

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA (UNEB)
Pró-Reitoria de Pesquisa e Ensino de Pós-Graduação (PPG)
Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais (DTCS)
Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Horticultura Irrigada (PPGHI)

NILO RICARDO CORRÊA DE MELLO JÚNIOR

**EFICIÊNCIA DE EMBALAGENS DE ATMOSFERA MODIFICADA E
ABSORÇÃO DE ETILENO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-
COLHEITA DE MANGAS ‘KEITT’ E ‘ATAULFO’**

JUAZEIRO-BA
2025

UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA (UNEB)
Pró-Reitoria de Pesquisa e Ensino de Pós-Graduação (PPG)
Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais (DTCS)
Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Horticultura Irrigada (PPGHI)

NILO RICARDO CORRÊA DE MELLO JÚNIOR

**EFICIÊNCIA DE EMBALAGENS DE ATMOSFERA MODIFICADA E ABSORÇÃO
DE ETILENO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE
MANGAS ‘KEITT’ E ‘ATAULFO’**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Horticultura Irrigada da Universidade do Estado da Bahia (PPGHI-UNEB/DTCS), como requisito final para a concessão do título de Mestre em Agronomia, com ênfase na Área de Concentração em Horticultura Irrigada.

Orientador: Sérgio Tonetto de Freitas

Coorientadora: Luana Ferreira dos Santos

JUAZEIRO-BA
2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pelo SISB/UNEB.
Dados fornecidos pelo próprio autor.

J99e

Júnior, Nilo Ricardo Corrêa de Mello

EFICIÊNCIA DE EMBALAGENS DE ATMOSFERA MODIFICADA E ABSORÇÃO DE ETILENO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MANGAS 'KEITT' E 'ATAULFO' / Nilo Ricardo Corrêa de Mello Júnior. Orientador(a): Sérgio Tonetto de Freitas. Coorientador(a): Luana Ferreira dos Santos. Juazeiro, 2025.
110 p : il.

Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade do Estado da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Horticultura Irrigada - PPGHorti, Juazeiro. 2025.

Contém referências, anexos e apêndices.

1. Embalagem de atmosfera modificada. 2. Etileno. 3. Transporte. 4. Desordens fisiológicas. I. Freitas, Sérgio Tonetto de. II. Santos, Luana Ferreira dos. III. Universidade do Estado da Bahia. Juazeiro. IV. Título.

CDD: 631

FOLHA DE APROVAÇÃO
"EFICIÊNCIA DE EMBALAGENS DE ATMOSFERA MODIFICADA E ABSORÇÃO
DE ETILENO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MANGAS
‘KEITT’ E ‘ATAULFO’"

Nilo Ricardo Corrêa de Mello Júnior

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Horticultura Irrigada – PPGHI, em 26 de fevereiro de 2025, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Agronomia: Horticultura Irrigada pela Universidade do Estado da Bahia, conforme avaliação da banca examinadora:

Professor Dr. Sérgio Tonetto de Freitas
Uneb/Embrapa
Doutorado em Biologia de Plantas
Universidade da Califórnia - Davis

Documento assinado digitalmente
 **SERGIO TONETTO DE FREITAS**
Data: 26/03/2025 11:24:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. Luana Ferreira dos Santos
Embrapa
Doutorado em Agronomia
Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente
 **LUANA FERREIRA DOS SANTOS**
Data: 26/03/2025 14:37:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professora Dra. Thalita Passos Ribeiro
Univasf
Doutorado em Agronomia/Fitotecnia
Universidade Federal Rural do Semiárido

Documento assinado digitalmente
 **THALITA PASSOS RIBEIRO ARAUJO**
Data: 26/03/2025 13:47:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Professor Dr. Alessandro Carlos Mesquita
Uneb
Doutorado em Agronomia
Universidade Federal de Lavras

Documento assinado digitalmente
 **ALESSANDRO CARLOS MESQUITA**
Data: 26/03/2025 17:22:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

"A vida da gente muda a partir de encontros notáveis que a gente tem."
— Karla Akotirene

Dedico

A Deus,
Ao meu avô, José Ribeiro, (*in memoriam*),
A minha mãe e irmã, Nuely Souza e Fabrícia Evellyn.

Agradecimentos

Nada do que sou ou conquistei seria possível sem a valiosa ajuda e colaboração de todos vocês. Grandes resultados nunca são feitos sozinhos, e por isso, expresso minha mais profunda gratidão.

Agradeço, em primeiro lugar, à educação, que foi o alicerce da minha caminhada e a luz que iluminou cada passo. Foi ela que me libertou das amarras da ignorância, que me tirou de lugares sombrios e difíceis, onde o horizonte parecia limitado, e me mostrou que o conhecimento é a chave para transformar a realidade. A educação me deu asas para voar sobre meus próprios medos, me levou a lugares que eu jamais poderia imaginar e me deu coragem para sonhar e realizar. Sem ela, não teria conhecido o poder da curiosidade, da resiliência e da transformação pessoal. Por isso, este momento não é apenas uma conquista acadêmica, mas um tributo à força do aprendizado e àqueles que, direta ou indiretamente, me ensinaram a acreditar que o impossível pode ser conquistado quando se tem acesso ao conhecimento.

Agradeço profundamente à minha mãe e à minha irmã, meu porto seguro, meu refúgio e lugar de paz. Vocês sempre foram o meu ponto de retorno, onde encontro acolhimento, força e amor incondicional. Obrigado por acreditarem em mim nos momentos em que até eu duvidei, por confiarem nos meus sonhos e me incentivarem a ser uma versão melhor de mim todos os dias. Cada palavra de apoio, cada gesto de carinho e cada demonstração de fé na minha jornada foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui. Sem vocês, este caminho seria muito mais difícil.

Ao meu pai, por me apoiar.

Ao meu orientador, Sérgio Tonetto, um verdadeiro agente de transformação na vida das pessoas. Agradeço por sua paciência, que me guiou nos momentos desafiadores, e por despertar em mim o desejo de crescer, de buscar a excelência e de realizar um trabalho bem feito. Sou profundamente grato por todo o suporte, incentivo e apoio constante durante esses dois anos de orientação, foram fundamentais para minha jornada.

A minha coorientadora e amigos do laboratório de fisiologia pós-colheita Luana, Tassiane, Sandy, Jasciane, Bruna, Caio, Mikaele e Micaele. Esse trabalho não seria possível sem a colaboração de vocês, muito obrigado.

A Clóvis e Jamerson, amigos que a vida me deu. Sou muito grato pela amizade e parceria de vocês. Obrigado por sempre me impulsionarem a evoluir.

Aos meus amigos que a pós-graduação me deu, Glória, Isa, Camila, Carmem.

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.

Gostaria de expressar minha imensa gratidão à banca avaliadora, tanto da qualificação, quanto da defesa. À Professora Karla Melo, ao Professor Alessandro Mesquita e à Professora Thalita Passos, meu mais sincero agradecimento por todas as valiosas contribuições ao meu trabalho.

A Embrapa Semiárido, meu sincero agradecimento por disponibilizar a infraestrutura e o suporte necessário para a realização desta pesquisa. A contribuição da instituição foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho e para o avanço do conhecimento científico.

As empresas Argofruta Comercial Exportadora Ltda., Ibacem Agrícola, Comércio e Exportação Ltda. e Special Fruit registro minha mais sincera gratidão pela concessão das mangas utilizadas nesta pesquisa, uma contribuição indispensável para a realização deste trabalho. A colaboração não apenas viabilizou esta etapa essencial, mas também evidenciou o compromisso de ambas as empresas com o desenvolvimento científico. Vocês desempenharam um papel fundamental no avanço das pesquisas relacionadas às tecnologias pós-colheita em nosso país, promovendo a inovação e o aprimoramento de práticas que impactam positivamente a agricultura nacional. Meu muito obrigado por essa parceria tão significativa.

A CAPES, pelo fundamental incentivo aos novos pesquisadores por meio de seus recursos, promovendo o avanço do conhecimento e o desenvolvimento científico no país.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	A manga.....	15
2.2	Variedade Ataulfo.....	16
2.3	Variedade Keitt.....	16
2.4	Produção de manga no Brasil e importância econômica.....	17
2.5	Mercado externo	18
2.6	Maturação e qualidade pós-colheita	19
2.7	Embalagem de atmosfera modificada.....	20
2.8	O ₂ , CO ₂ e Etileno.....	20
3	REFERÊNCIAS	24
	CAPÍTULO 2.....	31
	EFICIÊNCIA DE EMBALAGENS DE ATMOSFERA MODIFICADA E	
	ABSORÇÃO DE ETILENO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA	
	DE MANGA ‘KEITT’	31
	RESUMO	31
1	INTRODUÇÃO.....	32
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	33
2.1	MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS	33
2.1.1	Variáveis Analisadas	34
2.1.2	Matéria seca (MS)	34
2.1.3	Perda de massa	35
2.1.4	Índice de maturação.....	35
2.1.5	Firmeza de polpa (FP)	35
2.1.6	Determinação dos gases.....	35
2.1.7	Sólidos Solúveis (SS)	35
2.1.8	Acidez titulável (AT).....	35
2.1.9	Relação sólidos solúveis/ acidez titulável	36
2.1.10	Taxa Respiratória.....	36
2.1.11	Cor de casca e polpa	36
2.1.12	Incidência de desordens fisiológicas	36
2.1.13	Delineamento experimental	37
3	RESULTADOS	37
4	DISCUSSÃO	48
5	CONCLUSÕES.....	58
6	AGRADECIMENTOS	58
7	REFERÊNCIAS	59
8	APÊNDICES	65
	CAPÍTULO 3.....	67

**EFICIÊNCIA DE EMBALAGENS DE ATMOSFERA MODIFICADA E
ABSORÇÃO DE ETILENO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA
DE MANGA ‘ATAULFO’ 67**

RESUMO 67

1 INTRODUÇÃO 68

2 MATERIAL E MÉTODOS 70

2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS 70

2.1.1 Variáveis Analisadas 71

2.1.2 Determinação dos gases 71

2.1.3 Matéria seca (MS) 71

2.1.4 Perda de massa 71

2.1.5 Índice de maturação 71

2.1.6 Firmeza de polpa (N) 71

2.1.7 Acidez titulável (AT) 72

2.1.8 Sólidos Solúveis (SS) 72

2.1.9 Relação Sólidos solúveis/Acidez titulável 72

2.1.10 Taxa respiratória 72

2.1.11 Cor de casca e polpa 72

2.1.12 Incidência de desordens fisiológicas 73

2.1.13 Delineamento experimental 73

3 RESULTADOS 74

4 DISCUSSÃO 90

5 CONCLUSÕES 98

6 AGRADECIMENTOS 98

7 REFERÊNCIAS 100

8 APÊNDICE 108

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO II

Figura 1. Exemplos das desordens fisiológicas avaliadas.....	37
Figura 2. Níveis de O ₂ , CO ₂ e etileno (μL L ⁻¹) no interior das embalagens contendo mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	39
Figura 3. Perda de peso de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	40
Figura 4. Firmeza de polpa e índice de maturação de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	41
Figura 5. Matéria seca de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	42
Figura 6. Sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	43
Figura 7. Taxa respiratória (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹), °Hue da casca e polpa de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	44
Figura 8. Incidência de distúrbios fisiológicos de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	45
Figura 9. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis físico-químicas de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	47

CAPÍTULO III

Figura 1. Exemplos das desordens fisiológicas avaliadas.....	73
Figura 2 Níveis de O ₂ , CO ₂ e etileno (μL L ⁻¹) no interior das embalagens contendo mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	77
Figura 3. Perda de massa de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	78
Figura 4. Firmeza de polpa e índice de maturação de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	80
Figura 5. Matéria seca de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	81
Figura 6 Sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT maturação de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	83
Figura 7. Taxa respiratória (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	84
Figura 8. °Hue da casca e polpa de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	85
Figura 9. Incidência de distúrbios fisiológicos de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	87
Figura 9. Projeção bidimensional dos resultados obtidos após o armazenamento para a análise de componentes principais I e II de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O ₂ , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características de qualidade das mangas ‘Keitt’ na colheita de inverno e verão.....	38
Tabela 2. Características de qualidade inicial das mangas ‘Ataulfo’ na colheita de outono de 2023 e outono de 2024.....	75

1 INTRODUÇÃO

A fruticultura desempenha um papel significativo no desenvolvimento social e econômico do Brasil, proporcionando emprego para aproximadamente 5,6 milhões de pessoas. Nos últimos anos, o setor tem ganhado destaque nas balanças comerciais. Segundo a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (Abrafrutas), em 2023, o Brasil exportou aproximadamente 300 mil toneladas de mangas, totalizando US\$ 275 milhões, o que representou um crescimento de 10% em relação ao ano anterior. Além disso, a manga está entre as frutas mais produzidas no país, sendo um dos destaques na produção nacional (Anuário brasileiro da fruticultura, 2023).

A manga (*Mangifera indica* L.) destaca-se mundialmente pelo sabor excepcional e alto valor nutricional, o que a impulsiona seu consumo e comercialização em todo o mundo. Atualmente, a manga é cultivada em mais de 100 países, especialmente em regiões tropicais e subtropicais, com destaque para a produção na Índia, China, Tailândia, Indonésia e México (Fao, 2021).

O Brasil se destaca internacionalmente devido à sua significativa produção e exportação de produtos agrícolas, com destaque especial para o segmento de frutas. O Nordeste brasileiro, devido ao seu clima quente e seco, combinado com as novas técnicas de irrigação, transformou o semiárido em um dos principais polos da fruticultura no Brasil. Destaca-se a região do Submédio do Vale do São Francisco, com ênfase nas cidades de Juazeiro e Petrolina, que continuam sendo os maiores produtores e exportadores de mangas do Brasil, sendo que em 2022, a produção atingiu 676.322 toneladas, gerando uma receita total de R\$ 1,2 bilhão (Ibge, 2022).

A produção de manga destinada à exportação e ao abastecimento do mercado interno geralmente emprega sistemas tecnificados, frequentemente irrigados, e ocupa áreas extensas, visando variedades selecionadas para atender a esses públicos. Nestes sistemas, predominam as variedades de manga de origem norte-americana e com comprovada aceitação pelos mercados, especialmente para consumo *in natura* (Sebrae, 2020).

O principal período de exportação de mangas brasileiras se concentra de setembro a dezembro, período em que outros países produtores, como Equador e Peru, não estão ativos no mercado. Isso favorece a obtenção de preços compatíveis com os custos de produção e exportação da fruta. Os principais destinos das exportações incluem países da Europa e os Estados Unidos (Observatório Manga, 2022), e mais recentemente, a Coreia do Sul tornou-se um novo mercado para a manga brasileira.

É importante destacar que os mercados de exportação estão se tornando cada vez mais exigentes em relação à qualidade das frutas. Frutas tropicais e climatéricas, como as mangas, têm uma vida útil de transporte limitada a não mais que 20 a 25 dias em ambiente refrigerado. A produção de etileno e a sensibilidade a ele são fatores de grande relevância no que diz respeito ao processo global de amadurecimento das frutas. Essa substância, produzida naturalmente, é um fitormônio atuante no amadurecimento de frutas climatéricas, como a manga, que acelera a velocidade do metabolismo respiratório (Pech et al., 1994; Chaves et al., 1997) e reduz o tempo de prateleira dessas frutas. Por ser uma fruta climatérica, esses fatores estão intimamente ligados à produção de etileno e intensa respiração que levam às mudanças físicas e fisiológicas.

Esses fatores exercem influência direta sobre a preservação das frutas e suas características físico-químicas e nutricionais, resultando na possível depreciação de seu valor comercial e causando perdas econômicas (Silva et al., 2018; Nascimento et al., 2019). Essa característica de rápida deterioração pós-colheita limita a capacidade de comercialização de mangas em mercados distantes.

No entanto, estudos têm indicado o potencial de utilização de tecnologias que envolvem modificações nas concentrações de O_2 e dióxido de carbono (CO_2) no ambiente de transporte, como a atmosfera modificada (AM), para preservar a qualidade pós-colheita das mangas durante o transporte e armazenamento. Isso permite que as mangas alcancem mercados distantes com melhor qualidade e maior vida útil, ajudando a minimizar os problemas associados à sua perecibilidade (Singh, 2015; Hailu, 2016; Teixeira et al., 2018; Vilvert et al., 2023).

Dentre as tecnologias de atmosfera modificada disponíveis, diferentes tipos de embalagens podem ser utilizadas para regular as concentrações de O_2 e CO_2 no interior da embalagem, minimizando o impacto da respiração das frutas e preservando sua qualidade por mais tempo. Uma das abordagens consiste na injeção de gases, na qual o ar atmosférico dentro da embalagem é substituído por uma mistura específica, geralmente com maior teor de CO_2 e menor teor de O_2 , retardando a deterioração das frutas (Indumak, 2023). Uma alternativa é o uso de válvulas unidirecionais, que permitem a liberação de CO_2 acumulado sem permitir a entrada excessiva de O_2 , mantendo um equilíbrio atmosférico interno adequado (Indumak, 2023).

Além disso, a embalagem a vácuo pode ser utilizada para reduzir a presença de O_2 , diminuindo significativamente a oxidação e o metabolismo das frutas. No entanto, uma das abordagens mais amplamente utilizadas é a aplicação de filmes plásticos com diferentes permeabilidades aos gases, permitindo a criação de uma atmosfera modificada passiva, na qual

os próprios frutos alteram naturalmente a composição interna dos gases por meio de sua respiração, contribuindo para sua conservação (Agron Food Academy, 2023).

Considerando os desafios da conservação pós-colheita da manga e sua perecibilidade, estratégias como a atmosfera modificada têm sido amplamente estudadas para prolongar sua vida útil. A atmosfera modificada pode ser aplicada de duas formas: na modalidade passiva, os níveis de O_2 e CO_2 se ajustam gradualmente dentro da embalagem devido à respiração da fruta e à permeabilidade do material utilizado (Arruda et al., 2011) e a atmosfera modificada ativa, que consiste na introdução controlada de uma mistura gasosa específica no interior da embalagem (Oliveira et al., 2015a).

Diante disso, este estudo tem como objetivo avaliar a eficiência das embalagens de atmosfera modificada passiva na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas cultivadas na maturidade fisiológica, contribuindo para estratégias que viabilizem a exportação da fruta com menor deterioração e maiores padrões de qualidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A manga

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma fruta climatérica, caracterizada pelo aumento da taxa respiratória e da produção de etileno durante o amadurecimento, o que acelera seu metabolismo e senescência. Esse processo permite a colheita em estágio inicial de maturação, pois o amadurecimento continua após a colheita. Essa abordagem permite que os produtores colham as mangas antes de atingirem sua plena maturação, garantindo um tempo de vida útil necessário para o transporte e comercialização em mercados distantes (Fachinello e Nachtigal, 2009).

No atual contexto, a atividade da mangicultura desempenha um papel importante no desenvolvimento nacional. No entanto, ainda existem desafios a serem superados na cadeia produtiva da manga. Um dos principais problemas enfrentados pela indústria de manga é a falta de uniformidade no amadurecimento das frutas de um mesmo lote. Isso resulta na comercialização de frutas com estágios de maturação e qualidade diferentes, o que aumenta as perdas e afeta tanto o consumo quanto a comercialização, tanto no mercado interno quanto externo (Sigrist, 2004). Para garantir que as mangas cheguem aos consumidores e indústrias processadoras com a qualidade adequada, é crucial estabelecer o estágio de maturação ideal para a colheita, levando em consideração o tempo necessário para o consumo ou processamento da fruta (Marques et al., 2017).

No caso de frutas que serão transportadas e/ou armazenadas por longos períodos, é necessário colhê-las em estágios de maturação pouco avançados, porém, que tenham atingido sua maturidade fisiológica (Saranwong et al., 2004; Jha et al., 2007; Santos et al., 2008; Jha et al., 2014). Já para as frutas que serão transportadas e/ou armazenadas por curtos períodos, elas podem ser cultivadas em estágios de maturação mais avançados, garantindo uma melhor qualidade para o consumo (Jha et al., 2007; Santos et al., 2008; Jha et al., 2014).

Dentre as principais variedades que compõem a mangicultura brasileira, destacam-se as variedades Tommy Atkins, Palmer, Haden, Ataulfo, Kent, Keitt e Alphonso (Lawson et al., 2019), ao lado de variedades como Espada, Rosa, Coité, Ubá, Bourbon, Coquinho e Corações (Batista et al., 2015). Entre elas, as variedades Ataulfo e Keitt se sobressaem no mercado internacional devido à sua longa vida pós-colheita, resistência ao transporte e alta demanda, fatores essenciais para a competitividade da produção brasileira no comércio global.

2.2 Variedade Ataulfo

O México é o principal produtor da variedade de manga ‘Ataulfo’, amplamente reconhecida por suas características sensoriais marcantes, como o sabor adocicado e a textura cremosa. Em 2023, o país produziu aproximadamente 94 milhões de quilos dessa variedade, com Chiapas e Oaxaca como as principais regiões produtoras. Grande parte dessa produção é destinada à exportação, especialmente para os mercados dos Estados Unidos e Europa, evidenciando a importância econômica da ‘Ataulfo’ no cenário internacional (Emex, 2023; Fern, 2023).

Entre os atributos que tornam a ‘Ataulfo’ atrativa para o consumo destacam-se sua coloração amarelo brilhante quando madura, forma oval, textura cremosa com quase ausência de fibras e um sabor doce e intenso. Além disso, a fruta apresenta sementes proporcionalmente muito pequenas em relação ao seu tamanho (Pinto et al., 2011).

O cultivo da variedade ‘Ataulfo’ tem se expandido para outras regiões tropicais, incluindo o Brasil, particularmente no Submédio do Vale do São Francisco. As condições climáticas dessa região são ideais para a produção de mangas de alta qualidade, e a introdução da ‘Ataulfo’ no Brasil visou atender à crescente demanda internacional por frutas exóticas e premium.

No entanto, um dos principais desafios associados à produção e exportação dessa variedade é sua curta vida útil pós-colheita, o que exige o emprego de tecnologias como a atmosfera modificada (AM) para prolongar sua conservação durante o transporte (Hernández et al., 2020).

Até o momento, as pesquisas sobre o uso de atmosfera modificada para aumentar a vida útil das mangas ‘Ataulfo’ ainda são limitadas. Trabalhos como os de Mita et al. (2012) e Hernández et al. (2020) exploraram os efeitos dessa tecnologia na qualidade e conservação pós-colheita da fruta, mas ainda há uma lacuna significativa no conhecimento. Isso ressalta a necessidade de estudos mais aprofundados para compreender plenamente os benefícios e os desafios do uso dessa técnica para a variedade Ataulfo.

2.3 Variedade Keitt

A manga ‘Keitt’ foi desenvolvida na Flórida a partir da ‘Haden’ e apresenta características semelhantes à ‘Tommy Atkins’, como alta produtividade e resistência ao transporte. Esta mangueira tem ramos longos e finos e porte ereto, com a fruta de cerca de 610 g, sabor agradável (19 °Brix) e apresenta pouca fibra, sendo comercializada tanto no mercado

interno quanto no externo. A fruta não possui coloração atrativa e sua produção é tardia, fazendo com que o período de safra se prolongue (Embrapa, 2007).

Mangas 'Keitt' são grandes, podendo pesar entre 400 g e 600 g, e apresentam uma casca de coloração verde, que se mantém mesmo quando a fruta está madura. Essa característica de não apresentar mudanças significativas na cor externa durante o amadurecimento pode dificultar a identificação de seu ponto ideal de consumo. No entanto, a polpa da 'Keitt' é de excelente qualidade, sendo firme, de sabor adocicado e com baixos teores de fibras, o que a torna muito apreciada tanto para o consumo in natura quanto para a exportação (Pinto et al., 2011).

Além disso, a 'Keitt' tem grande aceitação no mercado internacional, particularmente nos Estados Unidos e na Europa, devido à sua boa conservação pós-colheita. Em condições adequadas de refrigeração e manejo pós-colheita, essa variedade pode ter uma vida útil prolongada, o que facilita sua exportação para mercados distantes (Kader, 2002). Estudos também indicam que o uso de tecnologias como atmosfera modificada (AM) pode ajudar a estender ainda mais a vida útil da 'Keitt', preservando sua qualidade durante o transporte (Singh, 2015).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2023), o Brasil tem adotado o cultivo da 'Keitt' nas regiões do Nordeste, principalmente no Submédio do Vale do São Francisco, onde o clima seco favorece sua produção e exportação. A capacidade dessa variedade de resistir a condições de transporte e o seu longo ciclo de produção a tornam uma das principais variedades cultivadas na região.

2.4 Produção de manga no Brasil e importância econômica

O Brasil ocupa, atualmente, o terceiro lugar no ranking mundial de exportação de mangas, sendo superado pela Índia, que nos últimos anos tem apresentado um crescimento expressivo no volume de exportações. Esse aumento é impulsionado pela alta demanda de frutas tropicais no mercado global, consolidando a Índia como a maior exportadora do mundo (Fao, 2021; Observatório Manga, 2023). As exportações de manga do Brasil alcançaram recordes históricos em 2023, resultando em um faturamento de cerca de US\$ 315 milhões.

Esse montante superou os US\$ 249 milhões registrados em 2021, o ano mais lucrativo até então. Houve um aumento de 15% nos volumes exportados em comparação com o ano anterior, totalizando aproximadamente 266 mil toneladas (Observatório Manga, 2023). A produção nacional é amplamente concentrada no Nordeste, representando uma parcela significativa de 74,7% do total, conforme relatado pelo IBGE em 2019. Especificamente, a

região do São Francisco Vale (VSF) se destaca como um importante polo produtor da fruta no país.

Cerca de 93% das exportações de manga do Brasil foram provenientes do Vale do Submédio São Francisco, na região Nordeste, com destaque para os estados da Bahia e Pernambuco, responsáveis por 47,36% e 45,42% das exportações, respectivamente (Observatório Manga, 2023). Essa região tem uma presença significativa na indústria, destacando-se como um dos principais polos de produção da fruta no país. Com sua produção robusta e de alta qualidade, o Submédio do Vale do São Francisco tem desempenhado um papel crucial no abastecimento do mercado internacional com manga fresca e saborosa, contribuindo de forma expressiva para a economia do Brasil (Editora Gazeta, 2015; Valeexport, 2016).

2.5 Mercado externo

O Brasil é um importante produtor e consumidor de mangas, uma fruta que está presente no país desde a época da colonização. A sua presença no país é resultado da introdução e de cruzamentos naturais de material genético trazido da Ásia pelos portugueses. Essa combinação de fatores deu origem a variedades locais, sendo as mangas do tipo Espada, Bourbon, Rosinha e Itamaracá algumas das mais destacadas (Evangelista, 2007).

Entretanto, no mercado internacional de mangas, há requisitos específicos que muitas vezes não são atendidos pelas variedades tradicionais do Brasil. Portanto, no comércio internacional, as variedades mais amplamente comercializadas são Edward, Haden, Keitt, Kent, Palmer e Tommy Atkins, todas originárias da América do Norte. Consoante o trabalho de Araújo et al. (2017), a adoção destas variedades para comércio internacional deveu-se a fatores de qualidade desejados pelo consumidor como coloração, tamanho e maior teor de sólidos solúveis, assim como maior vida útil.

A produção brasileira de mangas, em 2023, atingiu uma marca histórica de US\$ 315 milhões de faturamento em exportações, o volume exportado foi de 266 mil toneladas, 15% maior em relação ao ano anterior. Ano de 2024 começou ainda melhor que 2023, apresentando 24,5 mil toneladas ante 16,8 mil toneladas no ano anterior (Observatório Manga, 2023).

Segundo os dados da Valeexport (Campo e Negócios, 2020), em média, cada propriedade que cultiva mangas no Nordeste gera quatro empregos diretos por hectare irrigado exclusivamente para exportação. Durante o auge da safra, nos 6 mil hectares destinados à exportação, o número total de empregos alcança 24 mil, e os investimentos indiretos chegam a aproximadamente 30 mil.

2.6 Maturação e qualidade pós-colheita

A manga é uma fruta climatérica de origem tropical/subtropical. Essa característica possibilita a sua colheita antes do completo amadurecimento, isso ocorre devido a estas frutas apresentarem um pico na produção de etileno e na respiração após a colheita. Portanto, a maturidade fisiológica no momento da colheita ganha importância, uma vez que influencia diretamente a durabilidade da fruta, algo essencial para atingir mercados distantes com frutas de alta qualidade. Contudo, é crucial que essas frutas sejam cultivadas em seu ponto de maturidade fisiológica, visto que aqueles colhidos antes desse estágio acabam apresentando menor sabor e qualidade ao chegarem ao mercado final (Brecht e Yahia, 2017).

Firmeza, cor da polpa, teor de sólidos solúveis, matéria seca, acidez titulável e voláteis de aroma são atributos fundamentais associados ao processo de amadurecimento da manga. Dentre esses atributos, a cor da polpa desempenha um papel crucial como indicador de maturidade e amadurecimento. À medida que a manga amadurece, todas as variedades desenvolvem pigmentos amarelos e alaranjados, resultantes do acúmulo de carotenoides na polpa. No entanto, é importante ressaltar que as mudanças na cor da casca nem sempre estão diretamente relacionadas com a maturidade, amadurecimento ou qualidade interna da fruta (Padda et al., 2011; JHA et al., 2006; Santos et al., 2008).

Assim, se as frutas forem cultivadas significativamente antes de atingirem sua maturidade fisiológica, elas não passarão por um processo adequado de amadurecimento, resultando em sabor e qualidade comprometida (Genu et al., 2002; Rees et al., 2012). Por outro lado, ao serem cultivadas em estágio mais avançados de maturação, as frutas desenvolverão um sabor agradável e de boa qualidade, porém terão uma vida útil pós-colheita mais curta e não serão adequadas para distribuição em mercados distantes (Rees et al., 2012).

Diante desse desafio, a aplicação de técnicas de conservação torna-se essencial para equilibrar a qualidade sensorial da fruta e sua viabilidade comercial. A atmosfera modificada (AM) surge como uma estratégia eficaz para retardar a senescência da manga e prolongar sua vida útil, permitindo que as frutas mantenham suas características desejáveis por mais tempo (Singh et al., 2013). Dessa forma, a AM desempenha um papel fundamental na comercialização da manga, especialmente para mercados que exigem longos períodos de transporte e armazenamento.

2.7 Embalagem de atmosfera modificada

A técnica de embalagem com atmosfera modificada (AM) tem ganhado uma ampla adoção nos últimos anos como método de preservação, estendendo a durabilidade de diversos tipos de frutas e hortaliças (Banda et al., 2015; Mistriotis et al., 2016; Selcuk e Erkan, 2015).

No sistema de embalagem com atmosfera modificada (AM), o produto fresco consome oxigênio (O_2) e produz dióxido de carbono (CO_2) devido à respiração natural, alterando a composição de gases dentro da embalagem. A permeabilidade do material permite uma troca controlada desses gases, mantendo uma atmosfera interna onde o O_2 é reduzido e o CO_2 elevado, o que desacelera a respiração e inibe a produção de etileno.

Esse equilíbrio gasoso retarda o metabolismo e os processos de amadurecimento e senescência, reduzindo a ocorrência de doenças e preservando a qualidade e frescor do produto por mais tempo. Esses efeitos em conjunto contribuem para a preservação da qualidade, frescor e segurança microbiológica das frutas ao longo de um período prolongado (Mendoza, et al., 2016; Siddiq et al., 2020).

As atmosferas modificadas são alcançadas ao selar hermeticamente produtos frescos, os quais consomem O_2 e produzem CO_2 pelo processo respiratório, em um filme polimérico. Isso permite que a atmosfera dentro da embalagem seja modificada de forma passiva, através da interação entre a taxa de respiração do produto e as propriedades de permeabilidade do filme aos gases O_2 e CO_2 . Alternativamente, a modificação pode ser feita de maneira ativa ao introduzir deliberadamente misturas específicas de gases na embalagem antes de selá-la (Kader e Watkins, 2000; Rico et al., 2007; Mangaraj et al., 2009).

A AM também tem encontrado aplicação no controle de populações bacterianas em uma variedade de produtos alimentícios, sobretudo em itens frescos prontos para consumo. Isso se deve à alteração na composição da atmosfera dentro da embalagem, que pode resultar na diminuição da taxa respiratória de frutas e hortaliças, contribuindo para a extensão do seu período de conservação (Jerônimo et al., 2007; Altieri et al., 2018; Vilvert et al., 2023).

2.8 O_2 , CO_2 e Etileno

A respiração desempenha um papel crucial na conservação pós-colheita, variando de acordo com o tipo de tecido, estágio de desenvolvimento e teor de água das frutas. Frutas com maior teor de água em sua composição tendem a respirar mais e, conseqüentemente, possuem um tempo de conservação reduzido (Lunardi et al., 2009). Esse fenômeno ocorre porque a respiração induz à decomposição celular dos tecidos, levando ao processo de senescência. Esse

processo consome o substrato de reserva, resultando na perda de peso, que culmina no colapso dos tecidos e na sua completa deterioração (Gomes, 1996).

O efeito positivo na redução da respiração só é conseguido quando a concentração de O_2 é inferior a 10%. Entretanto, para todo tipo de produto, existe um mínimo necessário (1 a 3%) para evitar a transformação da respiração aeróbica em anaeróbica. Sob tais condições, o ácido pirúvico produzido pela via glicolítica não sofre o processo de oxidação, mas sim, uma descarboxilação, com formação de acetaldeído, CO_2 e, finalmente, etanol (Bleinroth, 1995).

Esse tipo de respiração produz modificações no sabor e no aroma dos produtos vegetais, bem como a quebra de componentes estruturais dos tecidos, com consequente amaciamento. A redução na concentração de O_2 necessária para retardar a respiração é dependente da temperatura de armazenamento do produto. O nível crítico no qual pode ocorrer respiração anaeróbica é determinado pela taxa de respiração do produto, sendo maior em temperaturas mais elevadas (Chitarra e Chitarra, 2005).

O aumento da concentração de CO_2 no ambiente da embalagem reduz a taxa respiratória de forma significativa em uma grande variedade de tecidos na fase pós-colheita, tanto em condições aeróbicas quanto anaeróbicas, mas não causa bloqueio completo. O efeito inibitório não é devido a uma injúria permanente nos tecidos, uma vez que após a remoção do CO_2 , a respiração retorna ao normal. O efeito é altamente variável de acordo com o produto; por exemplo, morangos e cerejas suportam níveis de CO_2 de até 30% (por curtos períodos), enquanto muitas hortaliças respondem melhor aos baixos níveis de O_2 quando o CO_2 está ausente ou em pequenas concentrações (Brackmann e Chitarra, 1998).

Durante o processo de amadurecimento das frutas climatéricas, a produção de etileno (C_2H_4) representa um dos processos metabólicos de maior relevância. Este composto volátil, classificado como um hormônio vegetal, é sintetizado por praticamente todas as plantas, podendo ser liberado tanto de fontes internas quanto externas, incluindo origens biológicas e não biológicas (Kader, 1992; Bleinroth, 1995; Vilas Boas, 2002). O etileno desempenha um papel crucial na regulação do amadurecimento e senescência das frutas (Vilas Boas, 2002). Nos processos fisiológicos das plantas, o etileno se destaca como um dos compostos orgânicos mais simples. Além de ser um subproduto natural do metabolismo das plantas, o etileno é gerado em todos os tecidos das plantas superiores, bem como em alguns microrganismos (Kader, 1992; Qadir et al., 1997).

A durabilidade da manga após a colheita é restrita por dois fatores principais: a alteração fisiológica resultante do amadurecimento da fruta e do crescimento de patógenos que causam deteriorações. Além disso, a perda de água das frutas pode atingir níveis que levam ao

enrugamento de mangas, afetando sua aparência e proporcionando redução no valor de mercado (Jerônimo, 2007).

O etileno pode ser controlado quando as frutas estão no estágio pré-climatérico e são armazenadas com produtos que têm a capacidade de remover esse fitormônio (Amarrante et al., 2008). A remoção do etileno tem o efeito de reduzir a taxa respiratória, o que, por sua vez, retarda o processo de amadurecimento e, conseqüentemente, reduz a perda de firmeza. O efeito da absorção de etileno sobre a redução da respiração também resulta na redução da perda de massa das frutas devido ao menor consumo de carboidratos pela via respiratória (Pfaffenbach et al., 2003).

O permanganato de potássio é um composto inorgânico formado por íons de potássio (K^+) e íons de permanganato (MnO_4^-). Este material é amplamente utilizado como absorvedor de etileno (C_2H_4) em embalagens de produtos agrícolas, desempenhando um papel essencial na conservação de frutas, como mangas. Sua ação consiste em oxidar o etileno presente no ambiente de armazenamento, transformando-o em água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), dióxido de manganês (MnO_2) e potássio (K), contribuindo para o prolongamento da vida útil dos produtos (Wills e Warton, 2004).

Reconhecido por sua poderosa ação oxidante, o permanganato de potássio é amplamente empregado na conservação de frutas durante o transporte e armazenamento, garantindo maior qualidade e frescor dos produtos até seu destino final (Caron, 2009). Pesquisas demonstraram que absorvedores de etileno contendo permanganato de potássio ($KMnO_4$) desempenham um papel crucial na remoção eficaz do etileno, resultando no retardo do amadurecimento de diversas variedades de frutas climatéricas (Amarante et al., 2009), tais como banana (Chauhan et al., 2006), kiwi (Zhang, 2002), manga (Illeperuma e Jayasuriya, 2002; Jeronimo et al., 2007; Santos et al., 2023; Dias et al., 2023), abacate (Illeperuma e Nikapitiya, 2002; Chunyu e Abdellah, 2022), nêspira (Campos et al., 2007), caqui (Ferri e Rombaldi, 2004), pêra-japonesa (Szczerbanik et al., 2004) e maçãs (Shorter et al., 1992; Brackmann et al., 1995 e 2006), goiabas (El-Anany e Hassan, 2013).

Após reagir com o etileno, o composto sofre uma mudança de cor, passando do violeta ao marrom, indicando sua oxidação e a necessidade de substituição dos sachês. É importante destacar que seu uso deve ser rigorosamente controlado para evitar a presença de resíduos indesejáveis nas frutas, garantindo a segurança alimentar e atendendo às normas de qualidade do produto (Koushki et al., 2016).

Uma alternativa amplamente adotada para prolongar a vida útil e preservar a qualidade pós-colheita de frutas climatéricas é a aplicação de filtros com tecnologia "It's Fresh!". Estudos

de Elmi et al. (2013) e Brecht et al. (2016) comprovam a eficácia desses filtros na redução das concentrações de etileno em ambientes de armazenamento, evidenciando seu papel crucial na desaceleração do amadurecimento e na mitigação da deterioração. Como descrito por Chitarra e Chitarra (2005), o etileno presente no ambiente atua como um acelerador do amadurecimento e da senescência em frutas climatéricas, tornando essencial o uso de tecnologias que removem ou inibem este gás para a manutenção da qualidade desses produtos durante o armazenamento.

O material e+® ativo, presente nos filtros "It's Fresh!", destaca-se por sua elevada capacidade de adsorção de etileno, particularmente em condições de alta umidade relativa e baixa temperatura. Estudos conduzidos por Terry et al. (2007) e Smith et al. (2009) demonstram a eficácia do e+® ativo na redução tanto de etileno exógeno quanto endógeno em frutas como abacates. Comparativamente, o tratamento com permanganato de potássio (KMnO_4), tradicionalmente utilizado para o controle de etileno, mostrou-se significativamente menos eficaz em experimentos laboratoriais (Terry et al., 2007).

3 REFERÊNCIAS

- ALTIERI, G., GENOVESE, F., MATERA, A., TAURIELLO, A., RENZO, G.C.D. Characterization of an innovative device controlling gaseous exchange in packages for food products. *Postharvest Biology and Technology*, v.138, p.64-73, 2018.
- GENU, P.J.C., PINTO, A.C.Q. A cultura da mangueira. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002.
- AMARANTE, C.V.T., STEFFENS, C.A. Sachês adsorvedores de etileno na pós-colheita de maçãs 'Royal Gala'. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.31, p.71-77, 2009.
- AMARANTE, C.V.T., STEFFENS, C.A., DUCROQUET, J.P.H.J., SASSO, A. Qualidade de goiaba serrana em resposta à temperatura de armazenamento e ao tratamento com 1-metilciclopreno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.43, p.1683-1689, 2008.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA. (2023). Análise da produção de frutas no Brasil. Acesso em: 22/09/2024.
- AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International. 19 ed. Gaithersburg, MD, USA, 2012.
- ARAÚJO, D.D.O., MORAES, J.A.A., CARVALHO, J.L.M.D. Fatores determinantes na mudança do padrão de produção e consumo da manga no mercado nacional. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 10, p. 51-73, 2017.
- ARRUDA, M. C., JACOMINO, A. P., TREVISAN, M. J., JERONIMO, E. M., MORETTI, C. L. Atmosfera modificada em laranja 'Pera' minimamente processada. *Tecnologia de Pós-Colheita*. Bragantia, v. 70, p. 664-671, 2011.
- BANDA, K., CALEB, O.J., JACOBS, K., OPARA, U.L. Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful). *Postharvest Biology and Technology*, v.109, p.97-105, 2015.
- BLEINROTH, E.W. Determinação do ponto de colheita. In: – FRUPEX. Mamão para exportação: Procedimentos de Colheita e Pós-Colheita. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. EMBRAPA, Brasília, DF, p.38, 1995.
- BRACKMANN, A., CHITARRA, A.B. Atmosfera controlada e atmosfera modificada. In: BORÉM, F.M. Armazenamento e processamento de produtos agrícolas, Lavras: UFLA/SBEA, 282, p.133-170, 1998.
- BRACKMANN, A., GIEHL, R.F.H., FREITAS, S.T., EISERMANN, A.C., MELLO, A.M. Uso de filmes de polietileno e absorção de etileno para o transporte refrigerado de maçã 'Gala'. *Semina: Ciências Agrárias*, v.27, p.423-428, 2006.
- BRECHT, J.K., SARGENT, S.A., HUBER, D.J., SUTHAR, R. Efficacy of It's Fresh! Palladium Ethylene Scrubber in Reducing Ethylene and Extending Strawberry Quality. *International Strawberry Symposium*, 2016.

BRECHT, J.K., YAHIA, E.M. Harvesting and Postharvest Technology of Mango. In M. Siddiq, J. K. Brecht, J. S. Sidhu (Eds.), *Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition*, pp. 105–130, 2017.

BRECHT, J.K., SIDHU, J.S. *Handbook of Mango Fruit: Production, Postharvest Science, Processing Technology and Nutrition*. Oxford: Wiley Blackwell, p. 105-130, 2017.

CAMPO e NEGÓCIOS. Tecnologia viabiliza exportação da manga brasileira para a África do Sul. Acesso em: 20 set. 2023.

CAMPOS, J.T., HASEGAWA, P.N., PURGATTO, E., LAJOLO, F., CORDENUNSI, B.R. Qualidade póscolheita de nêspas submetidas ao armazenamento sob baixa temperatura e atmosfera modificada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.27, p.401-407, 2007.

CARON, V.C. Conservação refrigerada de lima ácida ‘Tahiti’ em combinação com atmosfera modificada, ácido giberélico e permanganato de potássio. 98 f. Tese (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

CHAUHAN, O.P., RAJU, P.S., DASGUPTA, D.K., BAWA, A.S. Changed atmosphere packaging of banana (cv. Pachbale) with ethylene, carbon di-oxide and moisture scrubbers and effect on its ripening behaviour. *American Journal of Food Technology*, v.1, p.179-189, 2006.

CHAVES, A.L., ZIMMER, P.D., SILVA, J.A., ROMBALDI, C.V. Caracterização Imunoquímica da ACC oxidase em frutas climatéricas. *Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.17, p.320-324, 1997.

COCOZZA, F.M. Maturação e conservação de manga ‘Tommy Atkins’ submetida à aplicação pós-colheita de 1 - metilciclopropeno. 2003. 226 f. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2003.

CHUNYU, W.A.A. Ethylene scavenging film based on low-density polyethylene incorporating pumice and potassium permanganate and its application to preserve avocados. *LWT - Food Science and Technology*, v.172, p.114200, 2022.

DIAS, W.P.A., AGUIAR, F.S., SILVA, L.D.J., SILVA, L.D.J.E., SOUZA, M.A.T.D.S., PEREIRA, A.C.B., PINHEIRO, J.M.D.A.S., MIZOBUTSI, G.P. Conservação pós-colheita de mangá 'Palmer' com uso de permanganato de potássio. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, v.16, p.30019–30032, 2023.

EBRAHIMI, F., RASTEGAR, S. Preservation of mango fruit with guar-based edible coatings enriched with *Spirulina platensis* and *Aloe vera* extract during storage at ambient temperature. *Scientia Horticulturae*, v.265, p.109258, 2020.

EDITORA GAZETA. Anuário brasileiro da fruticultura 2014. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 104 p. 2015.

EL-ANANY, A.M., HASSAN, G.F.A. Impact of activated carbon from date pits, potassium permanganate and their combination on extending the postharvest quality of three maturity stages of guava during cold storage. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, v.3, p.403-425, 2013.

ELMI, F., COOLS, K., TERRY, L.A. The use of It's Fresh! ethylene remover technology with e+® active as a practical means for preserving postharvest fruit quality. *Acta Horticulturae*, v.1012, p.1205–1210, 2013.

ESHETU, A., IBRAHIM A.M., FORSIDO S.F., KUYU, C.G. Effect of beeswax and chitosan treatments on quality and shelf life of selected mango (*Mangifera indica* L.) cultivars. *Heliyon*, v.5, p.01116, 2019.

EVANGELISTA, F.R. Considerações sobre a Produção de Manga no Nordeste. *Informe Rural Etene*, ano 1, n. 9, 2007.

EMEX. Mexico expects to increase its mango production by 2023. (Acesso em: 27 de março de 2023).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). FAOSTAT Statistical Database, 2021.

FOOD AND ENVIRONMENT REPORTING NETWORK. Ataulfo Mangoes. (Acesso em: 28 de setembro de 2023).

FACHINELLO, J.C., NACHTIGAL, J.C. Fruticultura: fundamentos e práticas. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009.

FERRI, V.C., ROMBALDI, C.V. Resfriamento rápido e armazenamento de caquis (*Diospyrus kaki*, L.), cv. Fuyu, em condições de atmosfera refrigerada e modificada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.26, p.36-39, 2004.

GOMES, M.S.O. Conservação pós-colheita: frutas e hortaliças. Brasília: Embrapa, 134p., 1996.

HAILU, Z. Effects of controlled atmosphere storage and temperature on quality attributes of mango. *Journal of Chemical Engineering and Process Technology*, v.7, p.1-6, 2016.

HANGARAJ, T., IRULAPPAN, I. Studies on the maturity standards for mango fruit. *South Indian Horticulture*, v.3, p.341-342, 1989.

HERNÁNDEZ-GUERRERO, S.E., BALOIS-MORALES, R., PALOMINO-HERMOSILLO, Y.A., LÁPEZ-GUZMÁN, G.G., BERUMEN-VARELA, G., BAUTISTA-ROSALES, P.U., ALEJO-SANTIAGO, G. Novel Edible Coating of starch-based stenopermocarpic mango prolongs the shelf life of mango ‘Ataulfo’ fruit. *Journal of Food Quality*, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal (PAM). (2022). Acesso em: 01/07/2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Produção Agrícola Municipal. Tabela 1613. Acesso em: 19 set.2023.

ILLEPERUMA, C.K., JAYASURIYA, P. Prolonged storage of 'Karuthacolomban' mango by modified atmosphere packaging at low temperature. *Horticultural Science and Biotechnology*, v.77, p.153-157, 2002.

ILLEPERUMA, C.K., NIKAPITIYA, C. Extension of the postharvest life of 'Pollock' avocado using modified atmosphere packaging. *Fruits*, v.57, p.287-295, 2002.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, Métodos físico-químicos para análise de alimentos, 4ª ed., IAL: São Paulo, 2004.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Normas analíticas, métodos químicos e físicos para análise de alimentos. 2ª Edição. São Paulo, v.1, 371p. 2005.

JERONIMO, E.M., BRUNINI, M.A., ARRUDA, M.D., CRUZ, J.C.S., GAVA, G.D.C., Silva, M.D.A. Qualidade de mangas 'Tommy Atkins' armazenadas sob atmosfera modificada. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, p.1122-1130, 2007.

JHA, S.N., KINGSLEY, A.R.P., CHOPRA, S. Physical and mechanical properties of mango during growth and storage for determination of maturity. *Journal of Food Engineering*, v.72, p.73-76, 2006.

JHA, S.N., CHOPRA, S., KINGSLEY, A.R.P. Modeling of color values for nondestructive evaluation of maturity of mango. *Journal of Food Engineering*, v.78, p.22-26, 2007.

JHA, S.N., NARSAIAH, K., JAISWAL, P., BHARDWAJ, R., GUPTA, M., KUMAR, R., SHARMA, R., Nondestructive prediction of maturity of mango using near infrared spectroscopy. *Journal of Food Engineering*, v. 124, p.152-157, 2014.

KOUSHKI, M., MOTALLEBI, A. A., SHAMS, S.M. Effects of potassium permanganate (KMnO₄) on extending the vase life of cut flowers of two gerbera cultivars. *Ornamental Horticulture*, v.22, p.38-47, 2016.

LUNARDI, R., TERUEL, B., NEVES, L.C. Armazenamento refrigerado e boas práticas de conservação de frutas. In: Manual pós-colheita da fruticultura brasileira. NEVES, L.C. (Org.). Londrina, EDUEL, 2009. 494 p. MANICA, I. Frutas nativas, silvestres e exóticas 2: Técnicas de produção e mercado: feijoa, figo-da-índia, fruta-pão, jaca, lichia, mangaba. Porto Alegre: Cinco Continentes, 541p., 2002.

KADER, A.A. Postharvest biology, and technology: an overview. In: KADER, A.A. Postharvest of technology horticulture crops. Davis: University of California. Division of Agriculture and Natural Resources, 296 p., 1992.

MARQUES, E.J.N., FREITAS, S.T., NETO, A.F., CAVALCANTE, I.H.L. Espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIR): técnica analítica não destrutiva para determinação da qualidade de manga. In: NETO, A.F., ALMEIDA, F.A.C., CAVALCANTE, I.H.L. (Org.). Manga: maturação, colheita e conservação. Juazeiro, BA: UNIVASF, v.1, p.60-87, 2017.

MISTRIOTIS, A., BRIASSOULIS, D., GIANNOULIS, A., D'AQUINO, S. Design of biodegradable bio-based equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for fresh fruits

and vegetables by using micro-perforated poly-lactic acid (PLA) films. *Postharvest Biology and Technology*, [S.L.], v.111, p.380-389, 2016.

MIGUEL, A.C.A., DURIGAN, J.F., MORGADO, C.M.A., GOMES, R.F.D.O. Injúria pelo frio na qualidade póscolheita de mangas cv. Palmer. *Revista Brasileira de Fruticultura*, p.255-260, 2011.

NASCIMENTO, S.S., ALMEIDA, E.I.B., MENDES, M.S., SOUSA, A.N.S., TOMM, T.F.R., PIRES, I.C.G. Panorama da comercialização e perdas pós-colheita no setor varejista de frutas frescas, em chapadinha (MA). *Agrotrópica*, v.31, p.127-134, 2019.

OBSERVATÓRIO MANGA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2022. Acesso em 23/09/2023.

OBSERVATÓRIO MANGA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2023. Acesso em 20/03/2024.

OLIVEIRA, A., COELHO, M., ALEXANDRE, E.M.C., GOMES, M.H., ALMEIDA, D.P.F., PINTADO, M. Effect of modified atmosphere on phytochemical profile of pasteurized peach purées. *LWT - Food Science and Technology*, v.64, p.520-527, 2015.

PADDA, M.S., GARCIA, R.M., SLAUGHTER, D.C., MITCHAM, E.J. Methods to analyze physico-chemical changes during mango ripening: a multivariate approach. *Postharvest Biology and Technology*, v.62, p.267-274, 2011.

PECH, J.C., LATCHÉ, A., BALAGUÉ, C., BOUZAYEN, M., LELIEVRE, J.M. Postharvest physiology of climacteric fruits: recent development in the biosynthesis and action of ethylene. *Sciences des Aliments*, v.14, p.3-14, 1994.

PFAFFENBACH, L.B., CASTRO, J.D., CARVALHO, C.R.L., ROSSETO, C. Efeito da atmosfera modificada e da refrigeração na conservação pós-colheita de manga espada vermelha. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.25, p.410-413, 2003.

PINTO, A.C.Q., PINHEIRO, N.F., GUIMARÃES, T.G. Estratégias do melhoramento genético da manga a visando atender a dinâmica de mercado. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Volume Especial, p.64-72, 2011.

REES, D., FARRELL, G., ORCHARD, J. *Crop Post-Harvest: Science and Technology*, Volume 3: Perishables. Nova Iorque: John Wiley e Sons, 464 p., 2012.

SANTOS, D.B., PEREIRA, M.E.C., VIEIRA, E.L., LIMA, M.A.C. Caracterização físico-química dos estádios de maturação da manga 'Tommy Atkins' produzida no município de Iaçu-BR. *Magistra*, v.20, p.342-348, 2008.

SANTOS, L.F., VILVERT, J.C., SOUZA, T.A., SILVA, A.J., SILVA, R.T., NEUWALD, D., FREITAS, S.T. Níveis mínimos de O₂ durante armazenamento para inibir a respiração aeróbica e prolongar a vida pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins' produzidas em diferentes safras de cultivo. *Scientia Horticulturae*, v.318, p.112094, 2023.

SARANWONG, S., SORNSRIVICHAI, J., KAWANO, S., Prediction of ripe stage eating quality of mango fruit from its harvest quality measured nondestructively by near infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, v.31, p.137–145, 2004.

SEBRAE. O cultivo e o mercado da manga. Acesso em: 23 set.2023.

SIGRIST, J.M.M. Tecnologia pós-colheita para comercialização de manga in natura. In: ROZANE, D.E. et al., *Manga: produção integrada, industrialização e comercialização*. Viçosa: UFV, p.553-570, 2004.

SILVA, L.R., ALMEIDA, E.I.B., FERREIRA, L.S., FIGUEIRINHA, K.T., FERREIRA, A.G.C., SOUSA, W.S. Estimativa e causas de perdas pós-colheita de frutas frescas na Microrregião de Chapadinha, MA, Brasil. *Revista Agro@ambiente*, v.12, p.288-299, 2018.

SELCUK, N., ERKAN, M. The effects of modified and palliflex controlled atmosphere storage on postharvest quality and composition of ‘Istanbul’ medlar fruit. *Postharvest Biology and Technology*, v.99, p.9-19, 2015.

SINGH, Z. Controlled atmosphere storage of mango fruit: Challenges and thrusts and its implications in international mango trade. *Acta Horticulturae*, v.1066, p.179-191, 2015.

SINGH, Z., SINGH, R.K., SANE, V.A., NATH, P. Mango - Postharvest Biology and Biotechnology. *Critical Reviews in Plant Sciences*, v.32, p.217–236, 2013.

SHORTER, A.J., SCOTT, K.J., WARD, G., BEST, D.J. Effect of ethylene absorption on the storage of ‘Granny Smith’ apples held in polyethylene bags. *Postharvest Biology and Technology*, v.1, p.189-194, 1992.

SMITH, A.W.J., POULSONS, S., ROWSELL, L., TERRY, L.A., ANDERSON, J.A. A new Palladium-based ethylene scavenger to control ethylene-induced ripening of climacteric fruits. *Platinum Metals Review*, v.53, p.112-122, 2009.

SZCZERBANIK, M.J., SCOTT, K.J., PATON, J.E., BEST, D.J. Effects of polyethylene bags, ethylene absorbent and 1-methylcyclopropene on the storage of Japanese pears. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, v.80, p.162-166, 2004.

TEIXEIRA, G.H.A., SANTOS, L.O., JÚNIOR, L.C.C., DURIGAN, J.F. Effect of carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂) levels on quality of ‘Palmer’ mangoes under controlled atmosphere storage. *Journal of Food Science and Technology*, v.55, p.145-156, 2018.

TERRY, L.A., ILKENHANS, T., POULSTON, S., ROWSELL, L. SMITH, A.W.J. Development of a new palladium-promoted ethylene scavenger. *Postharvest Biology and Technology*, v.45, p.214-220, 2007.

VALEEXPORT. Submédio do Vale do São Francisco: Potencial frutícola do Submédio do Vale do São Francisco. Petrolina, 2016. Acesso em: 06/08/2023.

VILAS BOAS, E.V.B. 1-MCP: um inibidor da ação do etileno. In: SIMPÓSIO DE CONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS, 2. Lavras. Anais. Lavras: UFLA, p. 24-30, 2002.

WILLS, R.B.H., WARTON, M.A. Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v.129, p.433-438, 2004.

ZHANG, Y. Combined technology of kiwifruit storage and freshness-keeping with freshness-keeping reagent at low temperature and modified atmosphere. *Transactions of the Chinese-Society of Agricultural Engineering*, v.18, p.138-141, 2002.

CAPÍTULO 2

EFICIÊNCIA DE EMBALAGENS DE ATMOSFERA MODIFICADA E ABSORÇÃO DE ETILENO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MANGA 'KEITT'

RESUMO

A manga 'Keitt' enfrenta desafios de conservação pós-colheita devido ao rápido amadurecimento, especialmente em transportes de longa distância. Este estudo objetivou avaliar diferentes embalagens de atmosfera modificada e absorção de etileno para preservar a qualidade pós-colheita de mangas 'Keitt' produzidas no Submédio do Vale do São Francisco, Brasil. As frutas foram cultivadas nas safras de inverno 2023 e verão 2024. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 8 tratamentos e 4 repetições contendo 8 frutas por repetição. Os tratamentos foram: controle (frutas não embaladas); frutas embaladas em sacos de polietileno com membranas BreathWay (BWC, BWA, BWB) com diferentes permeabilidades ao O₂ e CO₂ (baixa, média e alta), com e sem filtro de absorção de etileno It's Fresh (CF e SF); frutas embaladas em sacos de polietileno perfurado com tecnologia de absorção de etileno It's Fresh. As frutas foram armazenadas a 9 ± 1 °C e 85–90% UR por 28 dias, seguidos de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C, simulando transporte marítimo e tempo de prateleira, respectivamente. As embalagens com as menores permeabilidades ao O₂ (BWC-SF e BWC-CF) mostraram-se mais eficientes na redução da perda de massa, taxa respiratória e incidência de distúrbios fisiológicos. Essas embalagens também foram mais eficientes na manutenção da firmeza de polpa, matéria seca, e nos teores de sólidos solúveis. A absorção de etileno dentro das embalagens não apresentou efeito significativo na manutenção da qualidade pós-colheita das frutas. Desta forma, o uso de AM com baixa permeabilidade ao O₂ provou ser uma tecnologia eficiente para prolongar a vida útil e manter a qualidade de mangas 'Keitt' durante o transporte de longa distância.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L.; etileno; nariz mole; permeabilidade; transporte.

1 INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) é uma das frutas tropicais mais cultivadas e consumidas no mundo, conhecida por seu sabor, aroma e textura variados. Estudos como o de Crane et al. (2019) indicam que a manga é uma das frutas mais apreciadas em muitas culturas, sendo valorizada por sua doçura, suculência e alto teor de nutrientes.

Entre as diversas variedades, a manga ‘Keitt’ é uma das mais populares. Originária da Flórida, EUA, ela se destaca por seu tamanho grande, formato alongado e casca verde, que permanece nessa cor mesmo quando a fruta está madura, mas pode apresentar tons avermelhados com a exposição ao sol (Singh et al., 2020). Além de sua aparência marcante, a ‘Keitt’ é valorizada pela polpa firme e suculenta, com sabor doce e baixo teor de fibras. Esta variedade também apresenta textura lisa e sabor equilibrado entre o doce e o ácido, tornando-a ideal tanto para consumo fresco quanto para produtos processados, como sucos, sorvetes e conservas (Gupta et al., 2021).

A manga ‘Keitt’ é cultivada em climas tropicais e subtropicais, o que demonstra sua notável adaptabilidade a diferentes condições de crescimento (Kulkarni et al., 2022). A colheita dessa variedade ocorre geralmente de julho a setembro, com pequenas variações conforme a região. Estudos sobre qualidade de frutas, indicam que fatores como cor, aparência, sabor e textura são determinantes (Zhena et al., 2020). Além disso, os consumidores estão cada vez mais exigentes em informações sobre os benefícios nutricionais, a origem e o sistema de produção da fruta (Betemps, 2021).

O Submédio do Vale do São Francisco, segundo a classificação climática de Köppen, apresenta um clima do tipo BSwH, caracterizado como semiárido quente com estação chuvosa no verão/outono e temperaturas médias mensais superiores a 18 °C. Durante o inverno, que abrange os meses de maio a agosto, as temperaturas permanecem elevadas, com médias superiores a 24 °C, e a precipitação é escassa, refletindo a aridez típica do clima semiárido. No verão, que ocorre de dezembro a abril, a região experimenta a estação chuvosa, embora as precipitações sejam baixas e irregulares, variando entre 350 a 800 mm. As temperaturas médias anuais giram em torno de 26,2 °C, com umidade relativa de 67% e radiação solar em torno de 3.000 horas por ano.

Para reduzir as perdas pós-colheita, estratégias como o uso adequado da cadeia de frio é essencial. Essa técnica simples e eficaz prolonga a vida útil das frutas, facilitando o transporte e ampliando o período de comercialização (Santos et al., 2023; Vilvert et al., 2023). Tecnologias como refrigeração e embalagens adequadas são fundamentais para preservar a segurança dos alimentos, bem como suas qualidades físico-químicas, sensoriais e nutricionais (Paulsen et al.,

2023). O controle de temperatura é crucial ao longo de toda a cadeia de distribuição para garantir a qualidade de frutas e vegetais frescos (Paulsen et al., 2023).

Recentemente, a embalagem tornou-se um elemento crucial para evitar o desperdício de alimentos e promover a sustentabilidade na cadeia alimentar (Licciardello, 2017). Dentre as diversas tecnologias, a embalagem em atmosfera modificada (AM) tem se destacado por prolongar a vida útil de produtos hortícolas. Esse tipo de embalagem modifica a composição dos gases ao redor dos alimentos, reduzindo os níveis de O_2 e aumentando os níveis de CO_2 no ambiente interno, o que inibe o processo respiratório e retarda o amadurecimento (Vasconcelos et al., 2018; Matar et al., 2020).

Apesar dos avanços nas técnicas de conservação, o armazenamento de frutas tropicais como a manga ainda enfrenta desafios. A perda de qualidade, causada pelo amadurecimento acelerado, resulta em desperdícios significativos e limita o alcance das frutas frescas no mercado global. Diante desses desafios, a AM destaca-se por preservar a qualidade físico-química, sensorial e nutricional das frutas, além de reduzir suas perdas pós-colheita.

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes embalagens de AM, com variações na permeabilidade ao O_2 e CO_2 , associadas ou não à tecnologia de absorção de etileno, na preservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Keitt' produzidas em duas safras no Submédio do Vale do São Francisco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Mangas 'Keitt' produzidas nas safras de inverno e verão em um pomar comercial foram colhidas e transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Semiárido, em Petrolina, PE. As frutas foram selecionadas conforme o tamanho, cujo peso médio por fruta variou de 451,1 g inverno 2023 a 665,0 g verão 2024, índice de maturação, uniformidade, peso e ausência de doenças e injúrias (National Mango Board, 2010).

O pomar está localizado no Submédio do Vale do São Francisco, região de clima semiárido quente (BSH), segundo Köppen, com temperaturas médias anuais de 24 °C a 28 °C, baixa precipitação (inferior a 800 mm anuais) e estação seca de até oito meses. No verão, as temperaturas variam de 27 °C a 35 °C, com chuvas irregulares, e no inverno, de 22 °C a 26 °C, com seca intensa, sendo o rio São Francisco e a irrigação fatores-chave para o cultivo de frutas tropicais na região (Gomes e Zanella, 2023).

Para o armazenamento das frutas, foram utilizadas diferentes embalagens e filtros de absorção de etileno, ambos materiais fornecidos pelo Laboratório de Pós-colheita da Universidade da Florida, FL, Gainesville, EUA. As embalagens foram produzidas pela empresa Hazel Technologies, Fresno, CA, EUA. O filtro de absorção de etileno foi fornecido pela empresa It's Fresh Ltd, Burntwood, Reino Unido.

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 O_2 e CO_2 , com (CF) e sem (SF) filtro de absorção de etileno da It's Fresh; e frutas embaladas em sacos de polietileno perfurado com a mesma tecnologia de absorção de etileno da It's Fresh. 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 O_2 e CO_2 .

Após serem embaladas, as frutas foram armazenadas a $9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, com umidade relativa entre 85 e 90%, por um período de 28 dias, sendo então transferidas para $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ por mais 4 dias, visando simular o período de transporte refrigerado e o período de vida de prateleira, respectivamente.

Durante o armazenamento refrigerado, as embalagens de AM foram avaliadas semanalmente para as concentrações de O_2 , CO_2 e etileno no seu interior. As frutas foram avaliadas para parâmetros de qualidade físico-química no momento da colheita (0 dias), assim como aos 28 dias de armazenamento e 28+4 dias de vida de prateleira, respectivamente, conforme descrito abaixo.

2.1.1 Variáveis Analisadas

2.1.2 Matéria seca (MS)

As amostras de polpa fresca foram pesadas, secas em estufa com circulação de ar à $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ até peso constante e pesadas novamente para determinar o peso seco. O teor de MS foi determinado pela multiplicação do peso seco por 100, dividido pelo peso fresco inicial de cada amostra, sendo os resultados expressos em porcentagem.

2.1.3 Perda de massa

A perda de massa foi calculada multiplicando a diferença entre a massa inicial e a massa no final do armazenamento por 100 e dividindo pela massa inicial. A perda de massa foi expressa como porcentagem.

2.1.4 Índice de maturação

O índice de maturação foi determinado na região equatorial de cada fruta, com duas medições por fruta, utilizando o espectrômetro DA-METER[®] digital (Via di Corticella, – Bolonha, Itália). O valor de DA é proporcional à quantidade de clorofila/carotenoide presente na fruta, o que permite realizar uma análise não destrutiva da relação entre estes pigmentos. Desta forma, valores maiores significam frutas em estádios menos avançados de maturação, enquanto menores valores significam frutas em estádios mais avançados de maturação.

2.1.5 Firmeza de polpa (FP)

A firmeza de polpa foi analisada com um texturômetro eletrônico Extralab TAXT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), utilizando ponteira de 6 mm de diâmetro. As medidas foram realizadas na região equatorial em lados opostos de cada frutas após a retirada da casca.

2.1.6 Determinação dos gases

A determinação dos gases dentro das embalagens foi realizada semanalmente durante um período de 4 semanas com o auxílio do Felix-950 (Felix Instruments, Camas, EUA).

2.1.7 Sólidos Solúveis (SS)

Os teores de SS foram determinados em 1 mL de suco com o auxílio de um refratômetro digital modelo PAL-1 (ATAGO, SP, Brasil), conforme a AOAC (2012).

2.1.8 Acidez titulável (AT)

A AT foi determinada com um titulador automático modelo 848 Titrino Plus (Metrohm, SP, Brasil). Para a titulação, 1 mL de suco foi diluído em 50 mL de água destilada, sendo então titulado com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1, conforme o método do Instituto Adolfo Lutz-IAL (2005).

2.1.9 Relação sólidos solúveis/ acidez titulável

A relação foi calculada em cada amostra dividindo o valor dos sólidos solúveis por seu respectivo valor de acidez titulável.

2.1.10 Taxa Respiratória

A taxa respiratória das mangas foi determinada com o uso do analisador de gases Felix-950 (CID Bio-Science, Inc., Camas, EUA). Para a avaliação, oito frutas foram acondicionadas em um recipiente hermeticamente fechado de 20 L por um período de duas horas. A medição foi realizada com base na produção de CO₂. Os resultados foram expressos em mol CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, refletindo a atividade respiratória das frutas sob as condições experimentais.

2.1.11 Cor de casca e polpa

A casca e a polpa na região equatorial de cada fruta foi utilizada para as avaliações de cor com o auxílio de um colorímetro digital Minolta CR 400 (Konica Minolta, Ramsey, EUA). Os valores de cor foram determinados em cada lado de cada fruta de acordo com Mcguire (1992) e foram expressos como °hue, onde 0° representa vermelho, 90° representa verde amarelado verde, 180° representa o azul turquesa e 270° representa o violeta.

2.1.12 Incidência de desordens fisiológicas

A avaliação foi realizada por meio da caracterização visual e da quantificação das frutas com sintomas de desordens fisiológicas, expressos em porcentagem. Foram identificados três tipos principais de desordens: nariz mole, caracterizado pelo amolecimento excessivo do tecido na extremidade distal; corte negro, relacionado a dano por frio, com áreas escuras e necrosadas devido à exposição a baixas temperaturas (De Freitas e Pareek, 2019).

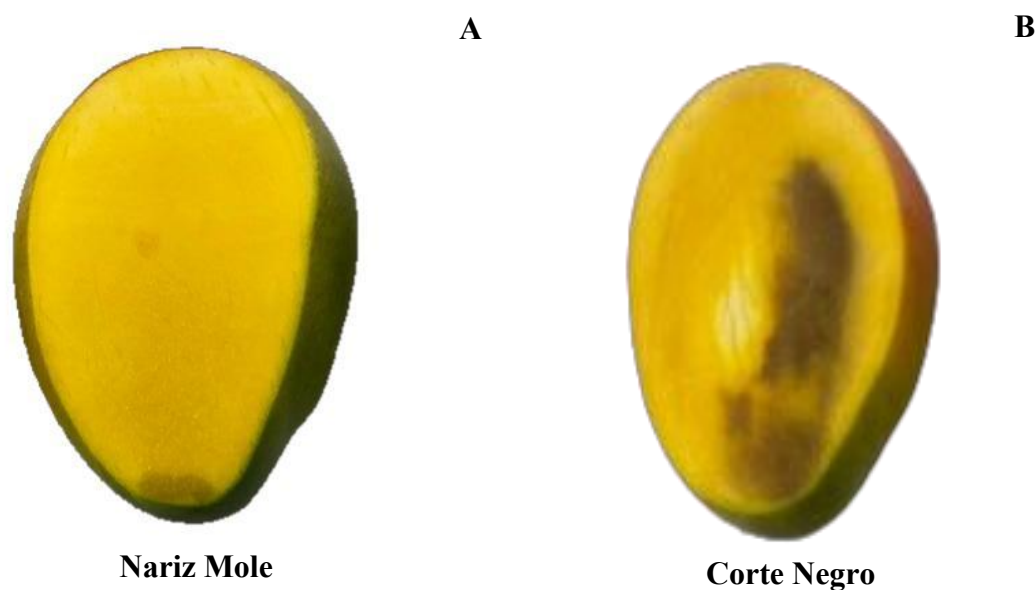


Figura 1. Exemplos das desordens fisiológicas avaliadas: (A) Nariz mole, (B) Corte negro. Fonte: Próprio autor.

2.1.13 Delineamento experimental

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) com 8 tratamentos, 4 repetições contendo 8 frutas por repetição. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade, análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software Sisvar 5.6. Os gráficos foram confeccionados utilizando o software Sigma Plot versão 10. Os dados obtidos também foram submetidos a análise multivariada por componentes principais (PCA), utilizando o Software RStudio 3.2.4, cujo objetivo foi identificar de que maneira as concentrações de O_2 e CO_2 influenciaram as variáveis analisadas.

3 RESULTADOS

Os resultados são apresentados para cada safra de cultivo, realizada na estação de inverno e verão. Para caracterizar a qualidade inicial das mangas, foi realizada uma análise no momento da colheita, conforme dados apresentados na Tabela 1. Para facilitar a descrição dos tratamentos, as embalagens BreathWay (BWA, BWB e BWC) serão seguidas com as siglas SF ou CF para identificar, a ausência (SF) ou presença (CF) do filtro de etileno.

Os dados obtidos indicam que a utilização de filtros de absorção de etileno no armazenamento de mangas 'Keitt' não apresentou a eficácia na manutenção da qualidade das frutas. As análises mostraram que os filtros, apesar de serem amplamente empregados para

reduzir a ação do etileno e prolongar a vida útil de frutas, não contribuíram para melhorias significativas nos parâmetros avaliados (Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6).

Os dados apresentados na Tabela 1 permitem inferir que as frutas cultivadas no inverno apresentam um estágio de maturação mais avançado em comparação às frutas cultivadas no verão. Indicadores como a taxa respiratória ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), o teor de matéria seca (%) e os sólidos solúveis reforçam essa observação, mostrando resultados consistentes que confirmam o estágio mais avançado de maturação das frutas cultivadas no inverno.

Tabela 1. Características de qualidade das mangas ‘Keitt’ na colheita de inverno e verão.

Característica de qualidade	Inverno	Verão
Matéria Seca (%)	$17,18 \pm 0,39$	$13,95 \pm 0,47$
Firmeza da polpa (N)	$71,47 \pm 20,23$	$73,8 \pm 12,50$
Índice de maturação (DA-meter)	$1,79 \pm 0,15$	$2,1 \pm 0,07$
SS (%)	$10 \pm 0,72$	$6 \pm 0,54$
AT ($\text{g } 100^{-1}$)	$1,11 \pm 0,11$	$1,18 \pm 0,09$
Ratio (SS/AT)	$9,09 \pm 1,03$	$5,11 \pm 0,6$
$\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$92,56 \pm 0,97$	$11,54 \pm 0,69$
°Hue da polpa	$115,6 \pm 2,30$	$113 \pm 2,98$
°Hue da casca	$94,15 \pm 0,98$	$83,74 \pm 2,54$

*Média de 4 repetições contendo 8 frutas por repetição, seguidos do desvio padrão.

No inverno, o controle e o tratamento EMB-AE mantiveram níveis de O_2 atmosférico (20 kPa) ao longo das quatro semanas (Figuras 2A e 2B). Os tratamentos BWA-SF, BWB-SF, BWC-SF e BWC-CF apresentam redução significativa dos níveis de O_2 no interior das embalagens, estabilizando entre 5 e 10 kPa após uma primeira semana, enquanto BWB-SF e BWB-CF mantiveram níveis de O_2 intermediários (10-15 kPa) (Figura 2A). No verão, controle e EMB-AE mantiveram níveis de O_2 atmosféricos (20 kPa), e os demais tratamentos apresentam reduções dos níveis de O_2 para aproximadamente 5-10 kPa, com BWB-SF e BWB-CF em níveis intermediários que variaram de ± 10 -15 kPa (Figura 2B).

Os níveis de CO_2 no interior das embalagens de frutas cultivadas no inverno e submetidas ao tratamento controle e EMB-AE se mantiveram baixos (1-2 kPa), enquanto as embalagens BWA-SF, BWB-SF, BWC-SF e BWC-CF apresentam valores mais elevados (5-7 kPa), e BWA-CF e BWB-CF permanecem em níveis intermediários (3-5 kPa) (Figura 2C). No verão,

o padrão se mantém semelhante, sendo o controle e EMB-AE com níveis de CO_2 baixos (1-2 kPa), e os demais tratamentos níveis altos (5-7 kPa), sendo as embalagens com BWA-CF e BWB-CF apresentando níveis intermediários (3-5 kPa) (Figura 2D).

Quanto ao etileno, no inverno, o controle e EMB-AE mantiveram níveis baixos ($0-2 \mu\text{L L}^{-1}$) durante as quatro semanas de armazenamento refrigerado (Figura 2E). BWC-SF e BWC-CF apresentaram maiores níveis de etileno ($2-3 \mu\text{L L}^{-1}$) nas duas primeiras semanas, seguida de redução, enquanto BWA-CF, BWB-CF mostraram um aumento inicial seguido de queda, mas permanecendo acima do controle. No verão, o controle e EMB-AE mantiveram baixos níveis de etileno ($0-2 \mu\text{L L}^{-1}$), enquanto BWA-SF e BWC-SF apresentaram um pico ($3-4 \mu\text{L L}^{-1}$) na segunda semana, seguido de queda, e os demais tratamentos seguem um padrão de aumento inicial com redução posterior (Figura 1 F).

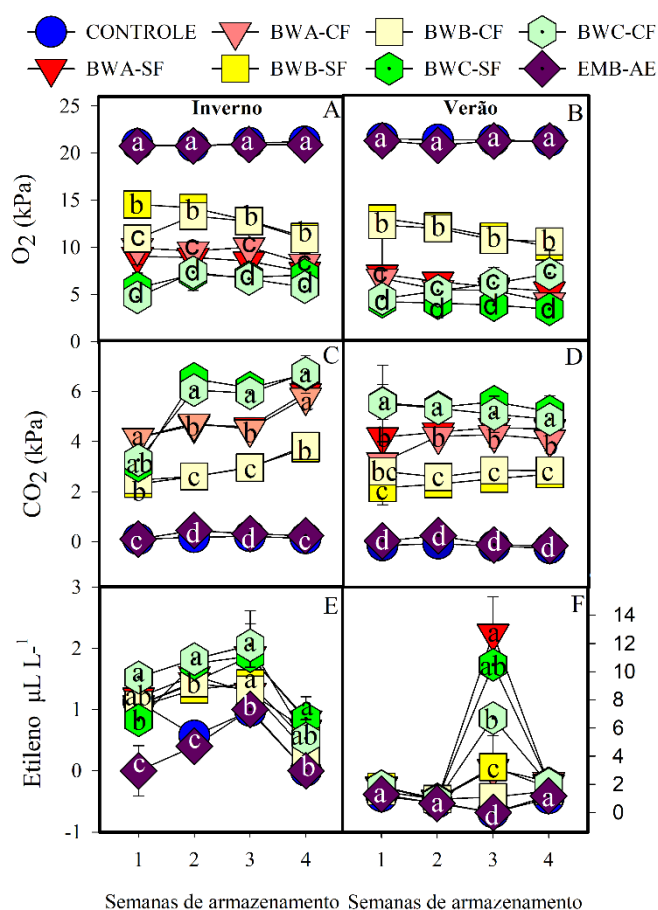


Figura 2. Níveis de O_2 , CO_2 e etileno ($\mu\text{L L}^{-1}$) no interior das embalagens contendo mangas 'Keitt' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à $9 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão ($n=4$).

De acordo com os resultados obtidos para frutas cultivadas na safra de inverno, o uso de AM reduziu significativamente a perda de peso durante o armazenamento refrigerado (Figura 3A). Para as frutas de verão, aos 28 dias, as perdas de peso variaram entre aproximadamente 0,64% e 3,64%. Aos 28+4, as perdas aumentaram, variando de cerca de 1,32% a 6,5%, sendo novamente o tratamento controle o que registrou as maiores perdas (Figura 3B). As embalagens BWC-SF e BWC-CF, por outro lado, apresentaram menores perdas de massa ao longo do armazenamento, registrando 5,18 vezes menos perda de massa em comparação ao controle (Figura 3B).

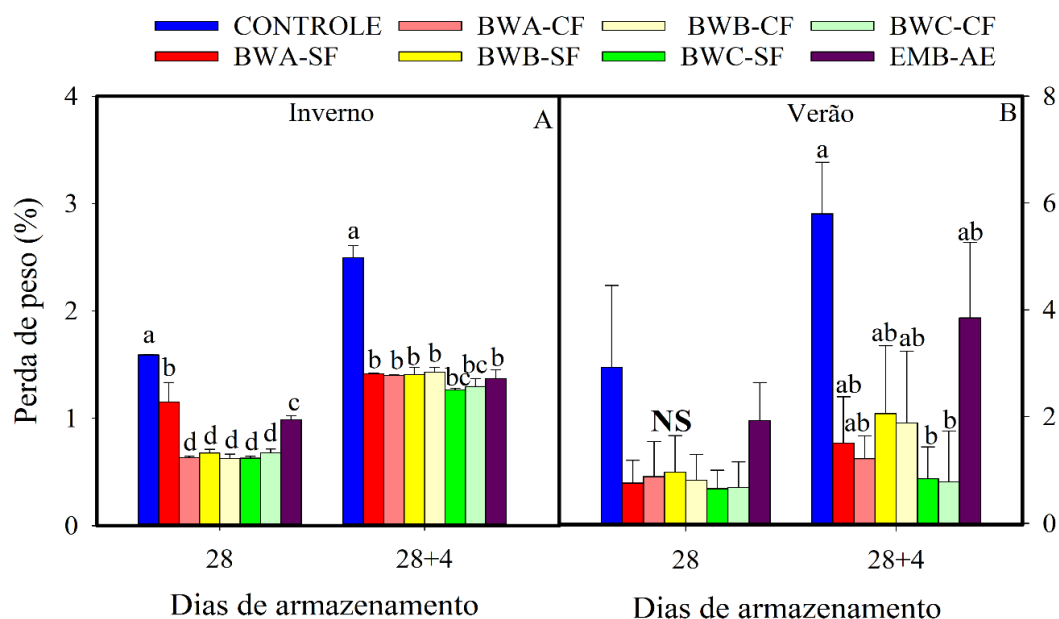


Figura 3. Perda de peso de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à $9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão (n=4).

A firmeza da polpa não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos no dia 28 para as frutas de inverno, nem no dia 28 nem no período adicional de 28+4 dias para as frutas de verão (Figura 4A e 4B). Somente aos 28+4 dias para as frutas de inverno, os tratamentos diferem entre si, com a embalagem absorvedora de etileno apresentando a maior firmeza, de 12,97 N (Figura 4A).

O índice de maturação também não apresentou diferenças significativas aos 28 e no período adicional de 28+4 dias para as frutas de inverno (Figura 4C). Para as frutas de verão, aos 28 dias, os tratamentos BWA-SF e BWA-CF diferiram estatisticamente dos demais. No

entanto, após os 4 dias de período adicional, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 4D).

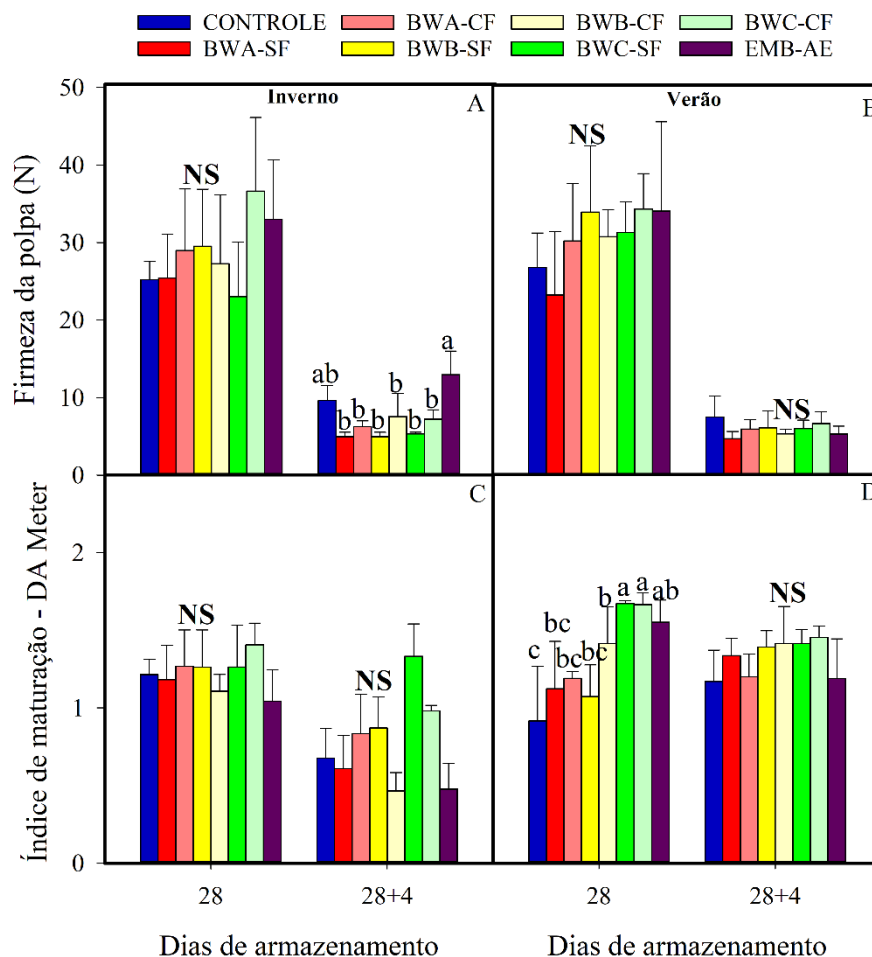


Figura 4. Firmeza de polpa e índice de maturação de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à $9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão (n=4).

Para as frutas cultivadas no inverno, observaremos diferenças importantes entre os tratamentos aos 28 dias de armazenamento a $9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os tratamentos BWB-SF e BWB-CF, assim como o BWC-SF, apresentaram os maiores teores de matéria seca, em torno de 18% (Figura 5A). Em contrapartida, o tratamento BWA-SF, registrou o menor valor, cerca de 15%. Após 28 dias de armazenamento refrigerado mais 4 dias a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, não foram notadas diferenças significativas entre os tratamentos (Figura 5A).

Para as frutas cultivadas no verão, aos 28 dias, não foram identificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos. No entanto, no período adicional de 28+4 dias, o tratamento BWC-SF apresentou o maior teor de matéria seca, aproximadamente 15%, seguido pelos demais tratamentos. A embalagem BWC-CF registrou menores valores de matéria seca, em torno de 10% (Figura 5B).

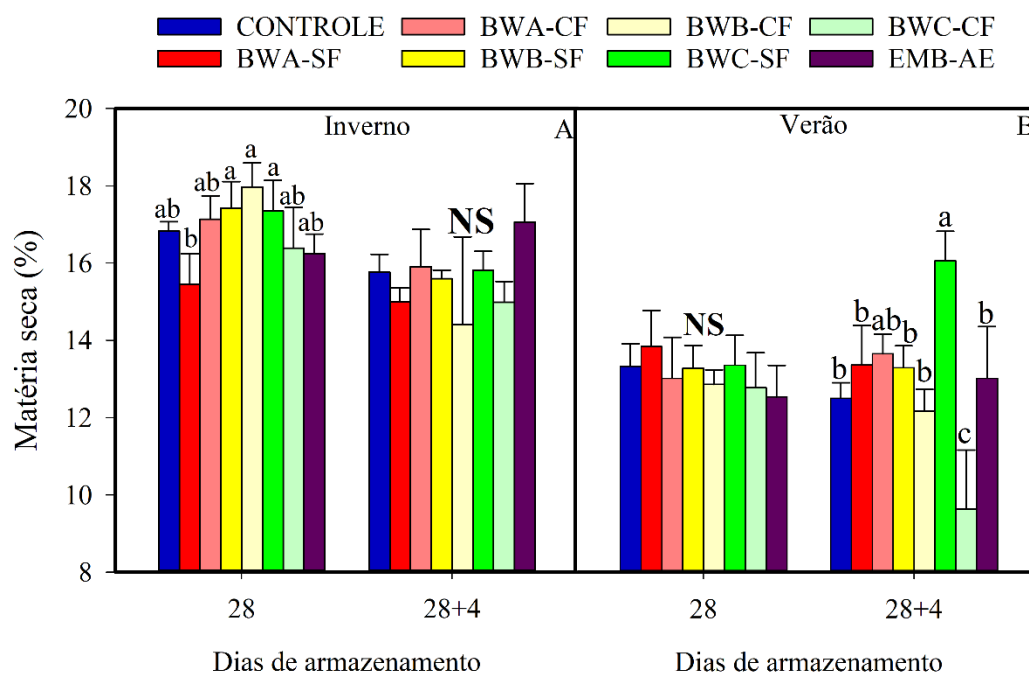


Figura 5. Matéria seca de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à $9^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão ($n=4$).

Após 28 dias de armazenamento, a embalagem BWC-SF apresentou os maiores valores de sólidos solúveis (14-15 °Brix), enquanto a BWC-CF registrou os menores (12-12,5 °Brix) (Figura 6A). No período adicional de 28+4 dias, não houve diferença significativa entre os tratamentos para mangas cultivadas no inverno e verão (Figura 6A e B). No verão, aos 28 dias, o BWC-SF apresentou os menores valores de sólidos solúveis (11-12 °Brix), enquanto o controle e o BWA-SF registraram os maiores (14-15 °Brix) (Figura 6B).

Em relação à acidez titulável, nas mangas de inverno, não houve diferença significativa entre as embalagens após 28 e no período adicional de 28+4 dias (Figura 6C). No verão, aos 28 dias, as embalagens BWB-SF e BWB-CF apresentaram os menores valores de acidez, enquanto

a BWC-SF registrou maior acidez. No período adicional de 28+4 dias, a BWC-CF e o controle registraram os maiores valores de acidez (Figura 6D).

Na relação SS/AT das frutas de inverno (Figura 6E), após 28 dias, a BWC-SF apresentou os maiores valores, seguida pela BWA-SF. Aos 28+4 dias, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si. Para as frutas de verão (Figura 6F), aos 28 dias, houve diferenças importantes, sendo que a embalagem BWC-SF apresentou a menor relação SS/AT, enquanto as embalagens BWB-SF e BWB-CF registraram os maiores valores. No período adicional de 28+4 dias, essas diferenças persistiram, com a embalagem BWB-SF mantendo os maiores valores e a embalagem BWC-CF o menor valor (Figura 6F).

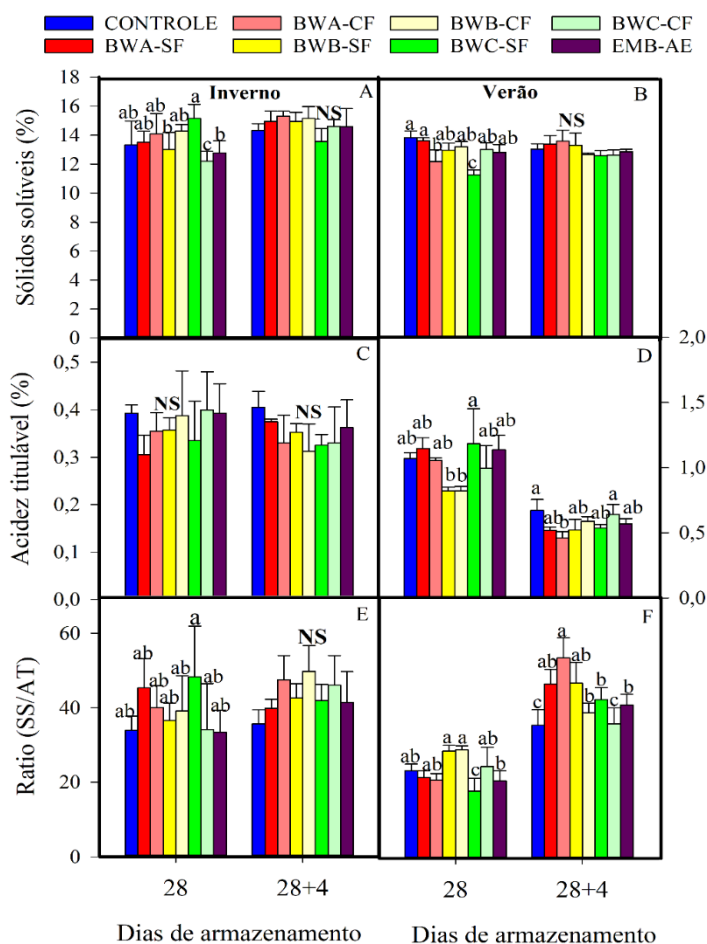


Figura 6. Sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O₂, com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão (n=4).

A taxa respiratória variou entre os tratamentos ao longo dos dias de armazenamento. Para as frutas de inverno (Figura 7A), aos 28 dias, o controle e a embalagem EMB-AE apresentaram as maiores taxas respiratórias. No período adicional de 28+4 dias, o controle manteve a maior taxa respiratória, enquanto a embalagem BWC-SF apresentou o menor valor. Para as frutas de verão (Figura 7B), aos 28 dias, as embalagens BWC-SF e BWC-CF registraram as maiores taxas respiratórias. No entanto, no período adicional de 28+4, o cenário se inverteu quando o controle apresentou a maior taxa, enquanto as embalagens BWC-SF, BWC-CF e EMB-AE exibiram as taxas menores (Figura 7B).

A análise do °Hue da casca (Figura 7C e D) e da polpa (Figura 7E e F) não revelou diferenças significativas entre os tratamentos ao longo do armazenamento, tanto para as frutas de inverno quanto para as de verão. No entanto, aos 28 e no período adicional de 28+4 dias para a casca das frutas de verão, as embalagens BW com e sem filtro de etileno apresentaram valores de °Hue mais altos que o controle.

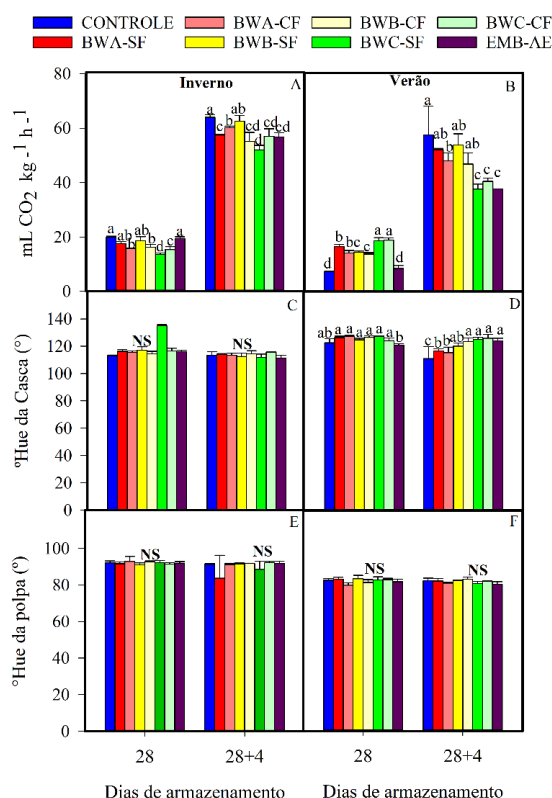


Figura 7. Taxa respiratória (mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), °Hue da casca e polpa de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O₂, com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão (n=4).

Foram detectados três tipos de distúrbios fisiológicos nas frutas após 28 dias e no período adicional de 28+4 dias. O distúrbio conhecido como nariz mole teve alta incidência nas frutas armazenadas em embalagens, variando entre 25% e 28% no dia 28 e entre 15,6% e 43,75% no dia 28+4 (Figura 8A). Nas embalagens de baixa permeabilidade a gases (BWC), com e sem filtro de etileno, a incidência variou entre 18% e 22% aos 28 dias, e entre 18,7% e 32% no período adicional de 28+4 dias. A embalagem BWA-SF apresentou o distúrbio apenas no período adicional de 28+4 dias, com uma incidência de 25%, enquanto a BWA-CF não apresentou o distúrbio em nenhum dos dias de avaliação (Figura 8A).

O distúrbio fisiológico conhecido como corte negro foi mais frequente nas frutas sem embalagem (controle) e na embalagem de alta permeabilidade após o período adicional de 28+4 dias (Figura 8C e D). Para as frutas cultivadas na safra de inverno e verão, o controle apresentou a maior incidência no período adicional de 28+4 dias, seguido por frutas embaladas com BWB-SF e EMB-AE (Figura 8C e D).

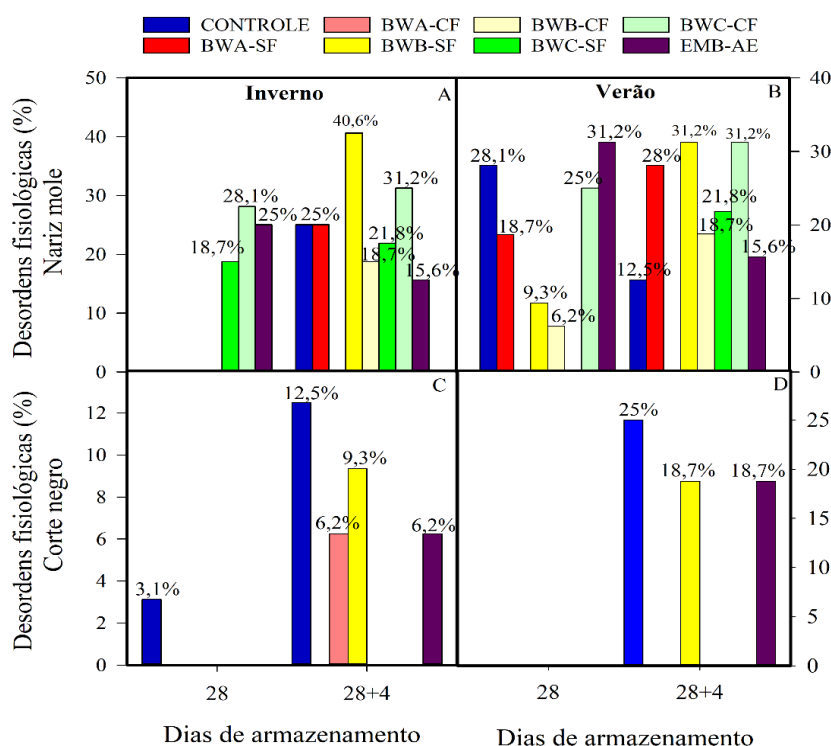


Figura 8. Incidência de distúrbios fisiológicos de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O₂, com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).

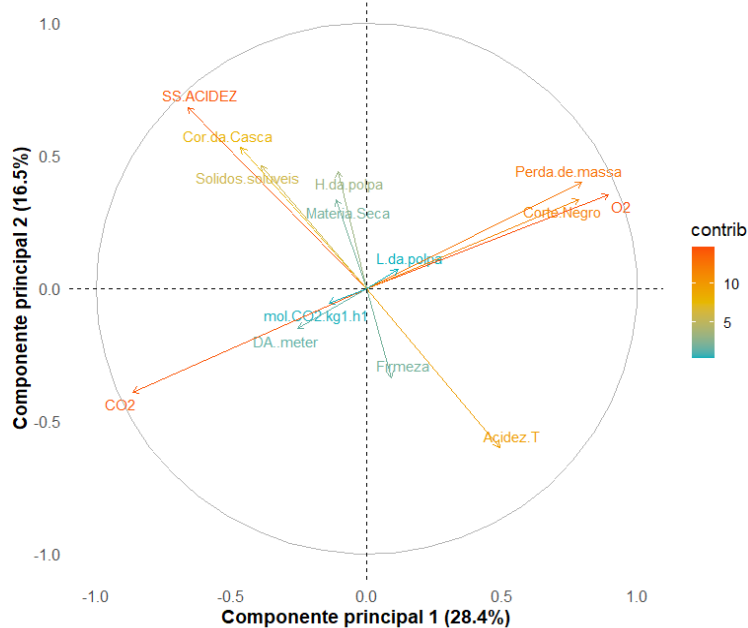
Os vetores no biplot indicam a influência de cada variável, sendo os mais longos os de maior impacto na separação das amostras. As análises de componentes principais (PCA) representadas nas Figuras 9A e B demonstram padrões semelhantes nas relações entre as variáveis físico-químicas das mangas ‘Keitt’, cultivadas no inverno (2023) e verão (2024).

Em ambas as análises, o Componente Principal 1 (CP1) explicou a maior parte da variância (28,4% na safra de 2023 e 29,5% na safra de 2024) e agrupou variáveis diretamente relacionadas ao metabolismo e desordens fisiológicas, como O_2 , corte negro e perda de massa. O vetor do O_2 esteve fortemente alinhado com corte negro e perda de massa, reforçando a relação direta entre maiores concentrações de O_2 e o aumento desses distúrbios e da perda peso.

Por outro lado, o CO_2 apresentou comportamento oposto ao O_2 , sugerindo sua influência na mitigação de distúrbios fisiológicos e na redução do impacto metabólico das frutas. A variável L da polpa também manteve, em ambas as análises, uma correlação negativa com corte negro, indicando que frutas com menor luminosidade interna (menor L) estão associadas a uma maior incidência do distúrbio.

O Componente Principal 2 (CP2) explicou uma parcela menor da variância (16,5% em 2023 e 21,4% em 2024) e agrupou variáveis como SS/Acidez, sólidos solúveis e cor da casca, que estão relacionadas às características sensoriais das frutas. A proximidade entre sólidos solúveis e cor da casca sugere que essas variáveis possuem forte interação na definição da qualidade visual e do sabor das mangas durante o armazenamento.

A - Inverno Análise de componentes principais (PCA): variáveis físico-químicas



B - Verão Análise de componentes principais (PCA): variáveis físico-químicas

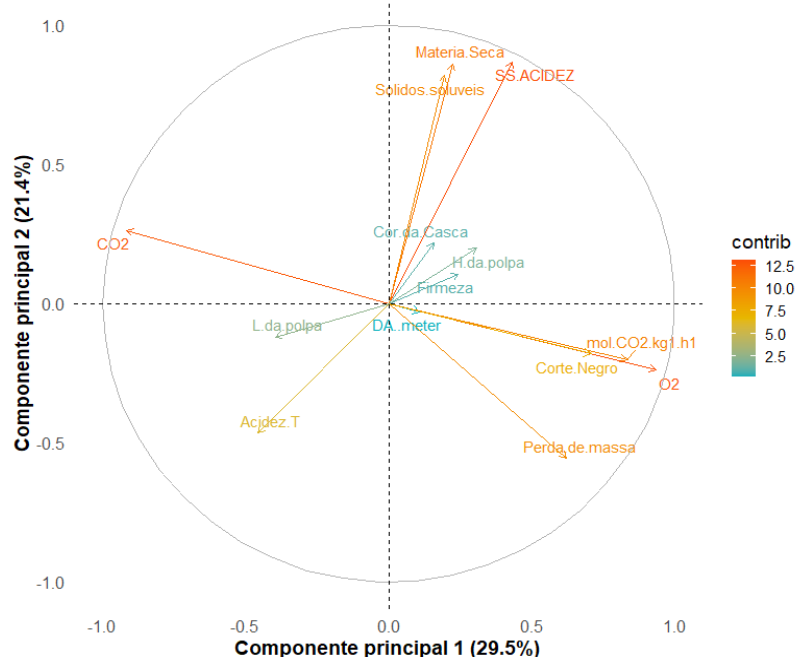


Figura 9. Análise de Componentes Principais (PCA) das variáveis físico-químicas de mangas ‘Keitt’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e verão (2024) e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O₂, com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).

4 DISCUSSÃO

A manga ‘Keitt’ é amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma das variedades mais populares devido à sua baixa quantidade de fibras, sabor suave e alta resistência pós-colheita (Candelario-Rodríguez et al., 2014). Estas características, juntamente com sua durabilidade, tornam a ‘Keitt’ uma escolha preferida para exportação (Abu et al., 2021).

Neste estudo, investigou-se o uso de embalagem de atmosfera modificada passiva (AM) para otimizar a exportação de mangas ‘Keitt’ para mercados com tempo de transporte de 28 dias e tempo de prateleira de 4 dias. A AM passiva, implementada por embalagens específicas, regula a troca gasosa e reduz a perda de umidade, promovendo um ambiente com baixos níveis de O_2 e elevados níveis de CO_2 , que são ajustados naturalmente pela respiração da fruta (Rodrigues et al., 2008; Vasconcelos et al., 2018; Vilvert et al., 2023). Desta forma, este estudo buscou identificar as combinações ideais de permeabilidade das embalagens para estender a vida útil das mangas, mantendo suas qualidades físico-químicas, além de evitar o surgimento de distúrbios fisiológicos.

A conservação de frutas em sistemas de atmosfera modificada (AM) ou controlada envolve a manipulação dos níveis de O_2 e dióxido de carbono ao redor do produto, visando retardar o processo de amadurecimento e prolongar sua vida útil. Para mangas, a literatura aponta concentrações ideais de O_2 entre 1% e 5% e de dióxido de carbono entre 5% e 10% (Kader, 1994; Yahia, 1998b, 2009; Wei et al., 2021; Santos et al., 2023; Alves et al., 2023). Essas condições buscam reduzir a intensidade respiratória das frutas, retardando o metabolismo e a produção de etileno, que desempenha um papel central no amadurecimento (Brackmann et al., 2004; Léchaudel et al., 2005; Mendonça et al., 2015).

No presente estudo, as embalagens BWC-SF e BWC-CF demonstraram manter os menores níveis de O_2 e os maiores de CO_2 ao longo do armazenamento. Esses resultados justificam-se pelos princípios da fisiologia pós-colheita, segundo os quais a redução nos níveis de O_2 está diretamente associada à diminuição da taxa respiratória das frutas. Uma menor taxa de respiração implica menor consumo de reservas energéticas e, conseqüentemente, maior tempo de conservação (Lau, 1985; Patterson, 1989). Essa relação inversa foi confirmada nas análises realizadas, que mostraram uma significativa redução na produção de etileno ao longo do período de armazenamento.

A produção de etileno é um processo bioquímico altamente dependente da presença de O_2 , uma vez que este é essencial para a ativação da metionina e a conversão do intermediário 1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico (ACC) em etileno (Kende, 1993). Nas embalagens

BWC, a redução na concentração de O_2 , combinada com o aumento do CO_2 , resultou em um retardo significativo na síntese de etileno. O aumento de CO_2 não apenas limita a produção do gás, mas também interfere na percepção do etileno pela planta, ao competir pelos mesmos sítios de ligação nos receptores de etileno (Picton et al., 1993; Ayub et al., 1996; Silva et al., 2004; Chitarra e Chitarra, 2005). Dessa forma, a redução dos processos fisiológicos relacionados ao amadurecimento justifica a eficácia observada nas embalagens BWC.

Durante o armazenamento, foi verificado um pico temporário na produção de etileno na terceira semana, seguido por uma queda subsequente. Esse comportamento está alinhado com o que se espera em condições de baixa concentração de O_2 e elevado CO_2 , uma vez que o sistema enzimático pode ser temporariamente reativado pela adaptação metabólica das frutas às novas condições (Kader, 1994; Pesis et al., 2000). A presença desse pico também sugere a importância de monitorar constantemente as condições de armazenamento e utilizar mecanismos adicionais, como filtros absorvedores de etileno.

Nas embalagens BWC, os níveis de etileno permaneceram em torno de 2%, indicando um leve acúmulo que pode ser atribuído à baixa permeabilidade do material das embalagens, o que limita as trocas gasosas. Mesmo com a presença de filtros absorvedores, a retenção parcial do etileno sugere que a eficácia desses sistemas está condicionada às propriedades específicas das embalagens e às condições fisiológicas das frutas (Martínez-Romero et al., 2007; Oliveira et al., 2011).

O teor de matéria seca de mangas no momento da colheita, que inclui componentes como amido, açúcares, ácidos orgânicos, minerais e pectinas, apresenta relação direta com os teores de sólidos solúveis nas frutas maduras e prontas para o consumo (Freitas et al., 2022). Essa relação permite que a matéria seca seja usada em conjunto com outros parâmetros de colheita, como cor e firmeza da polpa, para estimar a qualidade de consumo das frutas maduras. No presente estudo, mangas cultivadas na safra de inverno apresentaram maior média de matéria seca que as mangas cultivadas na safra de verão, sugerindo juntamente com as demais avaliações físico-químicas que as mangas da safra de inverno foram cultivadas em um estágio de maturação mais avançado que as mangas da safra de verão.

Léchaudel et al. (2005) destacam que o uso de embalagens de atmosfera modificada (AM) pode ajudar a preservar os açúcares das frutas durante o armazenamento, promovendo um acúmulo mais elevado de sólidos solúveis com o tempo. Essa manutenção é crucial para a qualidade e doçura da fruta, mesmo após períodos prolongados de armazenamento. Com isso, as mangas armazenadas em AM, especialmente as cultivadas no inverno, tendem a conservar níveis mais altos de matéria seca e sólidos solúveis, resultando em frutas de melhor qualidade

sensorial, como também foi observado em outros estudos (Rodrigues et al., 2008; Jeronimo et al., 2007).

No presente estudo, o uso de embalagens de AM, especialmente BWC-SF e BWC-CF, mostrou-se altamente eficaz ao reduzir a perda de massa das mangas 'Keitt' em até 5,18 vezes quando comparado ao tratamento controle sem embalagem. Esse resultado pode ser atribuído à ação da embalagem como barreira física, limitando a transpiração e a respiração celular os principais responsáveis pela perda de massa em frutas, como sugerem Zerbini et al. (2015), Brecht (2020) e Abu et al. (2020).

Durante o transporte, o consumo das reservas nutricionais pelo processo de respiração celular e a perda de água via transpiração são fatores cruciais na diminuição da massa, mas o efeito de barreira promovido pelas embalagens BWC-SF e BWC-CF minimiza esses mecanismos, promovendo a retenção de carbono e umidade e, portanto, a preservação da massa (Silva, 2020).

Estudos prévios corroboram a importância do uso de diferentes tipos de embalagens com AM para a contenção da perda de massa em mangas. Por exemplo, o uso de filmes de PVC, PEAD e PEBD em mangas 'Tommy Atkins' resultou em retenção de massa semelhante (Souza et al., 2002). De forma análoga, embalagens de baixa densidade também apresentaram efeitos positivos (Jeronimo et al., 2007), assim como filmes plásticos para a variedade 'Tommy Atkins' (Eshetu et al., 2019) e polietileno para a variedade 'Palmer' (Vilvert et al., 2023). Tais resultados reforçam que a combinação entre o tipo de embalagem e a variedade de manga pode ser ajustada para maximizar a eficiência na redução da perda de massa durante o transporte, justificando os achados deste estudo e apontando para sua aplicabilidade prática em sistemas comerciais.

A firmeza é outro atributo essencial na avaliação da qualidade e aceitabilidade dos produtos frescos. Segundo Camatari et al. (2018), o amolecimento da polpa associa-se à hidrólise de amido, degradação de polímeros de parede celular, bem como ao processo de desidratação das frutas. Estudos realizados por Chatanawarangoon (2000) e Shellie et al. (1997) indicam que a perda de firmeza durante o armazenamento está relacionada à liberação de água e à respiração celular. Outros pesquisadores também relacionam essa perda à ação de enzimas como a poligalacturonase, galactosidases, pectina metilesterase e β -1,4-glucanases, que atuam no amolecimento da polpa (Lazan et al., 1986; Ali et al., 1995).

Nesta pesquisa, a firmeza das mangas manteve-se relativamente estável ao longo do armazenamento, sem alterações significativas. Resultados similares foram obtidos por Perumal et al. (2021) que observaram uma redução limitada na firmeza de mangas armazenadas em AM.

González-Aguilar et al. (2000) também registraram perda de firmeza, embora essa atmosfera tenha retardado outros sinais de deterioração. De forma semelhante, Martínez-Ferrer et al. (2002) concluíram que a AM pode não ser suficiente para preservar a firmeza em frutas em estágios avançados de amadurecimento.

Wei et al. (2021) evidenciaram que uma atmosfera com 7% de CO₂ e 3% de O₂ é eficaz para manter a firmeza das frutas por até 30 dias, enquanto níveis mais baixos de CO₂ e mais altos de O₂ aceleram a perda de firmeza. Esses resultados estão em conformidade com os achados deste estudo, em que as embalagens BWC mantiveram concentrações de aproximadamente 7,01% de CO₂ em ambas as safras de cultivo, com níveis de O₂ de 4,7% no inverno e 1,5% no verão na última semana de armazenamento. O ideal, para uma conservação mais prolongada, seria manter o O₂ abaixo de 3% durante todo o período de armazenamento.

Outros estudos que avaliaram níveis mínimos de O₂ para retardar a respiração aeróbica em mangas, como Santos et al. (2023) e Alves et al. (2023), corroboram a eficácia do uso de AM, controlada ou dinâmica para prolongar a firmeza das mangas. Nesses estudos, mangas 'Tommy Atkins' e 'Palmer' armazenadas sob atmosfera controlada mantiveram a firmeza similar à do controle até o 30º dia, com uma preservação superior após esse período, sugerindo que essas técnicas são ideais para transporte de longa duração a mercados distantes, como o asiático.

O amadurecimento pós-colheita é o processo em que a fruta passa do estágio de maturação fisiológica para a maturação de consumo. O índice DA correlaciona-se com o avanço da maturação, indicando que quanto maior o valor, maior o teor de clorofila e menor o teor de carotenoides na fruta (Ziosi et al., 2008). Para as frutas cultivadas no inverno, não foram observadas diferenças significativas no índice de maturação ao longo do armazenamento.

Em contrapartida, as frutas cultivadas no verão, acondicionadas nas embalagens BWC-SF e BWC-CF, apresentaram os maiores índices de maturação aos 28 dias, atingindo cerca de 1,5 no índice DA em comparação com outros tratamentos. Após o período adicional de 4 dias em temperatura ambiente (28+4 dias), todos os tratamentos mostraram um amadurecimento completo, evidenciando que a exposição a temperatura de prateleira de 20 °C favoreceu a conclusão do processo de amadurecimento, resultando em frutas na maturação de consumo. Esse comportamento foi confirmado pelas análises de sólidos solúveis e acidez titulável, onde a embalagem BWC sem filtro de etileno apresentou menores teores de sólidos solúveis (12%) e maior acidez (1,1%) aos 28 dias.

Esses resultados são sustentados por estudos que apontam que a AM retarda o metabolismo da manga durante o armazenamento, permitindo que o amadurecimento ocorra adequadamente quando a fruta é exposta à temperatura ambiente de 20 °C (Kader, 2003;

Jeronimo et al., 2007; Oliveira et al., 2011; Wei et al., 2021), demonstrando a eficácia desse método para conservar as mangas até atingirem o ponto ideal em condições de prateleira, aspecto crucial para a comercialização.

Durante o amadurecimento, o teor de Sólidos solúveis (SS) tende a aumentar, enquanto a acidez titulável (AT) diminui. Mahmud et al. (2008) explicam que esse aumento ocorre pela conversão de amidos em açúcares, enquanto Di Miceli et al. (2010) e Kassebi et al. (2023) destacam a correlação entre SS e a percepção de doçura, fundamental para a aceitação do consumidor. Além disso, os sólidos solúveis relacionam-se diretamente com o teor de matéria seca, pois o acúmulo de sólidos solúveis reflete o conteúdo de açúcares e outros compostos que contribuem para a matéria seca total em mangas (Freitas et al., 2022).

Aos 28 dias de armazenamento, as frutas de inverno e verão mostraram diferenças significativas nos teores de Sólidos solúveis (SS) entre as embalagens. Nas frutas de inverno, a embalagem BWC-CF registrou o maior teor de SS, enquanto, no verão, apresentou o menor teor em comparação aos demais tratamentos. Esses achados são corroborados pelo estudo de Freitas et al. (2022), que identificou variabilidade no acúmulo de matéria seca entre frutas de diferentes estações de cultivo, possivelmente influenciada pelas condições sazonais.

Estudos realizados por Kader (2008) e Yahia (2009) indicam que temperaturas mais baixas favorecem a conversão de amidos em açúcares, resultando em maior acúmulo de SS devido ao metabolismo mais lento das frutas. Em contraste, Wang et al. (2019) observam que temperaturas elevadas, típicas do verão, aumentam a atividade respiratória, levando a um consumo mais acelerado desses açúcares. Lizada e Mendoza (1991) também demonstraram que condições frias ajudam a preservar açúcares, enquanto o calor intensifica o metabolismo e o consumo de sólidos solúveis, mesmo sob atmosferas modificadas.

A acidez titulável (AT) é um parâmetro essencial para a qualidade sensorial das frutas, pois equilibra a doçura e acidez e influencia diretamente a aceitação do consumidor (Beaudry, 1993; Wills et al., 2007). Neste estudo, nas frutas de inverno, a AT manteve-se estável entre os tratamentos após 28 dias de armazenamento, o que pode ser explicado pela menor taxa respiratória decorrente das temperaturas mais amenas dessa safra. A baixa atividade metabólica limitou o consumo dos ácidos orgânicos, minimizando as diferenças no efeito das embalagens.

Já nas frutas de verão, onde a taxa respiratória foi mais elevada, a embalagem BWC-SF demonstrou maior eficácia na preservação da AT, mantendo valores próximos a 1,1%. Isso indica que, mesmo sem a inibição direta do etileno, a modificação gasosa promovida pelas embalagens de AM foi suficiente para retardar a degradação dos ácidos orgânicos. Esses achados estão alinhados com os resultados de Brecht et al. (2023, 2024), que destacam a eficácia

das embalagens de AM em retardar o consumo de ácidos durante o armazenamento e prolongar a vida útil das frutas. Assim, a preservação da acidez observada neste estudo reforça o papel das embalagens na manutenção dos parâmetros de qualidade necessários para transportes de longa distância.

Além disso, a redução nos teores de sólidos solúveis (SS%) acompanhada pelo aumento na AT sugere uma interação metabólica durante o armazenamento, conforme descrito por Wang et al. (2019). Esses autores relatam que, mesmo sob AM, a conversão de açúcares pode ocorrer devido ao consumo energético, mas, no presente estudo, a embalagem BWC-SF foi eficaz em limitar essa conversão, preservando a acidez e retardando o colapso metabólico das frutas.

Morgado et al. (2020) e Alvarez et al. (2021) também ressaltam que fatores como a sazonalidade influenciam a preservação da acidez. No inverno, as condições mais estáveis reduziram o impacto das embalagens, enquanto no verão, a embalagem BWC-SF foi especialmente eficiente em conter a degradação dos ácidos, devido ao controle eficaz da troca gasosa e à redução da taxa respiratória.

As frutas de inverno e verão mostram comportamentos diferentes na relação SS/AT ao longo do armazenamento. As frutas de inverno mantiveram uma variação estável entre 30 e 50 após 28 dias, com aumento moderado após o período adicional de 4 dias, sem diferenças significativas entre os tratamentos, apresentando amadurecimento lento e pouca variação sensorial. Em contraste, as frutas de verão apresentaram maior variação, entre 20 e 50 após 28 dias, com diferenças importantes entre os tratamentos. Após o período adicional de 28+4 dias, a relação SS/AT aumentou significativamente, atingindo até 60, refletindo um amadurecimento mais rápido e maior impacto nas condições de armazenamento.

O aumento dos SS e a redução da AT elevaram a relação SS/AT ao longo do armazenamento, refletindo o avanço do amadurecimento das frutas. Essa proporção é um importante indicador de qualidade sensorial, influenciando diretamente o sabor percebido, especialmente em frutas como manga e maçã (Brandão et al., 2003; Wosiacki et al., 2004). Uma relação SS/AT mais alta indica maior doçura relativa, pois o aumento dos açúcares em comparação à acidez intensifica o sabor doce (Sadler e Murphy, 2010).

As mangas do tratamento controle apresentaram as maiores taxas de respiração em ambas as safras de cultivo, superando consistentemente todos os outros tratamentos. As embalagens de atmosfera modificada (AM) foram eficazes em manter taxas respiratórias mais baixas ao longo do armazenamento, retardando o metabolismo das frutas. Esse resultado está alinhado com estudos que demonstram a eficácia da AM na redução do metabolismo respiratório em mangas (Rambabu et al., 2019; Xião et al., 2021; Vilvert et al., 2023). O controle

do metabolismo é fundamental, pois a taxa de respiração afeta diretamente a qualidade pós-colheita, e a modificação gasosa, ao reduzir os níveis de O_2 e aumentar o CO_2 , retarda o amadurecimento e minimiza perdas de massa e qualidade sensorial.

Os resultados deste estudo corroboram os achados de Brecht et al. (2024), que destacaram a eficácia das embalagens de AM na estabilização da respiração e preservação da qualidade em mangas ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Kent’ durante o transporte prolongado. De forma semelhante, Santos et al. (2023) observaram que o armazenamento em atmosfera controlada com níveis reduzidos de O_2 desacelerou significativamente a respiração de mangas ‘Tommy Atkins’. No presente estudo, as embalagens BWC mantiveram níveis adequados de O_2 e CO_2 , contribuindo para a preservação da qualidade das mangas, especialmente nas frutas cultivadas no verão, onde o metabolismo respiratório foi naturalmente mais elevado.

A cor da fruta é uma característica essencial para a aceitação pelos consumidores (Ebrahimi e Rastegar, 2020). A maturação fisiológica é acompanhada por transformações nas paredes celulares, mediadas por enzimas específicas, e o etileno desempenha um papel crucial, induzindo mudanças na cor, textura, sabor e aroma nas frutas climatéricas (Alexander e Grierson, 2002). O ângulo Hue ($^{\circ}$ Hue) é amplamente utilizado para avaliar e quantificar a cor durante o amadurecimento, sendo um indicador visual importante da qualidade e do estágio de amadurecimento (Santos et al., 2011).

Neste estudo, não foram observadas diferenças significativas no $^{\circ}$ Hue da casca nas frutas de inverno ou no $^{\circ}$ Hue da polpa em ambas as safras de cultivo entre as frutas armazenadas em diferentes tipos de embalagens e o controle. Esses dados indicam que o tipo de embalagem não influenciou a cor externa ou interna das frutas, mantendo a estabilidade visual das frutas durante o processo de amadurecimento. Esse comportamento é consistente com estudos anteriores de Jerônimo (2000), Pfaffenbach et al. (2003), Kim et al. (2007) e Githiga et al. (2014), que observaram que sachês de permanganato de potássio e embalagens de AM não causaram mudanças significativas na coloração da casca ou no ângulo de matiz da polpa em variedades como Palmer e Espada Vermelha.

A cor da polpa, por sua vez, é um dos principais indicadores de amadurecimento e vida útil das mangas, evoluindo de um tom branco-esverdeado para amarelo ou laranja conforme o amadurecimento avança (Brecht et al., 2010; Nordey et al., 2019). Embora a modificação atmosférica possa contribuir para a estabilidade da cor, o $^{\circ}$ Hue da casca e da polpa diminuiu com o tempo de armazenamento, refletindo as mudanças típicas de cor durante o amadurecimento, independentemente do tipo de embalagem. Esses achados confirmam o $^{\circ}$ Hue

como um indicador eficaz da progressão do amadurecimento, ainda que as embalagens de AM tenham contribuído para desacelerar o processo.

Na presente pesquisa, foram identificados dois distúrbios fisiológicos principais nas mangas: nariz mole e corte negro, ambos associados a alterações nos tecidos das frutas causadas por condições adversas durante o cultivo e armazenamento (De Freitas e Pareek, 2019). Esses distúrbios comprometem a qualidade visual e nutricional do produto e podem ser desencadeados por fatores como temperatura, umidade, concentração de gases e exposição à luz (Kader, 2002).

Nas frutas embaladas, a alta incidência de nariz mole foi atribuída ao ambiente modificado, que, mesmo em embalagens de baixa ou média permeabilidade ao O₂, resultou na retenção de etileno. Esse resultado está em acordo com estudos de Wills et al. (2007), que indicam que frutas cultivadas sob climas amenos apresentam menor atividade metabólica, mas podem responder de forma diferenciada ao armazenamento. Além disso, a baixa concentração de cálcio na extremidade distal das frutas foi identificada como um fator-chave na estabilidade reduzida das paredes celulares, tornando os tecidos mais suscetíveis ao colapso (Burdon et al., 1991).

O amadurecimento acelerado foi outro fator que contribuiu para o desenvolvimento do nariz mole, devido à ação do etileno, que ativa enzimas como pectinases e celulasas, responsáveis pela degradação das paredes celulares (Uenojo e Pastore, 2007). Quando as frutas apresentam regiões com deficiência de cálcio, a resistência à degradação estrutural é ainda mais comprometida, favorecendo o colapso tecidual e intensificando a severidade da desordem.

O corte negro, caracterizado pelo escurecimento da polpa ao redor da semente, compromete as propriedades sensoriais das frutas e sua aceitabilidade pelo consumidor, especialmente em mercados exigentes (Mendes et al., 2012; Freitas e Andrade, 2019). Esse distúrbio está relacionado principalmente às flutuações de temperatura durante o armazenamento, conforme demonstrado por Brecht et al. (2019), que observaram maior incidência de corte negro em mangas expostas a temperaturas inferiores a 10 °C seguidas de períodos a 23 °C, em comparação com frutas mantidas continuamente a 23 °C.

No presente estudo, o corte negro foi identificado após 28 dias de armazenamento a 9 °C, seguido de um período adicional de 4 dias a 20 °C, reforçando que temperaturas inferiores a 10 °C atuam como fator predisponente, enquanto a exposição subsequente a temperaturas mais altas desencadeia o aparecimento dos sintomas. Esses achados corroboram a natureza oxidativa da injúria pelo frio, como documentado por Miguel et al. (2011), Silva et al. (2015) e

Brecht et al. (2019). A elevação da temperatura após o armazenamento refrigerado potencializa a atividade metabólica, acelerando o dano oxidativo.

De acordo com Kluge e Aguila (2007), o uso de atmosferas controladas ou modificadas reduz as injúrias pelo frio ao promover a síntese de poliaminas, que protegem as membranas celulares. No presente estudo, embalagens de baixa e média permeabilidade ao O₂ resultaram em menor incidência ou ausência de corte negro, sugerindo que concentrações reduzidas de O₂ desempenham um papel crucial na mitigação dessa desordem, mesmo após a exposição a temperaturas elevadas. Esse efeito pode estar associado à redução do estresse oxidativo e à preservação da integridade celular, retardando o desenvolvimento dos danos.

A transferência das frutas para 20 °C após o armazenamento a 9 °C foi um fator determinante para o desenvolvimento dos sintomas de corte negro, destacando a importância do manejo adequado das temperaturas para minimizar as injúrias pelo frio. Esse resultado está alinhado com os achados de Brecht et al. (2019), que demonstraram que o aumento da temperatura após o período refrigerado intensifica o metabolismo oxidativo, exacerbando a desordem fisiológica. A Análise de Componentes Principais (PCA) reforçou essa evidência, mostrando que altas concentrações de O₂ durante o armazenamento e transporte foram associadas a maior incidência de corte negro e perda de peso. Esses achados indicam que ambientes ricos em O₂ aceleram o metabolismo das frutas e intensificam processos oxidativos (Freitas e Andrade, 2019).

Por outro lado, altas concentrações de CO₂ mostraram efeito protetor, reduzindo a perda de peso e mitigando o desenvolvimento do corte negro devido à inibição de processos oxidativos e da produção de etileno (Serek et al., 2006). Esse efeito foi observado nas frutas armazenadas em embalagens de baixa e média permeabilidade ao O₂, que resultaram em menor incidência ou ausência de corte negro. Esses resultados estão em acordo com estudos de Sanches et al. (2014) e Nunes et al. (2019), que destacaram que a redução de O₂ nas embalagens de atmosfera modificada contribui para a preservação da qualidade das frutas e para a mitigação das injúrias pelo frio.

A variável L da polpa, que reflete o grau de clareamento durante o amadurecimento, apresentou uma correlação inversa ao corte negro, com polpas mais claras (maior L) sendo menos propensas à desordem, enquanto as polpas mais escuras (menor L) apresentaram maior suscetibilidade. Isso reforça que alterações na cor da polpa estão relacionadas aos processos oxidativos que levam ao corte negro (Mendes et al., 2012; Freitas e Andrade, 2019). Além disso, a perda de peso observada foi diretamente associada ao aumento de O₂, indicando maior

transpiração e desidratação das frutas (Kader, 2002), enquanto o efeito protetor das altas concentrações de CO₂ limitou esses efeitos.

Esses achados destacam que o efeito combinado de altas temperaturas e disponibilidade de O₂ potencializa o desenvolvimento do corte negro, mas que o uso de embalagens de atmosfera modificada foi eficaz em controlar o metabolismo oxidativo, reduzindo a perda de peso e preservando a integridade visual e estrutural das frutas.

A análise dos dados revelou que o uso de filtros de absorção de etileno no armazenamento de mangas 'Keitt' não proporcionou benefícios significativos na manutenção da qualidade das frutas. As embalagens de AM demonstraram maior eficácia na preservação das características qualitativas, independentemente da presença de filtros. Não foram observadas diferenças estatísticas significativas nos parâmetros de firmeza da polpa, índice de maturação e tonalidade da casca e polpa entre os tratamentos com e sem filtro de etileno.

Esses resultados indicam que o controle do etileno foi amplamente atribuído à modificação atmosférica promovida pelas embalagens, por meio da redução de O₂ e elevação do CO₂. Altas concentrações de CO₂ suprimem a atividade da ACC sintase, que converte a S-adenosilmetionina (SAM) em ACC, enquanto baixos níveis de O₂ reduzem a atividade da ACC oxidase, que catalisa a conversão de ACC em etileno (Serek et al., 2006). Esse mecanismo explica a redução na biossíntese de etileno observada, bem como o retardo no amadurecimento e na senescência.

Para algumas variáveis, as embalagens com alto CO₂ e baixo O₂ mostraram desempenho superior ao controle, reforçando a eficácia da modificação atmosférica na preservação da qualidade pós-colheita. Esses achados contrastam com estudos anteriores, como os de Elmi et al. (2013) e Brecht et al. (2016), que relataram a eficácia dos filtros It's Fresh no armazenamento de outras frutas, como abacates, ameixas e morangos. No entanto, a divergência pode ser explicada pelas particularidades da manga 'Keitt', que apresenta uma resposta fisiológica distinta ao etileno, ou pelas condições específicas de armazenamento.

Esses fatores sugerem que a eficácia dos filtros de absorção de etileno não é universal e pode depender do tipo de fruta e das condições de conservação. Portanto, a atmosfera modificada mostrou-se uma estratégia mais robusta e consistente para o armazenamento de mangas 'Keitt', destacando-se como uma ferramenta eficaz para preservar a qualidade pós-colheita, especialmente em cenários de transporte prolongado e mercados exigentes.

5 CONCLUSÕES

O estudo evidencia que as embalagens de AM, especialmente as de baixa permeabilidade ao O₂ (BWC), são eficazes na preservação da qualidade pós-colheita e no prolongamento da vida útil de mangas 'Keitt' durante o transporte de longa distância. As embalagens BWC mantiveram níveis internos baixos e estáveis de O₂ e CO₂, retardando o amadurecimento, minimizando a perda de massa e preservando o equilíbrio sensorial por meio da manutenção dos sólidos solúveis (SS) e da acidez titulável (AT). Por outro lado, os filtros de absorção de etileno não demonstraram benefícios significativos na qualidade das frutas durante o armazenamento a 9 °C por 28 dias, seguidos de 4 dias a 20 °C.

6 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) e pela bolsa do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional fornecida a coorientadora deste trabalho (Processo: APQ-0015-5.01/23), bem como 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) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de mestrado fornecida para o autor do trabalho (Processo CAPES: 88887.808062/2023-00).

7 REFERÊNCIAS

- ABU, M., ABBEY, L.D., AMEY, N.K. Relation of harvesting time on physicochemical properties of Haden, Kent, Palmer, and Keitt mango varieties for export and local markets. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, v.4, p.87-100, 2021.
- ALVAREZ, V., MARTINS, A., OLIVEIRA, C. Embalagens na conservação de frutas e hortaliças minimamente processadas. *Agronomy Food Academy*, 2021.
- ANAND, B.P., RESHMA, B.N., PERIYAR, S.S., ROTIMI, S.E. Use of modified atmosphere packaging combined with essential oils for prolonging post-harvest shelf life of mango (cv. Banganapalli and cv. Totapuri). *LWT - Food Science and Technology*, 2021.
- AYUB, R., GUIS, M., BEN, A.M., GILLOT, L., ROUSTAN, J.P., LATCHÉ, A., BOUZAYEN, M., PECH, J.C. Expression of ACC oxidase antisense gene inhibits ripening of cantaloupe melon fruits. *Nature Biotechnology*, v. 14, p. 862-866, 1996.
- BEAUDRY, R.M. Effect of Carbon Dioxide on the Quality of Controlled Atmosphere-Stored Apples. *Postharvest Biology and Technology*, v.2, p.335-347., 1993.
- BETEMPS, D.L., RAMOS, R.F. Avaliações não destrutivas em pós-colheita. *Informe Agropecuário.Pós -Colheita*, v.42, p.00-00, 2021.
- BURDON, J.N., MOORE, K.G., WAINRIGHT, H. Mineral distribution in mango fruit susceptible to the physiological disorder “soft nose”. *Scientia Horticulturae*, v.48, p.329-336, 1991.
- BRACKMANN, A., GIEHL, R.F.H., SESTARI, I., STEFFENS, C.A. Armazenamento de nêspas (*Eriobotrya japonica*, Lindl.) cv. Mizuho em atmosfera modificada. *Revista Científica Rural*, v.9, p.18-24, 2004.
- BRANDÃO, M.C.C., SILVA, S.M., SILVA, M.E.M.P., SILVA, M.A.A.P., SILVA, M.R. Análise físico-química, microbiológica e sensorial de frutas de manga submetidos à desidratação osmótico-solar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 5, p. 38-41, 2003.
- BRECHT, J.K., SARGENT, S.A., HUBER, D.J., SUTHAR, R. Efficacy of It's Fresh! palladium ethylene scrubber in reducing ethylene and extending strawberry quality. *International Strawberry Symposium*, 2016.
- BRECHT, J.K., PLOTTO, A., MARÍN-GOZALBO, A., GOODRICH, R. Fresh-cut mango best management practices manual. HS1443. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS), Gainesville, FL. v.31, 2023.
- BRECHT, J.K., SARGENT, S.A., RISTOW, N., OSUNA G.J.A., SINGH, S. Demonstrating modified atmosphere packaging (AM) feasibility for mango export. *Acta Horticulturae*, v. 1386, p.161-168, 2024.
- CAMATARI, F.O.S., SANTANA, L.C.L.A., CARNELOSSI, M.A.G., ALEXANDRE, A.P.S., NUNES, M.L., GOULART, M.O.F., NARAIN, N., SILVA, M.A.P. Impact of Edible Coatings Based on Cassava Starch and Chitosan on the Post-Harvest Shelf Life of Mango (*Mangifera indica* L.) Tommy Atkins' Fruits. *Food Science and Technology*, v.38, p.86-95, 2018.

CANDELARIO-RODRÍGUEZ, H.E., ZAVALA, G.F. Effect of high-pressure processing on postharvest physiology of 'Keitt' mango. *Postharvest Biology and Technology*, v.94, p.35-40, 2014.

CELINE, M., VALÉRIE, G., KARINE, G., SANDRINA, C., NATHALIE, G., STÉPHANE, G., SÉBASTIEN, G. Consumer behaviour in the prediction of postharvest losses reduction for fresh strawberries packed in modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, v.163, p.1-11, 2020.

CHATANAWARANGOON, S. Manutenção da qualidade de fatias de manga frescas cortadas, Dissertação de Mestrado, Davis University of California, CA., 2000.

CRANE, J.H., BALERDI, C.F., MAGUIRE, I. Mango Growing in the Florida Home Landscape. UF/IFAS Extension., 2019.

DE FREITAS, S.T., PAREEK, S. (Eds.). Postharvest Physiological Disorders in Fruit and Vegetables. CRC Press, Boca Raton Florida, pp. 443–466.

DI MICELI, C., INFANTE, R., INGLESE, P. Instrumental and sensory evaluation of eating quality of peaches and nectarines. *European Journal Horticultural Science*, v.75, p.97–102, 2010.

ELMI, F., COOLS, K., TERRY, L.A. The use of It's Fresh! ethylene remover technology with e+® active as a practical means for preserving postharvest fruit quality. *Acta Horticulturae*, v.1012, p.1205–1210, 2013.

ESHETU, A., IBRAHIM, A.M., FORSIDO, S.F., KUYU, C.G. Effect of Beeswax and Chitosan Treatments on Quality and shelf life of Selected Mango (*Mangifera indica* L.) Cultivar Heliyon, v.5, p.01116, 2019.

FREITAS, S.T.D., GUIMARÃES, I.T., VILVERT, J.C., AMARAL, M.H.P.D., BRECHT, J.K., BIASOTO, A.C.T. 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.111917, 2022.

FREITAS, S.T.D., ANDRADE, M.E.A. Avaliação nutricional de polpa de mangas 'Keitt'. *Anais do CBF*, 2019. Acesso em: 29/01/2025.

GITHIGA, A.W., KIMENJU, J.W., HUTCHINSON, M.J., OWINO, W.O. Effect of Activebag® Modified Atmosphere Packaging on the Postharvest Characteristics of Mango Fruits Cultivar Tommy Atkins. *Journal of Applied Biosciences*, v.75, p.7537-7547, 2014.

GOMES, F.I.B.P., ZANELLA, M.E. Histórico, causas e características da semiaridez do Nordeste do Brasil. *Geografares*, n. 37, 2023. Acesso em: 9/01/2025.

GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A., WANG, C.Y., BUTA, J.G. Maintaining quality of fresh-cut mangoes using anti-browning agents and modified atmosphere packaging. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.48, p.4204-4208, 2000.

GUPTA, S., SHARMA, S., KAUR, A. Nutritional, phytochemical, and microbiological profile of mango (*Mangifera indica* L.) fruits from different regions of India. Food Chemistry, v.338, p.127988, 2021.

JERÔNIMO, E.M., KANESIRO, M.A.B. Efeito da associação de armazenamento sob refrigeração e atmosfera modificada na qualidade de mangas 'Palmer'. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.22, p.237-243, 2000.

KADER, A.A. Modified and controlled atmosphere storage of tropical fruits. Postharvest Handling of Tropical Fruit. In B. R., E., e G. I. (Eds.), Australian Centre for International Agricultural Research Proceedings. Chang Mai, Thailand, p. 239–249, 1994.

KADER, A.A. Tecnologia pós-colheita de culturas hortícolas (3ª ed.). University of California Agriculture and Natural Resources, p. 3311, 2003.

KADER, A.A. Perspective: Flavor quality of fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture, v.88, p.1863–1868, 2008.

KASSEBI, S., FARKAS, C., SZÉKELY, L., GÉCZY, A., KORZENSZKY, P. Saturação tardia da vida útil de maçãs Golden Delicious Parâmetros: TSS, peso e colorimetria. Ciências Aplicadas, v.13, p.159, 2023.

KIM, Y., BRECHT, J. K., TALCOTT, S.T. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. Food Chemistry, v.105, p.1327–1334, 2007.

KLUGE, R.A., AGUILA, J.S. Armazenamento de frutas tropicais. Visão Agrícola, s.d. Acesso em: 3 dez. 2024.

KULKARNI, R., DESAI, A., NADIGER, R. Nutritional and health benefits of mango: A review. Journal of Food Science and Technology, v.59, p.20-31, 2022.

LICCIARDELLO, F. Packaging, blessing in disguise. Review of its diverse contribution to food sustainability. Trends in Food Science and Technology, v.65, p.32-39, 2017.

LIZADA, M.C., MENDOZA, D.B. Mango. In Biochemistry of Fruit Ripening. Pp, 255–271. Chapman e Hall, London., 1991.

MAHMUD, T.M.M., RAGEEB, A.A., SYED, O.S.R., MOHAMED, Z.A.R., AL ERYANI, A.R. Effects of different concentrations and applications of calcium on storage life and physicochemical characteristics of papaya (*Carica Papaya* L.). American Journal of Agricultural and Biological Sciences. v.3, p.526–533, 2008.

MARTÍNEZ-FERRER, M., HARPER, C., PÉREZ-MUNTOZ, F., CHAPARRO, M. Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. Journal of Food Science, v.67, p.3365-3371, 2002.

MARTÍNEZ-ROMERO, D., GUILLÉN, F., CASTILLO, S., ZAPATA, P.J., SERRANO, M., VALERO, D. Ferramentas para manter a qualidade pós-colheita de frutas e vegetais por meio

da inibição da ação do etileno: uma revisão. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.47, p.543–560, 2007.

MATAR, C., GHANEM, A., ABIAD, M. Packaging strategies to prolong the shelf life of fresh produce: A review on modified atmosphere packaging and related technology. *Postharvest Biology and Technology*, v.161, p.111019, 2020.

MENDES, M.L.M., BORA, P.S., RIBEIRO, A.P.L. Propriedades morfológicas e funcionais e outras características da pasta do amido nativo e oxidado da amêndoa do caroço de manga (*Mangifera indica* L.), variedade Tommy Atkins. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, v.71, p.76-84, 2012.

MENDONÇA, V.Z., DAIUTO, É.R., FURLANETO, K.A., RAMOS, J.A., FUJITA, E., VIEITES, R.L., TECCHIO, M.A., CARVALHO, L.R. Aspectos físico-químicos e bioquímicos durante o armazenamento refrigerado do caqui em atmosfera modificada passiva. *Nativa*, v.03, p.16-21, 2015.

MIGUEL, A.C.A., DURIGAN, J.F., MORGADO, C.M.A., Gomes, R.F.D.O. Injúria pelo frio na qualidade pós-colheita de mangas cv. Palmer. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, p.255–260, 2011.

MORGADO, A.S., SANTOS, R.J., BORGES, T.L. Refrigeração e atmosfera modificada na conservação de frutas: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Pós-Colheita*, v.15, p.52-57, 2020.

NUNES, F.R., STEFFENS, C.A., HEINZEN, A.S., SOETHE, C., MOREIRA, M.A., AMARANTE, C.V.T. Vapor de etanol durante o armazenamento de ameixas 'Laetitia' em atmosfera modificada. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.41, p.1-10, 2019.

SANTOS, A.E.O., ASSIS, J.S., BATISTA, P.F., SANTOS, O.O. Utilização de atmosfera modificada na conservação pós-colheita de mangas 'Tommy Atkins'. *Revista Semiárido*, v.1, p.10-17, 2011.

PAULSEN, E., MORENO, D.A., MARTÍNEZ-ROMERO, D., GARCÍA-VIGUERA, C. Bioactive Compounds of Broccoli Florets as Affected by Packing Micro-Perforations and Storage Temperature. *Coatings*, v.13, p.568, 2023.

PESIS, E., AHARONI, D., AHARON, Z., BEN-ARIE, R., AHARONI, N., FUCHS, Y. Embalagem de atmosfera modificada e umidade modificada alivia sintomas de danos causados pelo frio em manga. *Postharvest Biology and Technology*, v.19, p.93-101, 2000.

PICTON, S., BARTON, S. L., BOUZAYEN, M., HAMILTON, A. J., GRIERSON, D. Altered fruit ripening and leaf senescence in tomatoes expressing an antisense ethylene-forming enzyme transgene. *Plant Journal*, v.3, p.469- 481, 1993.

PFAFFENBACH, L. B. et al., Efeito da atmosfera modificada e da refrigeração na conservação pós-colheita de manga espada vermelha. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.25, p.410–413, 2003.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.

RAMBABU, K., BHARATH, G., BANAT, F., SHOW, P.L., COCOLETZI, H.H. Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.126, p.1234–1243, 2019.

RODRIGUES, L.K., PEREIRA, L.M., FERRARI, C.C., SARANTÓPOULOS, C.I.G.L. HUBINGER, M.D. Vida útil de fatias de manga armazenadas em embalagens com atmosfera modificada passiva. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.28, p.271-278, 2008.

SANCHES, J., CIA, P., VALENTINI, S.R.T., BENATO, E., CHAGAS, E.A., PIO, R. Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita da nêspera 'Fukuhara'. *Bragantia*, v.70, p.455-459, 2011.

SANTOS, L.F., VILVERT, J.C., SOUZA, T.A., SILVA ALVES, J., SILVA, R.T., 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.

SALTVEIT, M.E. Respiração e etileno e sua relação com o manuseio pós-colheita. Em Bartz, JA, e Brecht, JK (Eds.), *Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables* (2^a ed., pp. 15-30). Marcel Dekker Inc., 2004.

SADLER, G.D., MURPHY, P.A. pH and Titratable Acidity. In: *Food Analysis*. Springer, Boston, MA., 2010.

SEREK, M., WOLTERING, E. J., SISLER, E. C., FRELLO, S., SRISKANDARAJAH, S. Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnology Advances*, v.24, p.368-381, 2006.

SHELLIE C., MANGAN, R.L, INGLE, S.J. Tolerance of grapefruit and Mexican fruit fly larvae to heated controlled atmospheres. *Postharvest Biology and Technology*, v.10, p.179–186, 1997.

SILVA, J.A. Conservação pós-colheita de mangas utilizando embalagens plásticas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.42, p.40-50, 2020.

SILVA, J.A., COSTA, T.S., LUCCHETTA, L., MARINI, L.J., ZANUZO, M.R., NORA, L., NORA, F.R., TWYMAN, R.M., ROMBALDI, C.V. Characterization of ripening behavior in transgenic melons expressing an antisense 1-aminocyclopropene-1-carboxylate (ACC) oxidase gene from apple. *Postharvest Biology and Technology*, v.32, p.263-268, 2004.

SINGH, H.P., PANDEY, V. Mango (*Mangifera indica* L.). *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*. CRC Press., 2020.

UENOJO, M., PASTORE, G.M. Pectinases: aplicações industriais e perspectivas. *Química Nova*, v.30, p. 388-394, 2007.

VASCONCELOS, O.C.M., DUARTE, D., SILVA, J.C., MESA, N.F.O., MEDEROS, B.J.T., FREITAS, S.T. Modeling ‘Tommy Atkins’ mango cooling time based on fruit physicochemical quality. *Scientia Horticulturae*, v.244, p.13–420, 2018.

WANG, Y., CHEN, H., MO, Q., SHI, X. Effect of modified atmosphere packaging on the quality and shelf life of postharvest fruits. *Journal of Food Quality*, Article ID 3249351, 2019.

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.636, 2021.

WOSIACKI, G., PHOLMAN, B.C., NOGUEIRA, A. Características de qualidade de cultivares de maçã: avaliação físico-química e sensorial de quinze cultivares. *Food Science and Technology*, v. 24, p.402-407, 2004.

WILLS, R., MCGLASSON, B., GRAHAM, D., JOYCE, D. Postharvest: An Introduction to the Physiology and Handling of Fruit, Vegetables and Ornamentals. CABI., 2007.

YAHIA, E.M. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Horticultural Reviews*, v.22, p.123–183, 1998.

XIAO, J., GU, C., ZHU, D., HUANG, Y., LUO, Y., ZHOU, Q. Development and Characterization of an Edible Chitosan/Zein Cinnamaldehyde Nano-Cellulose Composite Film and its Effects on Mango Quality During Storage. *LWT - Food Science and Technology*, v.140, p.110809, 2021.

ZERBINI, P.E., VANOLI, M., RIZZOLO, A., GRASSI, M., PIMENTEL, R.M.D.A., SPINELLI, L., TORRICELLI, A. Propriedades ópticas, produção de etileno e amolecimento em manga. *Postharvest Biology and Technology*, v.101, p.58–65, 2019.

ZIOSI, V., NOFERINI, M., FIORI, G., TADIELLO, A., TRAINOTTI, L., Casadoro, G., COSTA, G. A new index based on vis spectroscopy to characterize the progression of ripening in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, v.49, p.319–329, 2008.

ZHENA, O.P., HASHIMA, N, MARINGGALA, B. Quality evaluation of mango using nondestructive approaches: A. *Journal of Agricultural and Food Engineering*, v.1, p.3, 2020.

8 APÊNDICES



Apêndice A. Evolução visual da casca de mangas 'Keitt' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e armazenada sob diferentes condições de embalagem de atmosfera modificada, durante 28 dias a 9 ± 1 °C e 85-90% UR, seguidos do período vida de prateleira de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C.



Apêndice B. Evolução visual da polpa de mangas 'Keitt' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no inverno (2023) e armazenada sob diferentes condições de embalagem de atmosfera modificada, durante 28 dias a 9 ± 1 °C e 85-90% UR, seguidos do período de vida de prateleira de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C.



Apêndice C. Evolução visual da casca de mangas 'Keitt' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no verão (20 e armazenada sob diferentes condições de embalagem de atmosfera modificada, durante 28 dias a 9 ± 1 °C e 85-90% UR seguidos do período de vida de prateleira de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C.



Apêndice D. Evolução visual da polpa de mangas 'Keitt' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no verão (2024) e armazenada sob diferentes condições de embalagem de atmosfera modificada, durante 28 dias a 9 ± 1 °C e 85-90% UR, seguidos do período de vida de prateleira de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C.

CAPÍTULO 3

EFICIÊNCIA DE EMBALAGENS DE ATMOSFERA MODIFICADA E ABSORÇÃO DE ETILENO NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MANGA ‘ATAULFO’

RESUMO

A manga 'Ataulfo', apreciada por seu sabor e textura, apresenta alta perecibilidade, exigindo estratégias eficazes de armazenamento e transporte. Este estudo objetivou avaliar diferentes embalagens de atmosfera modificada e absorção de etileno para preservar a qualidade pós-colheita de mangas 'Ataulfo' produzidas no Submédio do Vale do São Francisco, Brasil. As frutas foram produzidas nas safras de outono de 2023 e 2024. Após a colheita, as mangas foram submetidas aos tratamentos: controle (frutas não embaladas); frutas embaladas em sacos de polietileno com membranas BreathWay (BWC, BWA, BWB) com diferentes permeabilidades ao O₂ e CO₂ (baixa, média e alta), com e sem filtro de absorção de etileno It's Fresh (CF e SF); frutas embaladas em sacos de polietileno perfurado com tecnologia de absorção de etileno It's Fresh; ou em sacos de polietileno de alta densidade (PEAD). As frutas foram armazenadas a 9 ± 1 °C e 85–90% UR por 28 dias, seguidos de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C, simulando transporte marítimo e tempo de prateleira, respectivamente. Na safra de 2023, a embalagem com média permeabilidade (BWA) retardou o amadurecimento, reduzindo a respiração e preservando a firmeza e a cor da casca das frutas. Na safra de 2024, embalagem com baixa permeabilidade (BWC) destacou-se por reduzir a taxa respiratória, minimizar a perda de massa, preservar a firmeza e diminuir a incidência de desordens fisiológicas, como corte negro e nariz mole nas frutas. A absorção de etileno dentro das embalagens não apresentou efeito significativo na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas 'Ataulfo'. Os resultados evidenciam uma maior eficiência das embalagens BWA e BWC na preservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Ataulfo'.

Palavras-chave: *Mangifera indica* L.; etileno; desordem fisiológica; corte negro, transporte.

1 INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro, com seu clima quente e seco, combinado às inovações nas técnicas de irrigação, transformou o semiárido em um dos principais polos da fruticultura do Brasil. Com destaque para a região do Submédio do Vale do São Francisco, especialmente as cidades de Juazeiro (BA) e Petrolina (PE). Entre as variedades de manga cultivadas na região, destacam-se, em termos de produção e colheita, as cultivares Tommy Atkins, Palmer, Kent e Keitt (Malaquias et al., 2007). Contudo, nos últimos anos, a expansão de novas áreas de produção trouxe maior diversificação com a introdução de cultivares adaptadas ao clima, como a Ataulfo, recentemente estabelecida no Submédio do Vale do São Francisco (Costa et al., 2021).

O outono no Submédio do Vale do São Francisco, conforme a classificação climática de Köppen, é caracterizado por um clima semiárido quente (BSwh), com temperaturas médias mensais superiores a 18 °C. Durante essa estação, que ocorre entre março e junho, a região vivencia uma transição entre o período chuvoso e o início da estiagem. As precipitações tornam-se progressivamente mais escassas, e a umidade relativa do ar diminui gradualmente. Além disso, há um aumento na velocidade média horária dos ventos ao longo dos meses de abril a junho, devido à intensificação da alta subtropical do Atlântico Sul. Essas condições climáticas influenciam diretamente as práticas agrícolas locais.

A manga ‘Ataulfo’ tem origem no México e desfruta de uma boa aceitação no mercado norte-americano devido à sua coloração amarelo brilhante quando madura, sua forma oval, textura cremosa e baixo teor de fibra, com um sabor doce e intenso além de apresentar semente proporcionalmente muito pequena para a fruta, de tal forma que esta variedade tem uma elevada percentagem de polpa comestível. Essas características, dentre outras, fizeram surgir o interesse de seu cultivo comercial pelos diversos produtores brasileiros (Jahurul al., 2015; Quirós-sauceda et al., 2019).

Com o crescimento contínuo do mercado consumidor, o padrão de consumo de manga evoluiu gradualmente, passando das vendas locais e regionais para a comercialização em outros mercados nacionais e para a exportação. No entanto, devido ao comportamento climatérico de amadurecimento e às práticas inadequadas de manejo pós-colheita, a manga enfrenta um período de vida pós-colheita limitado, o que pode restringir seu potencial de exportação (Ayele e Bayleyegn, 2017; Liu et al., 2019). Diante desse desafio, a adoção de soluções tecnológicas para preservação da qualidade e extensão da vida útil torna-se essencial para viabilizar a comercialização em mercados mais exigentes.

A qualidade das frutas é atribuída ao seu tamanho, forma e à cor da casca. Esses elementos, combinados com a composição físico-química da polpa, conferem às frutas e aos produtos derivados delas características organolépticas e nutricionais determinantes para sua aceitação no mercado (Scalon et al., 2004). Como a maioria das frutas possui um teor de água entre 80-90%, a perda desse componente resulta em enrugamento dos tecidos, amaciamento da polpa e redução de peso, sendo uma característica crucial para determinar o valor comercial (Scalon et al., 2004).

De acordo com Chitarra e Chitarra (1990), a modificação da atmosfera no armazenamento de frutas e hortaliças, como complemento da refrigeração, é uma técnica que tem sido amplamente utilizada nas últimas décadas. Essa abordagem tem demonstrado eficácia em prolongar a vida pós-colheita das frutas, minimizando as perdas de massa, reduzindo a taxa respiratória e a produção de etileno, sem causar alterações significativas na cor, acidez titulável, pH, sólidos solúveis conforme observado em diversas frutas, como kiwi (Mazaro et al., 2000), morango (Li e Kader, 1989; Scalon et al., 1996), manga (Melo Neto et al., 1999), acerola (Alves, 1993), entre outras.

O amadurecimento acelerado de frutas tropicais, como a manga, representa um desafio significativo para a conservação pós-colheita, afetando a qualidade e aumentando as perdas. Tecnologias como atmosfera modificada (AM) e absorção de etileno têm se mostrado promissoras na manutenção da qualidade físico-química, sensorial e nutricional dessas frutas, além de reduzirem as perdas pós-colheita. Essas técnicas auxiliam na preservação durante o armazenamento e transporte, permitindo que as frutas alcancem mercados distantes com alta qualidade (Chitarra e Chitarra, 2005).

No entanto, há uma carência de estudos específicos sobre a eficiência dessas tecnologias na variedade de manga 'Ataulfo'. Além disso, comparações entre diferentes tipos de embalagens utilizadas na conservação pós-colheita dessa variedade são limitadas.

Diante disso, este estudo objetivou avaliar a eficiência de diferentes embalagens de AM com diferentes permeabilidades aos gases O_2 e CO_2 , associadas ou não à tecnologia de absorção de etileno, na preservação da qualidade pós-colheita de mangas 'Ataulfo' produzidas no Submédio do Vale do São Francisco.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL VEGETAL E CONDIÇÕES EXPERIMENTAIS

O experimento foi realizado com mangas ‘Ataulfo’ (*Mangifera indica* L.) cultivadas nas safras de outono de 2023 e 2024 em um pomar comercial localizado em Petrolina, PE, Brasil. A escolha de apenas uma estação do ano para realizar a colheita deveu-se ao fato da cultivar Ataulfo ser produzida apenas no outono na região do Vale do São Francisco. Após a colheita, as frutas foram transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE. As mangas foram selecionadas com base em critérios como tamanho, peso (peso médio variando de 226 g em 2023 a 343,5 g em 2024), índice de maturação, uniformidade e ausência de doenças e danos físicos (National Mango Board, 2010).

Para o armazenamento das frutas, foram utilizadas diferentes embalagens e filtros de absorção de etileno, ambos materiais fornecidos pelo Laboratório de Pós-colheita da Universidade da Florida, FL, Gainesville, EUA. As embalagens foram produzidas pela empresa Hazel Technologies, Fresno, CA, EUA. O filtro de absorção de etileno foi fornecido pela empresa It's Fresh Ltd, Burntwood, Reino Unido.

As frutas foram submetidas aos seguintes tratamentos: frutas não embaladas (controle); frutas embaladas em sacos de polietileno com membranas BreathWay (BW), que apresentam média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade aos gases O₂ e CO₂, com (CF) e sem (SF) filtro de absorção de etileno da It's Fresh.

No primeiro experimento, conduzido com frutas cultivadas no outono de 2023, foi adicionado o tratamento onde as frutas foram embaladas em embalagens de polietileno de alta densidade (PEAD), com (CF) e sem (SF) filtro de absorção de etileno. No segundo experimento, conduzido com frutas cultivadas no outono de 2024, os tratamentos com embalagem de PEAD foram substituídos pela embalagem BWC que foi obtida com a selagem da metade da membrana responsável pela permeabilidade da embalagem BWA, visando obter uma embalagem com baixa permeabilidade aos gases O₂ e CO₂. A embalagem BWA foi utilizada para embalar frutas com (CF) e sem (SF) filtro de absorção de etileno. Ainda no segundo experimento realizado em 2024, foi adicionado o tratamento com frutas embaladas em sacos de polietileno perfurado com a mesma tecnologia de absorção de etileno da It's Fresh (EMB-AE). A exclusão do tratamento com a embalagem de PEAD aconteceu no segundo experimento devido à ocorrência de fermentação das frutas no primeiro experimento. Esse problema foi atribuído à baixa permeabilidade da embalagem de PEAD aos gases.

Após serem embaladas, as frutas foram armazenadas a $9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm (0,5\text{ }^{\circ}\text{C})$ e 85–95% UR por 28 dias, sendo então transferidas para $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm (0,5\text{ }^{\circ}\text{C})$ por mais 4 dias para simular o período de transporte refrigerado e período de vida de prateleira, respectivamente.

Durante o armazenamento refrigerado, as embalagens de AM foram avaliadas semanalmente para as concentrações de O_2 , CO_2 e etileno no seu interior. As frutas foram avaliadas para parâmetros de qualidade físico-química no momento da colheita (0 dias), assim como aos 28 dias e 28 + 4 dias de transporte e período de vida de prateleira, respectivamente, conforme descrito abaixo.

2.1.1 Variáveis Analisadas

2.1.2 Determinação dos gases

A determinação das concentrações de O_2 , CO_2 e etileno nas embalagens foi realizada semanalmente durante um período de 4 semanas, com o auxílio do Felix-950 (CID Bio-Science, Inc. Camas, EUA).

2.1.3 Matéria seca (MS)

As amostras de polpa fresca foram pesadas, secas em estufa com circulação de ar a $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ até peso constante e pesadas novamente para determinar o peso seco. O teor de matéria seca foi determinado pela multiplicação do peso seco por 100, dividido pelo peso fresco inicial de cada amostra, sendo os resultados expressos em porcentagem.

2.1.4 Perda de massa

A perda de massa foi calculada multiplicando a diferença entre a massa inicial e a massa no final do armazenamento por 100 e dividindo pela massa inicial. A perda de massa foi expressa como porcentagem.

2.1.5 Índice de maturação

O índice do estado de maturação foi realizado na região equatorial da fruta, com duas medições por frutas, utilizando o DA-METER[®] digital (Via di Corticella, Bolonha, ITÁLIA).

2.1.6 Firmeza de polpa (N)

A firmeza de polpa foi determinada com um texturômetro eletrônico Extralab TAXT Plus (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido), por meio da inserção de uma ponteira de 6

mm de diâmetro na polpa das mangas após a retirada da casca da fruta, com leitura realizada nos dois lados opostos na região mediana de cada fruta. Os resultados foram expressos em Newton (N).

2.1.7 Acidez titulável (AT)

A AT foi determinada com um titulador automático Metrohm, modelo 848 Titrino Plus (SP, Brasil). Para a titulação, 1 g de suco foi diluído em 50 mL de água destilada, sendo então titulado com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1, conforme o método do Instituto Adolfo Lutz-IAL (2005). Os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico no suco.

2.1.8 Sólidos Solúveis (SS)

Os teores de SS foram determinados em 1 mL de suco com o auxílio de um refratômetro digital com compensação automática de temperatura, modelo PAL-1 (ATAGO, Digital Pocket Refratômetro, SP, Brasil), com escala de leitura de 0 a 53 °Brix, conforme a AOAC (2012).

2.1.9 Relação Sólidos solúveis/Acidez titulável

A relação foi calculada em cada amostra dividindo o valor dos sólidos solúveis totais por seu respectivo valor de acidez titulável.

2.1.10 Taxa respiratória

A taxa respiratória das mangas foi determinada com o uso do analisador de gases Felix-950 (CID Bio-Science, Inc., Camas, EUA). Para a avaliação, oito frutas foram acondicionadas em um recipiente hermeticamente fechado de 20 L por um período de duas horas. A medição foi realizada com base na produção de CO₂. Os resultados foram expressos em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, refletindo a atividade respiratória das frutas sob as condições experimentais.

2.1.11 Cor de casca e polpa

As frutas foram medidas de forma não destrutiva na região equatorial da casca da fruta e na polpa da fruta cortada, com duas medições por fruta, utilizando um colorímetro digital Minolta CR 400 (Konica Minolta, Ramsey, EUA). Os valores de cor foram determinados de acordo com McGuire (1992) e foram expressos como °hue, onde 0° representa vermelho, 90° representa verde amarelado, verde, 180° representa o azul-turquesa e 270° representa o violeta.

2.1.12 Incidência de desordens fisiológicas

A avaliação foi realizada por meio da caracterização visual e da quantificação das frutas com sintomas de desordens fisiológicas, expressos em porcentagem. Foram identificados dois tipos principais de desordens: nariz mole, caracterizado pelo amolecimento excessivo do tecido na extremidade distal, e corte negro, relacionado a dano por frio, com áreas escuras e necrosadas devido à exposição a baixas temperaturas (De Freitas & Pareek, 2019).

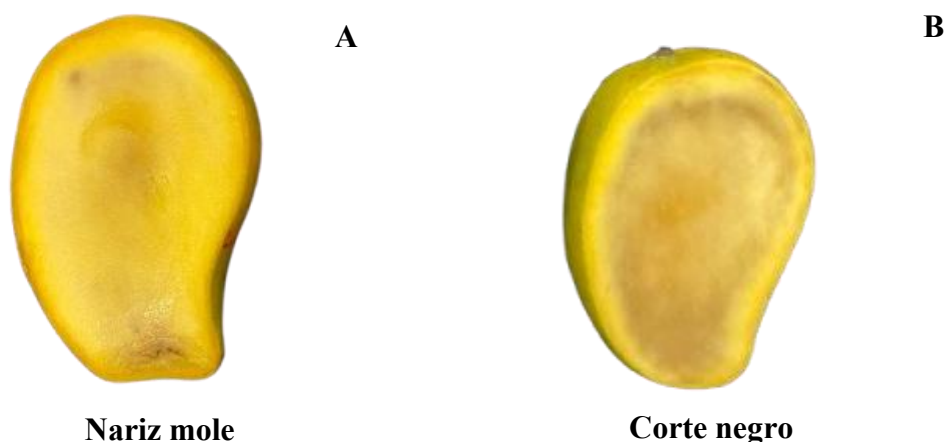


Figura 1. Desordens fisiológicas avaliadas: (A) Nariz mole, (B) Corte negro. Fonte: Próprio autor, 2024.

2.1.13 Delineamento experimental

Para avaliar a eficiência das embalagens ao longo do armazenamento, o experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos para frutas cultivadas no outono de 2023 e oito tratamentos para frutas cultivadas no outono de 2024. As safras seguiram com quatro repetições e oito frutas por repetição. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade, análise de variância e teste de Tukey a 5% de probabilidade com o auxílio do software Sisvar 5.6, 2010. Os gráficos foram confeccionados utilizando o software Sigma Plot versão 10.

Os dados obtidos também foram submetidos a análise multivariada por componentes principais (PCA), utilizando o Software RStudio 3.2.4, cujo objetivo foi identificar de que maneira as concentrações de O_2 e CO_2 influenciaram nas variáveis analisadas.

3 RESULTADOS

Na apresentação dos resultados, os dados referentes às embalagens de polietileno de alta densidade (PEAD), com e sem filtro de etileno, foram excluídos da escrita devido à ocorrência de fermentação das frutas, observada no primeiro experimento realizado no outono de 2023. A alta densidade e a baixa permeabilidade da embalagem de PEAD criaram condições internas desfavoráveis que favoreceram a fermentação e perda das frutas. Por esta razão, estas embalagens não foram utilizadas no segundo experimento no ano seguinte.

No segundo experimento, realizado com frutas cultivadas no outono de 2024, foram introduzidas embalagens BWC para substituir as de PEAD. Essas novas embalagens, dotadas de maior permeabilidade aos gases quando comparadas às PEAD, e da membrana BreathWay, foram implementadas para corrigir os problemas identificados no experimento anterior, garantindo uma troca gasosa mais eficiente e prevenindo a fermentação das frutas.

Para caracterizar a qualidade inicial das mangas, foi realizada uma análise no momento da colheita, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1. Os dados apresentados não indicam diferenças significativas entre as frutas cultivadas em 2023 e 2024.

As mangas cultivadas no outono de 2024 apresentaram uma taxa respiratória mais alta ($44,10 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) em comparação às frutas de outono de 2023 ($26,68 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), indicando um metabolismo um pouco mais acelerado nas frutas de outono de 2024. Além disso, as frutas de outono de 2024 exibiram uma maior relação SS/AT (5,38) em comparação às do outono de 2023 (4,08), sugerindo um equilíbrio sensorial mais favorável.

O teor de sólidos solúveis (SS) também foi ligeiramente superior no outono de 2024 (7,0%) em comparação ao de 2023 (6,6%). Esses resultados indicam que as frutas cultivadas em 2024 podem apresentar uma percepção de sabor mais doce, mas também podem ter maior suscetibilidade a perdas durante o armazenamento devido à atividade respiratória intensificada. Já as frutas do outono de 2023, com menor taxa respiratória, podem apresentar maior potencial de conservação pós-colheita.

Tabela 1. Qualidade inicial das mangas ‘Ataulfo’ na colheita de outono de 2023 e outono de 2024.

Característica de qualidade	Outono de 2023	Outono de 2024
Matéria Seca (%)	15,2 ± 1,5	15,58 ± 2,2
Firmeza da polpa (N)	60 ± 6,43	63 ± 5,14
Índice de maturação (DA-meter)	2,03 ± 0,47	2,02 ± 0,015
SS (%)	6,6 ± 0,14	8,0 ± 0,65
AT (g 100 ⁻¹)	1,62 ± 0,62	1,53 ± 0,29
Ratio (SS/AT)	4,08 ± 1,37	5,38 ± 0,99
Respiração	26,68 ± 2,044	48,12 ± 7,38
°Hue da casca	111,35 ± 0,74	100,7 ± 0,53
°Hue da polpa	96,11 ± 1,17	87,7 ± 0,37

*Média de 4 repetições com 8 frutas por repetição, seguidos do desvio padrão.

Após a colheita, avaliações semanais monitoraram a composição gasosa (O₂, CO₂ e C₂H₄) no interior das embalagens com atmosfera modificada (AM).

O tratamento controle manteve níveis elevados e estáveis de O₂ ao longo do armazenamento, refletindo as condições normais da atmosfera (Fig. 2). Para as frutas cultivadas no outono de 2023, as embalagens BWA-SF e BWA-CF destacaram-se pela maior eficiência na redução dos níveis de O₂ dentro das embalagens, enquanto as BWB-SF e BWB-CF apresentaram reduções menos acentuadas na concentração desse gás (Figura 2A).

Por outro lado, para as frutas cultivadas em 2024, as embalagens BWC-SF e BWC-CF demonstraram superior eficiência na redução dos níveis de O₂, mantendo-os entre aproximadamente 1,0 e 3,0 kPa durante o período de armazenamento. Em comparação, as embalagens BWA-SF e BWA-CF apresentaram concentrações médias de O₂ em torno de 5 kPa, enquanto as BWB-SF e BWB-CF registraram valores mais elevados, próximos de 10 kPa (Figura 2B). O tratamento controle e a embalagem EMB-AE mantiveram níveis médios de O₂ de 20,8 kPa.

Quanto aos níveis de CO₂, para as frutas cultivadas em 2023, as embalagens BWA-SF e BWA-CF exibiram um padrão de aumento progressivo até a terceira semana, estabilizando na quarta semana (Figura 2C). Essas embalagens apresentaram as maiores concentrações de CO₂ durante o armazenamento, quando comparadas às BWB-SF e BWB-CF, bem como ao tratamento controle (Figura 2C).

Para as frutas cultivadas em 2024, as embalagens BWC-SF e BWC-CF alcançaram os maiores níveis de CO₂, atingindo valores entre 8 e 9 kPa ao longo das quatro semanas de armazenamento (Figura 2D). As embalagens BWA-SF e BWA-CF também mantiveram concentrações elevadas de CO₂, acima de 5 kPa, superando os valores observados nas demais embalagens e no tratamento controle.

Em relação ao etileno, não houve diferença significativa entre as embalagens e o tratamento controle na quantificação do gás para as frutas cultivadas em 2023 (Figura 2E). No entanto, para as frutas cultivadas em 2024, as embalagens BWC apresentaram maior acúmulo de etileno durante o armazenamento, atingindo valores de 8 $\mu\text{L L}^{-1}$ ao final da quarta semana (Figura 2F). Entre essas, a BWC-CF destacou-se por apresentar os níveis mais elevados de etileno em comparação à BWC-SF. As demais embalagens mantiveram concentrações mais baixas do gás, com a embalagem EMB-AE registrando os menores níveis de etileno, inclusive inferiores aos observados no tratamento controle (Figura 2F).

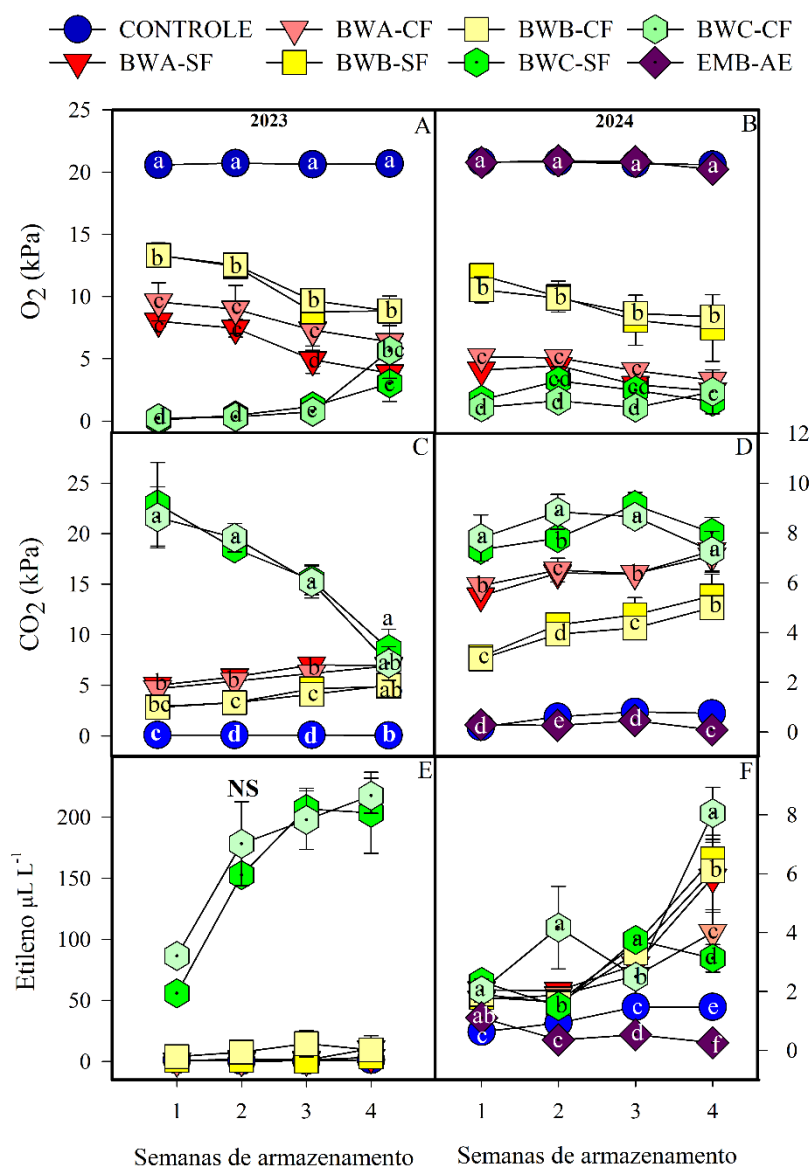


Figura 2. Níveis de O_2 , CO_2 e etileno ($\mu L L^{-1}$) no interior das embalagens contendo mangas 'Ataulfo' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à $9\text{ }^{\circ}C \pm 0,5\text{ }^{\circ}C$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20\text{ }^{\circ}C \pm 0,5\text{ }^{\circ}C$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão ($n=4$). Para mangas do outono de 2023, embalagem BWC = PEBD.

Para ambas as safras de cultivo, as embalagens de AM foram eficazes na redução da perda de massa das mangas durante o armazenamento (Figura 3). Nas frutas cultivadas em 2023, as embalagens BWA-SF, BWA-CF, BWB-SF, BWB-CF apresentaram perdas de massa significativamente menores, todas abaixo de 4% ao final do período adicional de 28+4 dias

(Figura 3A). Em contraste, o tratamento controle apresentou as maiores perdas de massa, atingindo aproximadamente 8% no mesmo período (Figura 3A).

Nas frutas cultivadas em 2024, as embalagens BWA, BWB e BWC, com e sem filtro de etileno, mantiveram as perdas de massa abaixo de 2% (Figura 3B), demonstrando maior eficiência na preservação do peso das frutas. Já a embalagem EMB-AE, utilizada apenas em de 2024, registrou perdas elevadas no 28º dia. No período adicional de 28+4 dias, a embalagem BWB-SF apresentou perdas semelhantes ao controle, que novamente exibiu os maiores índices de perda de massa, chegando a 2,5% (Figura 3B).

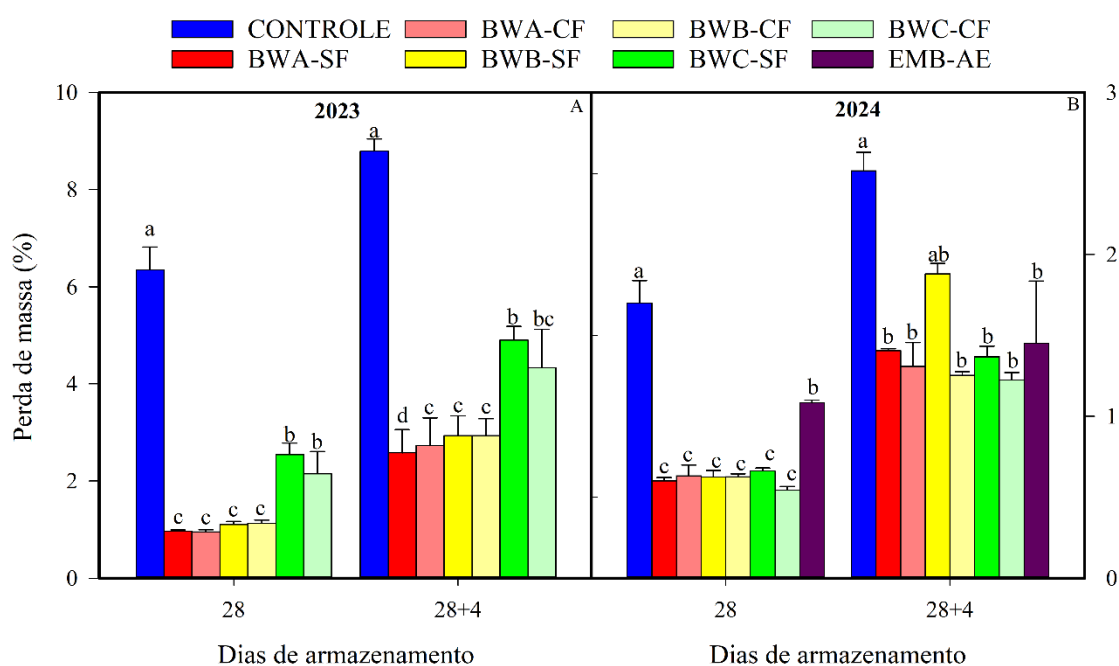


Figura 3. Perda de massa maturação de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à $9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão ($n=4$). Para mangas do outono de 2023, embalagem BWC = PEBD.

Após 28 dias de armazenamento, as embalagens BWA-CF e BWA-SF exibiram firmeza intermediária, com valores entre 30 e 40 N, enquanto o tratamento controle registrou os menores valores, inferiores a 10 N (Figura 4A). Após o período adicional de 28+4 dias, houve uma

redução significativa na firmeza em todos os tratamentos, incluindo o controle, com os valores se nivelando estatisticamente, independentemente do tipo de embalagem utilizada (Figura 4A).

Nas frutas cultivadas em 2024, as frutas armazenadas na embalagem BWC-CF apresentaram maior firmeza após 28 dias de armazenamento, com cerca de 40 N (Figura 4B). Valores intermediários (30 N) foram observados nas frutas armazenadas em BWA-CF, enquanto as frutas do tratamento controle registraram os menores valores, abaixo de 15 N. Durante o período adicional de 28+4 dias, as frutas armazenadas na embalagem EMB-AE mantiveram maior firmeza em relação às demais embalagens e ao tratamento controle (Figura 4B).

Quanto ao índice-DA que reflete o avanço do estágio de maturação, aos 28 dias de armazenamento, os tratamentos BWA-SF, BWA-CF e BWB-SF apresentaram os maiores valores (1,5), indicando um menor avanço no estágio de maturação em comparação aos demais tratamentos (Figura 4C). Em contrapartida, o controle registrou os menores índices (1,0), evidenciando um estágio mais avançado de maturação. Após o período adicional de 28+4 dias, os tratamentos BWA-SF e BWA-CF mantiveram os maiores valores de índice-DA confirmando o menor avanço na maturação, enquanto o controle e os demais tratamentos apresentaram índices mais baixos, indicando maior progressão no estágio de maturação (Figura 4C).

Nas frutas de outono de 2024, após 28 dias, as embalagens BWC-SF, BWC-CF, BWA-SF e BWA-CF exibiram os maiores índices de maturação (1,5), refletindo o menor avanço na maturação. Essas foram seguidas pelas embalagens BWB-SF e BWB-CF, que apresentaram valores intermediários (1,2) (Figura 4D). O controle mostrou os menores valores (0,8), indicando maior avanço no estágio de maturação em comparação aos demais tratamentos. Após o período adicional 28 + 4 dias, os índices de maturação diminuíram ligeiramente na maioria das embalagens (1,2), enquanto o controle e a embalagem EMB-AE registraram os menores valores (1,0), reafirmando o avanço mais acentuado no estágio de maturação (Figura 4D).

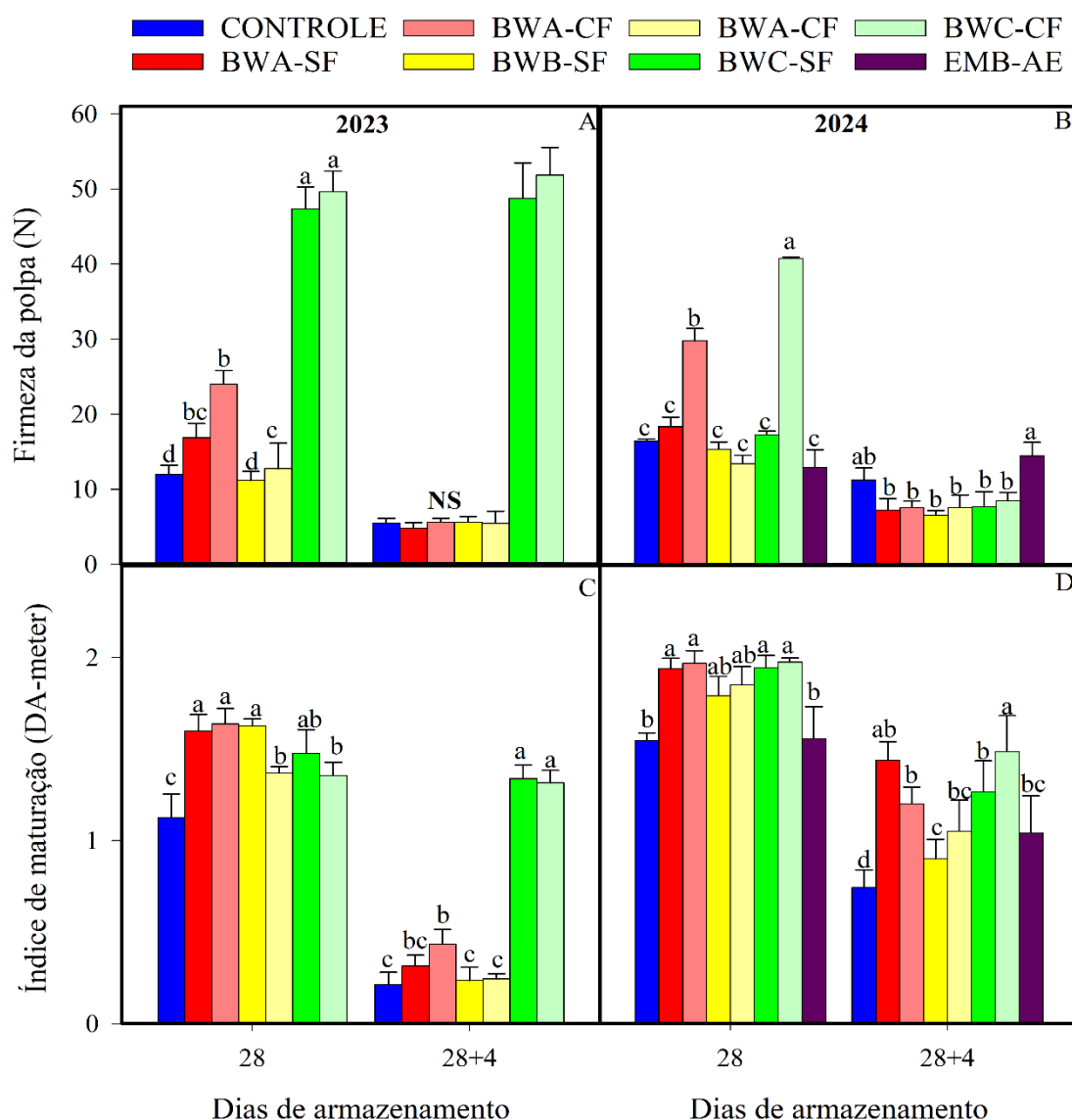


Figura 4. Firmeza de polpa e índice de maturação de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à $9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão (n=4). Para mangas do outono de 2023, embalagem BWC = PEBD.

No outono de 2023, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para matéria seca, tanto aos 28 dias quanto no período adicional de 28+4 dias de armazenamento (Figura 5A). No outono de 2024, aos 28 dias, as embalagens BWA-CF, BWB-CF e BWC-SF mantiveram as maiores média de matéria seca, enquanto o controle apresentou valores significativamente inferiores, semelhantes aos observados nas demais embalagens. Após o

período adicional de 28+4 dias, não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos (Figura 5B).

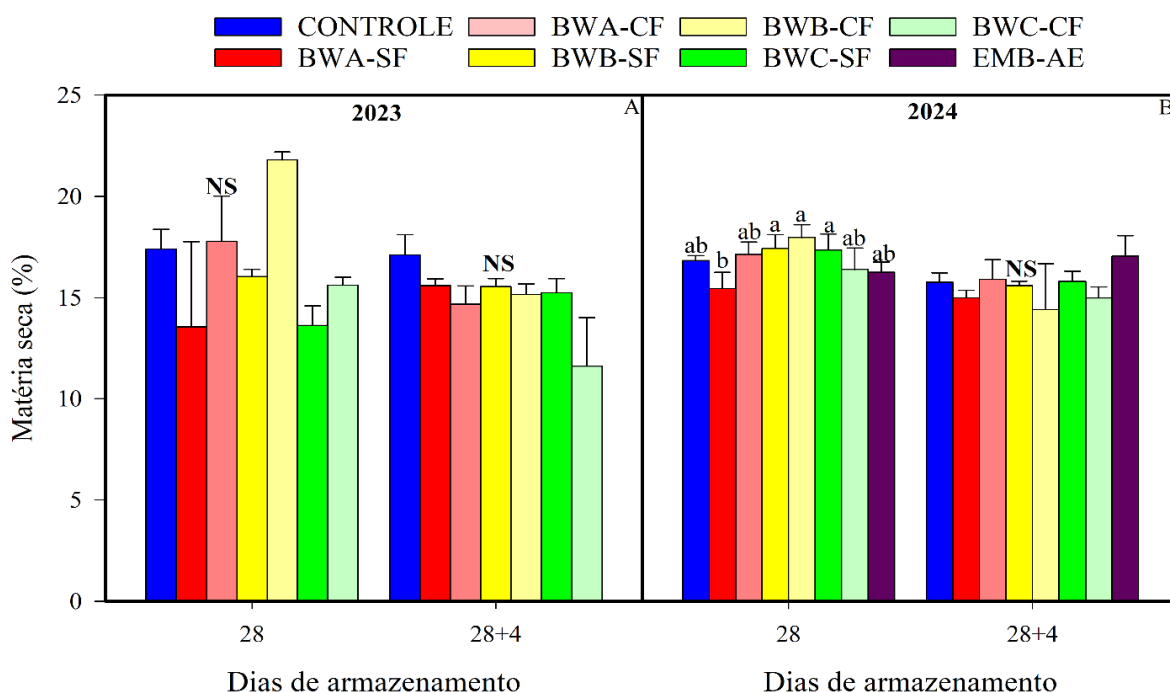


Figura 5. Matéria seca de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à $9\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão (n=4). Para mangas do outono de 2023, embalagem BWC = PEBD.

Não foram observadas diferenças significativas entre as embalagens para as frutas cultivadas em 2023, tanto aos 28 dias quanto no período adicional de 28+4 dias para variável sólidos solúveis (Figura 6A). Para as frutas cultivadas em 2024, aos 28 dias, o tratamento controle e a embalagem BWB-CF registraram os maiores valores de sólidos solúveis (14-15%), enquanto a embalagem BWC-CF apresentou os menores valores (11-12%). Após o período adicional de 28+4 dias, o controle manteve os maiores valores de sólidos solúveis, enquanto as embalagens BWC-CF e EMB-AE apresentaram as menores médias (Figura 6B).

Para a acidez titulável, não foram observadas diferenças estatísticas entre as embalagens para as frutas cultivadas em 2023, tanto aos 28 dias quanto após o período adicional de 28+4 dias (Figura 6C). Para as frutas cultivadas em 2024, aos 28 dias, as embalagens BWC-CF e BWC-SF apresentaram os maiores valores de acidez titulável (1,8-2,0%), enquanto o controle e as embalagens BWB-SF, BWB-CF, BWA-SF e EMB-AE exibiram os menores valores. Após

o período adicional de 28+4 dias, houve uma redução nos valores de acidez titulável em todos os tratamentos. Entretanto, a embalagem BWC-CF ainda manteve os maiores valores (1,6%), enquanto a BWB-CF registrou os menores (0,8-1,0%) (Figura 6D).

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para a relação SS/AT das frutas cultivadas em de 2023, tanto aos 28 dias quanto no período adicional de 28+4 dias (Figura 6E).

Para as frutas cultivadas em 2024, aos 28 dias, os tratamentos apresentaram diferenças estatísticas. As embalagens BWA-CF, BWB-SF, BWB-CF e o controle registraram os maiores valores da relação SS/AT (5-6), enquanto a embalagem BWC-CF apresentou os menores valores (3-4). Após o período adicional de 28+ 4 dias, os valores do Ratio aumentaram em todos os tratamentos. A embalagem BWB-CF manteve os maiores índices (10), enquanto a BWC-CF registrou novamente os menores valores (4-5) (Figura 6F).

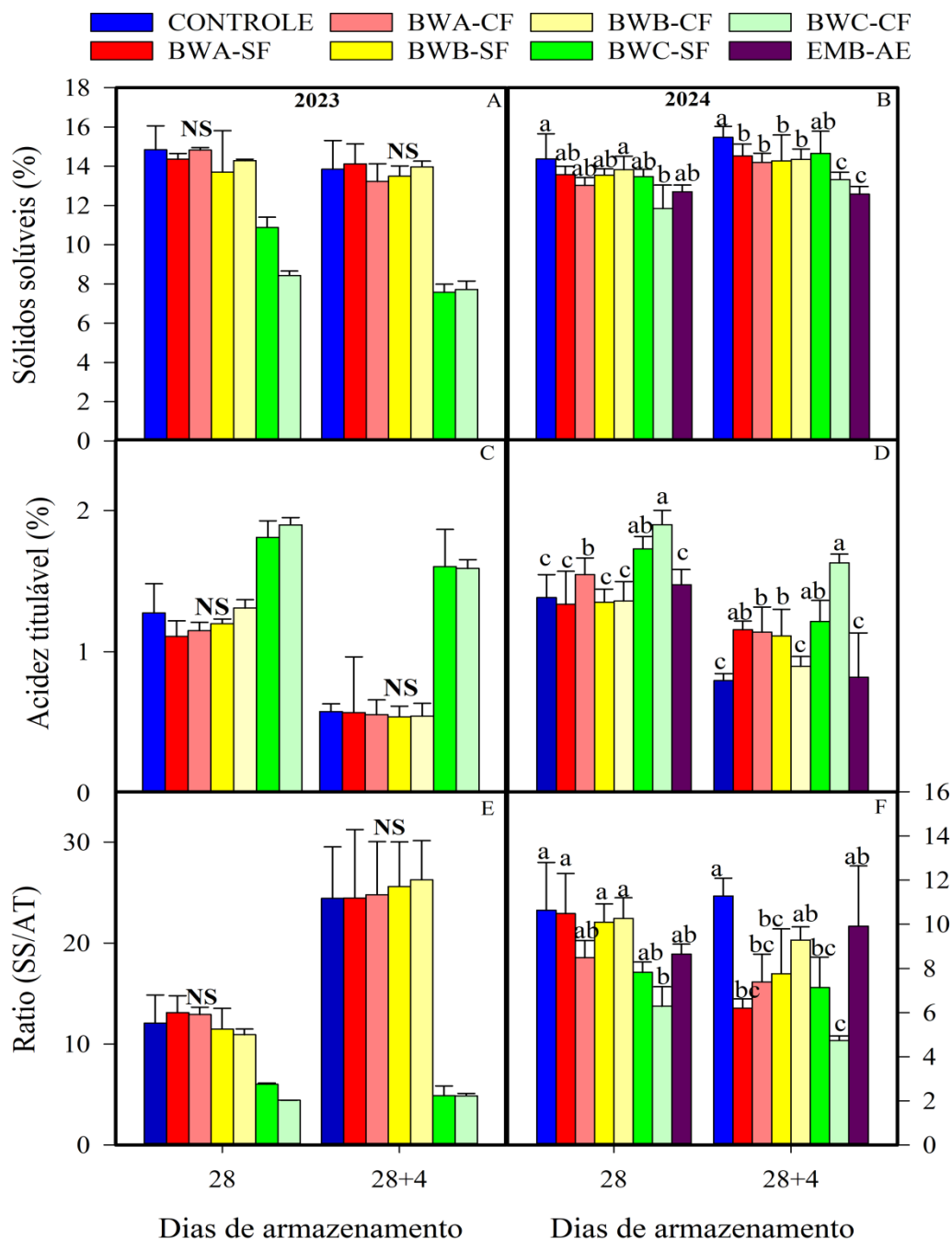


Figura 6. Sólidos solúveis, acidez titulável e relação SS/AT maturação de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O₂, com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão (n=4). Para mangas do outono de 2023, embalagem BWC = PEBD.

Para as frutas da safra de 2023, o tratamento controle apresentou a maior taxa de produção de CO_2 ($120 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), significativamente superior às demais embalagens. As embalagens restantes exibiram valores intermediários ($80\text{--}100 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), sem diferenças estatísticas entre si aos 28 dias. Após o período adicional de 28+4 dias, o controle manteve a maior produção de CO_2 ($160 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), seguido pela embalagem BWB-SF, que registrou valores elevados ($140 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). As embalagens BWA-SF e BWA-CF mantiveram os menores valores ($100\text{--}110 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Figura 7A).

As frutas de 2024, maiores taxas de produção de CO_2 foram observadas nas frutas do controle e das embalagens EMB-AE, aos 28 dias de armazenamento. Por outro lado, a embalagem BWC-SF registrou o menor valor ($38 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$), evidenciando maior eficiência no controle da respiração das frutas. Após o período adicional de 28+4 dias, o controle manteve a maior produção de CO_2 ($145 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$). As embalagens BWC-SF e BWC-CF continuaram com as menores taxas ($80\text{--}85 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) (Figura 7B).

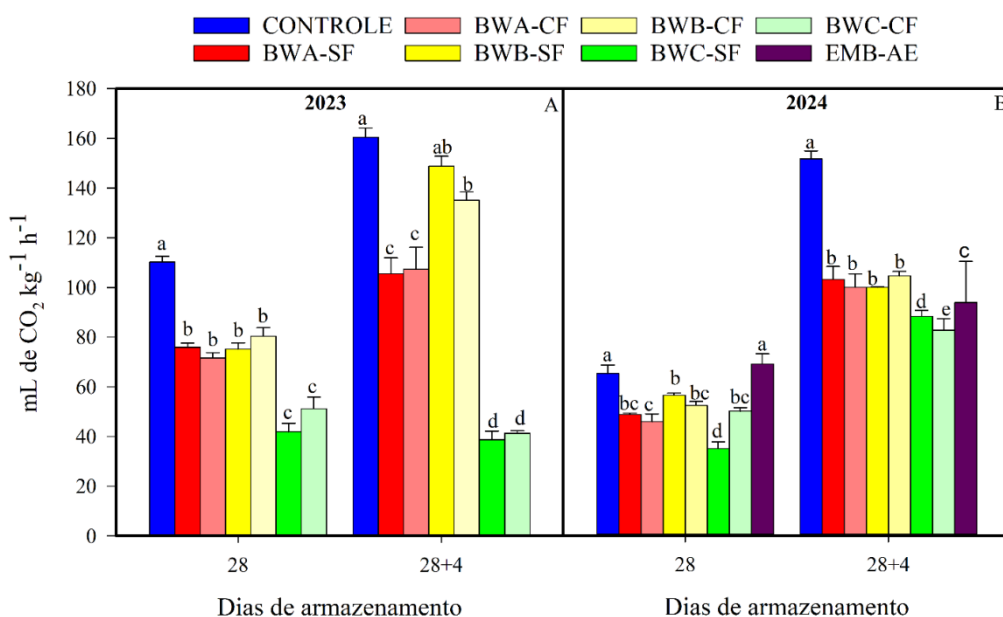


Figura 7. Taxa respiratória ($\text{mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à $9 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão ($n=4$). Para mangas do outono de 2023, embalagem BWC = PEBD.

Aos 28 dias, foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos para a cor da casca. As embalagens BWA-SF, BWA-CF, BWB-SF e BWB-CF apresentaram os maiores valores de °Hue (105–110) e o controle registrou os menores valores (100). Após o período adicional de 28+4 dias, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, com os valores de °Hue convergindo para uma faixa de 100–105, indicando uniformidade na preservação da cor da casca (Figura 8A).

Para as frutas cultivadas em 2024, não foram identificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, tanto aos 28 dias quanto no período adicional de 28+4 dias. Todos os tratamentos mantiveram valores elevados e estáveis de °Hue (100–110), evidenciando preservação da coloração inicial da casca em todas as condições avaliadas (Figura 8B). Não houve diferença significativa na cor da polpa (°Hue) entre os tratamentos nas safras de 2023 e 2024.

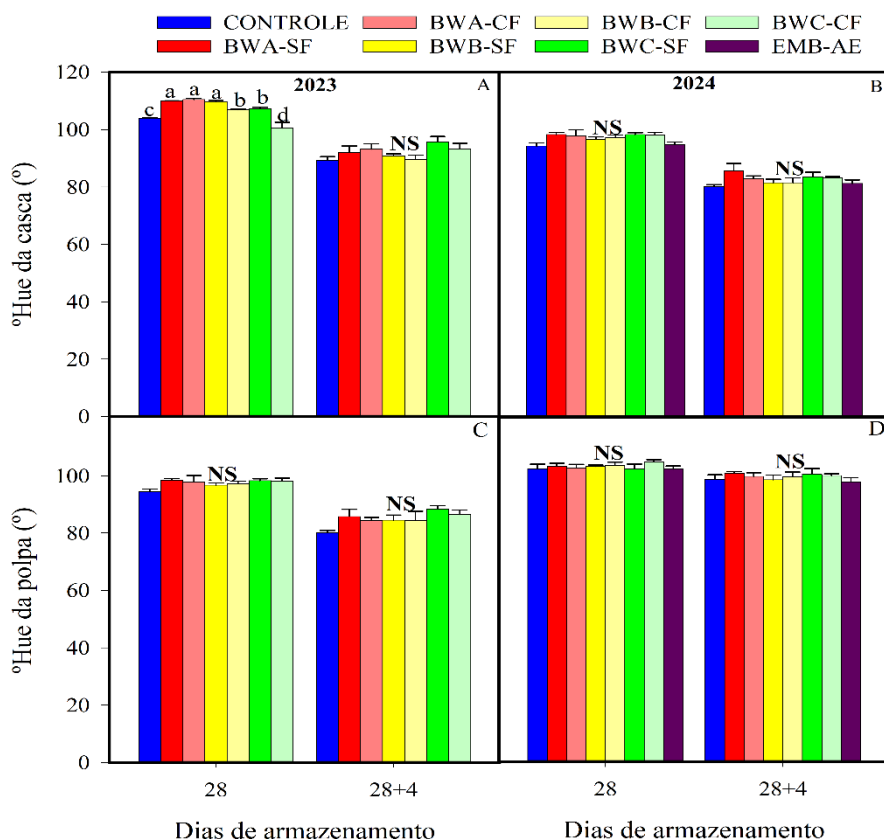


Figura 8. °Hue da casca e polpa de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O₂, com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Médias seguidas pela mesma letra, no mesmo dia de armazenamento, não diferem estatisticamente conforme o teste de Tukey (5%). Barras: desvio padrão (n=4). Para mangas do outono de 2023, embalagem BWC = PEBD.

Aos 28 dias de armazenamento, o tratamento controle apresentou a maior incidência de corte negro (18,75%), seguido pela embalagem BWA-SF (9,37%). A embalagem BWB-CF registrou a menor porcentagem (3,12%). Após o período adicional de 28+4 dias, a incidência de corte negro aumentou significativamente no tratamento controle, atingindo 47%, seguido pela embalagem BWB-SF (28,12%), BWB-CF (15,63%) e com a menor porcentagem BWA-SF (3,12%) (Figura 9A).

Frutas cultivadas em 2024, após 28 dias, o controle, juntamente com as embalagens BWB-SF, BWB-CF e EMB-AE, apresentaram os maiores percentuais de corte negro (43–50%), enquanto BWA-SF registrou valores intermediários (25%) e BWA-CF exibiu os menores valores (15,62%) (Figura 9B). No período adicional de 28+4 dias, a maior incidência foi observada na embalagem EMB-AE (50%), seguida pelo controle (46,87%) e pelas embalagens BWB-SF e BWB-CF (34,37%). Por outro lado, BWA-SF e BWA-CF mantiveram os menores valores (15–29%). Frutas embaladas com embalagens AM BWC, com e sem filtro de etileno, não apresentaram a desordem (Figura 9B).

Apenas as frutas cultivadas no outono de 2023 apresentaram nariz mole. Após 28 dias, o controle foi o único tratamento a apresentar incidência de nariz mole (3,12%), enquanto os demais tratamentos não registraram a desordem. Após o período de período adicional 28+4 dias, o controle manteve o maior percentual de nariz mole (28,12%), seguido pelas embalagens BWB-SF (25%), EMB-AE (15,62%) e BWB-CF (9,37%) (Figura 9C).

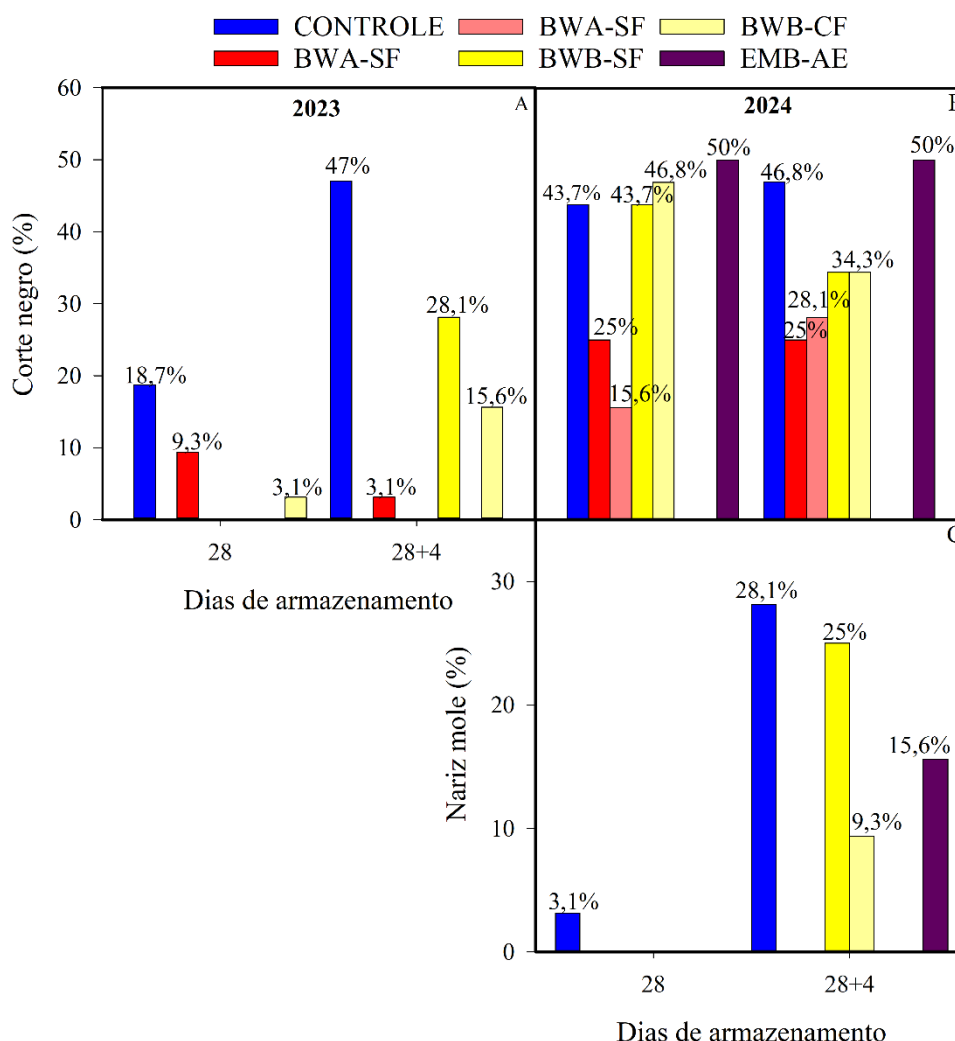


Figura 9. Incidência de distúrbios fisiológicos de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à $9\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$, mais 4 dias de vida de prateleira à $20\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O_2 , com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno). Para mangas do outono de 2023, embalagem BWC = PEBD.

A análise de componentes principais (PCA) mostrou que os Componentes I e II explicaram 52,3% e 24,8% da variabilidade total no outono de 2023 (A) e 48,5% e 14,9% no outono de 2024 (B). O Componente I representou a maior parte da variação entre as amostras (Figura 10).

O O_2 teve correlação positiva com corte negro e perda de peso, enquanto CO_2 apresentou correlação negativa com essas variáveis. A variável L da polpa esteve inversamente relacionada ao corte negro, indicando que à medida que L diminuiu, a incidência do distúrbio aumentou, acompanhando o aumento da concentração de O_2 (Figura 10).

Os vetores no biplot indicam a influência de cada variável, sendo os mais longos os de maior impacto na separação das amostras (Figura 10). Nos gráficos de análise de componentes principais (PCA), a influência das variáveis é determinada pelo comprimento e pela direção das setas. Variáveis com setas mais longas, como corte negro, perda de massa e O_2 , são as mais influentes na explicação da variabilidade observada, especialmente no Componente 1. O corte negro apresentou forte correlação com O_2 , indicando sua importância na explicação das desordens fisiológicas.

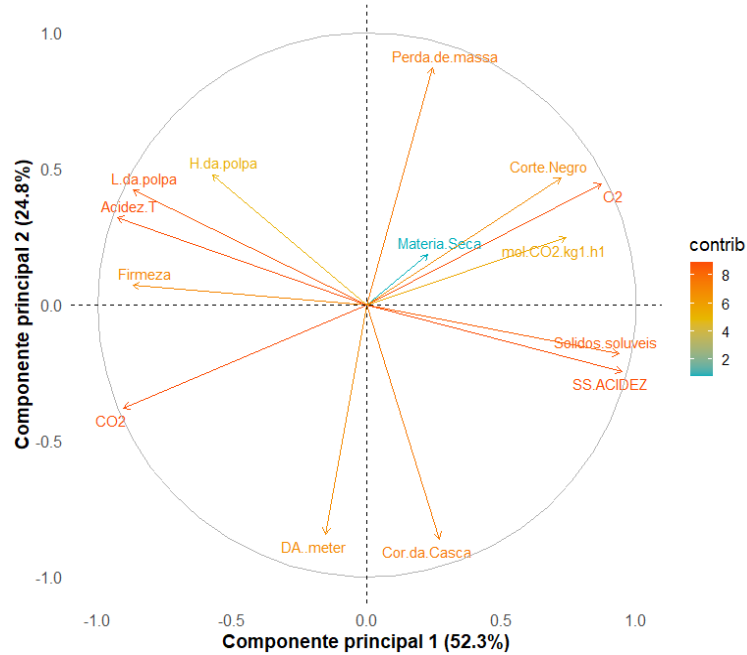
A perda de massa, diretamente associada ao metabolismo respiratório, também foi altamente representativa. O O_2 , por sua vez, desempenhou papel crucial ao influenciar significativamente o comportamento metabólico das frutas. Variáveis relacionadas à qualidade, como os sólidos solúveis e o ratio SS/Acidez também se destacaram, contribuindo para a explicação da variabilidade no Componente 1 devido à sua relação com o amadurecimento e a qualidade pós-colheita.

Por outro lado, variáveis como DA-meter, firmeza, cor da casca e acidez titulável apresentaram setas mais curtas, indicando menor contribuição na explicação da variância. Embora sejam variáveis importantes para avaliar a qualidade, seu impacto global foi menos expressivo em comparação às variáveis relacionadas ao metabolismo e às desordens fisiológicas.

A cor da casca e a acidez titulável, por exemplo, apresentaram influência limitada, sugerindo que, nas condições de armazenamento e atmosfera modificada analisadas, essas variáveis não foram os principais fatores de variação entre as amostras. Assim, a análise reforça que a variabilidade observada nas mangas está principalmente relacionada às variáveis metabólicas e às desordens fisiológicas, como corte negro e perda de massa.

A - 2023

Análise de componentes principais (PCA): variáveis físico-químicas



B - 2024

Análise de componentes principais (PCA): variáveis físico-químicas

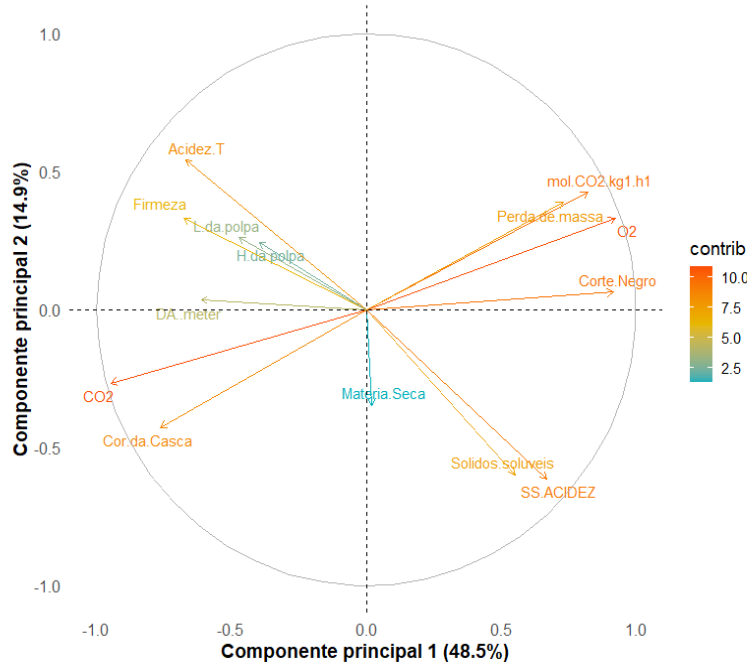


Figura 10. Projeção bidimensional dos resultados obtidos após o armazenamento para a análise de componentes principais I e II de mangas ‘Ataulfo’ cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono de 2023 e 2024 e armazenadas por 28 dias à 9 °C ± 0,5 °C, mais 4 dias de vida de prateleira à 20 °C ± 0,5 °C. Controle (sem embalagem), embalagens com baixa (BWC), média (BWA) ou alta (BWB) permeabilidade ao O₂, com (CF) ou sem (SF) filtro de etileno, e EMB-AE (embalagem perfurada com absorção de etileno).

4 DISCUSSÃO

Os países europeus e os Estados Unidos absorvem cerca de 85% das exportações de manga (ERS-USDA, 2023). A variedade 'Ataulfo', do México, tem ganhado esses mercados devido ao seu sabor doce e atraente, e principalmente por suas características quando madura, apresentado cor amarelo brilhante, formato oval, textura cremosa e quase nenhuma fibra. Dessa forma, as mangas 'Ataulfo' requerem a adoção de tecnologias pós-colheita para possibilitar a exportação de frutas de alta qualidade até o destino, cujo transporte pode durar mais de 30 dias (Mello Júnior et al., 2024).

Neste estudo, as embalagens de polietileno de alta densidade (PEAD), devido à sua alta densidade e baixa permeabilidade, promoveram um rápido consumo de O_2 e um acúmulo excessivo de CO_2 no interior das embalagens. Essa condição induziu a respiração anaeróbica nas frutas, resultando em danos significativos, incluindo alterações visíveis na casca, que se tornou opaca e esverdeada, por conta disso, essas embalagens se tornaram impróprias para utilização na conservação da qualidade pós-colheita de mangas. Esses achados estão diretamente associados ao impacto de atmosferas rigorosas, conforme descrito por Brackmann (2007), que apontou lesões na polpa e descoloração da casca em frutas submetidas a baixos níveis de O_2 e altas concentrações de CO_2 .

O acúmulo de CO_2 observado no presente trabalho pode ter prejudicado a integridade celular das frutas, corroborando os mecanismos descritos por Li et al. (2022). Segundo esses autores, níveis elevados de CO_2 inibem enzimas-chave na cadeia de transporte de elétrons (CTE), resultando em maior produção de radicais livres, que comprometem as membranas celulares e causam danos estruturais, como o escurecimento da polpa. Esse efeito pode ser agravado pela oxidação de compostos fenólicos mediada pelo polifenol oxidase (PPO), conforme descrito por James e Jobling (2009).

Bender et al. (1994) relataram que concentrações superiores a 25 kPa de CO_2 aumentaram a produção de etanol e comprometeram a coloração da casca em mangas 'Kent' e 'Tommy Atkins'. Mais recentemente, De Freitas e Pareek (2019) descreveram que o excesso de CO_2 pode causar injúrias na casca das frutas, afetando sua aparência e qualidade.

Por outro lado, as embalagens BW, equipadas com membranas BreathWay de baixa e média permeabilidade aos gases, apresentaram resultados promissores. No outono de 2023, as embalagens BWA, com e sem filtro de etileno, mantiveram níveis estáveis de O_2 e CO_2 por até 4 semanas, evitando os danos observados nas frutas embaladas com PEAD. No outono de 2024, as embalagens BWC, com e sem filtro de etileno, demonstraram eficácia na manutenção dos níveis de O_2 (1-3 kPa) e CO_2 (7-9 kPa), sem causar prejuízos à integridade das frutas. Esses

resultados sugerem que a modificação da atmosfera dentro das embalagens é essencial para evitar as condições adversas observadas no presente estudo.

A eficácia das embalagens BWC em regular os níveis de gases e preservar a qualidade das frutas está alinhada a estudos recentes. Wei et al. (2021), Santos et al. (2023) e Alves et al. (2023) destacaram que, para mangas, as concentrações ideais de O₂ entre 1% e 5% e de CO₂ entre 5% e 10% em sistemas de atmosfera modificada e controlada, controlam o metabolismo respiratório, prolongando a vida pós-colheita. Esses níveis retardam a respiração celular e o amadurecimento, como evidenciado por Brackmann (2004), ao reduzir o consumo de energia e a liberação de CO₂ e calor.

Além disso, a redução de O₂ combinada ao aumento de CO₂ nas embalagens BW contribuiu para retardar os efeitos do etileno, uma vez que o CO₂ atua como antagonista desse hormônio, competindo pelos mesmos sítios de ligação nos receptores proteicos (Singh, 1987). Essa dinâmica, reforçada pela dependência do O₂ para a síntese de etileno, conforme descrito por Kende (1993), desacelerou o metabolismo e preservou as características sensoriais e nutricionais das frutas durante o transporte e a simulação do tempo de prateleira.

Neste estudo, não houve diferença significativa na matéria seca das frutas entre os tratamentos após 28 dias de armazenamento na safra de 2023, nem após o período adicional de 4 dias (28+4) na safra de 2024. No entanto, aos 28 dias, na safra de 2024, as embalagens de atmosfera modificada BWB, com e sem filtro de etileno, e BWC-SF registraram os maiores valores de matéria seca. Esses resultados indicam que a modificação da composição gasosa dentro das embalagens de AM reduziu a taxa respiratória, minimizando a perda de compostos orgânicos, como açúcares e ácidos.

A preservação da matéria seca está diretamente relacionada à sua composição metabólica, composta por amido, açúcares, ácidos orgânicos e pectinas, que influenciam atributos como firmeza, coloração e teores de sólidos solúveis nas frutas maduras (Freitas et al., 2022). Apesar da eficácia das embalagens de AM em algumas condições, fatores pré-colheita, como condições de cultivo, maturação na colheita e características genéticas, podem limitar a concentração de matéria seca, impactando a qualidade final das frutas (Mattiuz, 2007; Freitas et al., 2022).

As embalagens de AM demonstraram grande eficácia na redução da perda de massa das mangas em comparação ao controle, tanto no outono de 2023 quanto no outono de 2024. Após 28 dias de armazenamento, as mangas do tratamento controle apresentaram perdas de 6% na safra de 2023 e 2% na safra de 2024, enquanto as embalagens de AM limitaram essas perdas a valores inferiores a 1%. Após o período adicional de 28+4 dias, as perdas no controle

aumentaram para 8% no outono de 2023 e 3% no outono de 2024, mas as embalagens de AM mantiveram as perdas entre 1% e 2%. Esses resultados evidenciam que a funcionalidade das embalagens vai além de um simples envoltório, atuando como uma barreira protetora que reduz a respiração e transpiração das frutas, minimizando a perda de carbono e água, fatores diretamente relacionados à perda de massa.

Esses achados estão diretamente associados à dinâmica metabólica das frutas. A perda de massa está intrinsecamente ligada à taxa de respiração, um processo metabólico que consome substratos como açúcares e ácidos orgânicos, liberando CO₂ e água (Ballesteros et al., 2021; Garavito et al., 2021). Taxas mais elevadas de respiração aceleram a perda de massa, afetando tanto a composição quanto o peso das frutas. Os resultados deste estudo sugerem que as embalagens de AM foram eficazes em regular essa dinâmica metabólica, retardando as perdas.

Adicionalmente, os dados obtidos reforçam o papel das embalagens como barreiras ao vapor de água. Estudos como os de Monteiro et al. (2017) e Vilvert et al. (2023) apontaram que a menor perda de peso em frutas ensacadas está relacionada à capacidade das embalagens em proteger contra a perda de água. A redução observada no presente estudo corrobora com essa relação, especialmente quando se considera que mangas armazenadas em sacos sintéticos à base de petróleo apresentam menores perdas de peso devido à natureza hidrofóbica desses polímeros, que limitam a transpiração e a consequente perda de água.

A capacidade das embalagens de AM de manter as perdas de massa entre 1% e 2% após o período adicional 28+4 dias de armazenamento reforça a eficiência desse sistema em relação ao controle. Esses resultados, alinhados aos mecanismos metabólicos e estruturais, indicam que o uso de embalagem de AM pode ser uma estratégia essencial para prolongar a qualidade pós-colheita de frutas tropicais.

A manutenção da firmeza da polpa observada neste estudo está diretamente associada à composição gasosa no interior das embalagens de AM. Os tratamentos com embalagens de AM apresentaram menores perdas de firmeza para as duas safras aos 28 dias, destacando-se pela redução da taxa de respiração das frutas e pela inibição da degradação estrutural da parede celular, reforçando o papel dos gases durante o transporte.

De acordo com Brackmann e Chitarra (1998), o CO₂ desempenha uma função crucial no retardamento da perda de firmeza, atuando sobre enzimas relacionadas à maturação, como a poligalacturonase e a pectinesterase, que degradam as pectinas. Os níveis de CO₂ presentes nas embalagens utilizadas neste estudo podem ter contribuído para reduzir a atividade dessas enzimas, retardando o amolecimento da polpa.

Além disso, os dados obtidos corroboram os resultados de Wei et al. (2021), que apontaram que atmosferas contendo 7% de CO₂ e 3% de O₂ são altamente eficazes na preservação da firmeza de mangas por até 30 dias. No presente trabalho, o comportamento observado em embalagens como BWA e BWC sugere que níveis semelhantes de gases foram determinantes para prolongar a qualidade pós-colheita. Por outro lado, Wei et al. (2021) também destacaram que níveis inadequados de CO₂ e O₂ podem acelerar a perda de firmeza.

Phakdee e Chaiprasart (2019) demonstraram, em mangas 'Nam Dok Mai Sri Tong', que atmosferas com 5% de CO₂ e 3% de O₂ foram eficazes na manutenção da firmeza, retardando o processo de amadurecimento. Os resultados obtidos neste estudo vão ao encontro dessas evidências, sugerindo que o uso de embalagens de AM é essencial para preservar a estrutura e minimizar danos às frutas durante o transporte.

O Índice DA (Diferença de Absorbância) é uma ferramenta não destrutiva amplamente utilizada para estimar o grau de maturação de frutas, com base na diferença de absorbância da luz em dois comprimentos de onda específicos. Este índice fundamenta-se nas alterações na concentração de clorofila, cuja degradação ocorre ao longo do processo de maturação, refletindo diretamente as mudanças de cor na epiderme e polpa da fruta (Goulart et al., 2013).

As embalagens de AM foram eficazes em manter os índices de maturação (DA-meter) das frutas ao longo do armazenamento. Para frutas cultivadas em 2023, as embalagens BWA, com e sem filtro de etileno, e BWB-SF apresentaram os maiores valores de DA aos 28 dias, mantendo-se próximas às condições iniciais e superiores ao controle. Após o período adicional de 28+4 dias, embora as embalagens BWA, com e sem filtro de etileno, tenham apresentado uma redução nos índices em relação ao dia 28, elas continuaram a preservar os níveis de maturação significativamente, retardando o avanço do processo em comparação ao controle. Resultados semelhantes foram observados no outono de 2024, com as embalagens BWA e BWC, tanto com quanto sem filtro de etileno, destacando-se na manutenção dos índices ao longo do armazenamento.

Os teores de sólidos solúveis (SS) variaram conforme a safra de cultivo e os tratamentos aplicados. Nas frutas de 2023, cultivadas com 6,6 °Brix, os SS aumentaram para 11,9 °Brix aos 28 dias e 13,03° Brix no período adicional de 28+4 dias. Já nas frutas de outono de 2024, cultivadas com 8,0 °Brix, os SS foram de 12,02 aos 28 dias e 14,8 °Brix no período adicional de 28+4 dias, com o controle apresentando os maiores teores.

A ausência de barreiras gasosas no controle pode ter acelerado a atividade enzimática, promovendo maior conversão de amido em açúcares, característica do amadurecimento (Ntsoane et al., 2019). As frutas embaladas apresentaram menores teores de SS, indicando que

a modificação gasosa promovida pelas embalagens de AM reduziu a taxa respiratória, retardando o metabolismo. Isso atrasou o aumento de açúcares e, ao mesmo tempo, manteve outros atributos de qualidade, como firmeza e acidez, resultando em frutas com maior vida útil.

Observou-se uma diminuição na acidez titulável (AT) durante o armazenamento em quase todos os tratamentos, com diferenças entre as embalagens avaliadas. As embalagens BWC, com e sem filtro de etileno, apresentaram os maiores valores de AT aos 28 dias e no período adicional de 28+4 dias, indicando que a alteração na composição gasosa dentro dessas embalagens retardou a degradação dos ácidos orgânicos. Em contrapartida, o tratamento controle e as embalagens com maior permeabilidade demonstraram uma redução mais acelerada da AT, evidenciando o impacto de atmosferas não reguladas no metabolismo dos ácidos orgânicos.

Brecht et al. (2023, 2024) apontam que as embalagens de AM são eficazes na preservação da acidez ao retardar a degradação metabólica dos ácidos orgânicos, mesmo sem a necessidade de inibir diretamente o etileno. Esses resultados estão alinhados com os dados deste estudo, nos quais o desempenho das embalagens BWC reforçam a importância da AM na manutenção de parâmetros de qualidade essenciais, como a acidez, especialmente em frutas destinadas ao transporte de longa distância.

Neste estudo, a relação SS/AT apresentou significância apenas para as frutas de outono de 2024. A relação SS/AT aumentou de 5,38 no dia 0 para 6,2 no dia 28 (15,25%) e 11 no período adicional 28+4 (112,82%), com diferenças estatísticas entre os tratamentos ($p < 0,05$). O controle apresentou o maior crescimento médio (101,02%), indicando um amadurecimento mais rápido devido à ausência de barreiras gasosas. Em contraste, as embalagens BWC-SF e BWC-CF, com uma média combinada de crescimento de apenas 17,74%, retardaram o metabolismo respiratório, preservando o equilíbrio entre açúcares e acidez, essenciais para a manutenção da qualidade.

As mangas do tratamento controle, neste estudo, apresentaram consistentemente as maiores taxas de respiração em ambas as safras de cultivo. Esse comportamento pode ser explicado pela disponibilidade irrestrita de O_2 no controle, que favorece a atividade da enzima citocromo-oxidase, essencial na cadeia transportadora de elétrons para a respiração aeróbica (Aghdam et al., 2018). A elevada disponibilidade de O_2 intensifica o consumo de açúcares e ácidos orgânicos, resultando em maior produção de energia e aceleração do metabolismo, fatores que reduzem a qualidade pós-colheita e contribuem para o amadurecimento mais rápido das frutas.

Por outro lado, os tratamentos com embalagens de AM mantiveram taxas de respiração significativamente mais baixas. Esse efeito está relacionado à redução nos níveis de O₂ dentro das embalagens, limitando a atividade da citocromo-oxidase e desacelerando o metabolismo respiratório (Li et al., 2022). Como resultado, as embalagens de AM retardaram o amadurecimento, minimizando perdas de massa e prolongando a vida útil das frutas ao longo do transporte.

A eficácia das embalagens de AM, observada neste estudo, é reforçada por estudos anteriores. Rambabu et al. (2019) e Vilvert et al. (2023) demonstraram que as embalagens de AM estabilizam a respiração e retardam o amadurecimento de mangas ‘Ataulfo’, ‘Tommy Atkins’ e ‘Kent’. Semelhantemente, Santos et al. (2023) evidenciaram que baixos níveis de O₂ em atmosferas controladas reduziram drasticamente a taxa de respiração, permitindo a conservação de mangas por até 60 dias. Conforme Brecht et al. (2024), a combinação de níveis reduzidos de O₂ e elevados de CO₂ é crucial para minimizar perdas qualitativas, retardar o amadurecimento e garantir a qualidade das frutas tropicais durante o transporte prolongado.

Os resultados deste estudo mostraram que não houve diferenças significativas no °Hue da casca das frutas de outono de 2024 ou no °Hue da polpa em ambas as safras de cultivo entre os diferentes tipos de embalagens e o controle. Apenas o °Hue da casca das frutas de 2023 apresentou diferenças estatísticas ($p < 0,05$). Esses dados indicam que, na maioria, o tipo de embalagem não influenciou a cor externa ou interna das frutas, mantendo a estabilidade visual durante o processo de amadurecimento. A estabilidade observada sugere que as mudanças no °Hue pode estar mais associadas à progressão natural do amadurecimento do que à modificação atmosférica.

A literatura reforça essa dinâmica. Jerônimo (2000), Pfaffenbach et al. (2003), Kim et al. (2007) e Githiga et al. (2014) relataram resultados semelhantes em estudos com variedades como Palmer e Espada Vermelha, nos quais sachês de permanganato de potássio e embalagens de AM não causaram alterações significativas na coloração da casca ou no ângulo de matiz da polpa.

A cor da polpa, frequentemente usada como indicador de maturação e vida útil, evoluiu conforme esperado, independentemente do tipo de embalagem, passando de tons branco-esverdeados para amarelos e alaranjados. Esse padrão, amplamente descrito na literatura (Brecht et al., 2010; Nordey et al., 2019), reflete as mudanças fisiológicas típicas do amadurecimento, como a degradação da clorofila e o acúmulo de carotenoides. Apesar disso, as embalagens de AM demonstraram capacidade de desacelerar o amadurecimento geral, o que

pode contribuir para a preservação de outros atributos qualitativos por mais tempo, mesmo que a influência sobre o °Hue tenha sido mínima.

Neste estudo, foram identificados dois tipos de desordens fisiológicas: corte negro e nariz mole. O corte negro apresentou a maior incidência em ambos os anos de cultivo, enquanto o nariz mole ocorreu apenas de forma mínima nas frutas de outono de 2024. Dentre os tratamentos mais afetados, destacaram-se o controle, a EMB-AE e as embalagens de maior permeabilidade (BWB, com e sem filtro de etileno), com elevada incidência tanto aos 28 dias quanto no período adicional de 28+4 dias. Em contraste, as embalagens BWC, com e sem filtro de etileno, não apresentaram incidência de distúrbios fisiológicos.

A ocorrência de desordens foi agravada durante após o período adicional, ao transferir as frutas de 9 °C para 20 °C. O corte negro, caracterizado pelo escurecimento da polpa ao redor da semente, é um distúrbio associado a processos oxidativos que comprometem a qualidade sensorial das frutas, reduzindo sua aceitação pelo consumidor (Mendes et al., 2012; Freitas e Andrade, 2019). Este fenômeno está ligado ao uso de baixas temperaturas durante o armazenamento ou transporte, conforme demonstrado por Brecht et al. (2019), que observaram maior incidência de corte negro em mangas armazenadas abaixo de 10 °C e, posteriormente, expostas a 23 °C.

Além disso, Andrade et al. (2021) relataram que baixos níveis de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), aliados a altos níveis de manganês (Mn), podem estar relacionados ao desenvolvimento de sintomas de corte negro durante o armazenamento. Esses desequilíbrios minerais comprometem a estabilidade das membranas celulares, aumentando a suscetibilidade das frutas a injúrias oxidativas em períodos de armazenamento prolongado.

O corte negro foi identificado após 28 dias de armazenamento a 9 °C, seguido do período adicional 4 dias a 20 °C, confirmando que temperaturas abaixo de 10 °C predispõem as frutas à injúria pelo frio, enquanto a exposição subsequente a temperaturas elevadas acelera os sintomas. Essas condições desencadeiam processos oxidativos e aumento da atividade metabólica, como amplamente descrito na literatura (Miguel et al., 2011; Freitas e Andrade, 2019).

Os resultados evidenciam que o controle apresentou os maiores índices de corte negro, enquanto as embalagens de polietileno de baixa densidade (BWC) foram eficazes em minimizar o distúrbio. A eficácia das embalagens de AM em reduzir desordens fisiológicas é corroborada por Ali et al. (2019), que relataram resultados semelhantes em lichia, onde a embalagem de AM diminuiu a disponibilidade de O_2 , inibindo a oxidação de compostos fenólicos, um processo chave no escurecimento enzimático (Shen et al., 2006; Mphahlele et al., 2016).

O nariz mole foi identificado apenas nas frutas de outono de 2024, com maior incidência no período adicional de 28+4 dias nos tratamentos controle, EMB-AE e nas embalagens de alta permeabilidade (BWB, com e sem filtro de etileno). Por outro lado, as embalagens de média e baixa permeabilidade (BWA e BWC, com e sem filtro de etileno) evitaram o distúrbio, destacando sua eficácia no controle da composição gasosa e na redução do metabolismo das frutas.

A degradação estrutural causada pelo nariz mole está relacionada à ação do etileno, que ativa enzimas como pectinases e celulasas, responsáveis pela quebra das paredes celulares (Uenojo e Pastore, 2007). Além disso, a baixa concentração de Ca^{2+} , essencial para a estabilidade das membranas celulares, aumenta a suscetibilidade ao colapso dos tecidos (Burdon et al., 1991).

A análise de componentes principais (PCA) destacou a importância dos gases atmosféricos como determinantes na qualidade pós-colheita das mangas em ambos os anos de cultivo. O O_2 foi diretamente associado ao aumento da incidência de corte negro e à perda de massa, evidenciando que maiores concentrações desse gás intensificam os processos oxidativos, acelerando o metabolismo das frutas e comprometendo sua integridade estrutural. Por outro lado, o CO_2 apresentou um efeito oposto, sugerindo que maiores concentrações desse gás podem limitar a ocorrência de desordens fisiológicas e reduzir a perda de peso, desempenhando um papel protetor.

O Componente I, que explicou a maior parte da variância, agrupou variáveis relacionadas ao metabolismo das frutas, como corte negro, perda de peso e L da polpa. A relação inversa observada entre L da polpa e corte negro, especialmente nas frutas do outono de 2024, sugere que, à medida que o valor de L diminui (indicando uma polpa mais escura), a incidência de corte negro aumenta, acompanhando o aumento das concentrações de O_2 . Esse comportamento está conforme os achados de Andrade (2021), que observaram que mangas ‘Keitt’ maduras com corte negro apresentaram menor L, C e b devido ao escurecimento da epiderme e da polpa próxima à casca. O escurecimento ocorre como resultado dos danos oxidativos promovidos pelo acúmulo de radicais livres na região da polpa (Mogollón et al., 2020).

O papel central do O_2 no corte negro pode ser explicado pelo aumento da atividade da citocromo-oxidase, uma enzima envolvida na respiração aeróbica, que, em altas concentrações de O_2 , intensifica a produção de radicais livres e o estresse oxidativo. Esse processo afeta diretamente as membranas celulares, contribuindo para o colapso tecidual e o escurecimento (Li et al., 2022). Em contrapartida, o CO_2 , gerado pela menor permeabilidade das embalagens

de AM, desacelera o metabolismo respiratório ao reduzir a atividade enzimática na cadeia transportadora de elétrons (Miguel et al., 2011), inibindo processos oxidativos. Essa redução na atividade de enzimas relacionadas ao escurecimento, como a peroxidase (POD) e a polifenol oxidase (PPO), diminui a oxidação dos fenóis, reduzindo o desenvolvimento de escurecimento interno (Zhang et al., 2015; Shi et al., 2018).

Esses resultados confirmam que o uso de embalagem de AM com baixos níveis de O₂ e elevados níveis de CO₂ proporciona condições adequadas para desacelerar a respiração das frutas e minimizar danos oxidativos, sendo uma estratégia eficaz na mitigação do corte negro e na preservação da qualidade pós-colheita das mangas. Dessa forma, embalagens de menor permeabilidade ao O₂ ajudam a limitar o estresse oxidativo, enquanto o aumento gradual de CO₂ atua na preservação da qualidade pós-colheita.

5 CONCLUSÕES

As embalagens de AM com membranas BreathWay demonstraram uma alta eficiência na preservação da qualidade pós-colheita das mangas 'Ataulfo' produzidas em duas safras. As embalagens de baixa permeabilidade (BWC) mantiveram níveis ideais de O₂ (1-3 kPa) e CO₂ (7-9 kPa), reduzindo a taxa respiratória e perda de massa, retardando o amadurecimento e prevenindo desordens fisiológicas internas como corte negro e nariz mole.

A absorção de etileno nas embalagens não teve efeito significativo na manutenção da qualidade pós-colheita de mangas 'Ataulfo'. As embalagens de PEAD resultaram em níveis muito baixos de O₂ e muito altos de CO₂, levando à respiração anaeróbica e comprometendo a qualidade pós-colheita de mangas 'Ataulfo'.

6 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) e pela bolsa do Programa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional fornecida a coorientadora deste trabalho (Processo: APQ-0015-5.01/23), bem como 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) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de mestrado fornecida para o autor do trabalho (Processo CAPES: 88887.808062/2023-00).

7 REFERÊNCIAS

- AGHDAM, M.S., JANNATIZADEH, A., LUO, Z., PALIYATH, G. Ensuring sufficient intracellular ATP supplying and friendly extracellular ATP signaling attenuates stresses, delays senescence, and maintains quality in horticultural crops during postharvest life. *Trends Food Science and Technology*, v.76, p.67–81, 2018.
- ALVES, R.E. Acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) fisiologia da maturação e armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada. 1993. 99p. Dissertação (Mestrado) — ESALQ.
- ALVES, R.M.V., SIGRIST, J.M.M., PADULA, M. Atmosfera modificada em mangas ‘Tommy Atkins’. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.20, p.220-228, 1998.
- ALVES, R., ASSIS, J.S., FILGUEIRAS, H.A.C., MENEZES, J.B., LIMA, M.A.C., AMORIM, T.B.F., MARTINS, A.G. Colheita e pós-colheita. In: GENÚ, P. J.C., PINTO, A. C. Q. A cultura da mangueira. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. cap.17, p.381-405.
- AYELE, L., BAYLEYEGN, A. Effect of low temperature storage on ripening and quality of Mango (*Mangifera indica* L.). *Journal of Agricultural Science*, v.5, p.570–576, 2017.
- BALLESTEROS, S., SALAMANCA, M.C., SIERRA, C.A., PALOMEQUE, L.A., CASTELLANOS, D.A. Determination of changes in physicochemical and sensory characteristics of purple passion fruit with the application of different packaging systems, including an ethylene scavenger additive. *Journal of Food Science*, v. 86, p.1372-1383, 2021.
- BENDER, R. J., STOREY, R.T., DESBOROUGH, P.J. Effects of carbon dioxide on the quality of 'Tommy Atkins' mangoes. *Horticultural Science*, v.29, p.1089-1092, 1994.
- BENDER, R.J., STOREY, R.T., DESBOROUGH, P.J. Changes in ethanol concentration and other physiological responses of 'Tommy Atkins' mangoes to control atmosphere storage. *Acta Horticulturae*, v.509, p.399-405, 2000.
- BRACKMANN, A., GIEHL, R.F.H., SESTARI, I., STEFFENS, C.A. Armazenamento de nêspas (*Eriobotrya japonica*, Lindl.) cv. Mizuho em atmosfera modificada. *Revista Científica Rural*, v.9, p.18-24, 2004.
- BRACKMANN, AURI. Uso da atmosfera controlada é recente no Brasil. *Visão Agrícola*, v.7, p. 50-52, 2007.

- BRECHT, J.K. Mango. In: Handbook of mango fruit, production, postharvest science, processing technology and nutrition. 1.Ed. WILEY Blackwell, p.105-128, 2017.
- BRECHT, J.K., 2019. Mango. In: de Freitas, S.T., Pareek, S. (Eds.), Postharvest Physiological Disorders in Fruit and Vegetables. CRC Press, Boca Raton Florida, pp. 443–466.
- BRECHT, J., SCHAFFER, B., CRANE, J., LI, Y., VARGAS, A. Mango Internal Discoloration (“Cutting Black” or “Corte Negro”). National Mango Board, Florida, USA, 2019.
- BRECHT, J.K., PLOTTO, A., MARÍN-GOZALBO, A., e GOODRICH, R. Fresh-Cut Mango Best Management Practices Manual. HS1443. University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences (UF/IFAS), Gainesville, FL. 31 p., 2023.
- BRECHT, J.K., SARGENT, S.A., RISTOW, N., OSUNA GARCÍA, J.A., SINGH, S. Demonstrating modified atmosphere packaging (AM) feasibility for mango export. *Acta Horticulturae*, v.1386, p.161-168, 2024.
- CAMATARI, F., SANTANA, L.C.L.A., CARNELOSSI, M.A.G., ALEXANDRE, A.P.S, NUNES, M. L., GOULART, M.O.F, NARAIN, N., SILVA, M.A.A.P. Impacto de Revestimentos Comestíveis à Base de Amido de Mandioca e Quitosana na Vida Útil Pós-Colheita de Manga (*Mangifera indica*) Frutas 'Tommy Atkins'. *Ciência Alimentar. Tecnologia*, v.38, p.86–95, 2018.
- CHITARRA, M.I.F., CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. Lavras: ESAL/ FAEPE, 320p., 1990.
- CHITARRA, M.I.F., CHITARRA, A.B. Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. (2nd ed.). Lavras - MG, 783 p., 2005.
- CRESCENTE, G., CASCONI, G., VOLPE, M.G., MOCCIA, S. Application of PLA-based films to preserve strawberries’ bioactive compounds. *Foods*, v.13, p.1844, 2024.
- COSTA, M.D.S., ALMEIDA, F.D.A.C., COSTA, J.D.D.S., NETO, A.F.G., JOSIVANDA, P. Caracterização dos atributos de qualidade da manga cv. 'Ataulfo' em diferentes estádios de maturação. *Boletim do CEPPA*, Curitiba, v. 1º de junho. 2021.
- DE FREITAS, S.T., PAREEK, S. (Eds.), Postharvest Physiological Disorders in Fruit and Vegetables. CRC Press, Boca Raton Florida, pp. 443–466, 2019.

ERS-USDA. Fruit and Tree Nuts Outlook: September 2023. United States Department of Agriculture Economic Research Service, 2023. Acesso em 23 jan. 2025.

FREITAS, S.T.D., ANDRADE, M.E.A.D. Avaliação nutricional de polpa de mangas Keitt. Anais do CBF, 2019. Acesso em: [29/01/2025].

FREITAS, S.T.D., GUIMARÃES, I.T., VILVERT, J.C., AMARAL, M.H.P.D., BRECHT, J.K., BIASOTO, A.C.T. 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.111917, 2022.

GARAVITO, J., HERRERA, A.O., CASTELLANOS, D.A. A combined mathematical model to represent transpiration, respiration, and water activity changes in fresh cape gooseberry (*Physalis peruviana*) fruits. *Biosystems Engineering*, v.208, p.152–163, 2021.

GITHIGA, A.W., KIMENJU, J.W., HUTCHINSON, M.J., OWINO, W.O. Effect of Activebag® Modified Atmosphere Packaging on the Postharvest Characteristics of Mango Fruits Cultivar Tommy Atkins. *Journal of Applied Biosciences*, v.75, p.7537-7547, 2014.

GOULART, C.L.O.Y, Flávia, S., GALARÇA, S.P., GIOVANAZ, M.A., MALGARIM, M.B., FACHINELLO, J.C. Evolução do índice da coloração da epiderme de mangas da cultivar Tommy Atkins. *Redalyc*, 2013. Acesso em: 29/01/2025.

JAMES, H.J., JOBLING, J.J. Contrasting the structure and morphology of the radial and diffuse flesh browning disorders and CO₂ injury of ‘Cripps Pink’ apples. *Postharvest Biology and Technology*, v.53, p.36–42, 2009.

JAHURUL, M.H.A., ZAIDUL, I.S.M., GHAFOOR, K., AL-JUHAIMI, F.A., NYAM, K.L., NORULAINI, N.A.N., SAHENA, F., MOHD-OOMAR, A.K. Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components. *Food Chemistry*, v.183, p.173-180, 2015.

JERONIMO, E.M., KANESIRO, M.B. Efeito da associação de armazenamento sob refrigeração e atmosfera modificada na qualidade de mangas ‘Palmer’. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.22, p.237-243, 2000.

JERONIMO, E.M., BRUNINI, M.A., ARRUDA, M.D., Cruz, J.C.S., GAVA, G.D.C., Silva, M.D.A. Qualidade de mangas Tommy Atkins armazenadas sob atmosfera modificada. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, p.1122-1130, 2007.

VILVERT, J.C., DE FREITAS, S.T., FERREIRA, M.A.R., LEITE, R.H.D.L., DOS SANTOS, F.K.G., COSTA, C.D.S.R., AROUCHA, E.M.M. Chitosan and graphene oxide-based biodegradable bags: an eco-friendly and effective packaging alternative to maintain the postharvest quality of ‘Palmer’ mango. *LWT - Food Science and Technology*, v.154, p.1-10, 2022.

JOSHI, K., SPARKS, P., FRIEDMAN, M., OLSEN, C., MCHUGH, T., RAVISHANKAR, S. Effect of antimicrobial edible films on the sensory and physical properties of organic spinach in salad bags. *Food and Nutrition Sciences*, v.12, p.176, 2021.

KAYS, J.S. Postharvest physiology of perishable plant products. New York: AVI. 543p., 1991.

KIM, Y., BRECHT, J.K., TALCOTT, S.T. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. *Food Chemistry*, v.105, p.1327–1334, 2007.

KÖPPEN, W. Das geographische System der Klimate. In: Köppen, W., Geiger, R. (Eds.), *Handbuch der Klimatologie* (Vol. 1, Part C). Gebrüder Borntraeger, 1936.

LALEL, H.J.D., SINGH, Z. The influence of low oxygen and high carbon dioxide atmospheres on the quality of ‘R2E2’ mangoes during storage at low temperature. *Postharvest Biology and Technology*, v.41, pp.168-175, 2006.

LI, C., KADER, A.A. Residual effects of controlled atmospheres on postharvest physiology and quality of strawberries. *Journal American Horticultural Science*, v.114, p.629-634, 1989.

LIU, B., JIAO, W., WANG, B., SHEN, J., ZHAO, H., JIANG, W. Near freezing point storage compared with conventional low temperature storage on apricot fruit flavor quality (volatile, sugar, organic acid) promotion during storage and related shelf life. *Science Horticulturae*, v.249, p.100–109, 2019.

LUCENA, E.M.P., ASSIS, J.S., ALVES, R.E., SILVA, V.C.M., ENÉIAS, F.J. Alterações físicas e químicas durante o desenvolvimento de mangas ‘Tommy Atkins’ no Vale de São Francisco, Petrolina-PE. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.29, p.96-101, 2007.

MALAQUIAS, C.M.O, OTSUKA, P.N., BRITTO, W.S.F. Variadades no cultivo da manga: Um estudo a partir da análise dos custos de produção no Submédio do Vale do São Francisco. In: XIV Congresso Brasileiro de Custos, João Pessoa – PB, 2007.

MPHAHLELE, R.R., FAWOLE, O.A., OPARA, U.L. Influence of packaging system and long-term storage on physiological attributes, biochemical quality, volatile composition and antioxidant properties of pomegranate fruit. *Scientia Horticulturae*, v.211, p.140–151, 2016.

MATTIUZ, B.H. Fatores da pré-colheita influenciam a qualidade final dos produtos. *Visão Agrícola*, n. 7, p. 18-23, 2007. Acesso em:29/01/2025.

MCGUIRE, R.G., Reporting of Objective Color Measurements. *Horticulturae Science*, v.27, p.1254- 1255, 1992.

MEDLICOTT, A.P., REYNOLDS, S.B. Harvest maturity effects on mango fruit ripening. *Tropical Agriculture*, v.65, p.153-157, 1988.

MELO NETO, M.L. Uso de protetores e refrigeração na conservação da manga (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. 1996. 68f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MELO NETO, M.L. et al., Utilização de embalagens plásticas e refrigeração na conservação da manga (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.21, p.160-165, 1999.

MELLO JÚNIOR, N.R.C. de, PIRES, B.P. de C., ALVES, J.S., REGIS, E.S., SANTOS, L.F. dos, BRECHT, J.K., SARGENT, S.A., FREITAS, S.T. de. Modified atmosphere conditions to export ‘Ataulfo’ mangos at advanced maturity. In: congresso brasileiro de processamento mínimo e pós-colheita de frutas, flores e hortaliças, 3., 2024, Piracicaba. *Anais [...]*. Piracicaba: Embrapa, 2024. Acesso em: 23 jan. 2025.

MENDES, M.L.M, BORA, P.S, RIBEIRO, A.P.L. Propriedades morfológicas e funcionais e outras características da pasta do amido nativo e oxidado da amêndoa do caroço de manga (*Mangifera indica* L.), variedade Tommy Atkins. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, v.71, p.76-84, 2012.

MIGUEL, A.C.A., DURIGAN, J.F., MORGADO, C.M.A., GOMES, R.F.D.O. Injúria pelo frio na qualidade pós-colheita de mangas cv. Palmer. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.33, p.255–260, 2011.

MONTEIRO, M.K.S., OLIVEIRA, V.R.L., SANTOS, F.K.G., LEITE, R.H.L., AROUCHA, E.M.M., SILVA, R.R., SILVA, K.N.O. Analysis of water barrier, mechanical and thermal

properties of nanocomposites based on cassava starch and natural clay or modified by anionic exchange. *Materials Research*, v.20, p.69–76, 2017.

NTSOANE, M.L., ZUDE-SASSE, M., MAHAJAN, P., SIVAKUMAR, D. Quality assesment and postharvest technology of mango: A review of its status and future perspectives. *Scientia Horticulturae*, v.249, p.77–85, 2019.

NOOMHORM, A., TIASUWAN, P. Effects of CO₂ concentration and ethylene scrubbing on ripening of ‘Rad’ mango. *Postharvest Biology and Technology*, v.6, p.303-311, 1990.

OLIVEIRA, M.A.B. Introdução à Pós-colheita de Frutas. Autor independente, Cachoeiro de Itapemirim, 2008.

PFAFFENBACH, L.B., CASTRO, J.D., CARVALHO, C.R.L., ROSSETO, C. Efeito da atmosfera modificada e da refrigeração na conservação pós-colheita de manga espada vermelha. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.25, p.410-413, 2003.

PHAKDEE, N., CHAIPRASART, P. Armazenamento em atmosfera modificada estende a vida útil da manga 'Nam Dok Mai Sri Tong'. *International Journal of Fruit Science*, v.20, p.495–505, 2019.

QUIRÓS-SAUCEDA, A.E., SAÑUDO-BARAJAS, J.A., VÉLEZ-DE, L.R.R. Effects of ripening on the in vitro antioxidant capacity and bioaccessibility of mango cv. ‘Ataulfo’ phenolics. *Journal of Food Science and Technology*, v.56, p.2073–2082, 2019.

RSTUDIO TEAM. RStudio: Integrated Development for R. [S. l.]: RStudio, 2016. Versão 3.2.4.

REETZ, E.R., KIST, B. B., SANTOS, C.E., CARVALHO, C., DRUM, M. Anuário Brasileiro da Fruticultura 2014. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2015, 108p.

RAMBABU, K., BHARATH, G., BANAT, F., SHOW, P.L., COCOLETZI, H.H. Mango leaf extract incorporated chitosan antioxidant film for active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.126, p.1234–1243, 2019.

SANTOS, L.F., VILVERT, J.C., SOUZA, T.A., SILVA, A.J., SILVA.R., T., 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.

- SCALON, S.P.Q. et al., Conservação de morangos (*Fragaria ananassa* Duch.) cv. Sequóia em atmosfera modificada. Revista Brasileira de Fruticultura, v.18, p.431-436, 1996.
- SCALON, S. de P. Q., DELL'OLLIO, P., FORNASIERI, J.L. Temperatura e embalagens na conservação pós-colheita de Eugenia uvalha Cambess – mirtaceae. Ciência Rural, v.34, p.1965-1968, 2004.
- SERPA, M.F.P., CASTRICINI, A., MITSUBUZI, G. P., MARTINS, R.N., BATISTA, M.F., ALMEIDA, T.H. Conservação de manga com uso de fécula de mandioca preparada com extrato de cravo e canela. Revista Ceres, v.61, p.975- 982, 2014.
- SHEN, Q., KONG, F., WANG, Q. EFFECT of modified atmosphere packaging on the browning and lignification of bamboo shoots. Journal of Food Science and Technology, v.77, p.348–354, 2006.
- SHI, J., ZUO, J., ZHOU, F., GAO, L., WANG, Q., JIANG, A. Low-temperature conditioning enhances chilling tolerance and reduces damage in cold-stored eggplant (*Solanum melongena* L.) fruits. Postharvest Biology and Technology, v.141, p.33–38, 2018.
- GRAFITI LLC. SigmaPlot: Software de Análise Estatística e Gráficos Científicos. Versão 15.0. Palo Alto, CA: Grafiti LLC, 2022.
- SILVA, J.A. Conservação pós-colheita de mangas utilizando embalagens plásticas. Revista Brasileira de Fruticultura, v.42, p.40-50, 2020.
- SINGH, H.P. Physiology of Vegetable Crops. New Delhi: Kalyani Publishers, 1987.
- SOUZA, J.P., PRAÇA, E.F., ALVES, R.E., BEZERRA, N.B., DANTAS, F.F. Influência do armazenamento refrigerado em associação com atmosfera modificada por filmes plásticos na qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’. Revista Brasileira de Fruticultura, v.24, p.665-668, 2002.
- UENOJO, M., PASTORE, G.M. Pectinases: aplicações industriais e perspectivas. Química Nova, v.30, p.388-394, 2007.
- VILAS BOAS, B.M., NUNES, E.E., FIORINI, F.V.A., LIMA, L.C. de O., VILAS BOAS, E.V. de B., COELHO, A.H.R. Avaliação da qualidade de mangas ‘Tommy Atkins’ minimamente processadas. Revista Brasileira de Fruticultura, v.26, p.540-543, 2004.

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.636, 2021.

ZHANG, Z., HUBER, D.J., QU, H., YUN, Z., WANG, H., HUANG, Z., HUANG, H., JIANG, Y. Enzymatic browning and antioxidant activities in harvested litchi fruits as influenced by apple polyphenols. Food Chemistry, v.171, p.191–199, 2015.

8 APÊNDICE



Apêndice A. Evolução visual da casca de mangas 'Ataulfo' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono (2023) e armazenada sob diferentes condições de embalagem de atmosfera modificada, durante 28 dias a 9 ± 1 °C e 85-90% UR, seguidos do período de vida de prateleira de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C.



Apêndice B. Evolução visual da polpa de mangas 'Ataulfo' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono (2023) e armazenada sob diferentes condições de embalagem de atmosfera modificada, durante 28 dias a 9 ± 1 °C e 85-90% UR, seguidos do período de vida de prateleira de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C.



Apêndice C. Evolução visual da casca de mangas 'Ataulfo' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono (2024) e armazenada sob diferentes condições de embalagem de atmosfera modificada, durante 28 dias a 9 ± 1 °C e 85-90% UR, seguidos do período de vida de prateleira de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C.



Apêndice D. Evolução visual da polpa de mangas 'Ataulfo' cultivadas no Submédio do Vale do São Francisco no outono (2024) e armazenada sob diferentes condições de embalagem de atmosfera modificada, durante 28 dias a 9 ± 1 °C e 85-90% UR, seguidos do período de vida de prateleira de 4 dias a $20 \pm 0,5$ °C.