de armazenamento a 9°C e após 4 dias de armazenamento a 20°C, conforme descrito abaixo.

2.3.1 Taxa respiratória

A taxa respiratória das frutas foi determinada pela produção de CO₂ durante um período de 2 hs em que estas permaneceram hermeticamente fechadas em um recipiente de 20 L. A medição dos níveis de CO₂ dentro dos recipientes foi realizada com o analisador de gases descrito acima. A taxa respiratória foi expressa em mol de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

2.3.2 Índice de maturação (DA)

O índice DA foi obtido por meio do espectrofotômetro portátil DA-meter 53500 Turoni (Forlì, FC, Itália). Esse índice caracteriza as mudanças de maturação nas frutas, sendo calculado com base na diferença de absorção entre dois comprimentos de onda próximos ao pico de absorção da clorofila-a (chl-a). A escala varia de 0 (frutas muito maduras) a 5 (frutas extremamente verdes), permitindo a supervisão das alterações fisiológicas que ocorrem durante o processo de amadurecimento.

2.3.3 Perda de massa

A perda de massa (%) foi calculada para cada amostra utilizando uma balança semi-analítica com precisão de 0,01 g, em cada dia de avaliação. Ao final, foi calculada a diferença entre o peso inicial e o peso final em cada período de armazenamento. A diferença entre os pesos (peso inicial - peso final) foi então multiplicada por 100 e dividida pelo peso inicial para expressar os valores em porcentagem.

2.3.4 Matéria seca

As amostras de polpa fresca foram pesadas e, em seguida, secas em estufa com circulação de ar a 60°C até atingirem peso constante. Após esse processo, as amostras foram pesadas novamente para determinar o peso seco. O teor de matéria seca foi calculado multiplicando o peso seco por 100 e dividindo pelo peso fresco inicial de cada amostra, com os resultados expressos em porcentagem.

2.3.5 Cor da casca e da polpa

A cor da casca e da polpa foram determinadas por um colorímetro digital Minolta CR 400 (Konica Minolta, Ramsey, EUA), utilizando a escala tridimensional de cor CIE LCH. Nesta escala, L representa a luminosidade; onde o valor 0 corresponde a escuro e 100 corresponde ao branco, C refere-se ao croma (saturação ou intensidade de cor; com 0 indicando cor impura e 60 representando cor pura), e H (ângulo hue) indica a variação do ângulo da cor, que varia de 0 a 360° (sendo 0° igual a vermelho, 90° a amarelo, 180° a verde, 270° a azul e 360° novamente a vermelho). A leitura da cor da casca foi realizada na região verde de cada fruta.

2.3.6 Firmeza da polpa (FP)

A firmeza da polpa foi analisada com um texturômetro eletrônico Extralab TAXT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), utilizando uma ponteira de 6 mm de diâmetro. As perfurações foram efetuadas em ambos os lados opostos na região mediana de cada fruta, após a retirada da casca dessa região. Os resultados foram expressos em Newton (N).

2.3.7 Sólidos solúveis (SS)

Os SS foram determinados em 1 mL de suco, utilizando um refratômetro digital com compensação automática de temperatura, (ATAGO, Digital Pocket Refractometer, modelo PAL-1), conforme as diretrizes da AOAC (2012).

2.3.8 Acidez titulável (AT)

A AT foi determinada com um titulador automático modelo 848 Titrino Plus (Metrohm, SP, Brasil). Para a titulação, 1 g de suco foi diluído em 50 mL de água

destilada e, em seguida, titulado com uma solução de NaOH 0,1 N até atingir um pH de 8,1, conforme o método do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2005).

2.3.9 Incidência de desordens fisiológicas

A incidência de desordens fisiológicas foi avaliada por meio da caracterização visual e da quantificação das frutas que apresentaram sintomas de desordens fisiológicas, conforme sintomas descritos por Brecht (2019), observados na Fig. 1 Os resultados foram expressos em porcentagem de frutas com sintomas das desordens fisiológicas identificadas nas frutas.

Figura 1. Sintomas visuais de desordens fisiológicas e podridão em mangas 'Tommy Atkins'.



Fonte: Autoria própria

2.3.10 Ocorrência de podridão

A avaliação de podridão foi realizada visualmente, contabilizando o número de frutas com presença de podridões. Os resultados de ocorrência de podridões foram expressos em porcentagem de frutas apresentando sintomas de podridões (MIGUEL et al., 2011).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar a eficiência das embalagens na manutenção da qualidade das frutas ao longo do tempo, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os dados das análises físico-químicas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos, nos diferentes tempos de armazenamento, foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Além disso, foi aplicada uma análise de componentes principais (PCA), baseada em uma matriz de exibição entre O₂, CO₂ e os atributos físico-químicos da fruta, com o objetivo de resumir os dados em dois componentes

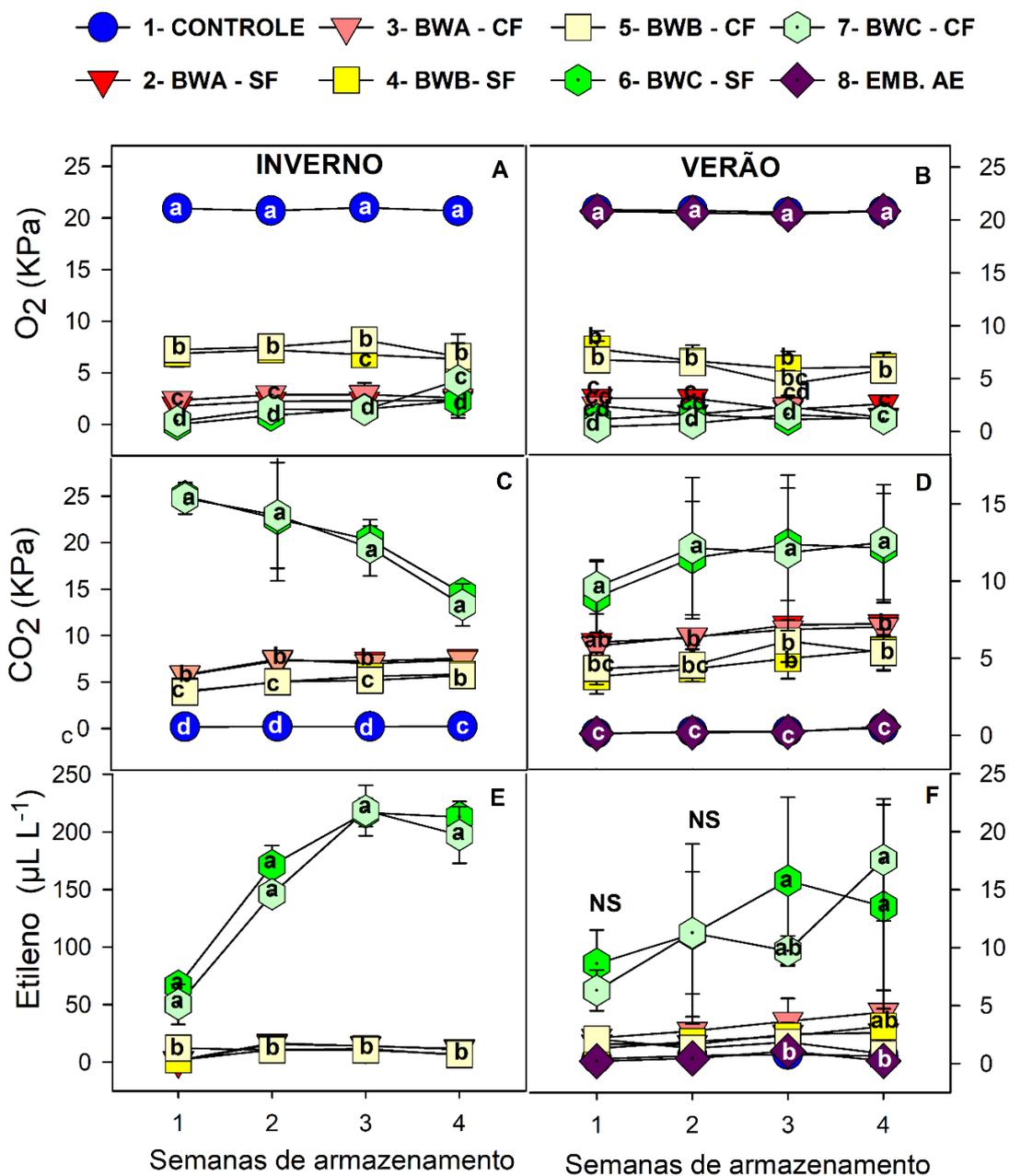
principais. Todas as análises estatísticas mencionadas foram realizadas utilizando o pacote ExpDes.pt no R.

3 RESULTADOS

3.1 ATMOSFERA INTERNA DAS EMBALAGENS

Os resultados das leituras semanais da concentração de O₂, CO₂ e etileno indicam que as embalagens, tanto com filtro quanto sem filtro, promoveram alteração na composição atmosférica em relação ao ambiente, nas duas estações de cultivo. De acordo com os resultados, quanto menor a permeabilidade da embalagem aos gases, menor foram os níveis de O₂ e maiores os de CO₂ no ambiente interno da embalagem durante o armazenamento das frutas (Fig. 2).

Figura 2. Determinação semanal dos níveis de O_2 , CO_2 e etileno presentes nas embalagens de mangas 'Tommy Atkins' cultivadas no inverno (esquerda) e verão (direita) no Vale do São Francisco e armazenadas a $9^\circ C$ por 28 dias. Concentração de O_2 nas embalagens de AM no inverno (A) e verão (B). Concentração de CO_2 nas embalagens de AM no inverno (C) e verão (D). Concentração de etileno nas embalagens de AM no inverno (E) e no verão (F). NS (Não Significativo). Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente de acordo com teste Tukey (5%). Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de AM. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

As embalagens BWB mantiveram concentrações de O_2 entre 6,7 e 4,5 kPa (Fig. 2A e 2B) e de CO_2 entre 4,5 e 5,1 kPa em ambas as estações (Fig. 2C

e 2D). As embalagens BWA apresentaram médias de concentração de O_2 entre 2,1 e 2,7 kPa e de CO_2 entre 6,5 e 6,9 kPa (Fig. 2 A, B e C). As menores concentrações de O_2 e as maiores de CO_2 foram observadas dentro das embalagens BWC, variando entre 0 e 2 kPa e 10 a 25 kPa, respectivamente (Fig. 2A e B). Essa redução excessiva nos níveis de O_2 , juntamente com o consequente aumento nos níveis de CO_2 acima de 10 kPa (Fig. 2C e D), resultou em danos na casca das mangas durante o armazenamento refrigerado (Fig. 3 e Fig. 4). Além disso, ocorreu a fermentação das frutas devido à anaerobiose proporcionada pela utilização das embalagens de polietileno de alta densidade, no cultivo de inverno (Fig. 2E). Em resposta a isso, na colheita seguinte, foram utilizadas as embalagens BWA, que possui média permeabilidade, com membrana adaptada para permitir apenas metade do fluxo dos gases, visando diminuir a permeabilidade ao O_2 .

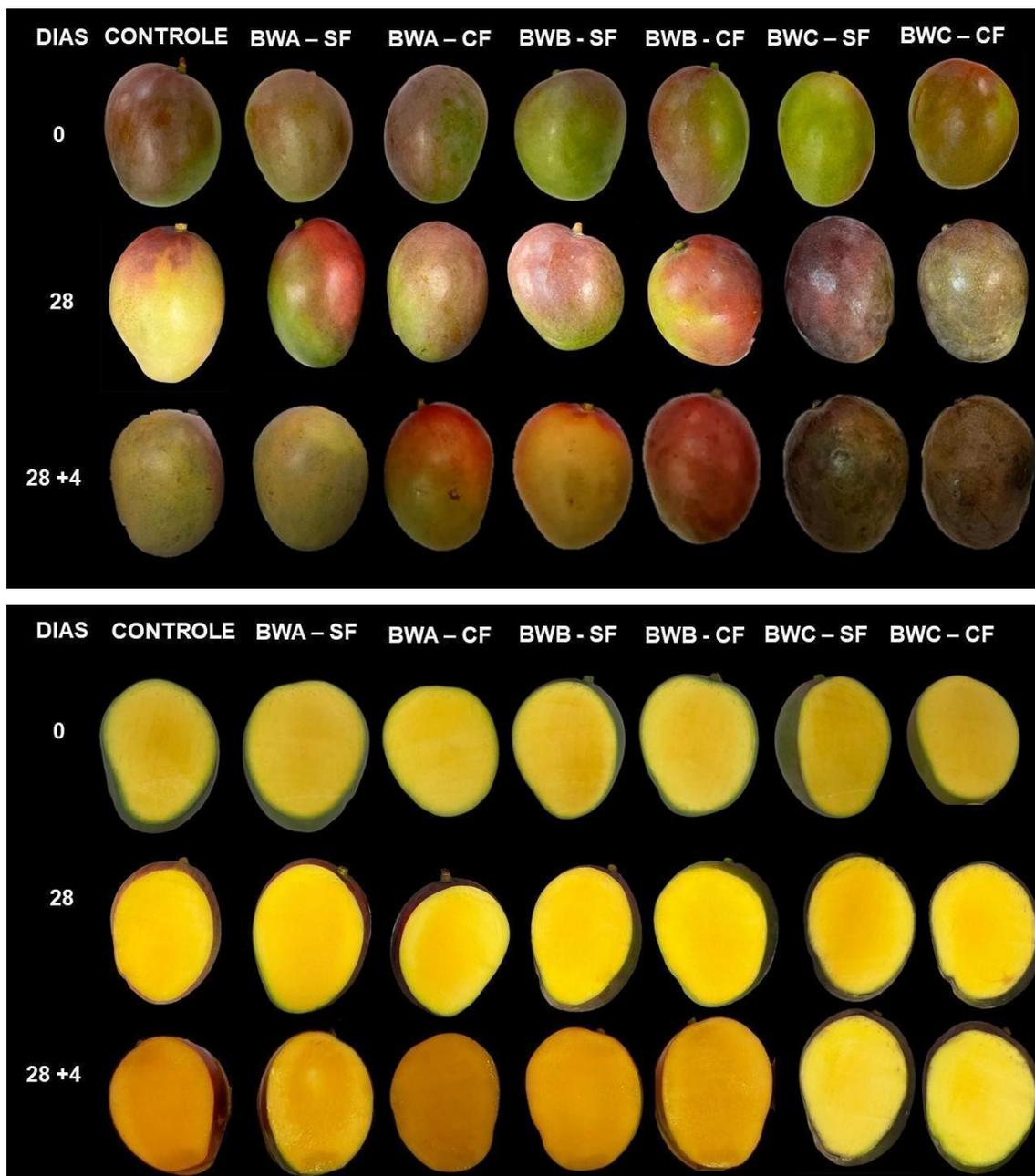
No entanto, ainda foram observados danos na casca das frutas armazenadas devido ao excesso de CO_2 . A aplicação de tecnologias auxiliares que reduzam a concentração desse gás no ambiente de armazenamento pode ser uma alternativa eficaz para resolver esse problema. Compostos como hidróxido de cálcio e hidróxido de sódio já têm sido utilizados com esse propósito. (Fig. 4A e 4B).

Os tratamentos que utilizaram a tecnologia de absorção de etileno, seja por meio de filtros ou embalagens absorvedoras, não demonstraram resultados significativos na concentração de etileno dentro das embalagens, em comparação aos tratamentos que não utilizaram essa tecnologia. Esta observação se aplica tanto à comparação geral entre todos os tratamentos quanto à análise específica dentro do mesmo tipo de embalagem (Fig. 2D e 2E).

Não foi observado diferença entre as frutas sem embalagem (controle), embalagens BWA e BWB-SF e BWB-CF na colheita de inverno, apresentando concentrações médias de etileno entre 0,15 – 17 $\mu L L^{-1}$ (Fig. 2E). Foram encontradas diferenças apenas nos tratamentos BWC-SF e BWC-CF. Na colheita de verão, nas duas primeiras semanas de armazenamento, não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos para a concentração de etileno, sendo este presente nas embalagens em concentrações que variaram de 0,4 a 11 $\mu L L^{-1}$ (Fig. 2F). Na terceira e quarta semana de armazenamento, foi possível detectar diferenças entre os tratamentos BWC-CF

e BWC-SF, em relação aos demais tratamentos, com médias de 9 – 17 $\mu\text{L L}^{-1}$ (Fig. 2F).

Figura 3. Representação visual do avanço do amadurecimento de mangas ‘Tommy Atkins’ cultivadas no inverno no Vale do São Francisco e armazenadas por 28 dias a 9°C em condições de AM e após 4 dias de vida de prateleira à 20°C. Imagens da casca das frutas (A). Imagens da polpa das frutas (B). Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

Figura 4. Representação visual do avanço do amadurecimento de mangas ‘Tommy Atkins’ cultivadas no verão no Vale do São Francisco e armazenadas por 28 dias a 9°C em condições de AM e após 4 dias de vida de prateleira à 20°C. Imagens da casca das frutas (A). Imagens da polpa das frutas (B). Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

3.2 ANÁLISES DE QUALIDADE DAS FRUTAS ARMAZENADAS

Em ambas as estações de cultivo, as frutas foram submetidas às análises físico-químicas no momento da colheita (Tabela 1).

Tabela 1. Análise da qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ no momento da colheita. Os valores apresentados correspondem à média de quatro repetições, cada uma composta por oito frutas, seguidas do desvio padrão.

Parâmetros	Inverno	Verão
Hue polpa (°)	113,86 ± 4,6	102,7 ± 2,2
Hue casca (°)	92,9 ± 0,9	83,8 ± 0,48
Firmeza (N)	65,5 ± 9,8	57,7 ± 2,9
DA- meter	2,2 ± 0,03	2,23 ± 0,02
Matéria Seca (%)	16,1 ± 1,6	14,4 ± 0,2
Sólidos solúveis (%)	9,9 ± 1,4	7,55 ± 1,9
Acidez Titulável (%)	1,5 ± 0,05	1,11 ± 0,1
SST/AT (%)	6,8 ± 1,2	6,8 ± 0,91
Respiração (mol CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)	31,4 ± 3,1	49,8 ± 5,4

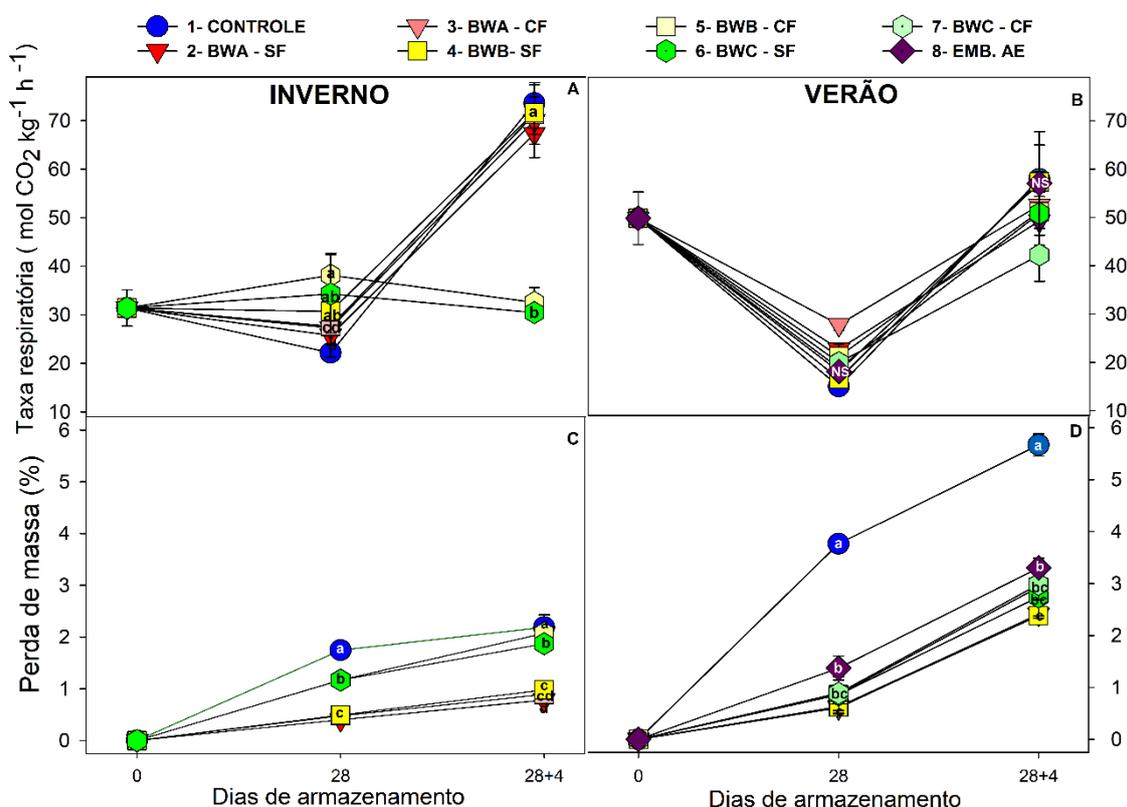
Na colheita da safra de inverno, a análise de qualidade realizada nas primeiras semanas de armazenamento revelou que as embalagens BWC–CF e BWC–SF resultaram na respiração anaeróbica e fermentação das frutas já no início do armazenamento o que impediu o adequado processo de amadurecimento das frutas (Fig. 2A e Fig. 3A e 3B).

Na colheita de inverno, no início do armazenamento, as frutas apresentaram uma taxa respiratória de 31,4 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Tabela 1). Aos 28 dias de armazenamento, as frutas não embaladas apresentaram uma menor taxa respiratória em relação às frutas embaladas em AM, com uma taxa respiratória de 22,17 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Fig. 5A). Entretanto, após o período de vida de prateleira a 20°C, as frutas não embaladas apresentaram uma maior taxa respiratória de 73,5 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. As frutas embaladas com o filme BWC apresentaram aos 28 dias de armazenamento a maior taxa respiratória de 38,1 e 34,3 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ para BWC-SF e BWC-CF, respectivamente. Contudo, após o período de vida de prateleira, ocorreu uma diminuição dessa taxa respiratória (Fig. 5A). Desta forma, a menor taxa respiratória foi observada para frutas armazenadas em AM com a embalagem BWA-SF de 63,3 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Fig. 5A).

Na colheita de verão, observou-se o mesmo comportamento da estação anterior: iniciou-se com 49,8 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ com menor valor aos 28 dias nas

frutas do controle, de $14,5 \text{ mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, e a maior taxa das frutas controle, aos 28+4 dias, de $50,7 \text{ mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$. A diferença observada ocorreu aos 28+4 dias de análise, em que o tratamento BWC-CF apresentou uma menor taxa respiratória de $42,25 \text{ mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (Fig. 5B).

Figura 5. Efeito de diferentes embalagens de AM na taxa respiratória e perda de massa de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no Vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C . A) Taxa respiratória na colheita de inverno. B) Taxa respiratória na colheita de verão. C) Perda de massa na colheita de inverno. D) Perda de massa da colheita de verão. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

Todas as embalagens de AM apresentaram uma menor porcentagem de perda de massa em comparação às frutas controle em ambas as colheitas (Fig. 5C e 5D). Na colheita de inverno, as frutas do controle apresentaram uma perda

de massa média de 1,8% e 2,18% após 28 dias e 28+4 dias de armazenamento, respectivamente (Fig. 5C). As embalagens de AM mostraram perdas de massa variando entre 0,4% e 1,1% aos 28 dias e de 0,7% a 2% durante o período de vida útil a 20 °C (Fig. 5C). Na colheita de verão, a perda de massa das frutas foi mais acentuada, as frutas armazenadas sem embalagem tiveram uma perda de 3,7% e 5,6% após 28 dias e 28+4 dias de armazenamento, respectivamente. Na colheita de verão as embalagens de AM apresentaram perdas de apenas 0,6% a 0,8% aos 28 dias e de 2,41% a 2,9% nos 28+4 dias de armazenamento (Fig. 5D). A embalagem AE teve uma perda de 1,3% aos 28 dias e de 3,30% nos 28+4 dias de vida útil de armazenamento (Fig. 5D).

Na colheita de inverno as frutas do grupo controle apresentaram um decréscimo significativo do índice de maturação (D.A.) em relação a todas as embalagens, com valor de 1,55 aos 28 dias e de 1,2 na análise de 28+4 (Fig. 6A). As embalagens de AM tiveram média D.A entre 2,1 a 1,9. O maior valor aos 28 dias de armazenamento foi obtido na embalagem BWA-CF e aos 28+4 dias de armazenamento, os valores ficaram entre 1,9 a 1,5 (Fig. 6A). No cultivo de verão, aos 28 dias de armazenamento, as frutas do grupo controle tiveram média de maturação de 1,8 e as embalagens AE o valor de 1,9 (Fig. 6B). Não foi encontrada diferença estatística entre as embalagens de AM, que apresentaram maiores médias entre 2,1 a 2,0. Aos 28+4 dias de armazenamento não houve diferença significativa entre todas as embalagens, entretanto, foi observado menor média nos tratamentos controle e embalagem AE com média de 1,8 (Fig. 6B).

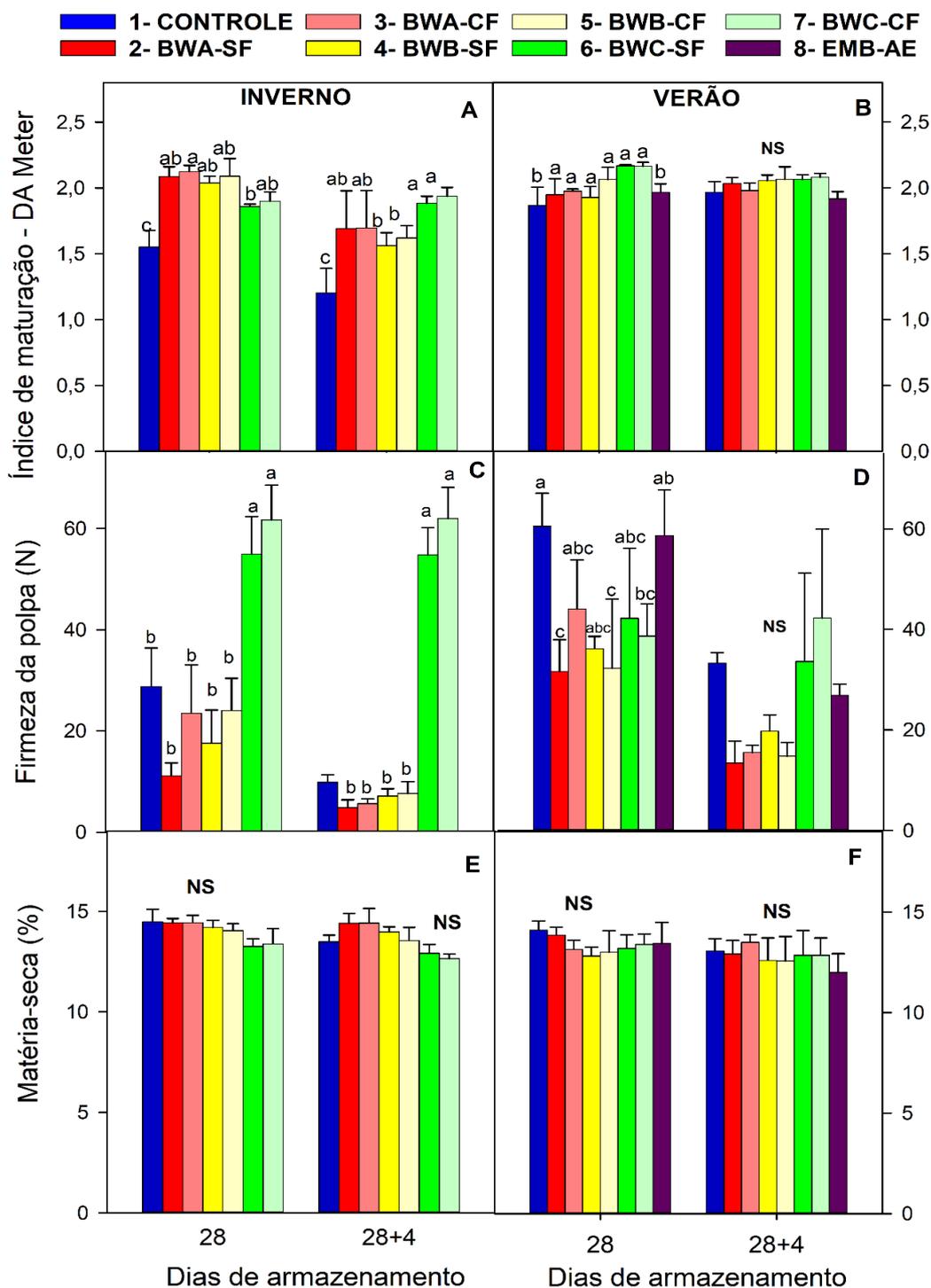
No decorrer do armazenamento, foi observado um decréscimo da firmeza da polpa das frutas em todos os tratamentos, especialmente após os 4 dias de vida útil a 20°C (Fig. 6C e 6D). A firmeza da polpa no cultivo de inverno não apresentou resultados significativos entre o controle, as embalagens BWA-SF, BWA-CF, BWB-SF, BWB-CF nas análises realizadas aos 28 e 28+4 dias de armazenamento (Fig. 6C). Na análise inicial, o valor médio da firmeza da polpa era de 65,5 N; aos 28 dias, ocorreu uma redução para o intervalo de 28 a 11 N, e na análise dos 28+4 dias, de 9,8 a 7,3 N (Fig. 6C). Observou-se diferença apenas entre as embalagens BWC-SF e BWC-CF, em relação aos demais, com médias aos 28 dias de armazenamento de 54 e 61 N, respectivamente, com pouca alteração na análise dos 28+4 dias de armazenamento (Fig. 6C).

No cultivo de verão, a análise aos 28 dias de armazenamento não mostrou diferença significativa na comparação das médias entre o controle e as embalagens BWA-CF, BWB-SF, BWC-SF e embalagem de AE; entretanto, o controle e a embalagem AE, que não possuíam a atmosfera modificada, obtiveram as melhores médias (Fig. 6D). Aos 28+4 dias, não houve diferença significativa entre todos os tratamentos analisados, com o valor mais elevado de 42 N observado na embalagem BWC-CF (Fig. 6D).

Durante o período de armazenamento não foi observado diferença significativa no teor de matéria-seca entre as frutas controle e as embalagens de AM nos diferentes dias de análises, em ambas as estações de cultivo (Fig. 6E e 6F). No cultivo de inverno o valor inicial foi de 16,1 e no verão foi 14,4 no final do armazenamento em ambas as estações os valores das frutas controle e todas as embalagens de AM ficaram entre 12 e 14% (Fig. 6E e 6F).

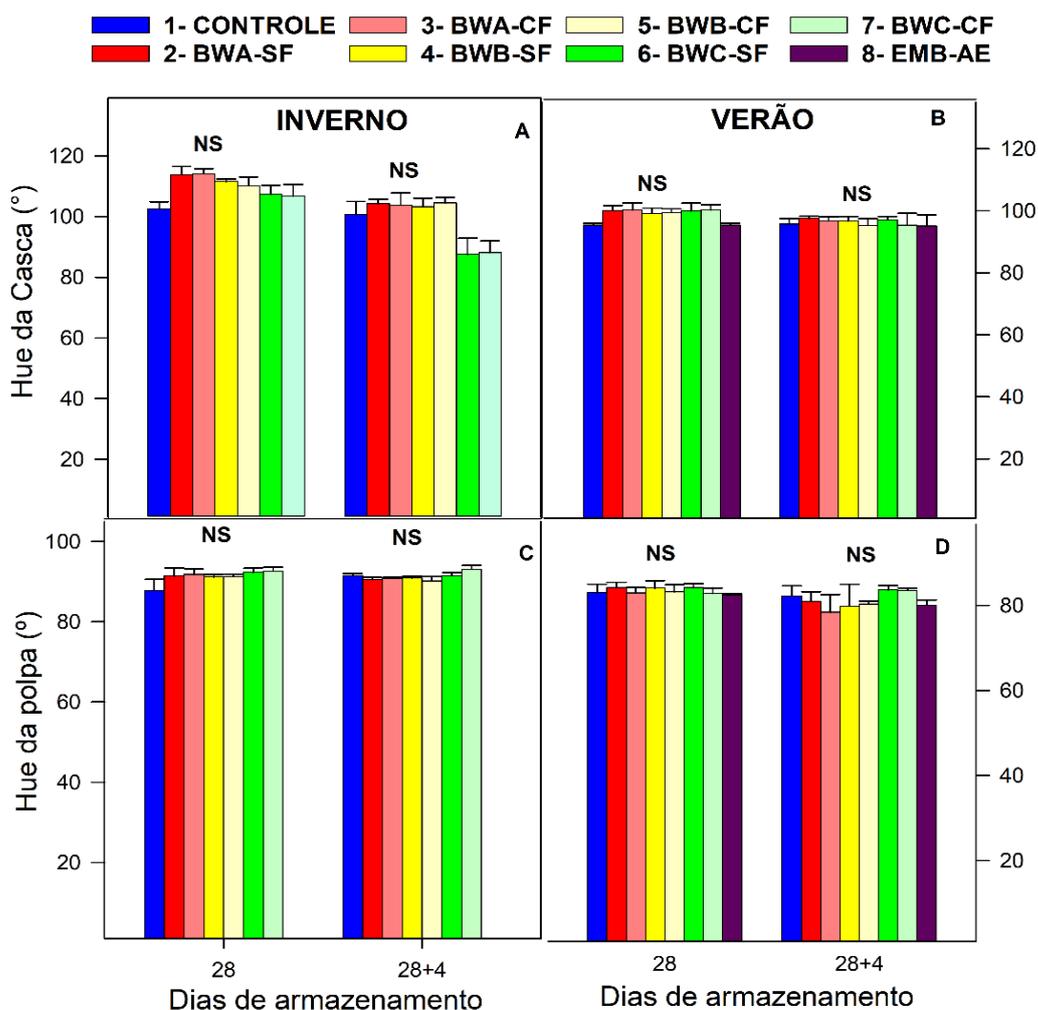
Em ambas as estações de cultivo, não foram observadas diferenças significativas na cor da casca (Fig. 7A e B) e na cor da polpa (Fig. 7C e 7D). Entretanto, é possível notar um decréscimo mais acentuado na cor da casca das frutas controle, principalmente aos 28 dias de armazenamento em ambas as estações, indicando que essas frutas não conseguiram manter a coloração em comparação às frutas embaladas. No cultivo de inverno, também se observa uma redução no ângulo de cor da casca das frutas armazenadas nas embalagens BWC, devido aos danos causados pelo excesso de CO₂ e baixo O₂. Na colheita seguinte, não foram observadas grandes variações na cor da casca cor em nenhum dos tratamentos (Fig. 7B).

Figura 6. Efeito de diferentes embalagens de AM no índice de maturação, firmeza da polpa e matéria seca de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no Vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Índice de maturação das frutas na colheita de inverno. B) Índice de maturação dos na colheita de verão. C) Firmeza das frutas na colheita de inverno. D) Firmeza das frutas na colheita de verão. E) Teor de matéria-seca das frutas na colheita de inverno. F) Teor de matéria-seca das frutas na colheita de verão. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno



Fonte: Autoria própria

Figura 7. Efeito de diferentes embalagens de AM na cor da polpa e cor da casca de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Cor da casca na colheita de inverno. B) Cor da casca na colheita de verão. C) Cor da polpa na colheita de inverno. D) Cor da polpa na colheita de verão. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

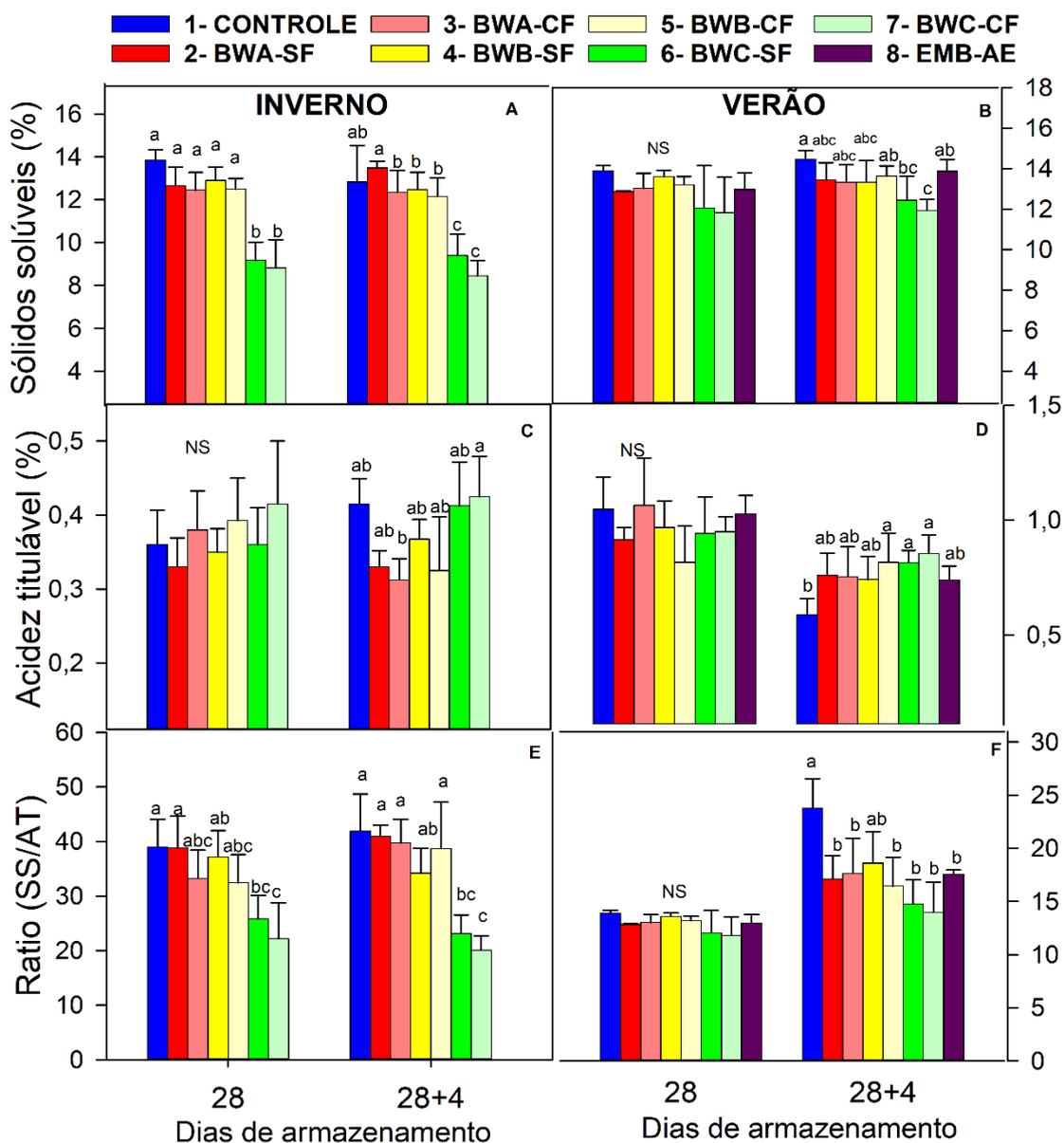
Os SS das frutas aumentaram durante o processo de amadurecimento, tanto nas diferentes estações de cultivo quanto nos períodos de armazenamento (Fig. 8A e 8B). No cultivo de inverno, não houve diferença significativa entre o controle e as embalagens BWA-SF, BWA-CF, BWB-SF, BWB-CF, com resultados variando de 12,4 a 13,4 °Brix após 28 dias de armazenamento refrigerado e de 12,15 a 13,8 °Brix após 4 dias de armazenamento a 20°C (Fig. 8A). Apenas as embalagens BWC-SF e BWC-CF apresentaram diferenças em relação aos demais, com valores de 8,8 e 9,1°Brix, respectivamente. Após 28+4

dias, observou-se uma leve alteração, na qual a embalagem BWA-SF apresentou o maior valor de sólidos solúveis de 13,4 (Fig. 8A). Como já demonstrado, as embalagens BWC não completaram o processo de amadurecimento, que inclui o aumento dos sólidos solúveis. Na colheita de verão, não foi observada diferença significativa entre os tratamentos após 28 dias de armazenamento. Após esse período, o maior valor obtido nas frutas sem embalagem foi de 13,8 °Brix, enquanto o menor foi do tratamento BWC-SF, com 11,9 °Brix. Após os 4 dias de vida útil, as frutas sem embalagem apresentaram o maior aumento de SS de 14,4 °Brix, enquanto o menor valor foi encontrado na embalagem BWC-CF, com 12°Brix (Fig. 8B).

Diferentemente dos sólidos solúveis, observou-se um decréscimo nos ácidos presentes nas mangas; no entanto, não foram identificadas diferenças significativas entre o controle e todas as embalagens de AM, após 28 dias de armazenamento refrigerado (Fig. 8C). Ao final do armazenamento de vida útil, constatou-se uma redução mais acentuada nas frutas armazenadas na embalagem BWA-CF de 0,9% inicial para 0,31%, enquanto a acidez foi mantida em maior proporção de 0,42% nas embalagens BWC-CF (Fig. 8C e 8D). As mangas armazenadas durante o cultivo de verão apresentaram uma redução mais significativa da acidez após o período de vida útil, especialmente a 20 °C, nas frutas sem embalagem, com uma diminuição de 1,1% para 0,59% no final do armazenamento (Fig. 8D).

Na relação SS/AT, durante a colheita de inverno, as mangas armazenadas nas embalagens BWC, apresentaram uma menor taxa em ambos os dias de análise com valor da relação de 22,1 e 20, respectivamente (Fig. 7E). Os demais tratamentos não mostraram diferenças significativas entre si. Na colheita de verão, aos 28 dias de armazenamento refrigerado, conforme o esperado, não foi observada diferença significativa entre o controle e as embalagens. Após o período de armazenamento de vida útil, as frutas armazenadas sem embalagem apresentaram valores mais elevados na relação com valor de 23,2 (Fig. 7E e 7F).

Figura 8. Efeito de diferentes embalagens de AM nos sólidos solúveis de mangas 'Tommy Atkins', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Sólidos solúveis na colheita de inverno. B) Sólidos solúveis na colheita de verão. C) Acidez titulável na colheita de inverno. D) Acidez titulável na colheita de verão. E) Ratio (SS/AT) na colheita de inverno. F) Ratio (SS/AT) na colheita de verão. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

No presente estudo, foram identificadas as principais desordens fisiológicas que ocorrem em mangas, como nariz mole, semente gelatinosa e tecido esponjoso, as quais embora não sejam observadas externamente, comprometem a qualidade sensorial da fruta. Além disso, observou-se a

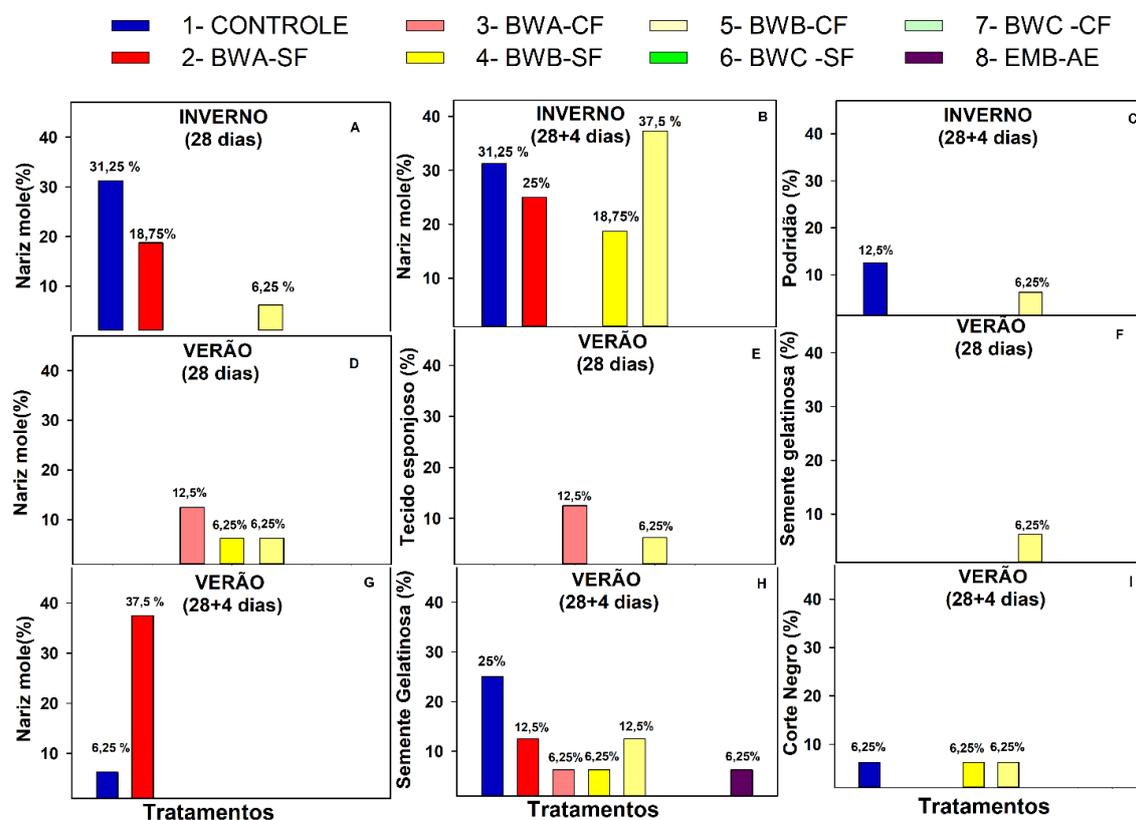
presença de corte negro e de podridão, principalmente na colheita de verão (Fig. 9).

Na colheita de inverno, foi identificado o surgimento de nariz mole aos 28 dias de análise, com uma maior porcentagem nas frutas sem embalagem de 31,25%, seguidas pela BWA-SF de 18,75% (Fig. 9A). Ao final do período de vida de prateleira, a maior porcentagem de nariz mole de 37,5% foi encontrada para as frutas BWB-CF, seguidas pelo controle mantendo 31,25% e a BWA-SF com 25%. No final do armazenamento ocorreu também o surgimento de podridão peduncular com incidência de 12,5% para as frutas armazenadas sem embalagem e 6,25% para as embalagens BWB-CF.

A colheita de verão foi caracterizada por uma maior incidência de diferentes desordens fisiológicas. Em uma análise geral, as embalagens BWB-SF e BWB-CF, que possuíam maior permeabilidade ao O₂, registraram o maior número de desordens, dentre elas o nariz mole, tecido esponjoso, semente gelatinosa e também o corte negro. Nos resultados dessa colheita destacou-se a porcentagem de incidência de 37,5% de nariz mole para a embalagem BWA-SF e do surgimento de 25% de tecido esponjoso nas frutas sem embalagem, após o período final de armazenamento a 20 °C (Fig. 9).

No entanto, em ambas as colheitas e em todos os dias de análise, não foram observadas desordens fisiológicas em nenhum dos tratamentos que utilizaram a embalagem BWC, seja ela com ou sem filtro.

Figura 9. Efeito de diferentes embalagens de AM na incidência de desordens fisiológicas e podridão em mangas 'Tommy Atkins', colhidas no Vale do São Francisco nas estações de inverno e verão, após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Nariz mole na colheita de inverno aos 28 dias. B) Nariz mole na colheita de inverno após 4 dias de vida de prateleira. C) Podridão peduncular na colheita de inverno. D) Nariz mole na colheita de verão aos 28 dias. E) Tecido esponjoso na colheita de verão. F) Semente Gelatinosa na colheita de verão aos 28 dias. G) Nariz mole na colheita de verão aos 28+4 dias. H) Tecido esponjoso na colheita de verão aos 28 +4 dias. I) Corte negro na colheita de verão aos 28+4 dias. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



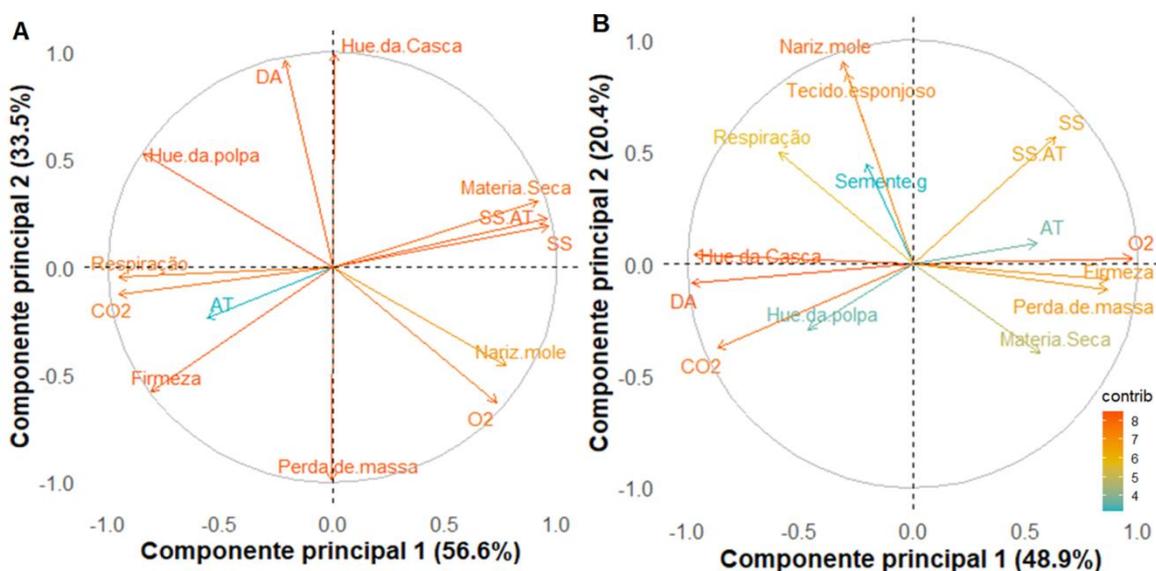
Fonte: Autoria própria

Uma análise de componentes principais (PCA) foi aplicada para reunir todos os resultados obtidos para todos os parâmetros de qualidade físico-químicas das mangas 'Tommy Atkins' armazenadas em diferentes embalagens de AM, com e sem filtro de absorção de etileno (Fig.10). Na safra de inverno, o componente principal 1 (CP1), responsável por 56,6% da variância total dos dados, foi influenciada principalmente pelas variáveis matéria seca, sólidos solúveis (SS) e relação SS/Acidez. O CP2, responsável por 33,5 % da variância total dos dados, foi influenciado principalmente pelo ângulo Hue da polpa e pelo

índice DA. Juntos, CP1 e CP2 explicaram 90,1% da variância total das variáveis analisadas. Observou-se uma correlação positiva entre nível de O₂ dentro das embalagens e perda de massa, assim como entre o nível de O₂ dentro das embalagens e a incidência de nariz mole. Houve também uma correlação positiva entre a respiração das frutas e a quantidade de CO₂ nas embalagens.

Na safra de verão, a análise dos dois primeiros componentes principais contribuiu para 69,3% da variância total dos dados (Fig. 10B). O CP1 foi influenciado principalmente pelas variáveis firmeza, perda de massa, nível de O₂ dentro das embalagens e teor de matéria seca das frutas. O CP2 foi influenciado principalmente pela respiração e pelas desordens fisiológicas, nariz mole e tecido esponjoso. Observou-se que o nível de O₂ dentro das embalagens apresentou uma correlação positiva com a perda de massa e firmeza de polpa.

Figura 10. Análise de componentes principais (PCA) das características físico-químicas de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas em diferentes embalagens de AM. A) Componentes principais da colheita de inverno. B) Componentes principais da colheita de verão. SS: Sólidos solúveis. AT: Acidez titulável. DA: índice de maturação. Semente g: Semente gelatinosa.



Fonte: Autoria própria

4 DISCUSSÃO

A manga 'Tommy Atkins' é a cultivar mais produzida e com a maior participação nas exportações ao longo dos anos, representando cerca de 75% da área total cultivada no Brasil (Fonseca et al., 2006; Santos et al., 2023). Esse destaque deve-se principalmente à sua boa produtividade, resistência a danos mecânicos e a doenças, como a antracnose, o que proporciona uma excelente conservação pós-colheita e resistência ao transporte a longas distâncias (Costa & Santos, 2021).

Para uma melhor conservação após a colheita, recomenda-se o armazenamento refrigerado, associado a diferentes condições atmosféricas, variando de 2 a 5% de O₂ e de 5 a 10% de CO₂, dependendo do metabolismo e da cultivar de manga (Dhalsamant, Mangaraj & Bal, 2017; Ntsoane et al., 2019; Wei et al., 2021).

Estudos realizados por Bender e Brecht (2000) sobre o armazenamento das mangas 'Tommy Atkins' e 'Haden' em atmosfera controlada concluíram que as variedades analisadas na fase pré-climatérica toleram até 3 kPa de O₂ por um período de 2 a 3 semanas a temperaturas entre 12 e 15°C, mantendo a sua qualidade. Os autores também relataram que após a exposição a O₂ abaixo de 2 kPa resultou no acúmulo de etanol e desenvolvimento de um sabor fermentado desagradável em mangas 'Tommy Atkins'. Enquanto Santos et al. (2023), em suas pesquisas, concluíram que as mangas 'Tommy Atkins' podem ser armazenadas a 9°C por até seis semanas em atmosferas com 2,3 kPa de O₂, sem induzir a respiração anaeróbica.

Portanto, com base nas recomendações descritas nos estudos citados e nos resultados obtidos, as embalagens BWB mantiveram os níveis de O₂ acima do recomendado, não atuando de forma eficaz na modificação da atmosfera, enquanto as embalagens BWC reduziram drasticamente a concentração de O₂. Por outro lado, as embalagens BWA resultaram em níveis de O₂ muito próximos aos recomendados para manter a qualidade pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' (Santos et al., 2023), podendo ser recomendadas para uso em ambiente refrigerado à 9°C (± 0,5 °C).

Yahia et al. (2019) descreveram que um dos sintomas externos de danos causados pela exposição a baixos níveis de O₂ é o surgimento de áreas amarronzadas na casca. Além disso, estes autores discutem como níveis de CO₂

superiores a 20 kPa podem resultar em danos prejudiciais, como a ruptura do tecido e o acúmulo de acetaldeído e etanol, além de odores indesejáveis para a maioria dos produtos hortícolas frescos. Esses resultados de pesquisa podem ser correlacionados com os resultados obtidos em ambas as colheitas para as frutas armazenados na embalagem BWC, onde todos sofreram danos em suas superfícies, possivelmente devido tanto aos baixos níveis de O₂ quanto aos altos níveis de CO₂ observados dentro das embalagens durante o armazenamento (Fig. 3)

Bender et al. (2020) sugerem que a combinação de baixas temperaturas com 10 kPa de CO₂ pode ser uma estratégia eficaz para prolongar a vida pós-colheita de mangas sem causar danos significativos. Esse resultado positivo com a utilização do CO₂ relaciona-se com o fato de que esse gás, atua como inibidor competitivo pelo sítio de ligação do etileno, impedindo a sua ação (Brecht, 2019). Ainda, nesse estudo, Bender et al. (2020) discutiram sobre a exposição de mangas à atmosfera acima de 25 kPa de CO₂, indicando que as mesmas sofreram estresse fisiológico e como consequência da associação ao baixo O₂, o nível de produção de etanol aumentou significativamente nessas condições, levando ao processo fermentativo e perda das frutas.

Com isso, as frutas armazenadas em embalagens BWC durante a colheita de inverno, além de estarem submetidas ao estresse da restrição de O₂, também sofreram os efeitos da alta concentração de CO₂. Assim, sugere-se que o elevado nível de etileno obtido nas leituras semanais pode estar relacionado ao aumento das condições de estresse dos tecidos das frutas.

De acordo com o que foi apresentado e aos valores indicados na literatura, as embalagens BWA, tanto com filtro quanto sem filtro, exibiram valores de O₂ e CO₂ semelhantes aos recomendados para a máxima inibição da respiração aeróbica de mangas 'Tommy Atkins' (Santos et al., 2023). Esta alta eficiência na manutenção da qualidade, comparada com as demais embalagens, pode ser visualizada nos parâmetros descritos abaixo.

O índice de maturação obtido através do medidor DA avaliou o nível de clorofila presente na fruta por meio de suas propriedades de absorção. O aparelho utiliza a espectroscopia para medir a clorofila 'a' na casca e mesocarpo (logo abaixo da casca) da fruta, analisando a diferença na absorbância entre 670 e 720 nm (Stefanelli & Frisina, 2016). Sabe-se que, à medida que a fruta amadurece, a quantidade de clorofila é continuamente reduzida,

concomitantemente com a síntese de carotenoides. Desta forma, o índice DA diminui com o avanço no processo de amadurecimento das frutas, alcançando valores próximos de zero em frutas que estão excessivamente maduras (Turoni, 2024).

O índice DA das frutas não embaladas diminuiu significativamente em comparação as frutas armazenadas em AM, indicando uma desaceleração no processo de amadurecimento das frutas embaladas. Logo, esses resultados indicam que as embalagens de AM se mostraram eficientes na redução das modificações de pigmentos que ocorrem ao longo do processo de amadurecimento de mangas.

A taxa respiratória apresentou um decréscimo após 28 dias de armazenamento refrigerado e um acentuado aumento após a transferência para 20°C em todos os tratamentos. Resultados semelhantes foram encontrados por Bender (2020), no armazenamento de mangas 'Tommy Atkins', onde as taxas de respiração a 8 °C variaram entre 11,86 mol CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹ e 15,75 mol CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹. Quando armazenadas a 12 °C, as frutas maduras quase dobraram sua produção de CO₂. Durante o período de prateleira na temperatura de 20 °C, as taxas de respiração aumentaram para valores entre 72,90 mol CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹ e 101,29 mol CO₂ Kg⁻¹ h⁻¹.

As diferentes embalagens avaliadas em nosso estudo não influenciaram a taxa respiratória das frutas. Possivelmente, esse resultado deve-se ao fato de os níveis de gases das embalagens não serem suficientes para afetar a respiração das frutas durante o período de 28 dias de armazenamento a 9°C. Resultados similares também foram encontrados por Teixeira et al. (2018), durante armazenamento refrigerado e condições de atmosfera controlada, não foram visualizadas diferenças durante o armazenamento. Porém, frutas provenientes da colheita de verão embaladas com BWC-CF apresentaram uma menor taxa respiratória durante o período de vida de prateleira a 20 °C, sugerindo que o efeito das embalagens no atraso do processo de amadurecimento pode tornar-se mais visível em maiores períodos de vida pós-colheita, quando as frutas atingem estádios mais avançados de amadurecimento.

A perda de massa das frutas é motivada pela combinação de altas taxas transpiratórias e respiratórias, resultantes da exposição a ambientes de baixa umidade e de um metabolismo acelerado (Chitarra & Chitarra, 2005; Rego et al.,

2023). A umidade interna proporcionada pelas embalagens de AM foi crucial para a diminuição da taxa de transpiração das frutas armazenadas, resultando em uma redução significativa da perda de massa. Estes resultados demonstram a importância comercial das embalagens para manter a qualidade das frutas, pois a comercialização é realizada por quantidade (peso) de frutas.

No presente estudo, ao final do armazenamento, as frutas que utilizaram embalagens BWA, com ou sem filtro de etileno, mostraram-se mais eficazes na conservação da massa, apresentando uma perda de massa média de apenas 0,78% na colheita de inverno, e de 2,4% no verão. Em contrapartida, as frutas armazenadas sem embalagem apresentaram uma perda de 2,18% na colheita de inverno e 5,6% na colheita de verão. Considerando o volume de exportação nacional de 266 mil toneladas no ano de 2023 (Abrafrutas, 2024), caso não seja utilizada embalagem de AM, estima-se com base nos resultados deste estudo uma perda média de 5,7 e 14,8 mil toneladas nas colheitas de inverno e verão, respectivamente.

Estudos anteriores também mostram que mangas 'Tommy Atkins' armazenadas em ambiente refrigerado com embalagem Xtend e revestimento de cera de carnaúba apresentaram uma perda de massa 3,35 vezes menor do que frutas não embaladas (Costa et al., 2018). Githigan et al. (2014) armazenaram mangas a 25 °C e, ao final do experimento, as frutas não embaladas perderam cerca de 11,8% do seu peso inicial, enquanto as frutas armazenadas em AM apresentaram uma redução de apenas 7,3%. Bunkar et al. (2023) obtiveram resultados semelhantes ao armazenar mangas 'Banarasi Langra' de AM. No estudo destes autores, após 15 dias de armazenamento a 15°C, as frutas apresentaram uma perda de massa de 8,8%. Portanto, as embalagens de AM demonstram eficácia na perda de massa das frutas, independentemente da composição atmosférica criada ao seu redor.

A firmeza das frutas, é um dos principais parâmetros que conferem resistência ao transporte para longas distâncias (Brecht, 2017). A perda de firmeza está relacionada à degradação dos componentes da parede celular das frutas, o que ocorre devido a atividade de enzimas pectinolíticas, como a poligalacturonase e a pectinametilesterase, além de celulasas e β -galactosidasas. Outro componente importante que contribui para a firmeza da polpa é o turgor celular, o qual é influenciado pelo potencial hídrico celular e desidratação da fruta (Chitarra & Chitarra, 2005; Bunkar et al., 2023).

Nesse estudo, a firmeza da polpa foi alterada ao longo do período de armazenamento, mas não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos. Esses resultados contrastam com os obtidos em relação à perda de massa, uma vez que quanto menor a perda de massa devido a desidratação, maior seria o turgor celular e, conseqüentemente, maior seria a firmeza (Lima et al., 2007). Resultado semelhante foi encontrado por Teixeira et al. (2018), onde as diferentes atmosferas de armazenamento não afetaram significativamente a firmeza das mangas 'Palmer'. Lima et al. (2007) também observaram um maior amaciamento da polpa das mangas 'Tommy Atkins' armazenadas em sacos microperfurados de polietileno de baixa densidade (PEBD) em comparação com as frutas controle.

Em contrapartida, Santos et al. (2023) relataram que resultados positivos na utilização de atmosfera controlada, em relação à atmosfera apenas refrigerada, onde foram observados somente após 30 dias de armazenamento. Assim, as diferentes condições de AMs avaliadas neste trabalho podem apresentar efeitos significativos na manutenção da firmeza de polpa em maiores períodos de ambiente refrigerado, visando o transporte de mangas para mercados que possuem tempo de trânsito maior que 30 dias. A mudança na coloração da casca e da polpa das mangas indica a degradação dos pigmentos verdes e o aumento da proporção e aparecimento de pigmentos como carotenoides e flavonoides (Singh e Zaharah, 2013; Nordey et al., 2014). Considerando que os consumidores são atraídos principalmente pela aparência das frutas, sendo observada no tamanho, cor da casca, formato e ausência de defeitos e deterioração, esse parâmetro impacta diretamente na comercialização após armazenamento (Ntsoane et al., 2019).

Apesar das embalagens de AM apresentarem melhor manutenção da cor da casca em ambas as colheitas estudadas, o armazenamento com as embalagens por 28 dias não teve efeito significativo neste parâmetro de qualidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Teixeira et al. (2017), em que não houve diferenças significativas na cor em função dos níveis de CO₂ durante o armazenamento em atmosfera controlada. Contudo, Wei et al. (2021) observaram que, após 30 dias de armazenamento em embalagem de AM, houve uma redução na evolução da cor da polpa de verde para amarelo intenso, atribuindo esse resultado às altas concentrações de CO₂ e baixas de O₂ na embalagem, que inibem a degradação da clorofila. Dessa forma, os resultados

visíveis da utilização das embalagens na preservação da cor da casca e da polpa das frutas, podem aparecer quando essas são submetidas a um maior tempo de armazenamento na atmosfera criada.

O teor de matéria seca de uma fruta é a soma dos teores de amido, açúcares e outros componentes celulares acumulados durante o crescimento e desenvolvimento da fruta na planta (Chitarra & Chitarra, 2005; Freitas et al., 2022). Após o armazenamento, fatores como a perda de massa, resultante da desidratação, e a oxidação de carboidratos em CO_2 no metabolismo respiratório interferem na porcentagem de matéria seca das frutas (Brecht, 2019; Santos et al., 2023).

No presente estudo, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em relação ao teor de matéria seca, em ambas as colheitas e dias de análise, sendo influenciada pelos fatores citados. Assim como as embalagens BWA e BWB com e sem filtro, também não se diferenciaram das frutas armazenadas sem embalagem no aumento dos sólidos solúveis. Entretanto, as embalagens BWC-SF e BWC-CF demonstraram melhores resultados na desaceleração da degradação dos açúcares de reserva, mantendo menores valores de SS, ou seja, menor degradação do amido nas frutas.

Bender e Brecht (2000) não encontraram diferenças significativas na firmeza, nos níveis de açúcares totais e no amido entre diferentes atmosferas de armazenamento. No entanto, Costa et al. (2018) observaram que as mangas armazenadas apenas sob refrigeração apresentaram maiores teores de sólidos solúveis em comparação às armazenadas em embalagem de AM. O aumento dos sólidos solúveis indica o avanço do amadurecimento das frutas, resultante da conversão de reservas de carboidratos, como amido, em açúcares simples e solúveis, como glicose, frutose e sacarose (Brecht, 2019; Santos et al., 2023). Assim, os resultados e estudos citados sugerem que a eficiência da AM na desaceleração do amadurecimento e conseqüentemente da síntese de SS pode ser alcançada com a redução significativa dos níveis de O_2 na atmosfera de armazenamento promovida pelas embalagens.

O ácido predominante na manga é o ácido cítrico (Chitarra & Chitarra, 2005; Valero & Serrano, 2010). Como os ácidos orgânicos são um dos substratos da respiração das frutas, com o avanço do amadurecimento e, conseqüentemente, o aumento da taxa respiratória, ocorre um decréscimo na porcentagem dos ácidos presentes na manga (Saltveit, 2004; Nordey et al.,

2016). Os resultados apresentados neste estudo mostram que, principalmente durante o período de prateleira a 20 °C que induz condições de maiores taxas respiratórias, há uma redução mais significativa na acidez das frutas. As embalagens BWC demonstraram melhores resultados na manutenção da acidez, visto que tinham menores níveis de O₂ no interior da embalagem e assim reduziram a taxa respiratória das frutas. Em contrapartida, as frutas sem embalagem, especialmente aquelas colhidas no verão, apresentaram uma diminuição acentuada na acidez. Githigan et al. (2014) observou que frutas mantidas apenas em armazenamento refrigerado reduziram significativamente os teores de ácidos presentes, em relação as armazenadas com embalagens de atmosfera modificada. Resultados semelhantes também foram encontrados por Brecht et al. (2024) em que mangas armazenadas com embalagem de atmosfera modificada preservaram maior nível de acidez quando comparadas sem embalagem.

A relação entre os teores de sólidos solúveis e acidez das frutas tem um papel importante na definição do sabor e aceitação pelos consumidores. Assim, quanto maior essa relação, maior a sensação de doçura, mas também representa um maior avanço no estágio de amadurecimento e menor tempo de vida útil da fruta. Com base nos resultados dos sólidos solúveis e da acidez, observou-se que as mangas armazenadas em embalagens BWC, tanto com filtro quanto sem filtro, apresentaram valores inferiores nesse parâmetro, sugerindo que esta embalagem foi eficiente em retardar a mudança conjunta entre os teores de sólidos solúveis totais/ácido cítrico nas frutas durante o período de armazenamento avaliado neste estudo.

De acordo com Bambale et al. (2021), a cultivar Tommy Atkins é suscetível à maioria das desordens existentes, durante o armazenamento observou-se o surgimento de diversas desordens como nariz mole, tecido esponjoso, semente gelatinosa e corte negro, além de podridão.

O nariz mole é caracterizado pelo rápido amadurecimento do mesocarpo na extremidade da fruta, resultando no amolecimento e amarelecimento da polpa, que adquire uma aparência translúcida e encharcada (Fig. 1) (Shivashankar, 2014; Brecht, 2019). O tecido esponjoso apresenta regiões amiláceas de coloração branco-amarelada, ligeiramente desidratadas, e textura esponjosa (Brecht, 2019; Ullah et al., 2024). A semente gelatinosa, assim como

o nariz mole, provoca o amolecimento do tecido devido ao amadurecimento excessivo, conferindo a fruta uma aparência gelatinosa (Ullah et al., 2024).

O corte negro é identificado pelo escurecimento da polpa, frequentemente acompanhado pela degradação do tecido, e está comumente relacionado a baixas temperaturas de armazenamento (Brecht, 2019). Já a podridão é caracterizada pela desintegração da polpa, com manchas externas de coloração marrom-acinzentada, textura amolecida e odor de fermento, geralmente causados por agentes patogênicos (Shivashankar, 2014).

Tanto o nariz mole quanto a semente gelatinosa ocorrem devido ao amadurecimento acelerado e irregular das frutas, o que também favorece o surgimento de podridão. O corte negro, cujos mecanismos ainda não são totalmente compreendidos, está associado à ação oxidativa, resultando em manchas escuras (Chidtragool, 2013; Brecht, 2019).

A redução do O_2 nas embalagens de AM mostrou-se eficaz no controle de desordens fisiológicas e podridões, especialmente nas embalagens BWC, que apresentaram menor concentração de O_2 e maior concentração de CO_2 , sem registro de desordens em ambas as colheitas. Por outro lado, as embalagens BWB, com maior permeabilidade ao O_2 , apresentaram maior incidência de desordens. Dessa forma, uma menor concentração de O_2 no ambiente de armazenamento retarda o amadurecimento e reduz os processos oxidativos. Além disso, o alto nível de CO_2 no interior da embalagem também contribui para o controle do desenvolvimento de patógenos (Mullan & McDowell, 2011).

Os resultados obtidos estão alinhados com o que foi documentado por Santos et al. (2023), que indicaram que uma atmosfera com baixo teor de oxigênio controla o surgimento de corte negro e podridão em mangas 'Tommy Atkins'. Da mesma forma, Brecht et al. (2024) demonstraram que o uso de embalagens com atmosfera modificada inibiu ou reduziu o aparecimento de injúrias por frio, deterioração e escurecimento nas mangas 'Ataulfo', 'Tommy Atkins' e 'Kent'.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que as embalagens de AM demonstraram ser uma estratégia eficaz para minimizar a perda de massa de mangas 'Tommy Atkins' durante o armazenamento refrigerado a 9 °C por um período de 28 dias. Adicionalmente, as embalagens de AM foram bem-sucedidas na redução da taxa respiratória e no retardamento do processo de amadurecimento das mangas durante o período de vida de prateleira a 20 °C por 4 dias. A capacidade das embalagens de AM em reduzir a concentração de O₂ mostrou-se eficaz no controle do desenvolvimento de desordens fisiológicas e da podridão em mangas 'Tommy Atkins' durante o armazenamento a 9 °C por 28 dias. Em contrapartida, o uso de filtro e embalagem absorvedora de etileno não apresentou impacto significativo na manutenção da qualidade pós-colheita das mangas 'Tommy Atkins' nas condições avaliadas. As embalagens BWC associadas a tecnologia de absorção de CO₂ se apresentam como a melhor embalagem para manutenção dos parâmetros de qualidade de mangas 'Tommy Atkins' durante o armazenamento a 9 °C por 28 dias.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer as empresas Argofruta Comercial Exportadora Ltda., Ibacem Agrícola, Comércio e Exportação Ltda. e Special Fruit pelo fornecimento das frutas utilizadas nas pesquisas, assim como a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa (Processo: APQ-1046-5.01/22), pela bolsa do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional fornecida a coorientadora deste trabalho (Processo: APQ-0015-5.01/23), assim como pela bolsa de mestrado fornecida para a autora do trabalho (Processo: IBPG-1684-5.01/22). Os autores também gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa fornecida ao orientador deste trabalho (Processo: 305222/2023-6) e pelo apoio financeiro realizado por meio do programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) (Processo: 408855/2024-0).

REFERÊNCIAS

- ABRAFRUTAS. Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. **Exportações de manga batem recorde em 2023**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2023/12/exportacoes-de-manga-batem-recorde-em-2023/>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- BAMBALELE, N.; MDITSHWA, A.; TESFAY, S. Avanços recentes em tecnologias pós-colheita de manga: uma revisão. **Revista Internacional de Ciência de Frutas**, v. 1, p. 2021, 2021.
- BENDER, R. J.; BRECHT, J. K.; SARGENT, S. A.; & Huber, D. J. Mango Tolerance to reduced oxygen levels in controlled atmosphere storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 125, p. 707-713, 2000.
- BENDER, R.; BRECHT, J.; SARGENT, S. Low storage temperature for tree ripe mangoes under controlled atmospheres with elevated CO₂ concentrations. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, p. 1161-1166, 2020.
- BRECHT, J. K.; PLIAKONI, E. D.; BATZIAKAS, K. The impact of temperature on atmosphere requirements and effects: the limits of design and utility for CA/MA/MAP. In: COLES, R.; KIRWAN, M. (Ed.). **Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce**. 1. ed. p. 147–166, 2020.
- BRECHT, J.K. Mango. In: FREITAS, S.T.; PAREEK, S. **Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables**. Boca Raton: CRC Press, p.443–466, 2019.
- BRECHT, J. K.; SARGENT, S. A.; RISTOW, N.; OSUNA GARCÍA, J. A.; SINGH, S. Demonstrating modified atmosphere packaging (MAP) feasibility for mango export. **Acta Horticulturae**, v. 1386, p. 161-168, 2024.
- COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DE SÃO PAULO (CEAGESP). Manga: programa brasileiro para modernização da horticultura. São Paulo: **CEAGESP**, 2020. Disponível em: <https://ceagesp.gov.br/wp-content/uploads/2020/05/manga.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2024.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: UFLA, 785 p, 2005.
- COSTA, J. D. S.; NETO, A.F.; COSTA, M.S.; ALMEIDA, F.A.C. Conservação de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob passiva atmosfera modificada. **Rev. Caatinga**, v. 31, p. 117-125, 2018.
- COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. Cultivo da Mangueira. Portal Embrapa, 2004. Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/cultivares.htm. Acesso em: 20 abr. 2024.

CHIDTRAGOOL, S.; KETSA, S. I. Modified atmosphere reduces chilling injury of mango fruit during low temperature storage. **Acta Horticulturae**, v. 992, p. 513–519, 2013

EBRAHIMI, A.; KHAJAVI, M. Z.; AHMADI, S.; MORTAZAVIAN, A. M.; ABDOLSHAHI, A.; RAFIEE, S.; FARHOODI, M.. Novel strategies to control ethylene in fruit and vegetables for extending their shelf life: a review. **Int. J. Environ. Sci. Technol.**, v. 19, p. 4599–4610, 2022.

FALEGÁN, N.; TERRY, L. A. Recent advances in controlled and modified atmosphere of fresh produce. **Johns. Matthey Technol. Rev.**, v. 62, p. 107–117, 2018.

FANG, Y.; WAKISAKA, M. Uma revisão sobre a preservação de frutas e vegetais em atmosfera modificada com tecnologias de ponta. **Agricultura**, 2021.

FREITAS, S. T.; GUIMARÃES, I.T.; VILVERT, J.C.; AMARAL, M.H.P.; BRECHT, J.K. MARQUES, A.T.B. Mango dry matter content at harvest to achieve high consumer quality of different cultivars in different growing seasons. **Postharvest Biology and Technology**, v.189, p. 1-8, 2022.

GHIDELLI, C.; PÉREZ, M. B. G. Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, p. 1-14, 2018.

LEBAKA, V.R.; WEE, Y.J.; YE, W.; KORIVI, M. Composição nutricional e compostos bioativos em três diferentes partes do fruto da manga. **Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública**, v. 18, p. 1-20, 2021.

LIMA, M. A. C.; TRINDADE, D.C.G.; SANTOS, A.C.N.; PAES, P. C.. Armazenamento refrigerado de manga 'Tommy Atkins' sob atmosfera modificada (Smartbag™). En: V **Congreso Iberoamericano de Tecnología postcosecha y Agroexportaciones. Tecnología, calidad y seguridad hortofrutícola**. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2007.

NORDEY, T.; MATHIEU, L.; GENARD, M.; JOAS, J. Factors affecting ethylene and carbon dioxide concentrations during ripening: Incidence on final dry matter, total soluble solids content and acidity of mango fruit. **Journal of Plant Physiology**, v. 196, p. 70-78, 2016

NTSOANE, M. L.; ZUDE-SASSE, M.; SIVAKUMAR, D. Avaliação da qualidade e tecnologia pós-colheita da manga: uma revisão do seu estado atual e perspectivas futuras. **Scientia Horticulturae**, v. 30, p. 2019, 2019.

MOGOLLÓN, R.; CONTRERAS, C.; NETA, M. L.; MARQUES, E. J. N.; ZOFFOLI, J. P.; FREITAS, S. T. Postharvest biology and technology non-destructive prediction and detection of internal physiological disorders in 'Keitt' mango using a hand-held Vis-NIR spectrometer. **Postharvest Biology and Technology**, v.167, p.1–7, 2020.

OBSERVATÓRIO DA MANGA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/observatorio-da-manga-2023>. Acesso em: 10 abr. 2024.

RAM, R. A.; RAHIM, M. A.; ALAM, M. S. Diagnosis and management of nutrient constraints in mango. **Fruit Crops**, p.629–650, 2020.

RÊGO, E. R.; FERREIRA, A. P. S.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. Fisiologia e manejo pós-colheita de flores, frutos e hortaliças [recurso eletrônico]. João Pessoa: Editora UFPB, 2023. E-book. Disponível em: <http://www.editora.ufpb.br/sistema/press/ISBN:978-65-5942-213-5>.

SALTVEIT, M. E. **Respiratory Metabolism**. In: Kader, A. A. (Ed.), *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables* (2nd ed.; pp. 15-30). CRC Press, 2004

SINGH, Z. & ZAHARA, S. Controlled Atmosphere Storage of Mango Fruit: Challenges and Thrusts and Its Implications in International Mango Trade. **Acta Horticulturae**, v.1066, p. 179-19, 2015.

STEFANELLI, D.; FRISINA, C. **The DA-Meter, from theory to practice**. Australina Stonefruit Grower. p. 36-40, 2016.

TEIXEIRA, G.H. A.; SANTOS, L.O.; JÚNIOT, L.C.C.; DURIGAN, J. F. Effect of carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂) levels on quality of 'Palmer' mangoes under controlled atmosphere storage. **J Food Sci Technol.**, v. 55, p. 145-156, 2017.

TURONI. Ficha técnica: **DA METER, Teste não destrutivo de maturação de frutas**. Forlì – Italy. 2024

WARNER, G. Uma maneira fácil de testar a maturidade (DA-meter), Good Fruit Grower, 2014.

YAHIA, E. M.; CARRILLO-LÓPEZ, A.; SAÑUDO, A. Physiological disorders and their control. **Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities**, v.1, p. 499–527, 2019.

CAPÍTULO III: Uso de atmosfera modificada e absorção de etileno para manter a qualidade pós-colheita de mangas 'Palmer' produzidas no Vale do São Francisco

RESUMO: A manga é uma fruta climatérica com alta perecibilidade pós-colheita, o que resulta em perdas significativas durante o armazenamento e transporte. Para minimizar essas perdas, diversas estratégias têm sido desenvolvidas, incluindo o uso de embalagens de atmosfera modificada (AM) e absorção de etileno, as quais retardam o processo de amadurecimento. Este estudo teve como objetivos avaliar a eficácia de diferentes embalagens de AM, associadas a filtros de absorção de etileno, na conservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Palmer' produzidas no inverno e verão no Vale do São Francisco. Após a colheita, as frutas foram acondicionadas em embalagens com média (BWA), alta (BWB), ou baixa (BWC) permeabilidade aos gases O₂ e CO₂, com e sem filtro de absorção de etileno, além de uma embalagem perfurada com tecnologia de absorção de etileno (EAE). O armazenamento das frutas ocorreu por 28 dias a 9 °C, com umidade relativa de 85-90%. Após esse período, as embalagens foram removidas, e as frutas foram mantidas por mais 4 dias a 9 °C para simular a vida de prateleira. As embalagens de AM foram eficazes em retardar o amadurecimento, reduzir a perda de massa, bem como diminuir a incidência de desordens fisiológicas e a taxa respiratória das frutas. Embalagens de AM representam uma alternativa viável para prolongar a vida pós-colheita de mangas 'Palmer' destinadas a mercados distantes. O uso de filtro de absorção de etileno não teve efeito significativo na manutenção da qualidade pós-colheita das frutas.

Palavras-chave: *Mangifera Indica L.*, modificação atmosférica de armazenamento, filtros de etileno.

ABSTRACT: Mango is a climacteric fruit with high postharvest perishability, resulting in significant losses during storage and transportation. In order to minimize these losses, different technologies have been developed, including the use of modified atmosphere (MA) packaging and ethylene absorption, which delay the ripening process. This study aimed to evaluate the effectiveness of

different MA packaging, combined with ethylene absorption filters, in maintaining the postharvest quality of 'Palmer' mangos produced in the winter and summer growing seasons in the São Francisco Valley. After harvest, the fruit were unpackaged (control); packaged in polyethylene bags with BreathWay (BW) membranes with low (BWC), medium (BWA), or high (BWB) permeability to O₂ and CO₂, with and without an ethylene absorption filter; and packaged in perforated polyethylene bags with ethylene absorption technology (EAE). The fruit were then stored for 28 days at 9 °C with 85-90% relative humidity. After 28 days of storage, the packages were opened, and the fruit were evaluated for respiration rate, ripening index, peel and pulp color, pulp firmness, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), SS/TA ratio, dry matter, and the occurrence of rot and physiological disorders. In order to simulate shelf life, part of the fruit was kept for an additional 4 days at 20 °C and then subjected to quality analyses. The MA packaging was effective in delaying ripening, reducing mass loss, and decreasing the incidence of physiological disorders and respiration rate in the fruit. The use of MA packaging represents a viable alternative to extend the postharvest life of 'Palmer' mangos intended for distant markets. The use of ethylene absorption filters had no significant effect on maintaining the postharvest quality of the fruit.

Keywords: *Mangifera indica* L.; modified atmosphere storage; ethylene filters.

1 INTRODUÇÃO

A manga, uma fruta tropical rica em vitaminas, minerais e antioxidantes, ocupa uma posição de destaque na produção mundial, sendo a terceira fruta mais cultivada no mundo (Bambale et al., 2021). No Brasil, o Vale do São Francisco se destaca como um dos principais polos de produção e exportação de mangas, graças ao seu clima favorável e aos avançados sistemas de irrigação (Abrafrutas, 2024). Entre as cultivares mais produzidas na região, a Palmer tem ganhado notoriedade no mercado nacional e internacional devido à sua alta produtividade, boa aparência, sabor agradável, baixo teor de fibras e longa vida de prateleira (Lima, 2021; CEAGESP, 2024). Segundo Kist et al. (2019), essa cultivar representa atualmente cerca de 50% da área cultivada de manga no Vale do São Francisco.

Devido à sua elevada taxa respiratória e à intensa produção de etileno após a colheita, a manga tem seu armazenamento limitado, o que dificulta a

comercialização em mercados distantes (Liu et al., 2023). Para atender às exigências do mercado internacional, as mangas são frequentemente colhidas no início do amadurecimento, ou até mesmo antes, para suportar o transporte. A exportação de mangas do Vale do São Francisco para o mercado norte americano pode durar de 2 a 3 semanas, sendo necessária a colheita em maturações menos avançadas e/ou o uso de tecnologias eficientes em manter a qualidade pós-colheita das frutas (Santos et al., 2023; Brecht et al., 2024).

Embalagens de atmosfera modificada (AM) surgem como possíveis alternativas para reduzir a respiração e prolongar a vida útil das frutas. Essa tecnologia atua na modificação da composição de gases ao redor das frutas, reduzindo os níveis de O_2 e aumentando os níveis de CO_2 , o que resulta na inibição da atividade respiratória e prolongação do processo de amadurecimento (Costa et al., 2011; Bunkar et al., 2024).

Entre os principais efeitos proporcionados pelo uso de AM destacam-se a manutenção da cor verde, firmeza de polpa, acidez, teor de sólidos solúveis, bem como redução da perda de massa, incidência de podridões e desordens fisiológicas em frutas durante o período de armazenamento e transporte (Perumal, 2021; Ntsoane et al., 2022).

Para uma melhor conservação da qualidade pós-colheita de mangas, recomenda-se o armazenamento refrigerado, associado a diferentes condições atmosféricas, as quais podem variar de 2 a 5% de O_2 e de 5 a 10% de CO_2 , dependendo do metabolismo e da cultivar (Dhalsamant, Mangaraj & Bal, 2017; Ntsoane et al., 2019; Wei et al., 2021; Santos et al., 2023).

A composição atmosférica proporcionada pelas embalagens de AM também contribui para a inibição da síntese e ação do etileno, hormônio vegetal responsável por acelerar os processos metabólicos relacionados ao amadurecimento e senescência de frutas e hortaliças. Este regulador vegetal desencadeia uma série de mudanças fisiológicas, como a perda de firmeza, alterações na cor e o desenvolvimento de podridões. Diversos estudos mostram um aumento significativo da vida pós-colheita de frutas e hortaliças com o uso de tecnologias de absorção de etileno no ambiente de armazenamento (Wei et al., 2021; Asrey et al., 2023).

Desta forma, os objetivos deste estudo foram avaliar a eficiência de diferentes embalagens de AM, com e sem filtro de absorção de etileno, na

manutenção da qualidade pós-colheita de mangas 'Palmer' produzidas em diferentes épocas de cultivo no Vale do São Francisco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Mangas 'Palmer' foram produzidas na safra de inverno e verão em pomares comerciais localizados no Vale do São Francisco, Juazeiro, BA. As frutas foram colhidas na maturação fisiológica utilizada comercialmente e foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. Após a colheita, as frutas foram lavadas, homogeneizadas e acondicionadas em diferentes embalagens de AM, com e sem filtro de absorção de etileno, conforme descrito abaixo.

As embalagens foram sacos de polietileno com membranas BreathWay de baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao gases O₂ e CO₂, com e sem filtro de absorção de etileno, além de um grupo controle sem embalagem. A embalagem BWC foi desenvolvida a partir da embalagem BWA, reduzindo a sua área permeável em 50% para diminuir ainda mais as trocas gasosas. As embalagens foram fornecidas pela empresa Hazel Technologies (Fresno, CA, EUA). O filtro de absorção de etileno foi fornecido pela empresa It's Fresh Ltd (Burntwood, Reino Unido). Tanto as embalagens quanto os filtros de absorção de etileno foram fornecidos pelo Laboratório de Pós-colheita da Universidade da Florida, FL, Gainesville, EUA.

Cada tratamento experimental foi constituído por 4 repetições, sendo cada repetição composta por 8 frutas, resultando em um total de 32 frutas por tratamento. As frutas foram acondicionadas em contentores plásticos e armazenadas em câmara fria a 9°C ± 0,5°C, com umidade relativa de 85-90%, por um período de 28 dias, simulando o transporte refrigerado. Em seguida, as embalagens foram abertas e as frutas transferidas para 20°C ± 0,5°C, com umidade relativa de 85-90%, por 4 dias adicionais para simular o período de prateleira.

2.2 ATMOSFERA INTERNA DAS EMBALAGENS

As concentrações de O₂, CO₂ e C₂H₄ nas embalagens foram avaliadas semanalmente utilizando um analisador de gases F-950 Three Gas Analyzer

(Felix Instruments, WA, EUA). Os resultados foram expressos em kPa para O₂ e CO₂, e em µl L⁻¹ para C₂H₄.

2.3 ANÁLISE DE QUALIDADE DAS FRUTAS

As avaliações da qualidade das frutas foram realizadas na colheita, assim como após 28 dias de armazenamento à 9°C, e após um período adicional de 4 dias à temperatura de 20°C, simulando as condições de transporte e comercialização, respectivamente.

2.3.1 Taxa Respiratória

Para avaliar a taxa respiratória, as frutas foram acondicionadas em recipientes herméticos de 20 L por um período de 2 horas. A quantidade de CO₂ produzida durante esse período foi medida utilizando um analisador de gases F-950 Three Gas Analyzer (Felix Instruments, WA, EUA). A taxa respiratória foi expressa em mol de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

2.3.2 Índice de maturação (DA)

O estágio de maturação das frutas foi avaliado por meio do índice DA, obtido utilizando um espectrofotômetro portátil DA-meter 53500 (Turoni, Forli. Itália). Esse índice, baseado na diferença de absorção da clorofila-a, varia de 0 (frutas muito maduras) a 5 (frutas extremamente verdes), permitindo acompanhar as mudanças fisiológicas relacionadas ao processo de amadurecimento.

2.3.3 Perda de massa

A perda de massa (%) foi calculada para cada amostra utilizando uma balança semi-analítica com precisão de 0,01 g, em cada dia de avaliação. Ao final, foi calculada a diferença entre o peso inicial e o peso final em cada período de armazenamento. A diferença entre os pesos (peso inicial - peso final) foi então multiplicada por 100 e dividida pelo peso inicial para expressar os valores em porcentagem.

2.3.4 Matéria seca

As amostras de polpa fresca foram pesadas e, em seguida, secas em estufa com circulação de ar a 60°C até atingirem peso constante. Após esse

processo, as amostras foram pesadas novamente para determinar o peso seco. O teor de matéria seca foi calculado multiplicando o peso seco por 100 e dividindo pelo peso fresco inicial de cada amostra, com os resultados expressos em porcentagem.

2.3.5 Cor da Casca e da Polpa

A cor da casca e da polpa foi determinada por um colorímetro digital CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, EUA), utilizando o sistema de coordenadas CIE LCh*. Nesta escala, L representa a luminosidade, em que o valor 0 corresponde ao preto (ausência de luz) e 100 ao branco (máxima luminosidade). C refere-se ao croma, que indica a saturação ou intensidade da cor, sendo 0 uma cor completamente impura e 60 uma cor altamente pura. Já °h (ângulo matiz) representa a tonalidade da cor, variando de 0° a 360°: 0° corresponde ao vermelho, 90° ao amarelo, 180° ao verde, 270° ao azul. A leitura da cor da casca foi realizada na região verde de cada fruta.

2.3.6 Firmeza da polpa (FP)

A firmeza da polpa foi determinada utilizando um texturômetro eletrônico Extralab TAXT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), com uma ponteira de 6 mm de diâmetro. A perfuração foi realizada em dois lados opostos da polpa das mangas, na região equatorial, após a remoção da casca dessa área. Os resultados foram expressos em Newton (N).

2.3.7 Sólidos solúveis (SS)

O teor de SS foi determinado em uma alíquota de suco, utilizando um refratômetro digital modelo PAL-1 (Atago, SP, Brasil) com compensação automática de temperatura, de acordo com o método oficial da AOAC (2012) A escala de leitura do equipamento usado varia de 0 a 65 °C.

2.3.8 Acidez titulável (AT)

A AT foi determinada com um titulador automático Metrohm modelo 848 Titrino Plus (Metrohm, SP, Brasil). A acidez titulável foi determinada por titulação ácido-base, utilizando uma solução padrão de hidróxido de sódio 0,1 N, até atingir pH 8,1, conforme o método do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2005).

2.3.9 Incidência de desordens fisiológicas

As frutas foram avaliadas visualmente para identificar e quantificar a ocorrência de desordens fisiológicas, de acordo com os critérios descritos por Brecht (2019). Os resultados foram expressos em porcentagem de frutas com sintomas das desordens fisiológicas identificadas nas frutas.

Figura 1. Sintomas visuais das desordens fisiológicas nariz mole, semente gelatinosa e podridão em mangas ‘Palmer’.



Fonte: Autoria própria.

2.3.10 Ocorrência de podridão

A avaliação de podridão foi realizada visualmente, contabilizando o número de frutas com presença de podridões. Os resultados de ocorrência de podridões foram expressos em porcentagem de frutas apresentando sintomas de podridões em cada repetição (Miguel et al., 2011).

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Os dados obtidos das análises físico-químicas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos, nos diferentes períodos de armazenamento, foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do pacote ExpDes.pt no software R.

3 RESULTADOS

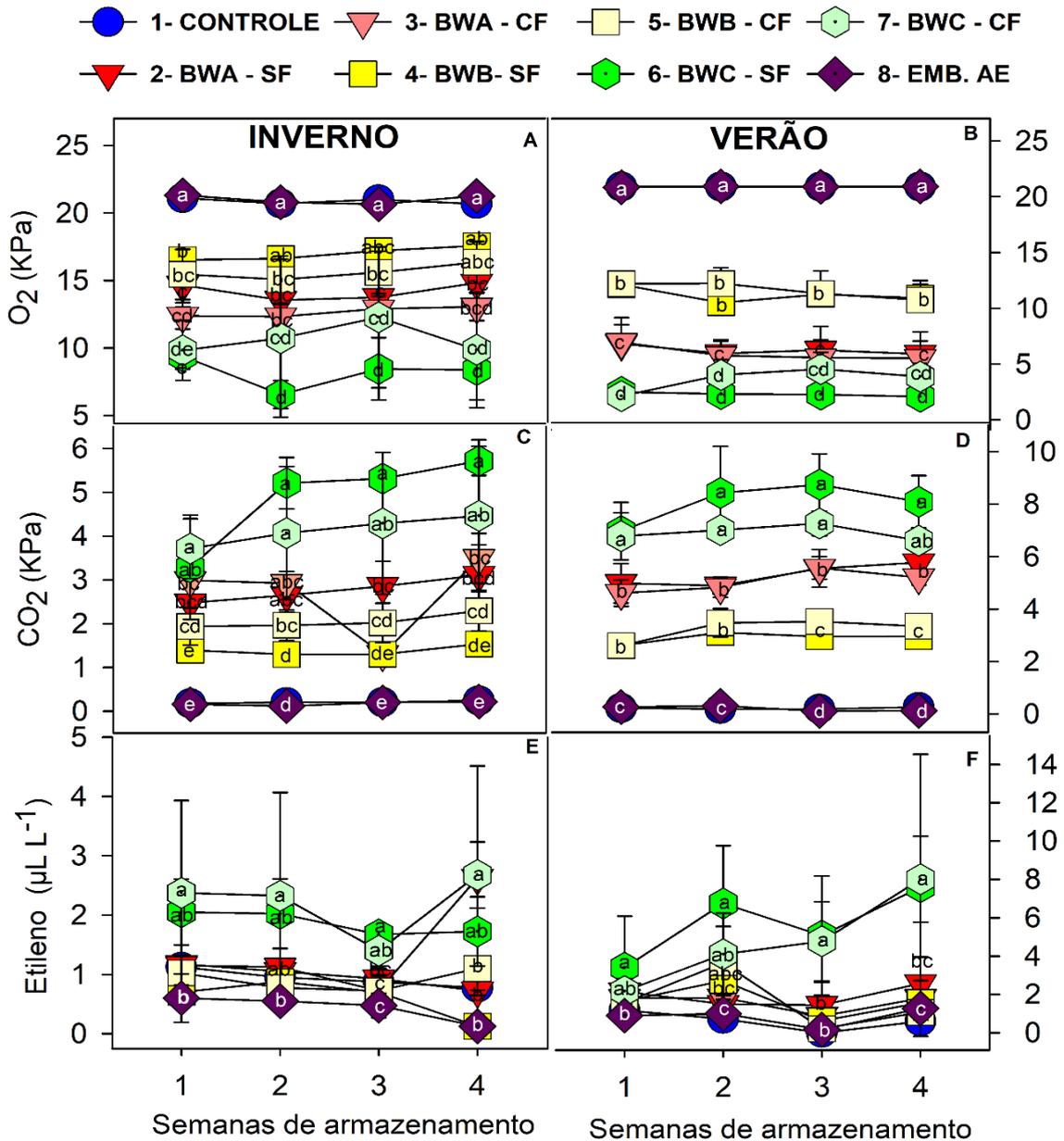
3.1 ATMOSFERA INTERNA DAS EMBALAGENS

Os tratamentos controle (sem embalagem) e com a embalagem absorvedora de etileno (AE) mostraram as maiores médias de concentração de O_2 , com 20,9 kPa (Fig. 2A). Durante o armazenamento, as embalagens BWC-SF e BWC-CF apresentaram as menores concentrações de O_2 em ambas as colheitas (Fig. 2A e 2B). Na colheita de inverno, os valores variaram entre 8,19 e 10,6 kPa, enquanto na colheita de verão variaram entre 2,3 e 3,6 kPa para BWC-SF e BWC-CF, respectivamente. As embalagens BWA-SF e BWA-CF apresentaram médias de 12,67 e 14,19 kPa de O_2 no inverno e de 6,2 e 5,9 kPa no verão. As embalagens BWB-SF e BWB-CF mantiveram o O_2 entre 15,6 a 16,9 kPa na colheita de inverno e 11,2 a 11,6 kPa no verão (Fig. 2A e 2B).

Frutas sem embalagem ou com embalagem AE apresentaram as menores concentrações de CO_2 , com valores de 0,20 kPa e 0,10 kPa na colheita de inverno (Fig. 2C) e de 0,6 e 0,8 kPa na colheita de verão (Fig. 2D). As embalagens BWB-SF e BWB-CF apresentaram CO_2 variando de 1,3 a 2,1 kPa no inverno e de 3,0 a 3,2 kPa no verão. As embalagens BWA-SF e BWA-CF apresentaram médias de 2,7 e 2,6 kPa de CO_2 no inverno e 5,3 e 5,0 kPa no verão. As embalagens BWC-SF e BWC-CF exibiram resultados de 4,2 a 4,8 kPa no inverno e de 8,0 e 6,9 kPa na colheita de verão (Fig. 2C e 2D).

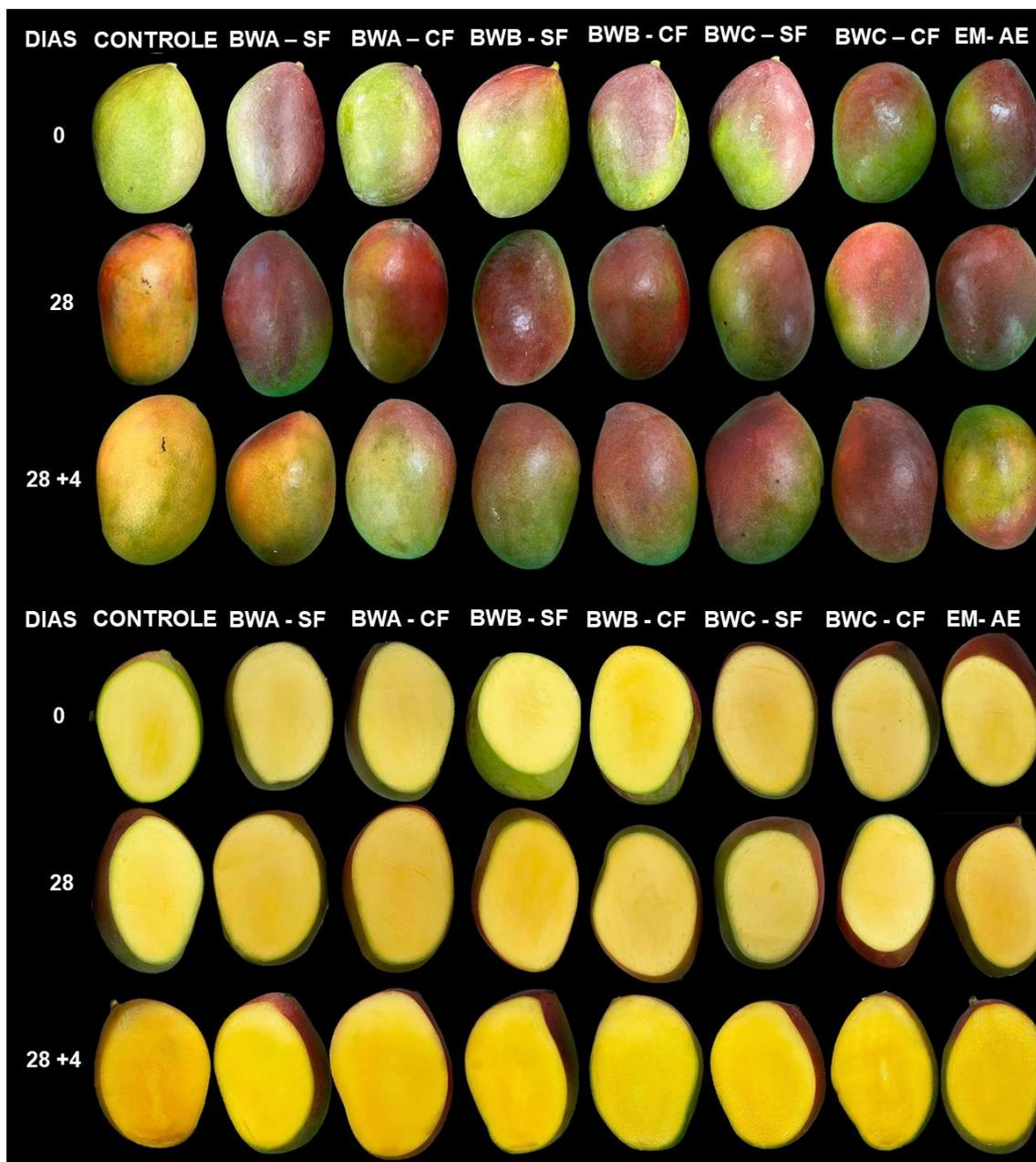
Os resultados para o etileno indicaram que as embalagens BWC-SF e BWC-CF apresentaram as maiores concentrações, com 1,8 e 2,19 $\mu L L^{-1}$ na colheita de inverno e 5,7 e 4,7 $\mu L L^{-1}$ na colheita de verão (Fig. 2E e 2F). As embalagens BWA-SF e BWA-CF mantiveram concentrações entre 0,9 e 1,4 $\mu L L^{-1}$ no inverno e 1,9 e 1,5 $\mu L L^{-1}$ no verão. As embalagens BWB-SF e BWB-CF mostraram médias de 0,6 e 0,9 no inverno e 1,6 $\mu L L^{-1}$ para ambas no verão (Fig. 2E e 2F). As frutas sem embalagem ou com embalagem absorvedora de etileno apresentaram médias menores, com valores de 0,6 e 0,8 $\mu L L^{-1}$ na colheita de inverno e 0,6 e 0,8 $\mu L L^{-1}$ na colheita de verão. As embalagens que foram associadas ao filtro e a embalagem com absorvedor de etileno não apresentaram diferença estatística em relação às embalagens que não utilizavam essa tecnologia (Fig. 2E e 2F).

Figura 2. Determinação semanal dos níveis de O_2 , CO_2 e etileno presentes nas embalagens de mangas ‘Palmer’ cultivadas no inverno (esquerda) e verão (direita) no Vale do São Francisco e armazenadas em condições de AM a $9^\circ C$ por 28 dias e mais 4 dias de vida de prateleira à $20^\circ C$. Concentração de O_2 nas embalagens de AM no inverno (A) e verão (B). Concentração de CO_2 nas embalagens de AM no inverno no inverno (C) e verão (D). Concentração de etileno nas embalagens de AM no inverno (E) e no verão (F). NS (Não Significativo). Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente de acordo com teste Tukey (5%). Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de AM. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

Figura 3. Representação visual do avanço do amadurecimento de mangas ‘Palmer’ cultivadas no inverno no Vale do São Francisco e armazenadas por 28 dias a 9°C em condições de AM e após 4 dias de vida de prateleira à 20°C. Imagens da casca das frutas (A). Imagens da polpa das frutas (B). Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

Figura 4. Representação visual do avanço do amadurecimento de mangas ‘Palmer’ cultivadas no verão no Vale do São Francisco e armazenadas por 28 dias a 9°C em condições de AM e após 4 dias de vida de prateleira à 20°C. Imagens da casca das frutas (A). Imagens da polpa das frutas (B). Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

3.2 ANÁLISES DE QUALIDADE DAS FRUTAS ARMAZENADAS

Em ambas as estações de cultivo (inverno e verão), as frutas foram submetidas a análises físico-químicas no momento da colheita (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de qualidade de mangas 'Palmer' no momento da colheita. Os valores apresentados correspondem à média de quatro repetições, cada uma composta por oito frutas, seguidas do desvio padrão.

Parâmetros	Inverno	Verão
Hue polpa (°)	114,2 ± 2,4	105,2 ± 2,8
Hue casca (°)	96,78 ± 1,3	87,2 ± 3,2
Firmeza (N)	68,5 ± 10,2	66,6 ± 9,2
DA- meter	2,07 ± 0,08	2,18 ± 0,02
Matéria Seca (%)	15,4 ± 0,8	16,3 ± 0,94
Sólidos solúveis (%)	7,2 ± 1,4	8,5 ± 1,5
Acidez Titulável (%)	0,47 ± 0,07	1,08 ± 0,2
SST/AT (%)	14,1 ± 3,6	8,05 ± 2,6
Respiração mol CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹	39,16 ± 3,2	33,2 ± 4,9

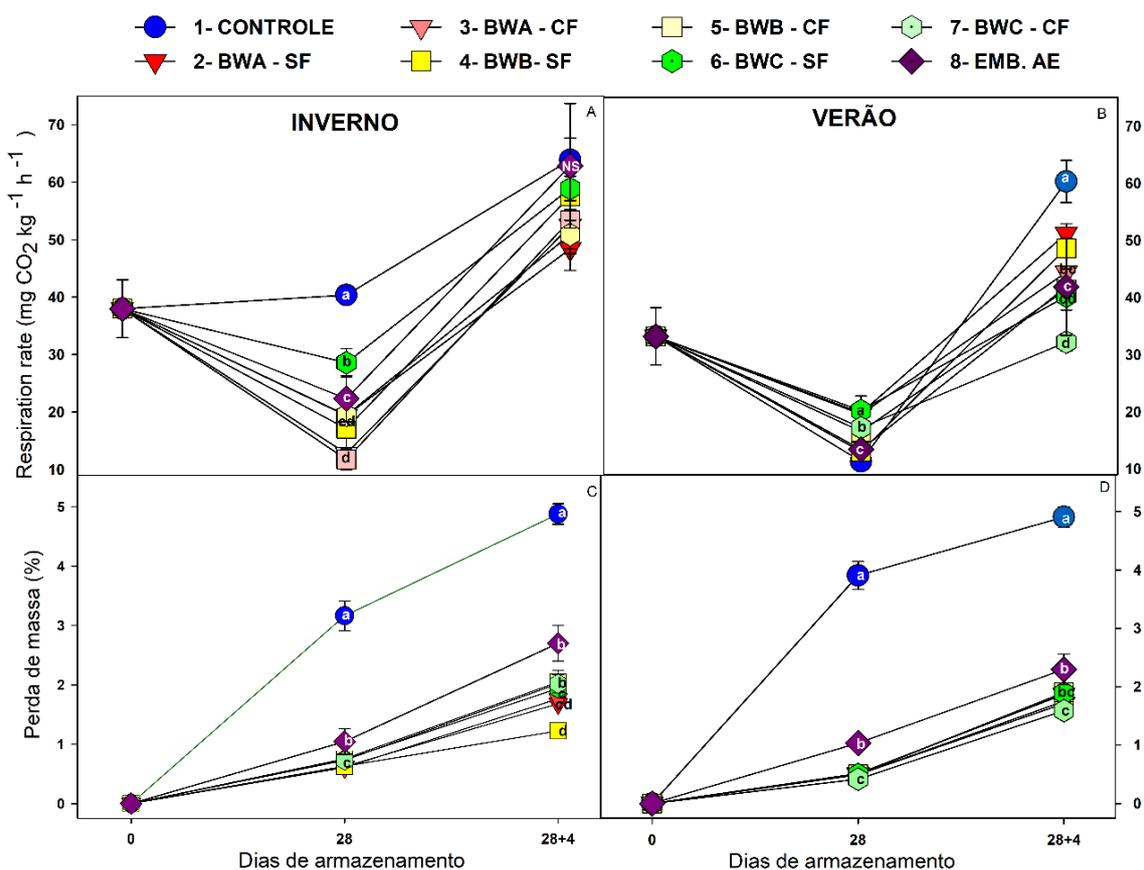
Na colheita de inverno, as frutas armazenadas sem embalagem apresentaram maior taxa respiratória em ambos os dias de análise, com valores de 40,3 e 60,8 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ aos 28 dias e aos 28 + 4 dias, respectivamente (Fig. 5A). Frutas armazenadas com embalagens de AM apresentaram médias de taxas respiratórias entre 11,7 e 28,5 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ aos 28 dias e 48,8 e 58,9 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ aos 28+4 dias. A embalagem absorvedora de etileno (AE) registrou valores entre 22,3 e 62,8 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ aos 28 dias e aos 28 + 4 dias, respectivamente (Fig 5A).

Na colheita de verão, aos 28 dias de armazenamento as frutas sem embalagem apresentaram menor taxa respiratória com 11,3 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, enquanto que as embalagens de AM e AE ficaram com faixas entre 20,2 e 13 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Fig 5B). Após 28 + 4 dias, as embalagens de AM apresentaram menor taxa respiratória em relação as frutas sem embalagem, com destaque para a embalagem BWC sem filtro de absorção de etileno que obteve a menor taxa respiratória de 41,1 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Enquanto as frutas sem embalagem tiveram taxa respiratória de 60,8 mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ (Fig. 5B).

As embalagens de AM apresentaram menor perda de massa em ambas as colheitas e períodos de análise (Fig. 5C e 5D). Na colheita de inverno, as frutas sem embalagem tiveram uma perda média de massa de 3,1% e 4,8% aos 28

dias e 28+4 dias, respectivamente. As embalagens de AM apresentaram perdas médias de massa entre 0,6% e 0,7% aos 28 dias de armazenamento e de 1,2% e 2,0% aos 4 dias de vida de prateleira. As embalagens absorvedoras de etileno (AE) registraram perdas de 1% e 2,7% (Fig. 5C). Na colheita de verão, observou-se a mesma tendência, com as frutas sem embalagem apresentando perdas de 3,9% e 4,9% de sua massa inicial, enquanto as embalagens de AM apresentaram perda de massa de cerca de 0,4% aos 28 dias e de 1,5% a 1,9% aos 28+4 dias de armazenamento. As embalagens de AE tiveram perda média de 1% e 2,2% aos 28 dias e 28+4 dias, respectivamente (Fig. 5D).

Figura 5. Efeito de diferentes embalagens de AM na taxa de respiratória e perda de massa de mangas 'Palmer', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Taxa respiratória na colheita de inverno. B) taxa respiratória na colheita de verão. C) Perda de massa na colheita de inverno. D) Perda de massa na colheita de verão. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

Os resultados do índice de maturação DA mostram que as frutas armazenadas sem embalagem (controle) apresentaram uma maturação mais acelerada em ambas as colheitas (Fig. 6A e 6B). Na colheita de inverno, após 28 dias de armazenamento, as frutas armazenadas em embalagens de AM apresentaram índice DA entre 1,5 e 1,7, enquanto as frutas sem embalagem registraram um índice DA de 1,3. A embalagem AE apresentou o maior índice DA de 1,9 (Fig. 6A). Aos 28 + 4, essa tendência se manteve, com as embalagens de AM apresentando um índice DA entre 1,3 e 1,6, enquanto as frutas sem embalagem apresentaram um valor de 1,0. A embalagem AE registrou um índice de 1,4 (Fig. 6A).

Na colheita de verão, aos 28 dias de armazenamento, não houve diferença significativa entre os tratamentos para o índice DA, com valores variando entre 2,0 e 2,1 (Fig. 6B). No entanto, na análise aos 28+4 dias, as frutas sem embalagem avançaram na maturação, atingindo um índice DA de 1,7, enquanto as embalagens de AM registraram valores entre 1,8 e 1,9. A embalagem AE alcançou um índice de 2,0 (Fig. 6B).

Na colheita de inverno, após 28 dias de armazenamento, a embalagem BWA-CF proporcionou a maior manutenção da firmeza das frutas, com uma média de 72N, seguida pela embalagem BWB-SF (65N) (Fig. 6C). A menor firmeza foi observada nas frutas acondicionadas na embalagem BWC-CF (45N). Aos 28 + 4 dias, não houve diferença significativa entre as embalagens e o controle para firmeza de polpa (Fig. 6C). Na colheita de verão, aos 28 dias, as frutas sem embalagem e as embaladas com absorvedor de etileno apresentaram maior firmeza, com médias de 39N e 37N, respectivamente. As frutas armazenadas em embalagens de AM apresentaram valores de firmeza entre 20 e 32N (Fig. 6D). Aos 28+4 dias, a firmeza diminuiu em todos os tratamentos, sendo menor nas frutas armazenadas em embalagens de AM (entre 4,1 e 8,5N), enquanto as frutas sem embalagem apresentaram uma média de 14N e as embalagens com absorvedor de etileno, 11N (Fig. 6D).

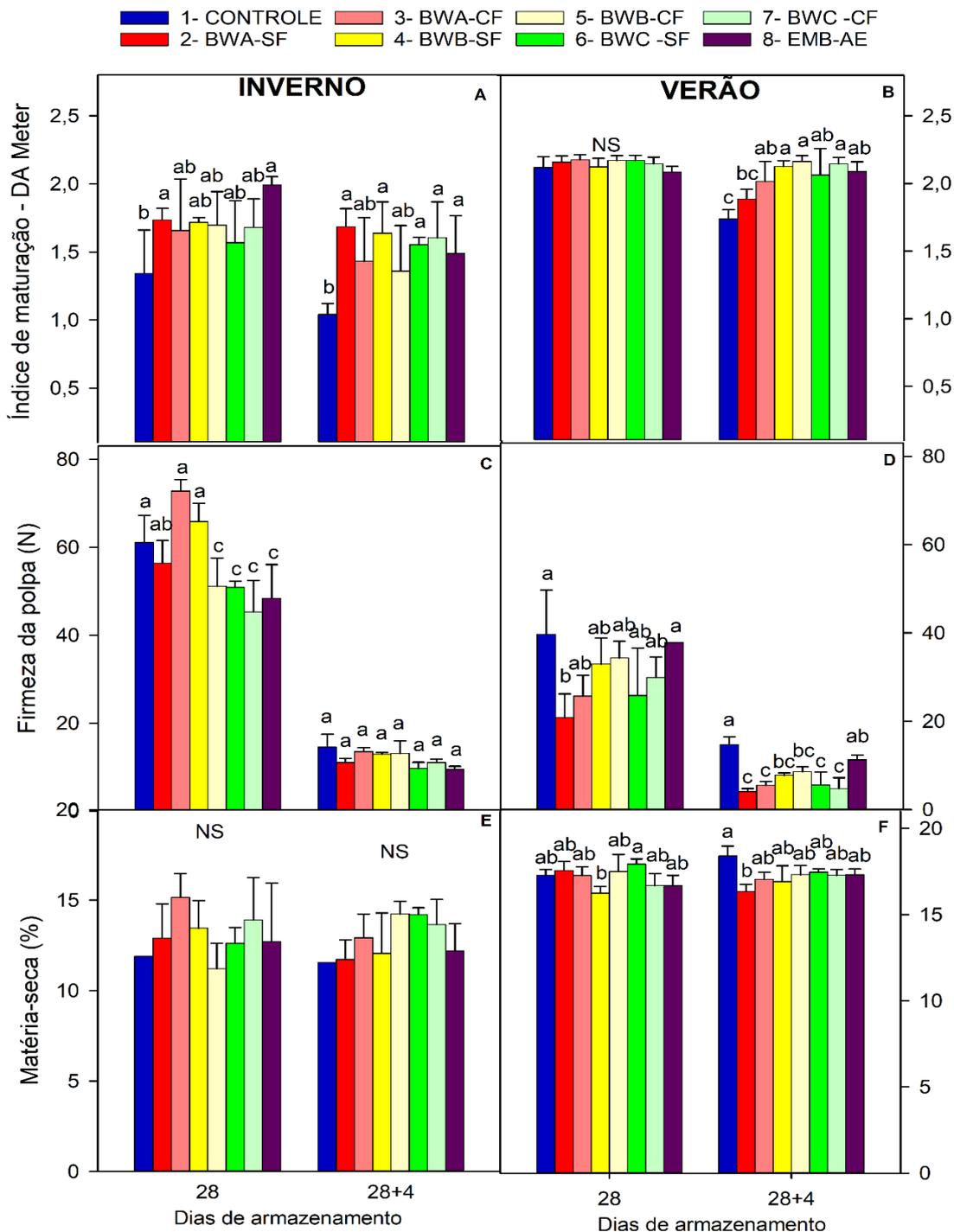
Na colheita de inverno, não houve diferença estatística significativa entre os diferentes tratamentos avaliados em relação ao teor de matéria seca, tanto aos 28 dias (média de 11,9%), quanto aos 28+4 dias (média de 13,4%) (Fig. 6E). Na colheita de verão, a maior porcentagem de matéria seca foi obtida nas frutas acondicionadas nas embalagens BWC-SF (17,9%), enquanto a menor porcentagem foi observada nas frutas acondicionadas nas embalagens BWB-SF

(16,2%) (Fig. 6F). Aos 28+4 dias, as frutas sem embalagem apresentaram a maior porcentagem de matéria seca (18,4%), sendo a menor observada nas frutas acondicionadas nas embalagens BWA-SF (16,3%) (Fig. 6F).

Na colheita de inverno, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para a cor da casca e da polpa (Fig. 7A e 7C). Os valores da cor da casca variaram entre 106° e 115° aos 28 dias e entre 101° e 111° aos 28 + 4 dias. A cor da polpa variou entre 94,9° a 96,9° aos 28 dias e 90,9° a 94,8° aos 28+4 dias (Fig. 7A e 7C).

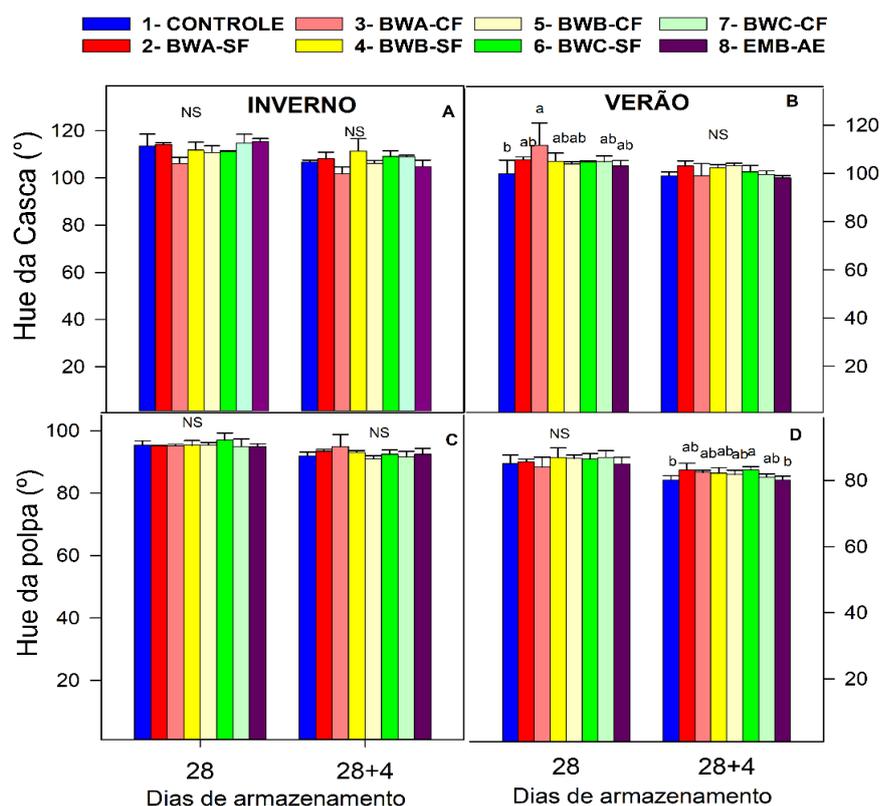
Na colheita de verão, aos 28 dias, as frutas armazenadas sem embalagem apresentaram um maior decréscimo na cor da casca (99,7°) em comparação com as embaladas, cujos valores variaram entre 111° e 106° (Fig. 7B). Aos 28+4 dias, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para a cor da casca (Fig. 7B). Aos 28 dias de armazenamento, não houve diferenças significativas entre os tratamentos para a cor da polpa (Fig. 7D). Aos 28+4 dias, as frutas armazenadas em AM apresentaram valores de cor de polpa mais elevados, variando de 83,1° a 81,7°, enquanto o menor valor foi encontrado nas frutas sem embalagem (80°) (Fig. 7D).

Figura 6. Efeito de diferentes embalagens de AM no índice de maturação, firmeza da polpa e matéria-seca de mangas ‘Palmer’ colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Índice de maturação das frutas na colheita de inverno. B) Índice de maturação dos na colheita de verão. C) Firmeza das frutas na colheita de inverno. D) Firmeza das frutas na colheita de verão. E) Teor de matéria-seca das frutas na colheita de inverno. F) Teor de matéria-seca das frutas na colheita de verão. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

Figura 7. Efeito de diferentes embalagens de AM na cor da casca e cor da polpa de mangas 'Palmer', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Cor da casca na colheita de inverno. B) Cor da casca na colheita de verão. C) Cor da polpa na colheita de inverno. D) Cor da polpa na colheita de verão. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

Na colheita de inverno, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas para os teores de SS, tanto aos 28 dias, quanto aos 28+4 dias (Fig. 8A). Na colheita de verão, os tratamentos não diferiram estatisticamente para os teores de SS aos 28 dias. No entanto, ao final dos 4 dias de vida de prateleira, as frutas sem embalagem e aquelas armazenadas em BWB-CF apresentaram os maiores teores de SS (17 °Brix) (Fig. 8B).

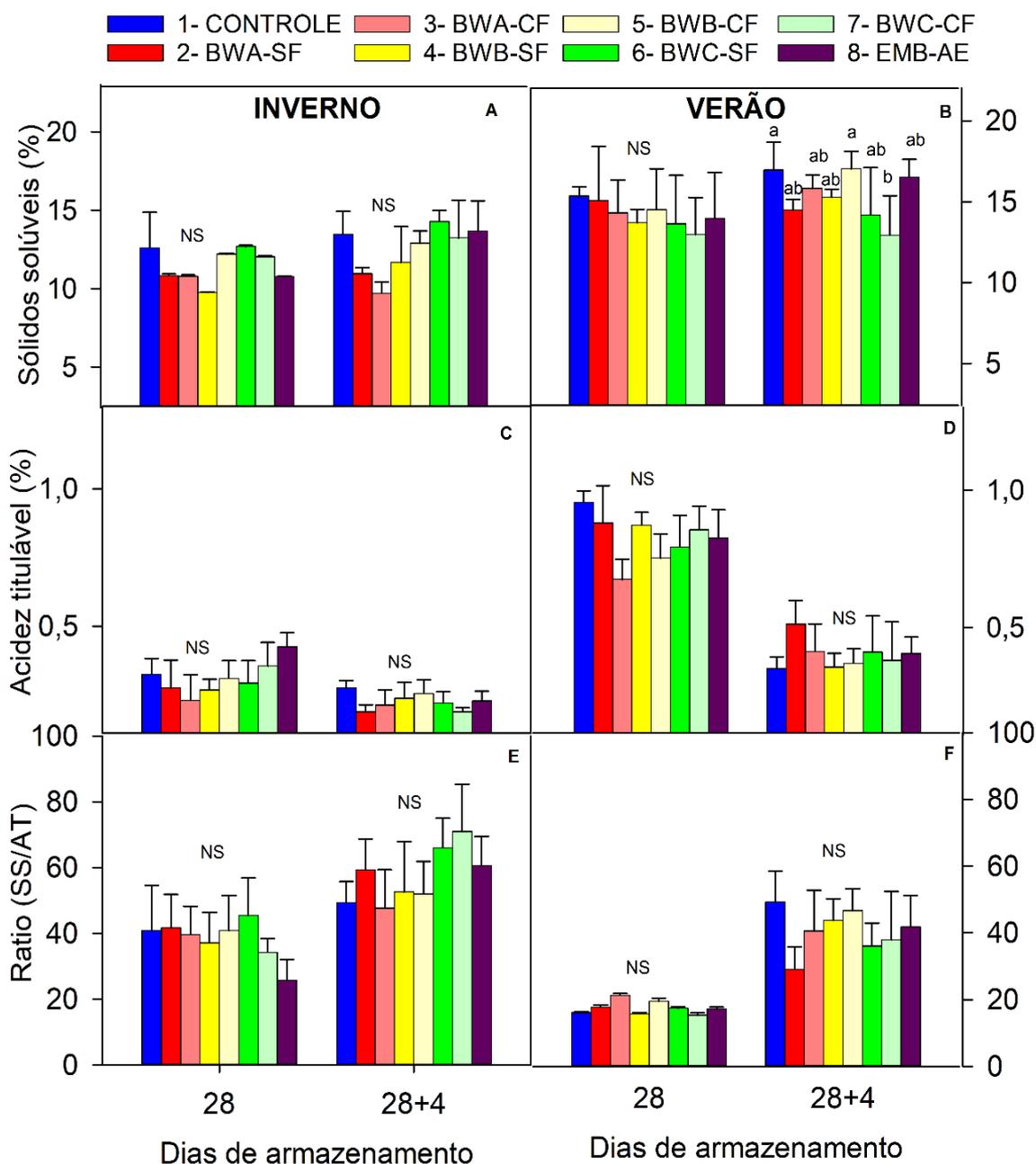
A AT e a relação SS/AT não diferiram entre os tratamentos aos 28 e 28+4 dias, tanto na colheita de inverno quanto na colheita de verão (Fig. 8C, 8D, 8E, 8F).

Durante o armazenamento, foram observados os distúrbios nariz mole e semente gelatinosa, bem como podridão peduncular (Fig. 9). O nariz mole foi o mais frequente em todos os tratamentos após 4 dias de vida útil, com maior

incidência nas frutas não embaladas, tanto no inverno quanto no verão (Fig. 9B e 9H). Destaca-se a colheita de verão, na qual quase 100% das frutas apresentaram sintomas de nariz mole. Além disso, é possível observar que as embalagens com filtro e a embalagem absorvedora de etileno apresentaram menor incidência de nariz mole (Fig. 9H).

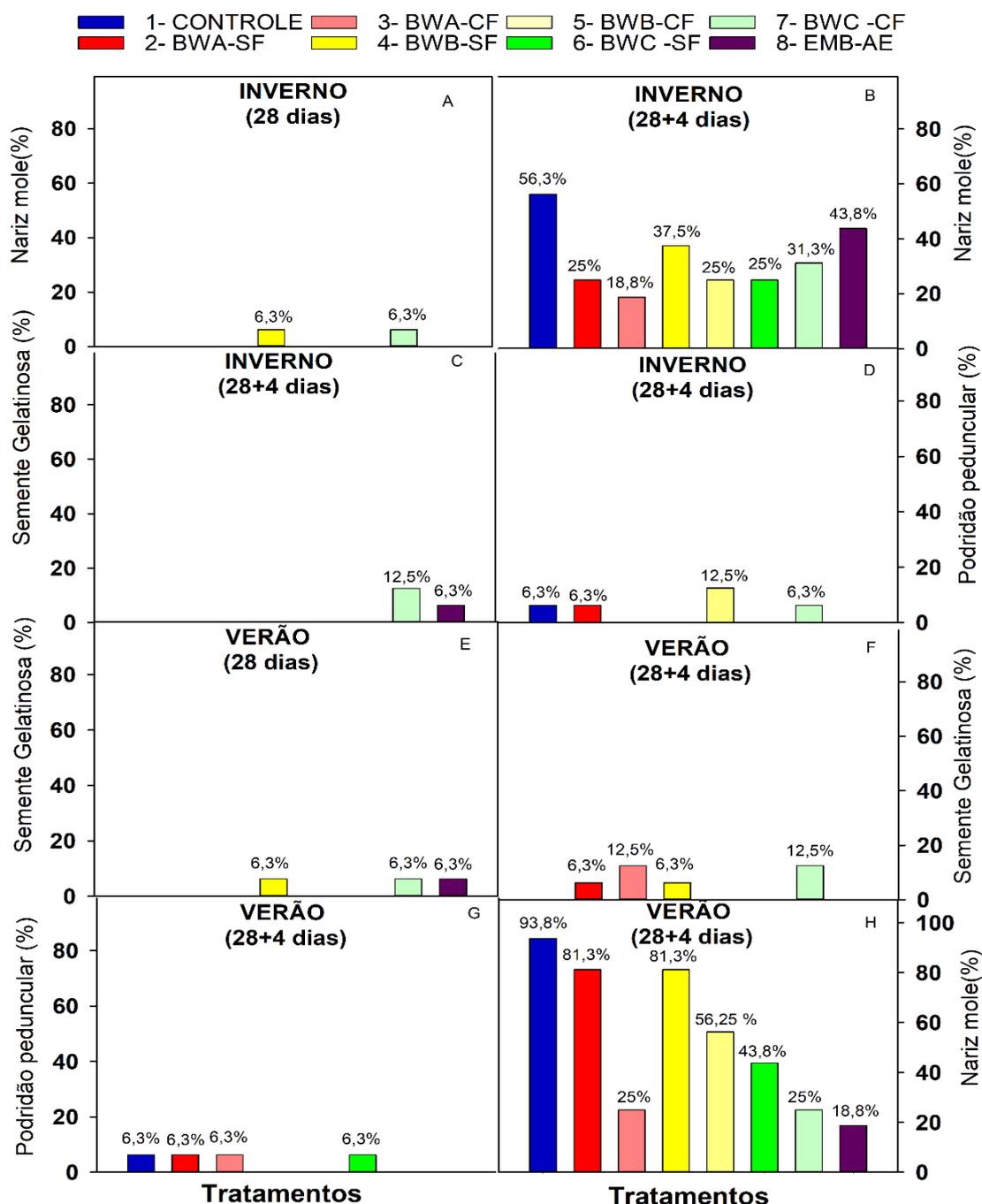
A semente gelatinosa teve maior incidência na colheita de verão, especialmente nas embalagens BWA-CF e BWC-CF, com 12,5% (Fig. 9F). Já a podridão peduncular foi mais incidente na colheita de inverno, nas embalagens BWB-CF com 12,5% (Fig. 9D).

Figura 8. Efeito de diferentes embalagens de AM nos teores de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), e relação SS/AT em mangas 'Palmer', colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno (esquerda) e verão (direita), após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Sólidos solúveis na colheita de inverno. B) Sólidos solúveis na colheita de verão. C) Acidez titulável na colheita de inverno. D) Acidez titulável na colheita de verão. E) Ratio (SS/AT) na colheita de inverno. F) Ratio (SS/AT) na colheita de verão. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

Figura 9. Efeito de diferentes embalagens de AM na incidência de desordens fisiológicas e podridão em mangas Palmer' colhidas no vale do São Francisco nas estações de inverno e verão, após 28 dias de armazenamento a 9°C e mais 4 dias de vida de prateleira à 20°C. A) Nariz mole na colheita de inverno aos 28 dias. B) Nariz mole na colheita de inverno aos 28+4 dias. C) Semente gelatinosa na colheita de inverno. D) Podridão peduncular na colheita de inverno 28+4 dias. E) Semente gelatinosa na colheita de verão aos 28 dias. F) Semente Gelatinosa na colheita de verão 28+4 dias. G) Podridão peduncular na colheita de verão aos 28+4 dias. H) Nariz mole na colheita de verão aos 28+4 dias. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Os valores seguidos pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). "NS" indica diferenças não significativas. Controle: Frutas armazenadas sem embalagem de atmosfera modificada. BWA: Embalagens de média permeabilidade a gases. BWB: Embalagens de alta permeabilidade a gases. BWC: Embalagens de baixa permeabilidade a gases. EMB-AE: Embalagens com absorção de etileno. SF: Sem filtro para a absorção de etileno. CF: Com filtro para a absorção de etileno.



Fonte: Autoria própria

4 DISCUSSÃO

Estudo indicam que níveis de O₂ entre 3 e 5% e CO₂ entre 5 e 10% no ambiente de armazenamento apresentam um efeito significativo na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas (Ntosoane et al., 2019; Wei et al., 2021; Brecht et al., 2024). Entretanto, outros estudos mostram que os níveis de O₂ podem ser reduzidos até valores de 1,2% para inibir ao máximo a respiração aeróbica e prolongar a vida útil de mangas durante 60 dias de armazenamento refrigerado (Santos et al., 2023). Conforme Teixeira e Durigan (2011), o uso de atmosfera controlada com 1 a 10% de O₂ durante o armazenamento a 12,8 °C foi eficaz em prolongar a vida de mangas por 28 dias. Contudo, em um estudo posterior, Teixeira et al. (2018) verificaram que o aumento da concentração de CO₂ para 1-20%, combinado com 5% de O₂, não apresentou benefícios adicionais na conservação pós-colheita das frutas.

Neste estudo, as embalagens foram avaliadas para o armazenamento de mangas 'Palmer' em diferentes estações de colheita. As embalagens BWC, com menor permeabilidade ao O₂, demonstraram resultados semelhantes com os encontrados na literatura, proporcionando uma atmosfera adequada para a conservação das frutas. As embalagens BWB, por sua vez, apresentaram concentrações de O₂ superiores ao recomendado (10 kPa). As embalagens BWA exibiram um comportamento variável, com concentrações de O₂ elevadas no inverno e abaixo de 6 kPa no verão. Estes resultados sugerem que frutas produzidas em diferentes condições ambientais podem apresentar diferenças metabólicas, exigindo embalagens de AM ajustadas para cada condição de cultivo.

Tanto os filtros de absorção de etileno como a embalagem com absorção de etileno não apresentaram resultados significativos na manutenção da qualidade pós-colheita das frutas durante o armazenamento, em ambas as colheitas quando comparadas às embalagens que não utilizavam essa tecnologia.

As diferenças estatísticas encontradas foram referentes à concentração dos gases no interior da embalagem. As frutas armazenadas nas embalagens BWC-SF e BWC-CF apresentaram maior produção de etileno, principalmente na colheita de verão.

De forma geral, as embalagens de AM mostraram efeito significativo na manutenção do índice DA, sugerindo redução na taxa de amadurecimento das

frutas durante o armazenamento e vida de prateleira. Este efeito sugere que as embalagens avaliadas, principalmente as menos permeáveis ao O₂, possuem um alto potencial para uso no transporte de mangas para mercados distantes, os quais necessitam períodos de transporte iguais ou maiores que 28 dias em ambiente refrigerado.

A respiração aeróbica é um processo metabólico que fornece energia para os processos bioquímicos nas frutas, através da oxidação das reservas orgânicas em moléculas mais simples como CO₂ e H₂O (Salveit, 2019; Bunkar et al., 2023). Essa atividade respiratória influencia diretamente a qualidade e a vida útil de frutas, pois está relacionada à perda de nutrientes, produção de etileno e desenvolvimento de alterações físico-químicas. Fatores internos, como a variedade e o estágio de maturação, e externos, como a temperatura e a composição atmosférica, podem modular a taxa respiratória e definir a vida útil de frutas (Salveit, 2019).

No presente estudo, a taxa respiratória das frutas foi influenciada pela embalagem de AM utilizada, dependendo da época do ano. Frutas colhidas no inverno e embaladas em AM apresentaram menor taxa respiratória que frutas não embaladas apenas após 28 dias de armazenamento refrigerado. Frutas colhidas no verão e embaladas em AM apresentaram menor taxa respiratória que frutas não embaladas apenas após 28+4 dias de vida de prateleira. Desta forma, fica evidente que o efeito da AM na inibição da taxa respiratória é influenciado pelas condições ambientais de cultivo.

Teixeira e Durigan (2011), ao armazenarem mangas 'Palmer', observaram que após 14 dias de exposição a atmosferas com 1%, 5% e 10% de O₂, seguido de transferência para condições atmosféricas normais, a atividade respiratória das frutas não foi significativamente alterada. Entretanto, após 28 dias de exposição, houve uma redução no pico metabólico. Por outro lado, Bender e Brecht (2000), em seus estudos com mangas 'Tommy Atkins' e 'Kent' armazenadas em atmosfera controlada com baixos níveis de O₂, relataram que a transferência para condições atmosféricas normais não influenciou a taxa respiratória das frutas. Dessa forma, as condições de armazenamento, cultivar e período de armazenamento são fatores cruciais na definição da taxa respiratória das frutas.

A perda de massa em frutas é um processo natural impulsionado pela transpiração e respiração, que são intensificadas em ambientes com altas

temperaturas e baixa umidade relativa, resultando em efeitos diretos na qualidade visual e sensorial das frutas (Chitarra & Chitarra, 2005; Costa et al., 2011; Rego et al., 2023).

No presente estudo todas as embalagens de AM e a embalagem com absorção de etileno testadas apresentaram menor perda de massa em comparação as frutas sem embalagem. A redução da perda de massa pela utilização das embalagens de AM, já é bem documentada na literatura. Emanuel et al. (2018) ao utilizaram embalagens semelhantes a esse estudo no armazenamento de arilos de Akee observaram que as frutas controle, sem embalagem, exibiram maior perda de massa nas combinações de armazenamento a 15°C por 5 dias, 10°C por 10 dias ou a 5°C por 10 dias. Bunkar et al. (2023) também observaram os mesmos resultados com as mangas 'Banarasi Langra' com uma redução de perda de 5,2 g das frutas armazenadas em embalagem quando comparadas ao controle.

A maior umidade relativa proporcionada pelas embalagens de AM cria um microambiente que inibe a transpiração e reduz a taxa metabólica das frutas. Esses fatores combinados resultam em uma menor perda de massa durante o armazenamento. A eficácia das embalagens AM se deve, em grande parte, a esses mecanismos. Esse resultado ressalta os benefícios da utilização das embalagens de AM para prolongar a vida útil pós-colheita das mangas 'Palmer', mantendo sua qualidade sensorial e comercial por mais tempo.

A firmeza em frutas está intrinsecamente ligada à sua qualidade de consumo, influenciando diretamente a experiência do consumidor ao interagir com o alimento. A manga apresenta um amolecimento acentuado durante o amadurecimento, que é causado principalmente pela degradação da parede celular que sofrem alterações fisiológicas (Bunkar et al, 2024). Essa degradação ocorre devido à ação de enzimas como a poligalacturonase e a pectinametilesterase, que "quebram" as estruturas responsáveis pela firmeza da fruta. Além disso, a desidratação da fruta também contribui para a perda de firmeza ao reduzir o turgor celular, pressão exercida pelo conteúdo da célula contra a parede celular (Liu et al., 2023).

Neste estudo, observamos que a firmeza da polpa das mangas variou ao longo do armazenamento. No entanto, não foram identificadas diferenças significativas entre os tratamentos aplicados. Esse resultado contrasta com os dados referentes à perda de massa, na qual um menor percentual de perda de

água geralmente está associado a uma maior firmeza. A ausência de diferença estatística na firmeza pode ser explicada por diversos fatores, como as condições de cultivo das frutas e o tempo de armazenamento relativamente curto. Estudos anteriores mostram que a redução dos níveis de O₂ no ambiente de armazenamento tem efeito significativo sobre a manutenção da firmeza da polpa de mangas apenas após períodos superiores a 30 dias em ambiente refrigerado (Santos et al., 2023). Desta forma, apesar das embalagens não terem apresentado efeito na manutenção da firmeza de polpa até 28 dias de refrigeração, o uso de AM pode ter efeito significativo para períodos superiores, visando mercados ainda mais distantes.

O ângulo Hue é um parâmetro ideal para monitorar a mudança de coloração de fundo da casca da manga, indicando a transição de verde para amarelo, conforme o amadurecimento avança. Essa alteração é resultado da degradação da clorofila e do aumento da síntese de carotenoides, como sugerido por Bunkar et al. (2024).

A presença de pigmentos verdes na casca da manga é um dos principais indicadores visuais de maturação para os consumidores, influenciando diretamente a decisão de compra. A redução da degradação da clorofila presente na casca apresentou resultado satisfatória apenas aos 28+4 dias de vida de prateleira de mangas colhidas na safra de verão, enquanto para as modificações do ângulo hue da polpa os resultados positivos com a utilização das embalagens de AM apareceram apenas no armazenamento refrigerado a 9°C por 28 dias.

Teixeira e Durigan (2011) relataram que baixas concentrações de O₂ não influenciaram significativamente a alteração da cor da manga 'Palmer' durante o armazenamento refrigerado. Por outro lado, Souza et al. (2024) observaram que a modificação da atmosfera impactou a evolução da cor, tanto da casca quanto da polpa, durante o armazenamento refrigerado. No entanto, ao transferir as mangas para temperatura ambiente, as armazenadas em atmosfera controlada dinâmica não apresentaram diferença na degradação da clorofila em comparação com aquelas armazenadas apenas sob refrigeração. Esses resultados indicam que, assim como a taxa respiratória, a eficácia das embalagens de AM é influenciada por fatores fisiológicos e ambientais, como as condições de cultivo e as temperaturas de armazenamento.

A matéria seca da manga corresponde à porção sólida da fruta, composta por carboidratos, fibras, proteínas e minerais. Maiores teores de matéria seca

estão associados a maiores teores de sólidos solúveis nas frutas maduras, conseqüentemente, um sabor mais doce (Freitas et al., 2022). Neste estudo, as atmosferas de armazenamento utilizadas nas embalagens apresentaram efeitos significativos apenas nas mangas colhidas no verão, com maior teor de matéria seca para as frutas armazenadas sem embalagem após o período de vida útil, de 4 dias a 20°C. É importante destacar que os teores de matéria seca são dependentes do genótipo e condições de cultivo, apresentando-se estável após a colheita em condições adequadas de armazenamento e/ou transporte (Freitas et al., 2022).

Os sólidos solúveis presentes nas frutas são compostos principalmente por açúcares solúveis, os quais são provenientes principalmente do amido presente nas frutas na colheita (Brecht, 2019; Ntsoane et al., 2022). E o teor de matéria seca nas frutas, influencia diretamente os teores de sólidos solúveis, pois a matéria seca na colheita é em grande parte representada pelo teor de amido. A manga se caracteriza pela predominância dos ácidos cítrico, succínico, málico e tartárico (Nordey et al., 2016; Liu et al., 2023). A relação entre os sólidos solúveis (principalmente açúcares) e os ácidos orgânicos confere à manga seu sabor característico, que se modifica à medida que o amadurecimento avança.

As embalagens utilizadas não influenciaram os níveis de sólidos solúveis e acidez titulável nas mangas, não sendo observados efeitos significativos em ambas as colheitas. De acordo com Salveit (2019), os ácidos orgânicos são substratos importantes para a respiração celular. Desta forma, os dados obtidos indicam que as embalagens não afetaram estes parâmetros de qualidade da fruta. Esses resultados se assemelham ao encontrado por Bender & Brecht (2000) em que o uso de diferentes atmosferas não impactou significativamente nas mudanças da firmeza, nos níveis de açúcares e no amido em mangas armazenadas. Ao utilizarem as embalagens de AM em mangas 'Tommy Atkins', Brecht, et al. (2024) também não encontraram efeitos significativos para SS e AT.

A manga é uma fruta suscetível a diversos problemas pós-colheita que ocasionam perdas e dentre eles os distúrbios fisiológicos. Esses podem surgir através de fatores pré ou pós-colheita, resultando em processos fisiológicos anormais que se manifestam durante o manuseio pós-colheita. Tais distúrbios se caracterizam por lesões nos tecidos, como quebras ou necroses (Brecht, 2019; Ullah, 2024).

Os distúrbios mais frequentes observados neste estudo foram o nariz mole e a semente gelatinosa, ambos associados ao amadurecimento irregular das frutas. O nariz mole é uma desordem caracterizada pelo amadurecimento acelerado do mesocarpo na extremidade apical da fruta, resultando no amolecimento e amarelecimento da polpa nessa região (Shivashankar, 2014; Brecht, 2019). Enquanto a semente gelatinosa, por sua vez, é um distúrbio fisiológico caracterizado pelo amolecimento do tecido adjacente ao endocarpo, conferindo-lhe uma aparência gelatinosa. Essa alteração ocorre devido a um desenvolvimento anormal da fruta, que leva a um amadurecimento excessivo e desuniforme da polpa (Brecht, 2019; Ullah et al., 2024).

Já a podridão peduncular tem início com a infecção dos ramos da planta por fungos patogênicos, que se propagam para as gemas florais durante o desenvolvimento das flores, colonizando as frutas ainda em formação. Quando as condições ambientais são favoráveis, especialmente em ambientes de alta umidade, o fungo se desenvolve rapidamente, provocando uma lesão escura e amolecida na região de inserção do pedúnculo. Essa lesão se expande rapidamente, comprometendo toda a polpa e resultando no apodrecimento da fruta (Batista et al., 2016).

A utilização de embalagens de AM demonstrou eficácia no controle da incidência de 'nariz mole' em mangas, uma desordem fisiológica caracterizada pelo amadurecimento precoce e anormal da polpa. Esse efeito benéfico deve-se ao retardo do processo de amadurecimento induzido pela modificação da atmosfera gasosa dentro das embalagens de AM.

5 CONCLUSÕES

A composição atmosférica gerada pelas diferentes embalagens de AM demonstrou ser influenciada pela época de cultivo de mangas 'Palmer'.

As embalagens BWC, com e sem filtro de absorção de etileno, foram as que mais se aproximaram das condições atmosféricas ideais para a manutenção da qualidade pós-colheita de mangas 'Palmer'.

A utilização de filtros e embalagens absorvedora de etileno não resultou em efeitos significativos na conservação da qualidade pós-colheita das frutas.

As embalagens de AM inibiram o amadurecimento, conforme indicado pelo índice DA, assim como reduziram a incidência de nariz mole e a perda de massa das mangas 'Palmer' durante 28 dias de armazenamento à 9°C.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer as empresas Argofruta Comercial Exportadora Ltda., Ibacem Agrícola, Comércio e Exportação Ltda. e Special Fruit pelo fornecimento das frutas utilizadas nas pesquisas, assim como a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa (Processo: APQ-1046-5.01/22), pela bolsa do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional fornecida a coorientadora deste trabalho (Processo: APQ-0015-5.01/23), assim como pela bolsa de mestrado fornecida para a autora do trabalho (Processo: IBPG-1684-5.01/22). Os autores também gostariam de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa fornecida ao orientador deste trabalho (Processo: 305222/2023-6) e pelo apoio financeiro realizado por meio do programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) (Processo: 408855/2024-0).

REFERÊNCIAS

ABRAFRUTAS. Associação Brasileira dos Produtores Exportadores de Frutas e Derivados. **Exportações de manga batem recorde em 2023**. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2023/12/exportacoes-de-manga-batem-recorde-em-2023/>. Acesso em: 10 abr. 2024.

BAMBALELE, N.; MDITSHWA, A.; TESFAY, S. Avanços recentes em tecnologias pós-colheita de manga: uma revisão. **Revista Internacional de Ciência de Frutas**, v. 1, p. 2021, 2021.

BATISTA, D. C.; TERAQ, D.; TAVARES, S. C. C. H.; BARBOSA, M. A. G. Importância, sintomatologia, epidemiologia e manejo da podridão-peduncular e morte-descendente na cultura da mangueira. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**, 24.; 2016, São Luís. Fruticultura: fruteiras nativas e sustentabilidade. São Luís: 1 SBF, 2016. p. 219-223. (Embrapa Semiárido. Documentos, 238). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087947/1/CTE118.pdf>.

BENDER, R. J.; BRECHT, J. K.; SARGENT, S. A. Low storage temperature for tree ripe mangoes under controlled atmospheres with elevated CO₂ concentrations. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, p. 1161–1166, 2021.

BENDER, R. J.; BRECHT, J. Respiração e produção de etanol e de etileno em mangas armazenadas sob diferentes concentrações de dióxido de carbono e oxigênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 865–871, 2000.

- BRECHT, J.K. Mango. In: FREITAS, S.T.; PAREEK, S. **Postharvest Physiological Disorders in Fruits and Vegetables**. Boca Raton: CRC Press, p.443–466, 2019.
- BRECHT, J.K.; CHAU, K.V.; FONSECA, S.C.; OLIVEIRA, F.A.R.; SILVA, F.M.; NUNES, M.C.N.; BENDER, R.J. Manutenção de condições atmosféricas ótimas para frutas e vegetais ao longo da cadeia de manuseio pós-colheita. **Postharvest Biol. Technol.**, v.27, p. 87–101, 2003.
- BUNKAR, D.S.; MEENA, K.K. GOYAL, S.K. Effect of modified atmospheric packaging on physico-chemical properties and puncture strength of Banarasi Langra mango (*Mangifera indica*). **Asian Journal of Dairy and Food Research**, v. 42, p. 267-272, 2023.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e Manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.
- COSTA, A.; RIOS, L.; KOBLITZ, M. Uso de atmosfera controlada e modificada em frutos climatéricos e não-climatéricos. **SITIENTIBUS Série Ciências Biológicas**, v. 11, p. 1-7, 2011.
- COSTA, J. D. S.; NETO, A.F.; COSTA, M.S.; ALMEIDA, F.A.C. Conservação de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob passiva atmosfera modificada. **Rev. Caatinga**, v. 31, p. 117-125, 2018.
- COSTA, J. G.; SANTOS, C. A. F. Cultivo da Mangueira. Portal Embrapa, 2004. Disponível em http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmanga/cultivares.htm. Acesso em: 20 abr. 2024.
- FREITAS, S. T., GUIMARÃES, Í. T.; VILVERT, J. C.; AMARAL, M. H. P., BRECHT, J. K.; MARQUES, A. T. B. Mango dry matter content at harvest to achieve high consumer quality of different cultivars in different growing seasons. **Postharvest Biology and Technology**, v. 189, p. 1-8, 2022.
- KIST, B. B.; SANTOS, C. E.; CARVALHO, C.; BELING, R. R. **Anuário Brasileiro de Horti & Fruti**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2019. Disponível em: <https://editoragazeta.com.br/anuario-brasileiro-de-hortifrutif-2019/>
- LEBAKA, V.R.; WEE, Y.J.; YE, W.; KORIVI, M. Composição nutricional e compostos bioativos em três diferentes partes do fruto da manga. **Revista Internacional de Pesquisa Ambiental e Saúde Pública**, v. 18, p. 1-20, 2021.
- LIMA, M. A. C.; TRINDADE, D. C. G.; SANTOS, A. C. N.; PAES, P. C. Armazenamento refrigerado de manga 'Tommy Atkins' sob atmosfera modificada (Smartbag™). In: **V Congresso Iberoamericano de Tecnología postcosecha y Agroexportaciones**. Tecnología, calidad y seguridad hortofrutícola. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2007.
- LIU, B.; XIN, Q.; ZHANG, M.; CHEN, J.; LU, Q.; ZHOU, X.; LI, X.; ZHANG, W.; FENG, W.; PEI, H. Research progress on postharvest ripening physiology and regulatory technologies of mango. **Foods**, v.12, p. 1-25, 2023.

NORDEY, T.; MATHIEU, L.; GENARD, M.; JOAS, J. Factors affecting ethylene and carbon dioxide concentrations during ripening: Incidence on final dry matter, total soluble solids content and acidity of mango fruit. **Journal of Plant Physiology**, v. 196, p. 70-78, 2016 .

NTSOANE, M.L.; LUCA, A.; ZUDE-SASSE, M.; SIVAKUMAR, D.; MAHAJAN, P.V. Impact of low oxygen storage on quality attributes including pigments and volatile compounds in 'Shelly' mango. **Sci. Hortic.**, v. 250, p. 174-183, 2019.

NTSOANE, M. L.; ZUDE-SASSE, M.; SIVAKUMAR, D. Avaliação da qualidade e tecnologia pós-colheita da manga: uma revisão do seu estado atual e perspectivas futuras. **Scientia Horticulturae**, v. 30, p. 2019, 2019.

OBSERVATÓRIO MERCADO DE MANGA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/observatorio-da-manga-2023>. Acesso em: 10 abr. 2024.

RÊGO, E. R.; FERREIRA, A. P. S.; RÊGO, M. M.; FINGER, F. L. Fisiologia e manejo pós-colheita de flores, frutos e hortaliças [recurso eletrônico]. João Pessoa: Editora UFPB, 2023. E-book. Disponível em: <http://www.editora.ufpb.br/sistema/press/ISBN:978-65-5942-213-5>.

SALTVEIT, M. E. Respiratory metabolism. In: YAHIA, E.; CARRILLO-LOPEZ, A. (Eds.), **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**. Woodhead Publishing, Sawston, pp. 73–91, 2019.

SANTOS, L. F.; VILVERT, J. C.; SOUZA, T. A. de, ALVES, J. S.; RIBEIRO, T. S.; NEUWALD, D. A.; FREITAS, S. T. Minimum O₂ levels during storage to inhibit aerobic respiration and prolong the postharvest life of 'Tommy Atkins' mangoes produced in different growing seasons. **Scientia Horticulturae**, v. 318, p.112094, 2023.

SINGH, Z.; ZAHARA, S. Controlled Atmosphere Storage of Mango Fruit: Challenges and Thrusts and Its Implications in International Mango Trade. **Acta Horticulturae**, v.1066, p. 179-19, 2015.

STEFANELLI, D.; FRISINA, C. The DA-Meter, from theory to practice. **Australina Stonefruit Grower**, p.36-40, 2016.

SUMUAL, M. F.; SINGH, Z.; SINGH, S. P.; TAN, S. C. Fruit ripening and quality of 'Kensington Pride' mangoes following the controlled atmosphere storage. **Jurnal Teknologi Pertanian**, v. 8, p. 1-8, 2017.

TEIXEIRA, G. H. A.; DURIGAN, J. F. Storage of 'Palmer' mangoes in low-oxygen atmospheres. **Fruits**, v. 66, p. 279–289, 2011.

TEIXEIRA, G.H. A.; SANTOS, L.O.; JÚNIOT, L.C.C.; DURIGAN, J. F. Effect of carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂) levels on quality of 'Palmer' mangoes under controlled atmosphere storage. **J. Food Sci. Technol.**, v. 55, p. 145-156, 2017.

TURONI. Ficha técnica: DA METER, Teste não destrutivo de maturação de frutas. Forlì – Italy. 2024

WARNER, G. Uma maneira fácil de testar a maturidade (DA-meter), Good Fruit Grower, 2014.

WEI, S.; MEI, J.; XIE, J. Effects of different carbon dioxide-modified atmosphere packaging and low-temperature storage at 13 °C on the quality and metabolism in mango (*Mangifera indica* L.). **Agriculture**, v.11, p. 1-11, 2021

YAHIA, E. M.; CARRILLO-LÓPEZ, A.; SAÑUDO, A. Physiological disorders and their control. **Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities**, v.1, p. 499–527, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a utilização das embalagens de AM as mangas 'Tommy Atkins' apresentaram uma maior alteração da composição atmosférica em comparação com as mangas 'Palmer', conforme resultados obtidos de maior consumo de O_2 e produção de CO_2 no interior das embalagens. Entretanto, a composição interna das embalagens das mangas 'Palmer' exibiu uma maior influência da safra de cultivo.

De forma geral, embalagens de AM mostraram-se uma alternativa promissora para prolongar a vida útil das mangas 'Tommy Atkins' e 'Palmer' destinadas para exportação para mercados distantes, pois é de fácil aplicação e não exige equipamentos ou mão de obra especializada. No entanto, são necessários estudos adicionais para ajustar a atmosfera ideal de forma eficaz para cada cultivar e época de cultivo, garantindo a manutenção de todas as variáveis de qualidade pós-colheita das frutas.