

Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Atmosfera modificada na conservação pós-colheita de cambuci e uvaia: frutas
nativas da Mata Atlântica

Hellen Renata Correia de Souza

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2023

Hellen Renata Correia de Souza
Bacharel em Engenharia Química

Atmosfera modificada na conservação pós-colheita de cambuci e uvaia: frutas nativas da
Mata Atlântica
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **ANGELO PEDRO JACOMINO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Ciência e
Tecnologia de Alimentos

Piracicaba
2023

Dados internacionais de Catalogação na Publicação
Divisão da Biblioteca – DIBD/ESALQ/USP

Souza, Hellen Renata Correia de

Atmosfera modificada na conservação pós-colheita de cambuci e uvaia:
frutas nativas da Mata Atlântica / Hellen Renata Correia de Souza. - -
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - -
Piracicaba, 2023.

78 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz”.

1. Uvaia 2. Cambuci 3. Atmosfera modificada 4. Conservação
pós-colheita I. Título

DEDICATÓRIA

A minha melhor amiga Ana Valéria, por toda a amizade e porque sem ela esse trabalho não existiria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre este comigo mesmo nos momentos em que eu mais desacreditei. As suas promessas realmente superam nossas falhas!

Ao meu pai, meu maior apoiador, “financiador” dos meus sonhos e aquele que faz tudo por mim desde sempre. Aos meus irmãozinhos Sara e Tomás que são absolutamente tudo na minha vida e me dão forças para viver.

A minha amiga Giselly, que de tanto me ajudar em TUDO que envolvia meu mestrado, eu apelidei carinhosamente de “vice-mestranda”. Você é um dos presentes que a vida me deu, uma amiga que cuida de mim, se preocupa e que já virou uma irmã.

Ao meu primo e melhor amigo Lucas. Ter você na vida é sinônimo de sorte e eu agradeço por isso a Deus todos os dias.

A minha mãe, minha inspiração de força e resiliência. Obrigada por todo apoio, carinho, orações e palavras de incentivo. Seu amor por mim me motiva.

Meus maravilhosos sobrinhos Arthur e Luan por tanto amor e carinho que têm por mim. Nossos momentos juntos estão sempre guardados no meu coração. Espero um dia fazer muito por vocês.

Minha querida madraستا que por tantas vezes desempenhou o papel materno na minha vida e hoje somos amigas e confidentes. Obrigada por ser esse alicerce em minha vida.

Minha prima e melhor amiga Daniela que tanto me ensina e que sempre acreditou em mim.

A todos os meus amigos de Lagoa, com quem eu sempre dividi tristezas e alegrias: Tarcisinho, Wagner, Joyce, Danilo, Jeoval.

Aos grandes amigos que fiz no laboratório: meus colegas de pós graduação Ana Luísa, Igor, Bruna e Gabi Dias, e estudante de IC Gabi Bueno. Além de todas as ajudas que vocês me ofertavam, tornavam meus dias mais divertidos e menos difíceis, tenho certeza que nossos laços serão eternos. Ao técnico Marcos Trevisan, que também se tornou um grande amigo e tanto colaborou no meu trabalho. Meu agradecimento eterno pelas broncas e também pelas risadas. Aos demais colegas da pós Isabela, João e David, que também contribuíram no meu trabalho.

A todos os estagiários e bolsistas de iniciação científica que passaram no laboratório e me ajudaram ao longo desse tempo, em especial Júlia Rossatto, aluna brilhante e minha companheira fiel em tantos experimentos e análises.

Ao meu namorado Marcos Sanabria por todo o carinho, apoio e incentivo.

A coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ) pela concessão das bolsas que me auxiliaram em toda essa trajetória.

Ao professor Dr. Angelo Jacomino, por toda a paciência, orientação e ensinamentos ao longo dessa etapa.

A professora Claire por todo o auxílio desde a definição do projeto, doação de um dos filmes utilizados, caracterizações dos filmes e todas as orientações na condução no experimento.

Aos Senhores Paulo Nakashina e Renato, que disponibilizaram os frutos para os experimentos. Ao Horst, Carlinhos e Naliel por toda a ajuda nas coletas.

“Quando a ansiedade já me dominava no íntimo, o teu consolo trouxe alívio à minha alma”

**Salmos
94:19**

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
Referências	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1. Cambuci [<i>Campomanesia phaea</i> (O. Berg.) Landrum]	18
3.2. Uvaia [<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess].....	19
3.3. Fisiologia do amadurecimento e pós colheita de cambuci e uvaia.....	20
3.4. Atmosfera modificada	23
Referências	26
4. ATMOSFERA MODIFICADA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE UVAIA.....	32
Resumo	32
Abstract.....	32
4.1. Introdução.....	32
4.2. Material e Métodos.....	34
4.2.1. Material vegetal	34
4.2.2. Instalação do experimento de atmosfera modificada para uvaia.....	34
4.2.3. Metodologias de análise	36
4.2.4. Análise dos resultados	38
4.3. Resultados e Discussão.....	38
4.4. Conclusão	52
Referências	53
5. ATMOSFERA MODIFICADA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE CAMBUCI.....	58
Resumo	58
Abstract.....	58
5.1. Introdução.....	58
5.2. Material e Métodos.....	59
5.2.1. Material vegetal	59

5.2.2. Atmosfera modificada para cambuci	60
5.2.3. Metodologias de análise.....	62
5.2.4. Análise dos resultados.....	64
5.3. Resultados e Discussão	64
5.4. Conclusão.....	77
Referências.....	77

RESUMO

Atmosfera modificada na conservação pós-colheita de cambuci e uvaia: frutas nativas da Mata Atlântica

A uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) e o cambuci (*Campomanesia phaea*) são frutos nativos da Mata Atlântica brasileira, com características sensoriais e propriedades nutricionais notáveis. A conservação pós-colheita desses frutos é um desafio, de modo que o estudo de técnicas que possam estender a vida útil deles são fundamentais. A atmosfera modificada refrigerada é uma técnica de conservação pós-colheita que consiste em modificar a atmosfera ao redor do fruto com vistas a retardar seu processo de amadurecimento e senescência. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o uso de diferentes filmes plásticos sob refrigeração na conservação pós-colheita de uvaia e cambuci. Quatro diferentes filmes plásticos (BOPP, PA/PE, PEBD e PVC) foram utilizados para produzir as embalagens. As uvaia foram armazenadas a 10°C e o cambuci a 5°C. Os frutos foram avaliados quanto a aparência, propriedades físico-químicas e compostos bioativos. Para a uvaia os resultados indicaram que as embalagens que promoveram uma modificação mais intensa na atmosfera, como BOPP e PA/PE, apresentaram os melhores resultados em termos de aparência, perda de massa e retenção de compostos bioativos. Considerando todos os parâmetros analisados, concluiu-se que a embalagem de BOPP foi a melhor na conservação da uvaia. Já para o cambuci os resultados demonstraram que as embalagens que promoveram mudanças mais intensas na atmosfera também apresentaram melhores resultados em termos de aparência, perda de massa, manutenção da firmeza e incidência de podridão. No entanto, não foram observadas influências dos tratamentos nos teores de vitamina C, compostos fenólicos e capacidade antioxidante para o cambuci. A embalagem de PA/PE foi considerada a mais adequada para a conservação do cambuci. Ambos resultados destacaram a eficácia da atmosfera modificada sob refrigeração na conservação pós-colheita de frutos nativos da Mata Atlântica, como a uvaia e o cambuci. Essa técnica mostrou-se capaz de preservar a qualidade sensorial, reduzir perdas e prolongar a vida útil dos frutos. Esses resultados fornecem novas perspectivas para a conservação pós-colheita desses frutos, contribuindo para a valorização dessas frutas nativas brasileiras.

Palavras-chave: Uvaia, Cambuci, Atmosfera modificada, Conservação pós-colheita

ABSTRACT

The modified atmosphere in the post-harvest conservation of cambuci and uvaia: native fruits of the Atlantic Forest

The uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) and the cambuci (*Campomanesia phaea*) are native fruits from the Brazilian Atlantic Forest, with notable sensory characteristics and nutritional properties. The post-harvest conservation of these fruits is a challenge, so the study of techniques that can extend their useful life is essential. Refrigerated modified atmosphere is a post-harvest conservation technique that consists of modifying the atmosphere around the fruit with a view to delaying its ripening and senescence process. The objective of the present work was to evaluate the use of different plastic films under refrigeration in the post-harvest conservation of uvaia and cambuci. Four different plastic films (BOPP, PA/PE, LDPE and PVC) were used to produce the packaging. The uvaia were stored at 10°C and the cambuci at 5°C. The fruits were evaluated for appearance, physical-chemical properties and bioactive compounds. For uvaia, the results indicated that packaging that promoted a more intense modification in the atmosphere, such as BOPP and PA/PE, presented the best results in terms of appearance, mass loss and retention of bioactive compounds. Considering all the parameters analyzed, it was concluded that the BOPP packaging was the best in conserving uvaia. As for cambuci, the results demonstrated that packaging that promoted more intense changes in the atmosphere also presented better results in terms of appearance, loss of mass, maintenance of firmness and incidence of rot. However, no influences of treatments on the levels of vitamin C, phenolic compounds and antioxidant capacity were observed for cambuci. PA/PE packaging was considered the most suitable for cambuci conservation. Both results highlighted the effectiveness of the modified atmosphere under refrigeration in the post-harvest conservation of native Atlantic Forest fruits, such as uvaia and cambuci. This technique proved capable of preserving sensory quality, reducing losses and extending the useful life of the fruits. These results provide new perspectives for the post-harvest conservation of these fruits, contributing to the appreciation of these native Brazilian fruits.

Keywords: Uvaia, Cambuci, Modified atmosphere, Postharvest conservation

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país conhecido por sua ampla biodiversidade. A Mata Atlântica, ainda que cada vez mais devastada, destaca-se como um bioma que possui um grande número de espécies arbóreas, incluindo as frutíferas (Fundação SOS Mata Atlântica, 2019). Muitas delas, no entanto, permanecem desconhecidas, o que impede de serem exploradas tanto nutricionalmente quanto economicamente (Silva et al., 2019).

Dentre as espécies nativas brasileiras estão o cambuci (*Campomanesia phaea*) e a uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess). Ambas espécies se tratam de mirtáceas, uma das famílias mais importantes da flora do país devido ao grande número de gêneros e espécies (Jacomino et al., 2018).

O cambuci é uma árvore frutífera que pode ser encontrada nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, na encosta da Serra do Mar, na área conhecida como Mata Costeira Atlântica (Lorenzi et al., 2006). O fruto possui um formato incomum, que se assemelha a um “disco voador”, polpa carnuda e suculenta, baixo número de sementes e aroma forte e doce (Azevedo et al. 2016; Freitas, 2023; Vallilo et al. 2005). Seus aspectos nutricionais, isto é, os compostos bioativos e sabor exótico do cambuci podem ajudar sua penetração em muitos segmentos de mercado (Tokairin et al., 2018).

A ampla distribuição geográfica do cambuci, leva a ocorrência de não apenas mudanças morfológicas, mas também muitas variações na composição química dos frutos. Existem diversos acessos de cambuci, cada um apresentando uma considerável variabilidade, que se manifesta tanto na forma quanto no tamanho do fruto (Bianchini et al., 2016).

A uvaia é uma árvore frutífera que pode ser encontrada do nordeste ao sul do Brasil, na Mata Atlântica brasileira (Silva et al., 2019). Os frutos da uvaia possuem formatos que variam entre arredondados, achatados e piriformes, sabor ácido e doce, casca fina com textura aveludada e cor amarelo-laranja. A espécie possui alta atividade antioxidante, pela presença de diversos compostos fenólicos, carotenoides, vitamina C, entre outros (Silva et al., 2018).

Estudos *in loco* mostraram que, em uma mesma cidade, a uvaia apresenta amplas diferenças no sabor e nas características físicas dos frutos (SGANZERLA et al., 2019). A uvaia possui forte potencial para agroindústria e para o desenvolvimento de vários produtos como geleias, sucos, sorvetes, mantendo o sabor do fruto e sendo uma rica fonte de compostos bioativos (Jacomino et al., 2018; Sganzerla et al., 2019).

Estudos com frutas nativas, como cambuci e uvaia, estão em expansão devido às evidências que uma alimentação saudável possui impacto positivo contra doenças crônicas, em razão da presença de compostos bioativos, como o ácido ascórbico, carotenoides, compostos fenólicos e terpenos (Tokairin, 2017). No entanto, a falta de conhecimento da fisiologia e conservação pós-colheita de tais frutos, é um impasse para a exploração dos mesmos. Assim, são necessários estudos para uma definição de índices de maturação, técnicas de colheita, manuseio e uma conservação pós-colheita que possibilite ampliar o tempo de armazenamento e comercialização (Chitarra & Chitarra, 2005; Oliveira et al., 2014).

Uma das técnicas utilizadas em pós-colheita é a atmosfera modificada. Esse método consiste em alterar a composição gasosa da atmosfera que envolve o alimento, de modo a desacelerar os processos naturais de deterioração, reduzir o crescimento microbiano e prolongar o estado frescor inicial (NIEMIRA e FAN, 2014). Isso é comumente feito através do armazenamento em embalagens de filmes poliméricos.

Diante disso, o presente estudo avalia o uso de diferentes filmes plásticos na conservação pós-colheita de cambuci e uvaia visando estender a vida útil e preservação da qualidade dos mesmos. Este estudo visa também contribuir na disseminação de informações voltadas a exploração da biodiversidade da Mata Atlântica, por meio desses frutos.

Referências

Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio* (Vol. 1). Lavras: Universidade Federal de Lavras.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, períodos 2017 – 2018. Relatório técnico. Disponível em < https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/05/Atlas-mata-atlantica_17-18.pdf> Acesso em 16/03/2021.

Jacomino, A. P., da Silva, A. P., de Freitas, T. P., & de Paula Morais, V. S. (2018). Uvaia—*Eugenia pyriformis* cambess. In *Exotic fruits* (pp. 435-438). Academic Press.

Lacerda, M., & Lorenzi, H. (2006). Frutas Brasileiras e Exóticas Cultivadas (De Consumo In Natura). *Nova Odessa: Plantarum*.

Niemira, I., & Fan, X. (2014). Advances in processing technologies to preserve and enhance the safety of fresh and fresh-cut fruits and vegetables. *Encyclopedia of Food Microbiology*.

Oliveira, J. D., Silva, I. G., Silva, P. P. M. D., & Spoto, M. H. F. (2014). Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita de camu-camu. *Ciência Rural*, 44, 1126-1133.

Sanches Azevedo, M. C., Silva, R. R. E., Jacomino, A. P., & Genovese, M. I. (2017). Physicochemical variability of cambuci fruit (*Campomanesia phaea*) from the same orchard, from different locations and at different ripening stages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2), 526-535.

Sganzerla, W. G., Beling, P. C., Ferreira, A. L. A., Azevedo, M. S., Ferrareze, J. P., Komatsu, R. A., de Lima Veeck, A. P. (2019). Geographical discrimination of uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) by principal component analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(15), 6778-6787.

Silva, A. P. G., Spricigo, P. C., Purgatto, E., de Alencar, S. M., Sartori, S. F., & Jacomino, A. P. (2019). Chemical composition, nutritional value and bioactive compounds in six uvaia accessions. *Food Chemistry*, 294, 547-556.

Silva, A. P. G. D., Tokairin, T. D. O., Alencar, S. M. D., & Jacomino, A. P. (2018). Characteristics of the fruits of two uvaia populations grown in Salesópolis, SP, Brazil. *Revista Brasileira de fruticultura*, 40.

Tokairin, T. D. O., Silva, A. P. G. D., Spricigo, P. C., Alencar, S. M. D., & Jacomino, A. P. (2018). Cambuci: a native fruit from the Brazilian Atlantic forest showed nutraceutical characteristics. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40.

Tokairin, T. O. (2017). *Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci, fruto nativo da Mata Atlântica*. Doctoral Thesis, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2017.tde-24082017-134117. Retrieved 2023-11-13, from www.teses.usp.br

Vallilo, M. I., Garbelotti, M. L., Oliveira, E. D., & Lamardo, L. C. A. (2005). Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27, 241-244.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o uso de diferentes filmes plásticos sob refrigeração na conservação pós-colheita de cambuci e uvaia.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar o melhor filme plástico para a conservação de cambuci e uvaia.
- Avaliar o efeito das embalagens nos teores de carotenoides, vitamina c, compostos fenólicos e capacidade antioxidante dos frutos.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Cambuci [*Campomanesia phaea* (o. Berg.) Landrum]

O cambuci (*Campomanesia phaea*) é uma espécie nativa brasileira pertencente à família Myrtaceae. Possui ocorrência natural nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, na região da 'Serra do Mar' ou na área da Mata Atlântica no Brasil (Kawasaki & Landrum, 1997).

O cambuci apresenta um formato incomum, que lembra a forma de um “disco voador” (Freitas, 2022). Apresenta uma polpa bastante succulenta com baixo teor de sementes e um aroma intenso e adocicado (Tokairin et al., 2023). Além disso, possui também uma forte acidez e adstringência (Donado-Pestana et al., 2021). As características do fruto também incluem casca fina e coloração verde, inclusive com a maturidade, torna-se às vezes um pouco mais amarelada (Tokairin, 2017).

Do ponto de vista nutricional, o cambuci é rico em vitaminas, minerais e também, destaca-se como uma boa fonte de compostos fenólicos (Tokairin et al., 2023). Estudos *in vitro* e *in vivo* já demonstraram as propriedades anti-inflamatória e antioxidantes desse fruto, bem como sua ação benéfica em distúrbios metabólicos como diabetes e obesidade (Donado-Pestana et al., 2015, 2021).

O alto potencial industrial e comercial do cambuci está atrelado ao, entre outros aspectos, elevado teor de pectina na polpa (Tokairin, 2017). A pectina é um polissacarídeo tem alto poder de gelificação, propriedade muito importante para diversos alimentos industrializados, como sucos, iogurtes, molhos, condimentos (Bagal-Kestwal et al., 2019).

A alta acidez da polpa de cambuci também é um atributo interessante para o processamento. O baixo pH torna desnecessária a etapa de acidificação no processamento de produtos em que a gelificação é necessária. Além disso, a alta acidez favorece o sabor acentuado da polpa, gera um alto fator de diluição na formulação de sucos e geléias e conseqüentemente um maior rendimento (Vallilo et al., 2005). Outro atributo desejável à industrialização que o cambuci possui é o elevado teor de ácido ascórbico (Taver et al., 2022).

Frutos de cambuci de diferentes localidades ou de uma mesma localidade podem apresentar uma certa variabilidade quanto a sua composição química e características sensoriais. Em estudo realizado por Azevedo et al., (2017) para avaliar a variabilidade físico-química de frutos de cambuci, foi observado que frutos de diferentes tamanhos obtidos de árvores cultivadas no mesmo local apresentaram alta variabilidade nos parâmetros acidez

titulável e pH. Já frutos de tamanho médio de quatro locais diferentes do estado de São Paulo exibiram a mesma firmeza, contudo com diferenças significativas no teor de minerais, fenólicos, proantocianidinas, taninos elágicos e capacidade antioxidante (Azevedo *et al.*, 2017).

Tais diferenças podem ser atribuídas a variações na composição do solo de cada local, o que acaba por influenciar na bioquímica e composição mineral dos frutos. Outros fatores que podem ser citados são as condições climáticas, fertilização, disponibilidade de água, cultivo e idade da planta (Sanches Azevedo *et al.*, 2017).

No que se refere a seu consumo atual, o cambuci vem sendo utilizado na forma de aromatizantes em cosméticos e no preparo de sucos, geleias e doces (Donado-Pestana *et al.*, 2021). Já o seu consumo *in natura* é limitado tanto por questões de aceitabilidade devido à forte acidez e adstringência, mas também pelo pouco conhecimento da cultura (Tokairin, 2017).

3.2. Uvaia [*Eugenia pyriformis* Cambess]

A uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) é uma árvore frutífera nativa brasileira da família Myrtaceae (Sganzerla & Silva, 2022). A uvaia ocorre em toda extensão sul, sudeste e nordeste da mata atlântica brasileira e fora desse bioma, na região centro-oeste (Freitas, 2017).

O formato descrito para a uvaia varia entre arredondados, achatados e piriformes. A textura pode ser aquosa ou firme e a coloração varia entre tons amarelos e alaranjados (Sganzerla & Silva, 2022). Possui pele fina e suscetível à danos mecânicos, podendo ser lisa ou aveludada, seu aroma é intenso e agradável e possui polpa macia e succulenta, com acidez de leve a moderada (Jacomino *et al.*, 2018).

Acerca da composição química e nutricional da uvaia, trata-se de uma boa fonte de vitamina C (50,9 a 135 mg.100 g⁻¹) (Taver *et al.*, 2022). Possui também teores elevados de ferro e zinco (Pereira *et al.*, 2014). Vitamina A e outras vitaminas, como tiamina, riboflavina, piridoxina, ácido pantotênico e biotina também são relatadas (Schmidt *et al.*, 2019). A presença de fitoquímicos na uvaia promove alta capacidade antioxidante *in vitro* e *in vivo* e o consumo de suco de uvaia demonstrou diminuir o dano oxidativo nas proteínas (Silva *et al.*, 2018; Lopes *et al.*, 2018).

Em estudo realizado comparando seis diferentes acessos de uvaia, Silva (2018) encontrou diferenças significativas nas composições químicas e funcionais dos acessos. Os terpenos foram os conteúdos majoritariamente encontrados em todos os acessos, em que o acesso Pêra obteve uma maior quantidade desses compostos; já as frutos dos acessos Rugosa e Rugosa Doce apresentaram altos teores de flavonoides totais, compostos fenólicos, ácido ascórbico e boa capacidade antioxidante (Silva, 2018).

Com relação ao tamanho, Silva *et al.* (2018) concluíram que as árvores de uvaia que produzem frutos grandes apresentam características desejáveis para a comercialização in natura, tais como: maior rendimento de polpa e peso. Já os frutos menores são mais firmes, doces e com alta presença de compostos antioxidantes (carotenoides totais, flavonoides amarelos e compostos fenólicos), de modo que podem ser considerados para consumo in natura e processado (Silva *et al.*, 2018). Quanto à composição mineral, a uvaia se destaca como importante fonte de nutrientes e pode ser usada como um suplemento para atender às necessidades diárias de minerais, particularmente o ferro, pois apresenta maiores teores de ferro ($3,38 \text{ mg} \cdot 100^{-1}$) que frutos tradicionais como banana, maçã, uva, entre outras (Silva *et al.*, 2018; TACO, 2011).

Por serem fonte de compostos bioativos, os frutos da uvaia apresentam grande potencial para serem explorados pela indústria de alimentos pois há um notável interesse em combinar os atributos sensoriais e as propriedades antioxidantes dos frutos contra doenças crônicas e degenerativas (Jacomino *et al.*, 2018).

3.3. Fisiologia do amadurecimento de frutos

O amadurecimento é um processo que ocorre de forma geneticamente programada. Através dele ocorrem inúmeras alterações bioquímicas e fisiológicas que alteram o sabor, a cor, o aroma e a textura dos frutos (Forlani *et al.*, 2019). Essas mudanças melhoram sua palatabilidade para que o produto seja consumido in natura ou para o processamento (Irtiza *et al.*, 2019).

A maturidade dos frutos pode ser classificada em maturidade fisiológica e maturidade comestível ou hortícola (Chitarra & Chitarra, 2005; Qureshi *et al.*, 2023). Na maturidade fisiológica, os frutos já reúnem condições necessárias para seguir desenvolvendo-se, mesmo quando separado da planta. Logo, os frutos não devem ser colhidos antes de atingirem este estágio. Quanto ao alcance da maturidade comestível, fase do desenvolvimento em que o

fruto apresenta os atributos de cor, aroma, textura e sabor desejáveis, é necessário fazer a classificação dos frutos quanto ao padrão respiratório. Segundo essa classificação, os frutos podem ser climatéricos ou não-climatéricos (TOKAIRIN, 2017).

Ressalta-se que a importância do estudo da respiração está na sua relação intrínseca com a vida útil dos tecidos após a colheita (Kader, 1987; Paul *et al.*, 2012). Em frutos climatéricos ocorre a produção autocatalítica do hormônio vegetal etileno, o qual desencadeia um aumento na taxa respiratória do fruto. O etileno coordena uma série de mudanças que compreendem a perda de firmeza, formação de pigmentos, aroma, entre outras (Pujol & Garcia-Mas, 2023). Nesses frutos, o processo de amadurecimento é continuado após a colheita (Qureshi *et al.*, 2023). Logo, há a possibilidade de colheita em estádios de maturação menos avançados, buscando uma maior qualidade e conservação durante o manuseio e o armazenamento, até que atinjam a maturidade comercial (Alferez *et al.*, 2021).

Os frutos não climatéricos apresentam um declínio progressivo na sua taxa respiratória e permanecem com níveis basais de etileno ao longo do amadurecimento (Alferez *et al.*, 2021). Uma vez que não amadurecem após retirados de sua planta mãe, tais frutos não apresentam incrementos em suas propriedades organolépticas. Com isso, necessitam ser colhidos próximo a sua maturidade comercial (Romero *et al.*, 2022).

Alguns frutos, no entanto, não se encaixam bem nessa classificação, visto que ela pode se tratar de uma simplificação excessiva (Paul *et al.*, 2012). O melão por exemplo possui cultivares com comportamento climatérico e não climatérico (Pujol & Garcia-Mas, 2023). Alterações em genes relacionados ao etileno, na síntese e sinalização, também tem sido demonstrado em frutos não-climatéricos como o morango e uva. Tais aspectos demonstram que as alterações não são tão óbvias como se acreditava anteriormente (Chen *et al.*, 2018).

3.3.1. Fisiologia e conservação pós-colheita de cambuci e uvaia

O cambuci é classificado como um fruto não climatérico por apresentar um padrão respiratório característico deste tipo de fruto. (Donado-Pestana *et al.*, 2015; Tokairin, 2017). Além disso, quando exposto a aplicação de etileno exógeno, também não foram observados picos de CO₂ e de C₂H₄ (Tokairin, 2017).

O estudo de Azevedo *et al.* (2017) encontrou diferenças significativas no teor de sólidos solúveis, acidez, ratio e firmeza entre frutos de 6 diferentes estágios de maturação. Já Tokairin *et al.* (2023) consideram que apenas a firmeza conseguiu diferenciar bem os frutos quanto ao estágio de maturação.

O conteúdo de taninos também é um indicativo importante da maturação pois foi observado que esses compostos decrescem dos estágios mais verdes para os mais maduros (Azevedo *et al.*, 2017; Tokairin *et al.*, 2023). Sensorialmente, isso significa a diminuição da adstringência, o que é desejável para o consumo (Tokairin *et al.*, 2023). Os fenólicos têm sido associados a indução do amadurecimento de frutos e ao desenvolvimento das características sensoriais e qualitativas tanto de frutos climatéricos como não climatéricos (Kundu *et al.*, 2023).

Além desses aspectos, a análise do perfil de compostos voláteis do cambuci forneceu uma boa análise de diferenças entre os estádios de maturação do fruto, estádios esses definidos segundo o arredondamento da região equatorial dos frutos (Tokairin *et al.*, 2023). Encontraram-se 27 compostos voláteis, em que os terpenos e ésteres foram os mais predominantes no fruto (Tokairin *et al.*, 2023). A diferença entre os estádios se deu tanto pela concentração de metabólitos, como pela nota aromática; em frutos mais verdes observou-se aromas herbáceo, etéreos e pungente, que com o amadurecimento passaram a ser frutados e canforados (Tokairin *et al.*, 2023). Adicionalmente, os frutos colhidos nos estágios 1 e 2 ao final do armazenamento, alcançaram perfil volátil semelhante aos frutos do estágio 3, maduros (Tokairin *et al.*, 2023).

Para a uvaia, a análise do padrão respiratório de frutos de três estágios demonstrou que os frutos do estágio 1 apresentaram um aumento expressivo do etileno, que alcançou valores equivalentes aos frutos dos estágios 1 e 2 (Freitas, 2017). Tal aumento pode indicar que os frutos amadurecem depois de colhidos, tal qual um fruto climatérico (Freitas, 2017).

Segundo Jacomino *et al.* (2018) uvaia colhidas totalmente maduras, são altamente perecíveis, já os frutos colhidos verdes, apresentaram mudanças significativas na cor, nos sólidos solúveis e na acidez titulável no período pós-colheita, porém não atingiram a mesma qualidade dos frutos colhidos quando maduro. Especialmente quanto ao teor de sólidos solúveis, visto que se reflete diretamente no sabor do fruto, esses achados indicam que para o consumo in natura, é melhor a colheita em estágios mais avançados (Freitas *et al.*, 2019).

Os teores de flavonoides, carotenoides, compostos fenólicos e capacidade antioxidante não são afetados com a maturação da uvaia (Freitas *et al.*, 2019). Já o perfil de compostos voláteis de frutos colhidos verdes, apesar de ter um incremento em seu conteúdo ao longo do amadurecimento, não apresentaram o mesmo desenvolvimento aromático, que frutos colhidos maduros (Freitas, 2017).

Tais observações indicam que não é possível precisar se a uvaia se trata de um fruto climatérico ou não (Jacomino *et al.*, 2018).

3.4. Atmosfera modificada

Dentre as técnicas amplamente utilizadas para prolongar a vida útil de frutos *in natura*, cita-se a atmosfera modificada (Kargwal *et al.*, 2020). Tal técnica consiste na redução da concentração de O₂ e aumento da concentração de CO₂ na atmosfera ao redor dos frutos, com o objetivo de diminuir a respiração e a taxa das reações bioquímicas, e inibir o crescimento de microrganismos patógenos e deteriorantes (Qu *et al.*, 2022; Wilson *et al.*, 2019). A nomenclatura MAP é utilizada para se referir a modificações da atmosfera em embalagens individuais, já MA se refere a armazenamento a granel (Wilson *et al.*, 2019).

A composição da atmosfera está em 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio e 0,04% de dióxido de carbono, 0,93% de argônio e outros gases e vapor d'água em pequena quantidade (Benkeblia, 2021). A modificação da atmosfera através da aplicação de barreiras artificiais, como filmes plásticos ou ceras, estabelece a criação de uma microatmosfera, com umidade relativa maior que a externa. Isso faz com que a taxa de transpiração seja alterada e, conseqüentemente, reduz-se a perda de água, retardam-se as mudanças no teor de açúcares, na cor, na textura, e ainda reduzem as perdas de acidez, pela diminuição da atividade de enzimas relacionadas ao metabolismo respiratório, aumentando a vida útil destas (Chitarra & Chitarra, 2005).

Quando está em contato com os alimentos, o oxigênio viabiliza não apenas diversas reações oxidativas, mas também o crescimento de microrganismos deteriorantes. Com isso, para frutos e vegetais frescos, as atmosferas desejadas necessitam de níveis reduzidos de oxigênio e altos níveis de dióxido de carbono e / ou nitrogênio (PINELA e FERREIRA, 2015). Para frutos climatéricos, o principal objetivo do MAP é retardar a respiração e o

amadurecimento, já em frutos não-climatéricos, a inibição microbiana é o aspecto mais importante (Wilson *et al.*, 2019).

Os fatores que influem na modificação da atmosfera são a permeabilidade do filme, taxa respiratória do fruto, propriedades de difusão dos gases, massa do produto, área superficial e volume de espaço livre (Kargwal *et al.*, 2020). Os materiais polietileno (PE), poliamida (PA), polipropileno (PP) e cloreto de polivinila (PVC) são uns dos materiais poliméricos mais utilizados e indicados para produtos hortícolas frescos (Caron, 2009; Tajeddin & Arabkhedri, 2020; Zhang *et al.*, 2022). Entre as vantagens do uso de materiais poliméricos estão o baixo peso, satisfatórias propriedades mecânicas e térmicas, economia, fácil produção e resistência a corrosão (Zhang *et al.*, 2022).

O filme de PVC foi o primeiro filme a ser utilizado para embalagens de alimentos e bebidas e possui como características seu baixo custo e alta permeabilidade ao oxigênio (Azevedo *et al.*, 2022; Sousa *et al.*, 2002). O polietileno é o polímero mais utilizado no mundo e é fabricado em baixa, linear baixa e alta densidade (PEBD, PELBD, PEAD), o que lhes confere diferentes propriedades de barreira ao oxigênio (Azevedo *et al.*, 2022; Prasad; Nikzad; Sbarsk, 2018). Após o polietileno, o polipropileno é o segundo material mais utilizado em embalagens alimentícias (Azevedo *et al.*, 2022). A orientação ou dupla orientação das cadeias moleculares do polipropileno, lhes confere a propriedade de baixa permeabilidade aos gases (Steffens, 2006). Os filmes de poliamida, também conhecidos como náilon, podem se apresentar na forma orientada ou amorfa, em que essa última forma se destaca pela suas altas propriedades de barreira, sobretudo ao oxigênio (Steffens, 2006).

Segundo Sarantopóulos (1999) a definição do filme polimérico aquequado para determinado alimento requer a otimização dos parâmetros físicos, químicos, bioquímicos e até mesmo ambientais, visto que o uso dessas embalagens também gera impactos dessa natureza.

Para os produtos hortícolas, a temperatura de armazenamento destaca-se como um aspecto muito importante na definição do MAP pois as taxas de amadurecimento e de produção de etileno são proporcionais ao aumento da temperatura (Wilson *et al.*, 2019). Desse modo, quando se associada a refrigeração com atmosfera modificada, o período pós-colheita pode ser prolongado (Qu *et al.*, 2022).

3.4.1. Uso de atmosfera modificada para frutos tropicais

Os frutos tropicais tratam-se do grupo de frutos originárias das regiões delimitadas entre as latitudes 23° norte e sul do equador e que possuem temperaturas médias em cerca de 27 °C, as denominadas regiões tropicais (Benkeblia, 2021). O Brasil, enquanto parte da América do Sul tropical, tem uma das maiores biodiversidades do planeta e possui nos frutos tropicais um recurso único e inexplorado (Aschemann-Witzel *et al.*, 2023).

Muitos desses frutos como manga, banana e abacaxi, já são produzidos comercialmente e estão disponíveis no mercado internacional e nacional, entretanto grande parte delas não são bem conhecidas no próprio país, como ocorre com o cambuci e a uvaia. Nesse sentido, a exploração comercial bem como seu aproveitamento enquanto alimento, passam pelo desenvolvimento de técnicas pós-colheita para armazenamento e transporte adequados (Yahia, 2008).

Sabe-se que para frutos tropicais o armazenamento refrigerado por um longo período pode ocasionar o aparecimento de distúrbios fisiológicos que impactam de maneira negativa a sua qualidade (Kluge *et al.*, 1996; Chitarra & Chitarra, 2005). Uma das formas encontradas de melhorar a sensibilidade dos frutos tropicais à refrigeração foi o uso da atmosfera modificada e controlada (Yahia, 2008).

Alguns poucos estudos têm investigado o emprego dessas técnicas para cambuci e uvaia. Tokairin (2017) avaliou o uso das temperaturas 5, 10 e 22 °C para o cambuci e obteve que a 5 °C foi possível inibir o desenvolvimento de patógenos e estender vida útil do fruto em 6 dias. Bezerra (2022) estudou o uso de filmes plásticos de PVC (Policloretovinílico), PEBD (Polietileno de baixa densidade) e BOPP (Polipropileno biorientado) sob refrigeração para o cambuci e concluiu que o filme de BOPP, com menor concentração de O₂ e maior concentração de CO₂, foi o mais recomendado para o armazenamento.

Para a uvaia, Scalon *et al.* (2004) conduziram estudo com uso de PVC, filme com absorvedor de etileno e bandejas sem embalagem nas temperaturas de 13°C e 30°C, e concluiu que as uvaia embaladas mantiveram sua aparência e qualidade por quatro dias a 30 °C e 12 dias a 13 °C.

Como são poucas as informações referentes à conservação pós-colheita desses frutos, investigações mais aprofundadas são necessárias para determinações mais precisas acerca da fisiologia e pós-colheita visando o desenvolvimento de técnicas.

Referências

Alferez, F., de Carvalho, D. U., & Boakye, D. (2021). Interplay between abscisic acid and gibberellins, as related to ethylene and sugars, in regulating maturation of non-climacteric fruit. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(2), 1–10. <https://doi.org/10.3390/ijms22020669>

Aschemann-Witzel, J., Bizzo, H. R., Doria Chaves, A. C. S., Faria-Machado, A. F., Gomes Soares, A., de Oliveira Fonseca, M. J., Kidmose, U., & Rosenthal, A. (2023). Sustainable use of tropical fruits? Challenges and opportunities of applying the waste-to-value concept to international value chains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(10), 1339–1351. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1963665>

Azevedo, Ana G. *et al.* Active flexible films for food packaging: a review. *Polymers*, v. 14, n. 12, p. 2442, 2022.

Bagal-Kestwal, D. R., Pan, M. H., & Chiang, B. H. (2019). Properties and applications of gelatin, pectin, and carrageenan gels. *Bio Monomers for Green Polymeric Composite Materials*, 117–140. <https://doi.org/10.1002/9781119301714.ch6>

Benkeblia, N. (2021). Physiological and Biochemical Response of Tropical Fruits to Hypoxia/Anoxia. *Frontiers in Plant Science*, 12(July), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.670803>

Chen, Y., Grimplet, J., David, K., Castellarin, S. D., Terol, J., Wong, D. C. J., Luo, Z., Schaffer, R., Celton, J. M., Talon, M., Gambetta, G. A., & Chervin, C. (2018). Ethylene receptors and related proteins in climacteric and non-climacteric fruits. *Plant Science*, 276(July), 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.07.012>

Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio* (1st ed.).

Donado-Pestana, C. M., Belchior, T., Festuccia, W. T., & Genovese, M. I. (2015). Phenolic compounds from cambuci (*Campomanesia phaea* O. Berg) fruit attenuate glucose intolerance and adipose tissue inflammation induced by a high-fat, high-sucrose diet. *Food Research International*, 69, 170–178. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.032>

Donado-Pestana, C. M., Pessoa, É. V. M., Rodrigues, L., Rossi, R., Moura, M. H. C., dos Santos-Donado, P. R., Castro, É., Festuccia, W. T., & Genovese, M. I. (2021). Polyphenols of cambuci (*Campomanesia phaea* (O. Berg.)) fruit ameliorate insulin resistance and hepatic steatosis in obese mice. *Food Chemistry*, 340(August 2020), 128169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128169>

Forlani, S., Masiero, S., & Mizzotti, C. (2019). Fruit ripening: the role of hormones, cell wall modifications, and their relationship with pathogens. *Journal of Experimental Botany*, 70(11), 2993–3006. <https://doi.org/10.1093/JXB/ERZ112>

Freitas, T. P. (2017). *Pós-colheita de uvaia: caracterização de acessos e estádios de maturação*. Master's Dissertation, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/D.11.2017.tde-16102017-180336.

Freitas, T. P. (2022). *Estudos da fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada*. Doctoral Thesis, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2022.tde-12122022-173239.

Freitas, T. P., Spricigo, P. C., Purgatto, E., & Jacomino, A. P. (2019). Aroma and soluble solid contents of the uvaia—a native Atlantic rainforest fruit—are negatively affected by early harvest. *Journal of Food Biochemistry*, 43(7), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12881>

Irtiza, S., Bhat, A., Wani, A. B., Khan, F., Murtaza, I., & Younus-Wani, Y. (2019). Physiological and biochemical interactions for extending the shelf life of fruits and vegetables : A review. *International Journal of Chemical Studies*, 7(1), 2153–2166. <https://www.researchgate.net/publication/332028749>

Jacomino, A. P., da Silva, A. P. G., de Freitas, T. P., & de Paula Morais, V. S. (2018). Uvaia—*Eugenia pyriformis* Cambess. *Exotic Fruits Reference Guide*, 435–438. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00058-7>

Kargwal, R., Garg, M., Singh, V., Garg, R., & Kumar, N. (2020). Principles of modified atmosphere packaging for shelf life extension of fruits and vegetables: An overview of storage conditions. *International Journal of Chemical Studies*, 8(3), 2245–2252. <https://doi.org/10.22271/chemi.2020.v8.i3af.9545>

Kawasaki, M. L., & Landrum, L. R. (1997). A rare and potentially economic fruit of Brazil, *Campomanesia pheaea* (Myrtaceae). *Economic Botany*, 51, 403–405. <https://doi.org/10.1007/BF02861053>

Kundu, A., Das, A., Pal, S., Ghosh, A., Adak, M. K., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2023). Elicitation-Based Modulation of Shelf Life in Fruits: Physiological and Molecular Insights. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 92(8), 2283–2300. <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.028178>

Landrum, L. R., & Kawasaki, M. L. (1997). The genera of Myrtaceae in Brazil: an illustrated synoptic treatment and identification keys LESLIE R. LANDRUM AND MARIA LOCIA KAWASAKI. *Brittonia*, 49(4), 508–536.

Lopes, J. M. M., Lage, N. N., Guerra, J. F. C., Silva, M., Bonomo, L. F., Paulino, A. H. S., Regis, A. L. R. S., Pedrosa, M. L., & Silva, M. E. (2018). A preliminary exploration of the potential of *Eugenia uvalha* Cambess juice intake to counter oxidative stress. *Food Research International*, 105(May 2017), 563–569. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.067>

Paul, V., Pandey, R., & Srivastava, G. C. (2012). The fading distinctions between classical patterns of ripening in climacteric and non-climacteric fruit and the ubiquity of ethylene-An overview. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0293-4>

Pereira, M. C., Boschetti, W., Rampazzo, R., Celso, P. G., Hertz, P. F., Rios, A. de O., Vizzotto, M., & Flores, S. H. (2014). Mineral characterization of native fruits from the southern region of Brazil. *Food Science and Technology*, 34(2), 258–266. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0049>

PRASAD, K.; NIKZAD, M.; SBARSKI, I. Permeability control in polymeric systems: a review. *Journal of Polymer Research*, v. 25, p. 1-20, 2018.

Pujol, M., & Garcia-Mas, J. (2023). Regulation of climacteric fruit ripening in melon: recent advances and future challenges. *Journal of Experimental Botany*, July. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad256>

Qu, P., Zhang, M., Fan, K., & Guo, Z. (2022). Microporous modified atmosphere packaging to extend shelf life of fresh foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(1), 51–65. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1811635>

Qureshi, H., Khan, S. J., Salman, M., Kalim, M., Khan, A., & Shahjehan, A. (2023). Post-harvest Technologies for Handling Operations of Fruits. *Journal Advances of Nutrition Science and Technology*, 3(1–2), 24–40. <https://doi.org/10.15228/anst.2022.v03.i01-2.p04>

Romero, I., Escribano, M. I., Merodio, C., & Sanchez-Ballesta, M. T. (2022). Postharvest High-CO₂Treatments on the Quality of Soft Fruit Berries: An Integrated Transcriptomic, Proteomic, and Metabolomic Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(28), 8593–8597. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c01305>

Sanches Azevedo, M. C., Silva, R. R. E., Jacomino, A. P., & Genovese, M. I. (2017). Physicochemical variability of cambuci fruit (*Campomanesia phaea*) from the same orchard, from different locations and at different ripening stages. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(2), 526–535. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7756>

Sarantopóulos, C. I. G. L. (1999). Embalagens para vegetais minimamente processados-fresh cut. *Seminário sobre hortaliças minimamente processadas*, 3.

Schmidt, H. de O., Rockett, F. C., Pagno, C. H., Possa, J., Assis, R. Q., de Oliveira, V. R., da Silva, V. L., Flôres, S. H., & Rios, A. de O. (2019). Vitamin and bioactive compound diversity of seven fruit species from south Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(7), 3307–3317. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9544>

Sganzerla, W. G., & da Silva, A. P. G. (2022). Uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess – Myrtaceae): An overview from the origin to recent developments in the food industry – A bibliometric analysis. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10(June), 100369. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100369>

Silva, A. P. G. (2018). *Composição química e propriedades funcionais de cambucá, jabuticaba e uvaia, frutos nativos da Mata Atlântica*. Doctoral Thesis, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2018.tde-21082018-173052

Silva, A. P. G., Tokairini, T. de O., de Alencar, S. M., & Jacomino, A. P. (2018). Characteristics of the fruits of two uvaia populations grown in Salesópolis, SP, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 40(2). <https://doi.org/10.1590/0100-29452018511>

Sousa, J. P. D., Praça, E. F., Alves, R. E., Bezerra Neto, F., & Dantas, F. F. (2002). Influência do armazenamento refrigerado em associação com atmosfera modificada por filmes plásticos na qualidade de mangas' Tommy Atkins. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24, 665-668.

STEFFENS, C. (2006). *Respiração de frutos e permeabilidade de filmes poliméricos*. 2006. 88 f (Doctoral dissertation, Tese (Doutorado em Agronomia)-Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria).

TACO. (2011). *Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO* (Issue 4).

Tajeddin, B., & Arabkhedri, M. (2020). Polymers and food packaging. In *Polymer Science and Innovative Applications: Materials, Techniques, and Future Developments*. INC. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816808-0.00016-0>

Taver, I. B., Spricigo, P. C., Neto, H. B., de Alencar, S. M., Massarioli, A. P., & Jacomino, A. P. (2022). Bioactive Compounds and In Vitro Antioxidant Capacity of Cambuci and Uvaia: An Extensive Description of Little-Known Fruits from the Myrtaceae Family with High Consumption Potential. *Foods*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/foods11172612>

Tokairin, T. de O. (2017). Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci , fruto nativo da Mata Atlântica Piracicaba [University of São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.11.2017.tde-24082017-134117>

Tokairin, T. de O., Spricigo, P. C., de Freitas, T. P., Taver, I. B., Purgatto, E., & Jacomino, A. P. (2023). Cambuci ripening: Postharvest quality and volatile compounds production implications. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 45, 1–15. <https://doi.org/10.1590/0100-29452023850>

Vallilo, M. I., Garbelotti, M. L., Oliveira, E. de, & Lamardo, L. C. A. (2005). Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 27(2), 241–244. <https://doi.org/10.1590/s0100-29452005000200014>

Wilson, M. D., Stanley, R. A., Eyles, A., & Ross, T. (2019). Innovative processes and technologies for modified atmosphere packaging of fresh and fresh-cut fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 411–422. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1375892>

Yahia, E. M. (2008). Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. *Stewart Postharvest Review*, 2(5), 1–10. <https://doi.org/10.2212/spr.2006.5.6>

Zhang, M., Biesold, G. M., Choi, W., Yu, J., Deng, Y., Silvestre, C., & Lin, Z. (2022). Recent advances in polymers and polymer composites for food packaging. *Materials Today*, 53(March), 134–161. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.01.022>

4. ATMOSFERA MODIFICADA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE UVAIA

Resumo

A uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) é um fruto nativo da Mata Atlântica que já tem seu potencial nutricional e comercial relatado em diversos estudos, entretanto bastante perecível e com rápida deterioração, o que dificulta sua exploração e comercialização. A atmosfera modificada em combinação com a refrigeração trata-se de uma técnica de conservação pós-colheita que visa retardar o amadurecimento e estender a vida útil de frutos por meio da alteração da composição gasosa e diminuição da temperatura. Apesar de ser uma técnica bastante estudada e consolidada para muitas culturas, espécies nativas como a uvaia, foram pouco estudadas com relação a técnicas de conservação pós-colheita. Com isso, o presente estudo teve como objetivo avaliar o uso de diferentes filmes plásticos sob refrigeração na conservação pós-colheita de uvaia. Para tanto, foram utilizados filmes poliméricos de BOPP, PA/PE, PEBD e PVC e foram analisados quanto a aparência, propriedades físico-químicas e compostos bioativos, comparando-se com o controle, que estava submetido apenas a refrigeração. Os resultados demonstraram que a embalagem de BOPP produziu os melhores resultados quanto a aparência, perda de massa e retenção de compostos bioativos. Tais achados trazem novas perspectivas quanto a conservação pós-colheita deste fruto e quanto ao uso de baixíssimas concentrações de oxigênio e altas concentrações de dióxido de carbono como uma abordagem promissora na conservação de frutos tropicais.

Palavras-chave: *Eugenia pyriformis* Cambess; atmosfera modificada; refrigeração; conservação pós-colheita.

Abstract

The uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess) is a fruit native to the Atlantic Forest that already has its nutritional and commercial potential reported in several studies, however it is quite perishable and deteriorates quickly, which makes its exploration and commercialization difficult. Modified atmosphere in combination with refrigeration is a post-harvest conservation technique that aims to delay ripening and extend the shelf life of fruits by changing the gaseous composition and decreasing the temperature. Despite being a well-studied and consolidated technique for many crops, native species such as uvaia have been little studied in relation to post-harvest conservation techniques. Therefore, the present study aimed to evaluate the use of different plastic films under refrigeration in post-harvest conservation of uvaia. To this end, polymeric films of BOPP, PA/PE, LDPE and PVC were used and were analyzed for appearance, physical-chemical properties and bioactive compounds, comparing with the control, which was only subjected to refrigeration. The results demonstrated that BOPP packaging produced the best results in terms of appearance, mass loss and retention of bioactive compounds. These findings bring new perspectives regarding the post-harvest conservation of this fruit and the use of very low concentrations of oxygen and high concentrations of carbon dioxide as a promising approach in the conservation of tropical fruits.

Keywords: *Eugenia pyriformis* Cambess; modified atmosphere; refrigeration; postharvest conservation.

4.1. Introdução

A conservação pós-colheita de frutos é um desafio enfrentado pela indústria alimentícia devido à necessidade de prolongar a vida útil e manter a qualidade dos produtos. Nesse contexto, a atmosfera modificada é uma técnica bem consolidada que consiste em

ajustar as condições gasosas ao redor do produto, reduzindo a concentração de oxigênio e aumentando a de dióxido de carbono. Essas alterações na composição atmosférica visam retardar o amadurecimento, reduzir a perda de água e inibir o crescimento de microrganismos, contribuindo para a manutenção da qualidade e estendendo a vida útil dos frutos durante o armazenamento pós-colheita (FALAGÁN; TERRY, 2018).

O uso dessa técnica é feito em combinação com a refrigeração, que se trata de uma das técnicas mais utilizadas e prioritárias em pós-colheita. O princípio desta técnica é que em temperaturas baixas há a redução da mobilidade molecular, e por consequência as reações químicas e biológicas acontecem de forma mais lenta, sem lesar a fisiologia do fruto. Assim, consiste no método mais efetivo para prolongar a vida útil de frutos, diminuindo a velocidade do metabolismo, a ocorrência de doenças, as atividades enzimáticas e respiratórias, evitando a rápida deterioração (TOKAIRIN, 2019; BERK, 2018).

A uvaia (*Eugenia Pyriformis* Cambess) é uma fruta nativa do Brasil, que possui sabor ácido, aroma agradável, sendo reconhecida por suas ótimas propriedades nutricionais e por ser uma fonte rica de compostos bioativos. Trata-se de um fruto com relevância econômica para seus produtores locais contudo devido à sua alta perecibilidade e rápida deterioração, estratégias de conservação eficientes são necessárias para preservar sua qualidade e prolongar sua vida útil (SILVA *et al.*, 2022). Com isso, estudos relacionados a conservação desse fruto fazem-se necessário para a aplicação de técnicas que possam estender sua vida útil.

Embora a aplicação da refrigeração e atmosfera modificada seja amplamente estudada em vários frutos comerciais, como maçãs, peras e morangos, seu uso na conservação pós-colheita da uvaia só foi relatada em um estudo (SCALON *et al.*, 2004). Portanto, é importante investigar os efeitos da atmosfera modificada na conservação da uvaia, a fim de encontrar soluções eficientes que prolonguem sua durabilidade e mantenham sua qualidade sensorial e nutricional.

Desta forma, este estudo tem como objetivo avaliar diferentes filmes plásticos para uso na conservação pós-colheita da uvaia, visando identificar aquele que é mais eficaz em prolongar a vida útil, reduzir perdas e promover o potencial de comercialização em diferentes mercados do fruto.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Material vegetal

Frutos de uvaia foram coletados, de um plantio comercial, cujas plantas são originadas de semente, no município de Cabo verde – MG. O município está localizado nas coordenadas geográficas: latitude 21° 28' 20" sul, longitude: 46° 22' 54" oeste e a 836 metros de altitude à 250 km de Piracicaba. De acordo com a classificação climática de Köppen, esta região é classificada como Cwa (Cwa = temperado ameno, w = inverno seco e a = verão quente) - um clima subtropical úmido que possui verões quentes e úmidos e invernos frios a amenos. Os frutos foram colhidos manualmente e acomodados em caixas de papelão revestidas internamente com espuma, colocados em caixas isotérmicas refrigeradas com placa de gelo e transportados até o Laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas (LPV-ESALQ/USP).

4.2.2. Instalação do experimento de atmosfera modificada para uvaia

O experimento foi instalado no dia posterior a coleta, iniciando com rigorosa seleção dos frutos quanto a estágio de maturação e tamanho. Após isso, foram aleatoriamente acondicionados em 4 tipos de filmes plásticos no formato de sacos (Tabela 1), de dimensões 35 cm x 18 cm, dentro de bandejas plásticas, com aproximadamente 200 g de fruto por bandeja (Figura 1). O filme de BOPP (Polipropileno biorientado), por não ser fornecido no formato de saco plástico, foi cortado e selado termicamente na lateral, de modo a obter as mesmas dimensões dos sacos de PA/PE (Poliamida/polietileno), adquiridos com as medidas específicas. O filme de PEBD (Polietileno de baixa densidade), apesar de estar no formato de saco plástico foi cortado e selado termicamente para que também ficasse no tamanho das embalagens de PA/PE. Para o filme de PVC (Policloreto de vinila), as bandejas foram revestidas com ele e seladas com uso da seladora marca Everest, modelo XIII. Para as demais embalagens, utilizou-se a seladora da marca Selovac, modelo 220B.

Tabela 1. Especificações físicas dos filmes plásticos

Filmes Plásticos	Espessura	Taxa de permeabilidade (mL (CNTP) .m ⁻² .dia ⁻¹)	Taxa de permeabilidade ao vapor de água (g água.m ⁻² .dia ⁻¹)
BOPP	50 µm	715,6	2,43
PA/PE	40 µm	177,7	10,84
PEBD	55 µm	3.545,4	7,50



Figura 1. Acondicionamento dos frutos em filmes plásticos do tipo BOPP (A); PA/PE (B), PEBD (C) e PVC (D).

O controle foi definido como frutos acondicionados na bandeja sem embalagem plástica (Figura 2). Todos os tratamentos foram armazenados a $10 \pm 1^\circ\text{C}$ e $95 \pm 5\%$ de umidade relativa durante 11 dias. O monitoramento da composição gasosa foi realizado diariamente nos primeiros 3 dias, e depois, alternando-se um dia. No dia da instalação do experimento e a cada 5 dias foram feitas análises físico-químicas (teores de acidez total titulável, sólidos solúveis e coloração da casca) e análises de aparência. Amostras de polpa foram congeladas com N_2 líquido e armazenados a -80°C para as análises por espectrofotometria e cromatografia. Ressalta-se que em todas as análises foram utilizadas a polpa obtida com a casca.



Figura 2. Acondicionamento dos frutos do controle (A) e armazenamento dos tratamentos na câmara fria (B).

4.2.3. Metodologias de análise

Medição de CO₂ e de O₂: amostras de ar do espaço livre das embalagens contendo os frutos de uvaia foram coletadas e analisadas com um analisador de gases marca PBI Dansensor, modelo Check Mate, que retira cerca de 2 mL de gás a cada amostragem. As amostras foram retiradas por meio de septos de silicone colados nas embalagens. Os resultados foram expressos em porcentagens de O₂ e de CO₂.

Teor de sólidos solúveis: medido com o auxílio do refratômetro digital Atago modelo Palette 101, Tóquio, Japão, usando-se polpa homogeneizada e filtrada com auxílio de gaze. Foram realizadas duas leituras por repetição e os resultados foram expressos em °Brix.

Acidez titulável: determinada por titulometria de neutralização, em que 5 g de polpa foram misturadas com 50 mL de água destilada. A solução foi titulada com solução de NaOH 1 N, até o pH 8,10 em pHmetro digital, da marca Tecnal, modelo Tec 03 MP. Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico por litro (mg.L⁻¹).

Perda de massa fresca: quantificada através da diferença entre a massa inicial e a massa final do fruto, em balança semi-analítica. Os resultados foram expressos em porcentagem (%).

Teores de acetaldeído e de etanol – Para o preparo da solução padrão de etanol foram pesados 0,01; 0,14 e 0,81 g de etanol em balões volumétricos de 200 mL com água deionizada gelada. Em cada balão volumétrico, a solução foi homogeneizada e transferida para frascos herméticos. De cada frasco foi transferido um volume de 1 mL da solução para frascos hermeticamente fechados de 40 mL. Para o preparo da solução padrão de acetaldeído foram pesados 0,085 g de acetaldeído e adicionados um volume de 400 mL de água deionizada. Desta solução retirou-se os volumes de 2,5; 10 e 20,0 mL e adicionou-se em balões volumétricos de 100 mL e completou-se o volume com água deionizada gelada. As soluções foram homogeneizadas e transferidas para frascos hermeticamente fechados. Posteriormente, de cada frasco foi transferido 1 mL para frascos herméticos de 40 mL. Para a determinação: alíquotas com 1 g de polpa do fruto foram adicionadas em frascos herméticos de volume de 22 mL. Tanto os frascos com as amostras quanto aqueles com as soluções padrões de acetaldeído e etanol foram deixados em banho-maria a 50°C durante 30 minutos. Após este tempo, 1 mL do espaço livre de cada frasco foi retirado com auxílio de uma seringa e injetado no cromatógrafo a gás. Os resultados foram expressos em gramas por de massa 100 gramas de massa fresca (mg.100 g⁻¹).

Análises de aparência: Os frutos foram avaliados de modo subjetivo, em que cada fruto era avaliado como ótimo, bom, regular, ruim ou péssimo. O fruto era classificado como 1) ótimo, se estivesse com aparência de fresco, sem manchas, sem podridão e perfeito para comercialização; 2) bom, se o fruto estivesse com perda parcial de frescor, pequenas manchas escuras e boas condições de ser comercializado; 3) regular, se o fruto apresentasse pequenas manchas escuras e/ou lesões de podridão e passível de ser comercializado; 4) ruim para frutos com manchas escuras/podridões e sem condições de ser comercializado; 5) péssimo para frutos opacos (s/ frescor), com muitas manchas e/ou podridões e/ou tecido coalescendo em partes do fruto. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos por cada nota de avaliação.

Coloração da casca: medida com colorímetro da marca Minolta CR-300, modelo Osaka, Japão usando a seguinte configuração: sistema de cor L* a* b* C* h°, iluminante D65 e observador padrão 2°. Fazendo-se duas leituras por fruto.

Vitamina C: o teor de vitamina C foi determinado pela metodologia de Pasternak *et al.* (2005). A amostra, na concentração de 0,07 g.mL⁻¹, foi extraída com ácido metafosfórico 3% em centrifuga a 7.168 g durante 20 minutos a 4°C e filtrada com auxílio de filtro PTFE de 0,45 µm. Em seguida, adicionou-se ditioneitol (DTT), para a redução do ácido dehidroascórbico. A identificação e quantificação foi feita por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) utilizando coluna Atlantis dC18 5 µm (150mm x 4,6 mm i.d., Waters, Ireland). A fase móvel foi formada por uma solução de KCl (2 mM, pH 2,5) utilizando um fluxo de 0,8 mL min⁻¹ e a detecção feita em comprimento de onda de 254 nm. A vitamina C foi identificada pelo tempo de retenção e identificação de espectro. Os resultados foram expressos em mg de vitamina C por 100 gramas de massa fresca (mg.100 g⁻¹).

Carotenoides totais: o teor de carotenoides totais para uvaia foi determinado por método espectrofotométrico segundo Lichtenthaler (1987). O extrato de concentração 0,1 g mL⁻¹ com acetona 100% foi obtido através da centrifugação da amostra, na rotação de 7.168 g por 20 minutos a 4 °C. O sobrenadante foi retirado e a absorbância foi medida em 663 nm (clorofila A), 646 nm (clorofila B) e 470 nm (carotenoides). O teor final de carotenoides totais foi expresso em microgramas de carotenoides totais por grama de massa fresca (µg.g⁻¹).

Capacidade antioxidante pelo método DPPH: os extratos de uvaia foram preparados utilizando a concentração 0,1 g mL⁻¹ por meio da centrifugação das amostras na rotação de

7.168 g durante 5 minutos a 4 °C, utilizando o solvente etanol a 80%. A quantificação da capacidade antioxidante foi realizada pela redução do radical livre 1,1-difenil-2-picrilhidrazil DPPH, adaptando a metodologia de Al-Duais *et al.* (2009). Os resultados foram expressos em micro mol de trolox por grama de massa fresca ($\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$).

Compostos Fenólicos Totais: a quantificação dos compostos fenólicos totais em foi feita por meio da reação de oxidação com o reagente Folin-Ciocalteou (WOISKY; SALATINO, 1998). Após centrifugação do extrato, na rotação de 7.168 g durante 5 minutos a 4 °C com etanol 80%, retirou-se um volume de 0,5 mL do sobrenadante (concentração $0,1 \text{ g mL}^{-1}$) e adicionou-se 2,5 mL de solução Folin-Ciocalteou (diluição 1:10) e 2 mL de carbonato de sódio, na concentração 4%. A leitura, em espectrofotômetro, foi realizada na absorvância de 740 nm. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido gálico por 100 gramas de massa fresca (mg.100 g^{-1}).

4.2.4. Análise dos resultados

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, em que as parcelas principais são os tratamentos (4 tipos de filme plástico e sem adição de filme plástico) e as subparcelas são os tempos de análise (0, 5 e 10 dias), com 4 repetições constituída por 12 frutos cada. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%).

4.3. Resultados e Discussão

A composição gasosa (Figura 3) no interior das embalagens apresentou diferentes níveis de modificação. O filme de polipropileno biorientado (BOPP) alcançou a modificação de atmosfera mais intensa, apresentando ao final do armazenamento, a composição de 0,88% de O_2 e 23,43% de CO_2 . A concentração do oxigênio nessa embalagem esteve estabilizada desde o 4º dia, já a de dióxido de carbono ainda apresentou certo aumento ao longo do armazenamento. Seguida do BOPP, tem-se que o filme de poliamida/polietileno (PA/PE) também produziu uma expressiva modificação na atmosfera, atingindo concentrações finais de 2% e 18,85%, de O_2 e CO_2 , respectivamente. Tal embalagem apresentou uma atmosfera minimamente estabilizada apenas ao 6º dia de armazenamento.

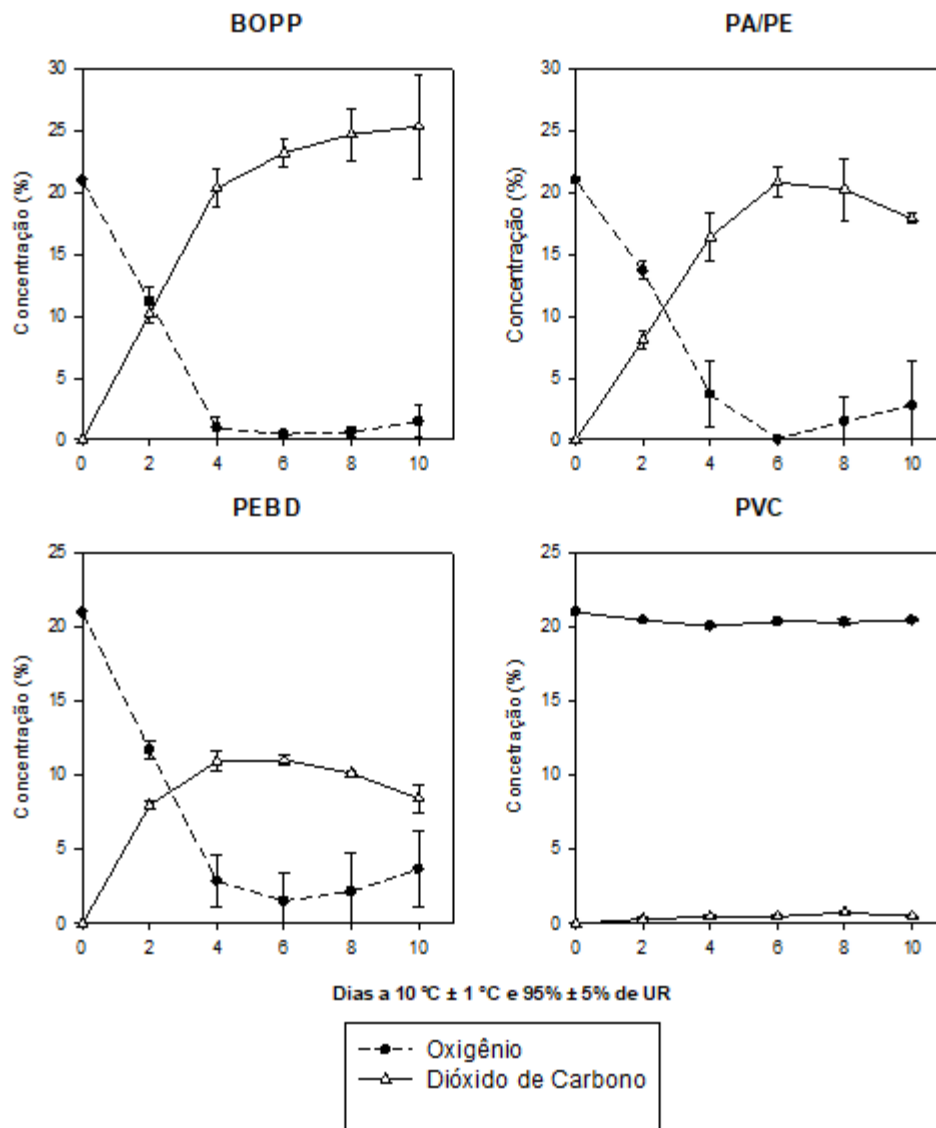


Figura 3. Composição gasosa nas embalagens de diferentes materiais contendo uvaia. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila

Tais resultados estão relacionados com a baixa permeabilidade desses filmes ao O₂, que são de $177,7 \pm 18,5 \text{ mL (CNTP).m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e $715,6 \pm 29,3 \text{ mL (CNTP).m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ para o PA/PE e BOPP. O filme de PEBD apresentou modificações de menor intensidade que o BOPP e PA/PE, porém, ainda assim realizou uma moderada modificação da atmosfera, com concentrações finais, de 3% e 7%, de O₂ e CO₂, respectivamente. Além disso, apresentou uma atmosfera de equilíbrio, com poucas oscilações, desde o 4º dia de armazenamento. Ressalta-se que esse filme não possuía uma boa resistência a termoselagem, de modo que isso dificultava o processo de fechamento das embalagens e a deixava mais suscetível a vazamentos. Além disso, destaca-se sua alta permeabilidade ao O₂, de $3.545,4 \pm 374,4 \text{ mL (CNTP).m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. A

embalagem de PVC, não apresentou modificações consideráveis, o que se relaciona com sua alta permeabilidade ao O₂, de $8.664,9 \pm 2060,1$ (CNTP).m⁻².dia⁻¹.

O teor de sólidos solúveis é usado como medida indireta do teor de açúcares, visto que aumenta de valor à medida que esses teores vão se acumulando no fruto. Embora a sua determinação não represente os teores exatos dos açúcares, pois outras substâncias também se encontram dissolvidas na seiva vacuolar, os açúcares são as mais representativas, chegando a representar até 85%-90% dos sólidos solúveis (SS). Além disso, os teores de açúcares variam com espécies, estádios de maturação, cultivares e clima (Chitarra & Chitarra, 2005).

Para o teor de sólidos solúveis da uvaia (Figura 4), observa-se visualmente uma redução durante o armazenamento, porém isso é confirmado estatisticamente apenas para o PEBD e PVC. Isso se deve provavelmente a elevada variabilidade genética na população de plantas de onde os frutos foram colhidos, o que resultou em frutos com qualidade variada, dificultando a obtenção de um lote experimental uniforme. Destaca-se que a faixa de valores nos quais os teores de sólidos solúveis variaram no presente trabalho se assemelha aos encontrados por Freitas (2017) que caracterizou 31 acessos de uvaia e obteve uma variação de 5,36 a 8,86 ° Brix.

Tabela 2. Teor de sólidos solúveis dos frutos de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a 10 °C ± 1 °C e 95% ± 5% de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	DIA 0	DIA 5	DIA 10
Controle	5,30 A	5,53 A	4,62 A
BOPP	5,30 A	5,37 A	4,47 A
PA/PE	5,30 A	4,78 A	4,78 A
PEBD	5,30 A	5,10 A	4,08 B
PVC	5,30 AB	5,50 A	4,43 B

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas em um mesmo tratamento diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Com relação a acidez titulável (Tabela 2), destaca-se que ao final do armazenamento, os frutos do controle e PVC apresentaram os menores teores de acidez, o que pode indicar que a contenção da diminuição dos teores de AT está diretamente relacionada com a melhor conservação nessas embalagens cujas atmosferas criadas apresentaram altos teores de CO₂ e baixos teores de O₂ (Mizobutsi *et al.*, 2012).

Tabela 3. Acidez titulável em equivalente de ácido cítrico para a uvaia sob atmosfera modificada a $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	DIA 0	DIA 5	DIA 10
Controle	1,61 A	1,46 A	0,89Bbc
BOPP	1,61 A	1,29 B	1,10Bab
PA/PE	1,61 A	1,40 AB	1,20Ba
PEBD	1,61 A	1,36 B	1,00Cab
PVC	1,61 A	1,31 B	0,68Cc

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Ressalta-se que essa diminuição no teor de acidez titulável deve-se, possivelmente, à sua utilização no processo respiratório e na sua degradação ao longo do armazenamento, e não no processo de conversão de açúcares, fato este verificado pela diminuição no teor de sólidos solúveis encontrado (Vieites *et al.*, 2006).

Quanto à perda de massa (Figura 4), a maior perda foi observada nos frutos do controle, nos dois períodos analisados, chegando a aproximadamente 11% no dia 10 e diferindo dos demais tratamentos significativamente. Oliveira *et al.* (2014), ao analisarem frutos de camu-camu armazenados sob atmosfera modificada, também verificaram maior perda de massa em frutos não revestidos por plásticos, cerca de 15%. Em ameixas da mata, Radaelli *et al.* (2018) também verificaram maiores perdas de massa em frutos sem embalagens, aproximadamente 20%. De igual modo, outros estudos realizados com mirtáceas também comprovam a eficiência do emprego de filmes plásticos na conservação da massa fresca de frutos (Scalon *et al.*, 2012).

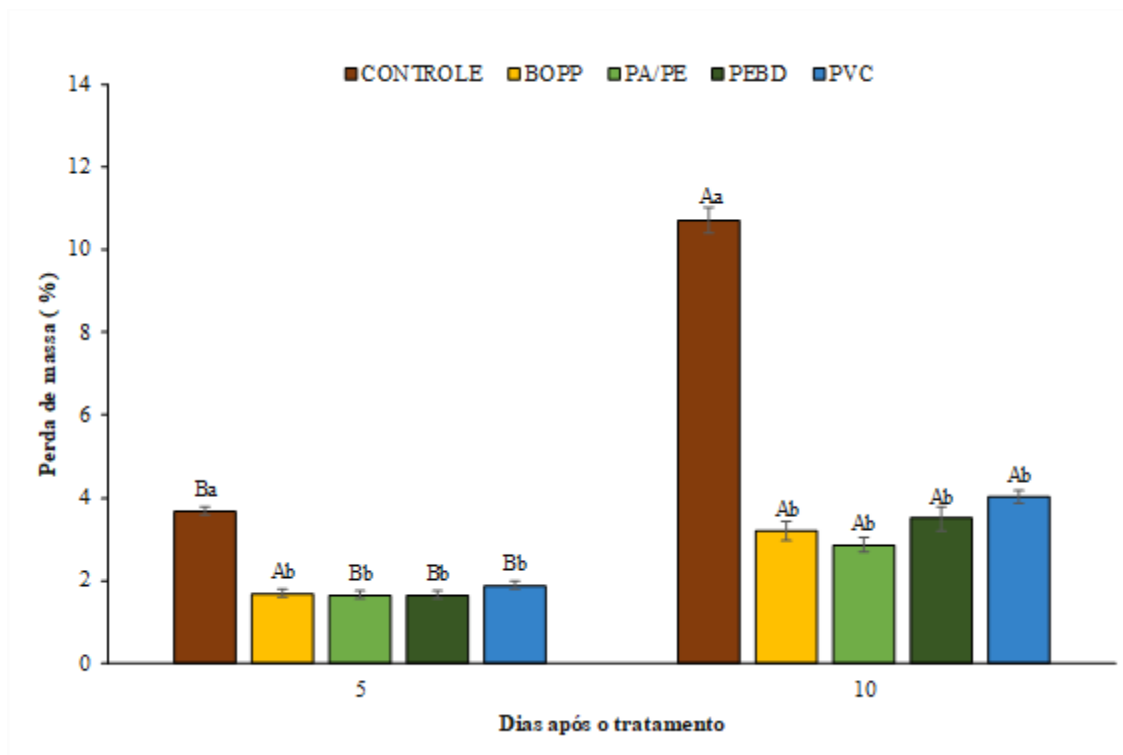


Figura 4. Perda de massa de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Entende-se que a menor perda de massa observada nos frutos das embalagens de PA/PE, PEBD e BOPP pode ser associada à menor permeabilidade desses filmes ao vapor de água, que apresentaram respectivamente valores médios de $10,84 \pm 0,34\text{ g água}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$, $7,50 \pm 0,31\text{ g água}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$ e $2,43 \pm 0,03\text{ g água}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{dia}^{-1}$. A redução da perda de massa relaciona-se diretamente com a taxa de transmissão de vapor d'água da embalagem, isto é, quanto menor a taxa de transmissão, menor o déficit de pressão de vapor d'água e maior a umidade relativa no interior da embalagem, diminuindo a taxa de transpiração dos frutos (Oliveira *et al.*, 2014; Sanches *et al.*, 2011; Jacomino *et al.*, 2005; Agostini *et al.*, 2009).

A modificação da atmosfera resultante do filme BOPP também levou à produção de elevados teores dos metabólitos anaeróbicos acetaldeído e etanol (Figura 5 e 6) nos frutos, durante o armazenamento. Os demais tratamentos exerceram pouco influência nos teores de acetaldeído e etanol.

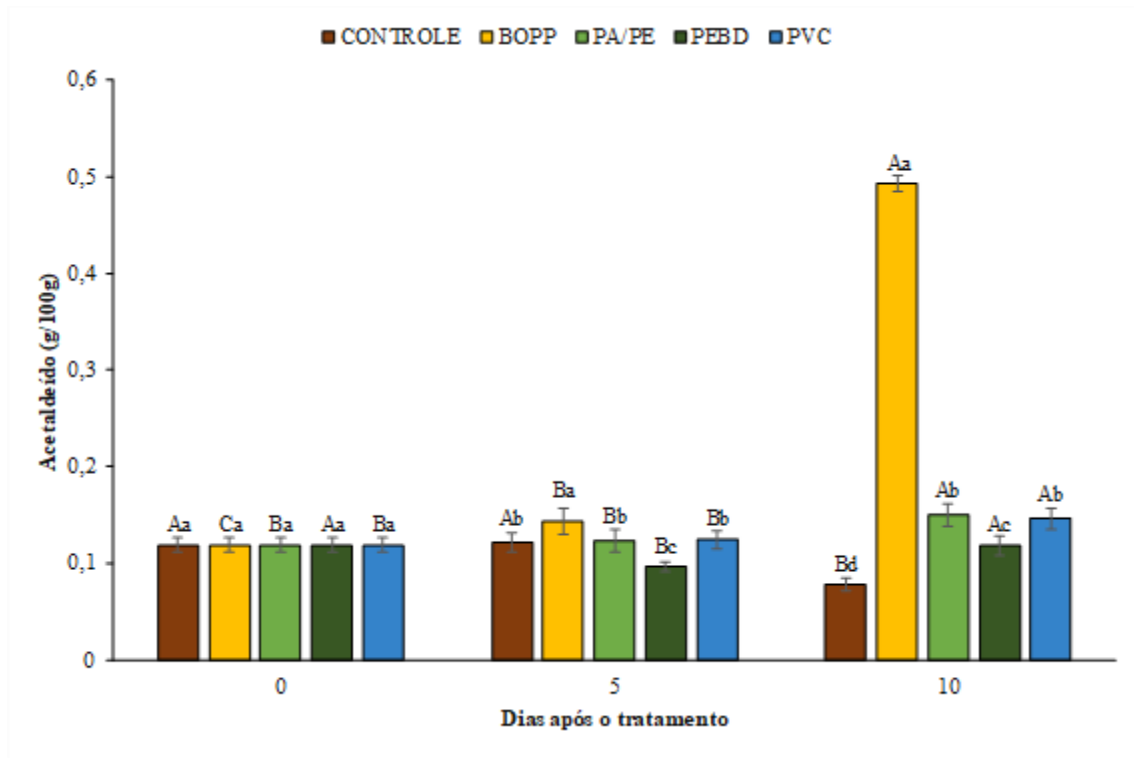


Figura 5. Teor de acetaldeído de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Segundo Pesis (2005) os níveis de acetaldeído e etanol variam bastante segundo as características genéticas e as condições de armazenamento. Além disso, há um componente genético que estabelece a capacidade de se produzir esses metabólitos e sobreviver à anaerobiose. Altos teores de CO_2 , com ou sem redução de O_2 , já são capazes de desregular os principais processos fisiológicos dos vegetais. Os distúrbios promovidos pelo excesso de CO_2 são caracterizados pelo escurecimento dos tecidos da polpa e pela formação de etanol (Caron, 2009). A principal enzima afetada nestas condições é a succinato desidrogenase, presente no ciclo de Krebs, que com elevado nível de CO_2 resulta em acúmulo de succinato, tóxico aos tecidos vegetais (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Níveis baixos de O_2 , por sua vez, resultam em fermentação em frutos, com conseqüente formação de acetaldeído e etanol (KLUGE *et al.*, 2001), formação de sabores desagradáveis e redução da produção de ácidos orgânicos pelo ciclo de Krebs (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

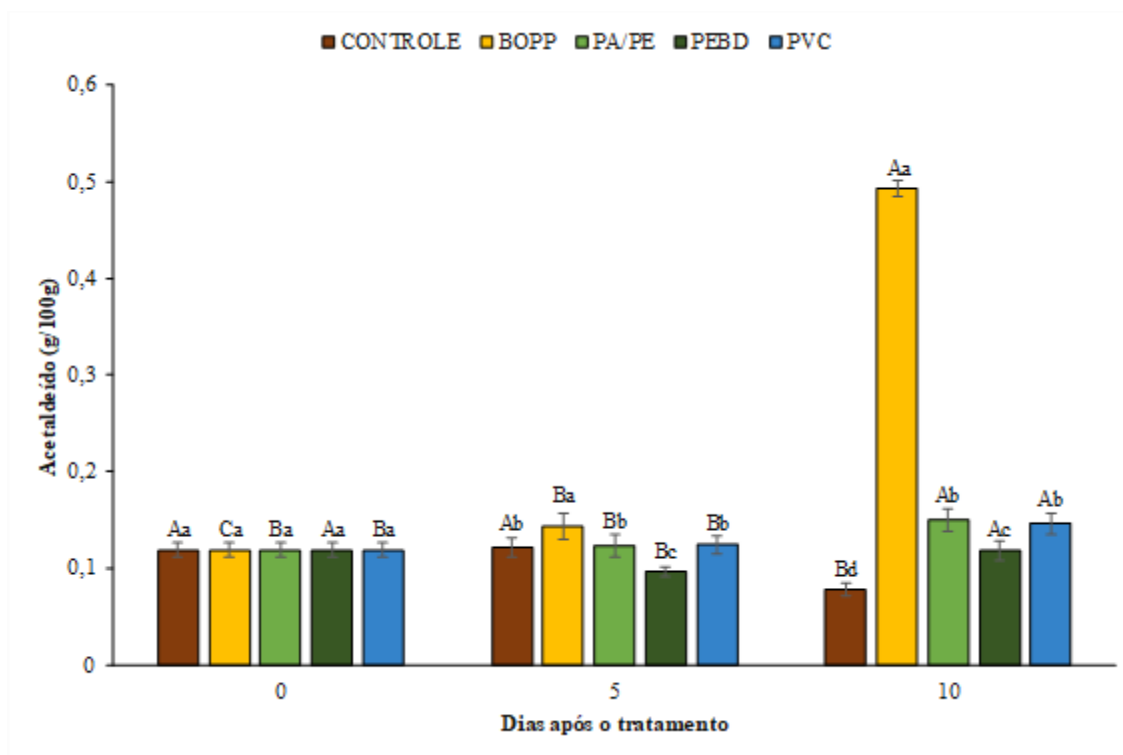


Figura 6. Teor de etanol dos frutos de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

É importante ressaltar que não existe um valor máximo ou ideal para esses compostos visto que a tendência de desenvolver sabores varia muito de espécie para espécie pois depende de aspectos como estrutura anatômica, morfologia, entre outros aspectos (Porat *et al.*, 2008). Isto é, a tolerância à hipóxia (redução no oxigênio), pode estar relacionada a adaptações morfológicas e metabólicas que são específicas para cada espécie e tipos de tecidos (Benkeblia *et al.*, 2021; Zahra *et al.*, 2021; Mariani; Ferrante, 2017). Nesse sentido, apesar de existir uma vasta literatura que discute as bases fisiológicas e bioquímicas dos efeitos da ausência ou redução de oxigênio em diversas frutas temperadas, há poucas referências acerca dos efeitos em frutas tropicais (Benkeblia *et al.*, 2021).

Quanto as avaliações visuais (Figura 7), que levavam em consideração a presença de manchas, podridão e odores desagradáveis, além de outros aspectos sensoriais, obtiveram maiores notas os tratamentos com modificações mais intensas, isto é, BOPP e PA/PE.

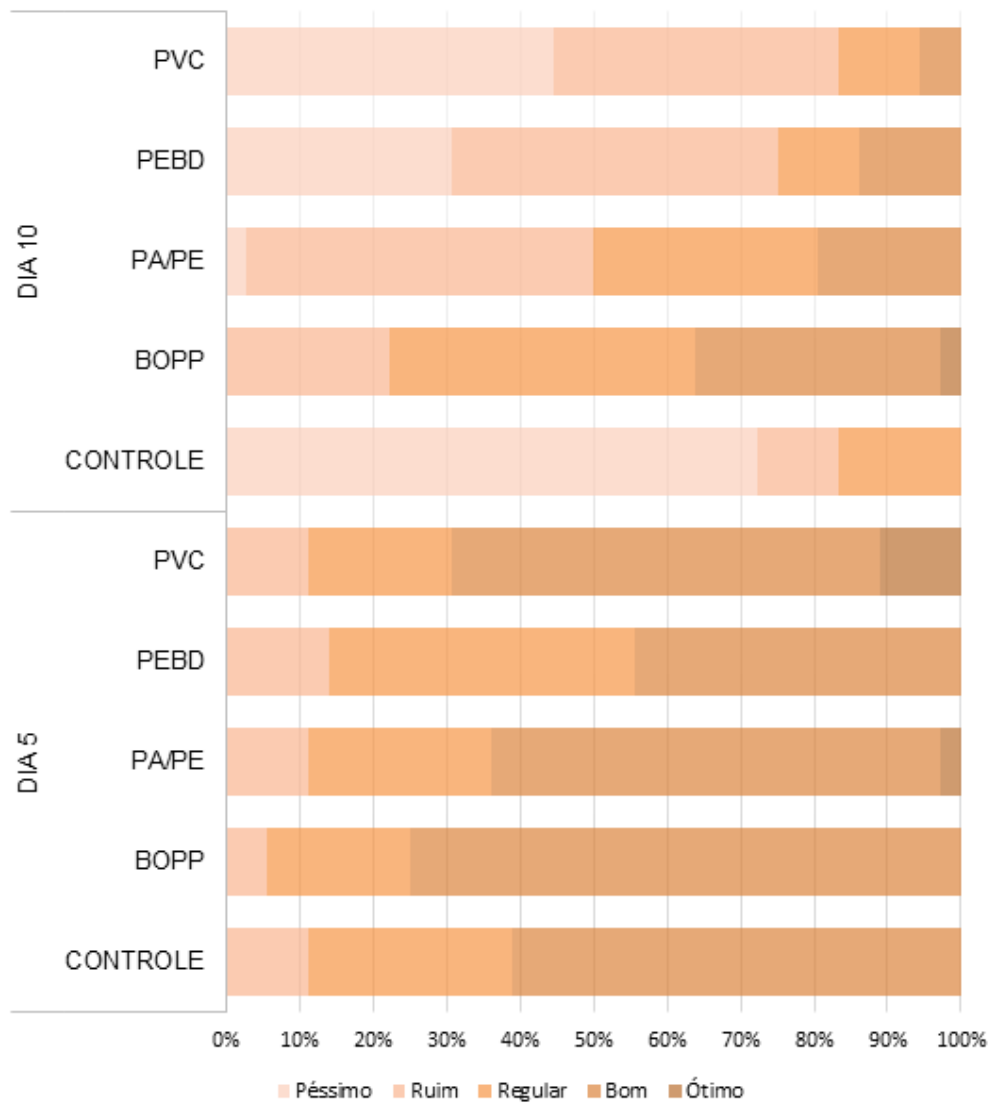


Figura 7. Notas de aparência geral dos frutos de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

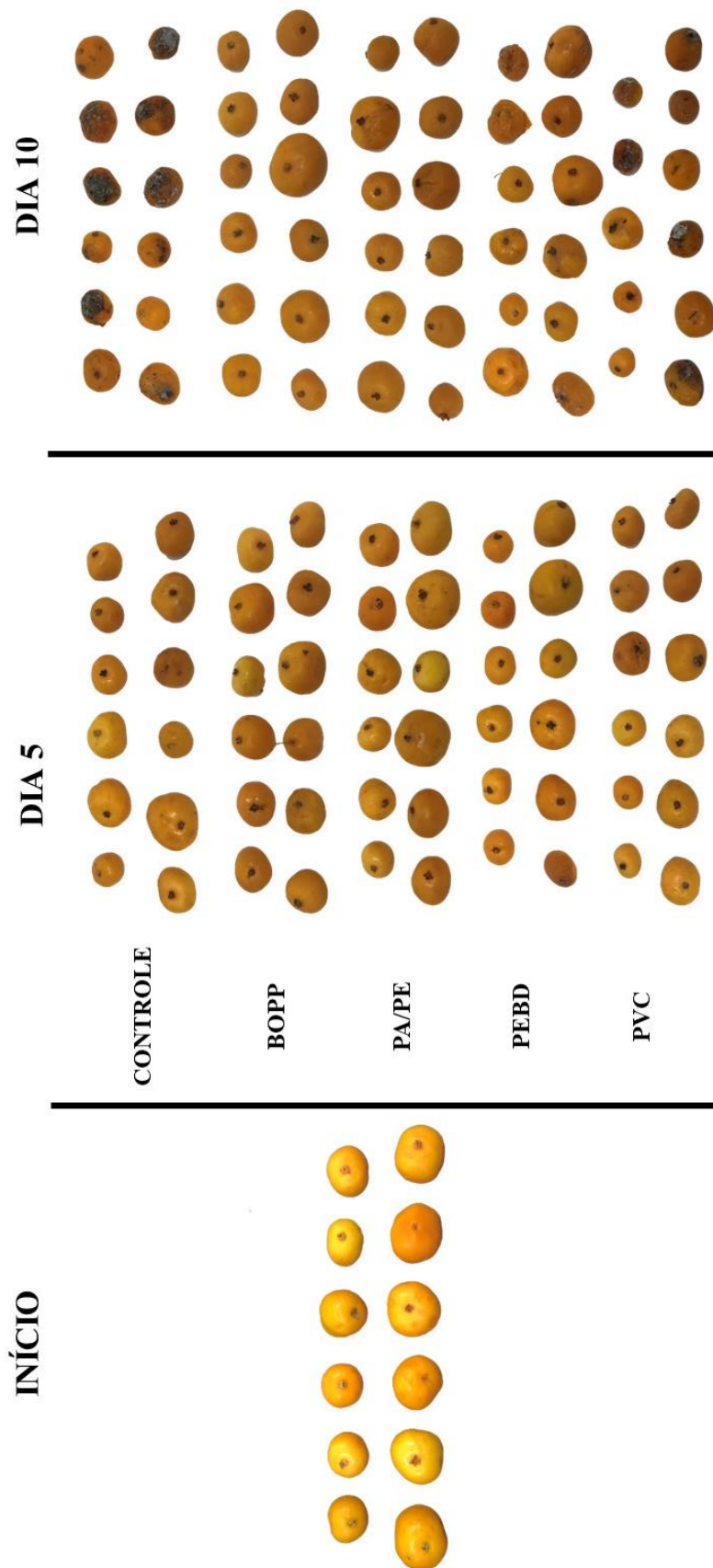


Figura 8. Aparência dos frutos ao longo do armazenamento sob atmosfera modificada. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

A Figura 8 confirma os resultados das avaliações visuais: a boa aparência dos frutos nas embalagens com baixo O₂. Destaca-se também a menor porcentagem de podridão nos frutos desses tratamentos que se deve a elevada concentração de CO₂ que possibilita a redução do crescimento de patógenos (Wang *et al.*, 2015).

As Tabelas 4 a 6 contém os resultados obtidos para as análises de coloração dos frutos. Como sabe-se, a luminosidade é um atributo que descreve a relação entre a luz refletida e absorvida e caracteriza a cor como mais clara ou mais escura. Como observa-se (Tabela 4) houve diferença significativa entre os dias de análise.

Tabela 4. Luminosidade dos frutos de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a 10 °C ± 1 °C e 95% ± 5% de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	Luminosidade (L*)		
	0 dia	5 dias	10 dias
Controle	65,22 A	62,26 A	57,69 B
BOPP	65,22 A	60,25 B	57,43 B
PA/PE	65,22 A	62,39 A	56,21 B
PEBD	65,22 A	59,93 B	54,83 C
PVC	65,22 A	62,70 A	56,46 B

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

A cromaticidade indica a pureza da cor, ou seja, o quanto esta difere de cinza. Quanto maior o croma, maior é a saturação das cores percebida pelos humanos; cores neutras têm baixa saturação e as cores puras, alta saturação e com isso são mais vívidas na percepção humana (Ferreira & Spricigo, 2017). Nesse sentido, nota-se que os frutos do controle e PVC obtiveram uma maior redução desse atributo ao final dos 10 dias, o que indica que os tratamentos com maior modificação na composição gasosa foram eficazes em manter o frescor dos frutos, os deixando com cores mais vívidas.

Tabela 5. Cromaticidade dos frutos de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	Cromaticidade (C*)		
	0 dia	5 dias	10 dias
Controle	48,32 A	44,48 AB	41,72 B
BOPP	48,32 A	45,34 A	45,81 A
PA/PE	48,32 A	45,55 A	45,71 A
PEBD	48,32 A	47,17 A	45,81 A
PVC	48,32 A	46,02 A	42,83 B

Médias seguidas por letras distintas maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Já o ângulo Hue, graficamente considera-se 0° como vermelho e 90° como amarelo. Para a uvaia, sua coloração varia entre o amarelo e o laranja com o amadurecimento. Assim, observa-se que ao final o controle e o PVC tiveram os menores valores, já os filmes de PA/PE e BOPP ficaram com valores mais altos, indicando a coloração menos próxima do vermelho.

Tabela 6. Ângulo Hue dos frutos de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	Ângulo Hue ($^{\circ}\text{Hue}$)		
	0 dia	5 dias	10 dias
Controle	73,50 A	71,64 Aab	71,54 Ab
BOPP	73,50 A	73,93 Aa	75,30 Aa
PA/PE	73,50 B	72,80 Bab	76,60 Aa
PEBD	73,50 A	74,18 Aa	75,79 Aa
PVC	73,50 A	70,78 Bb	71,53 ABb

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No tocante aos resultados de vitamina C (Figura 9), é possível observar que as embalagens menos permeáveis ao oxigênio, BOPP e PA/PE, proporcionaram uma maior retenção dos teores de Vitamina C. Destaca-se que os resultados encontrados para o controle, PEBD e PVC estão bem próximos a trabalhos em que o fruto ou polpa foi submetido apenas a refrigeração, enquanto os valores encontrados para o BOPP e PA/PE esteve acima dos valores reportados (Mandro, 2021; Zillo *et al.*, 2013; Freitas, 2017; Coutinho & Pascolatti, 2014).

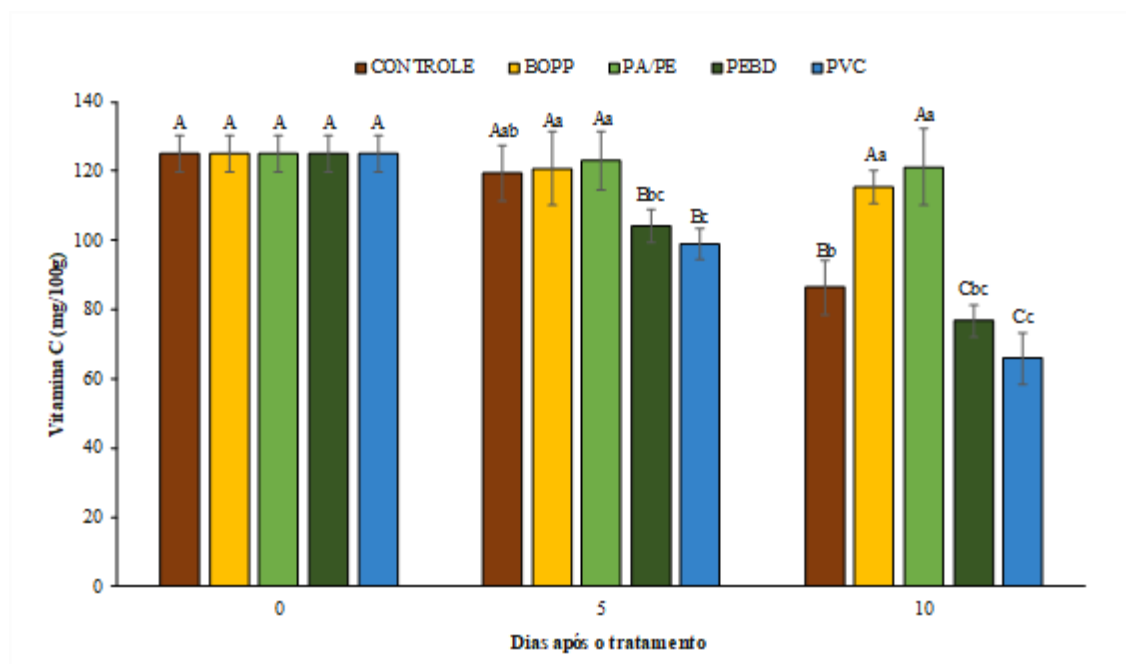


Figura 9. Teores de Vitamina C de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEED = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Com relação ao teor de carotenoides totais (Tabela 7), os frutos acondicionados nas embalagens de BOPP foram aqueles que apresentaram teor mais elevado desse composto nos dois tempos de análise, entretanto não diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. Além disso, todos os tratamentos apresentaram incremento significativo do início para o final do armazenamento.

Quanto aos valores encontrados, estão dentro da faixa de valores obtidos por Taver (2020), em estudo com 71 acessos, em que os valores variaram entre $17,58 \mu\text{g.g}^{-1}$ a $116,94 \mu\text{g.g}^{-1}$. Apesar de vários fatores como clima, localização geográfica, estação do ano, grau de maturação, parte do fruto amostrada, condições pós-colheita e processamento, influenciarem nos teores de carotenoides totais, pode-se dizer que a uvaia, no geral, contém um alto teor de carotenoides totais (TAVER *et al.*, 2022).

Tabela 7. Teor de Carotenoides de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	Carotenóides ($\mu\text{g/g}$ de fruto)		
	0 dia	5 dias	10 dias
Controle	12,49 B	24,42 A	27,71 A
BOPP	12,49 B	28,75 A	35,07 A
PA/PE	12,49 B	18,57 B	34,95 A
PEBD	12,49 C	24,46 B	34,15 A
PVC	12,49 B	25,31 A	25,76 A

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os carotenoides são os pigmentos que dão as colorações vermelha, amarela e laranja nos frutos e folhas. Com o uso da atmosfera modificada, esperava-se que essa tecnologia fosse capaz de retardar o amadurecimento e com isso inibir a biossíntese desses compostos visto que ele contribui para o desenvolvimento das cores amarela e laranja de forma mais pronunciada. No entanto, como visto, isso não se verificou no presente trabalho e pode estar relacionado a questão do estresse oxidativo. Resultados semelhantes foram encontrados por Dorostkar, Moradinezhad e Ansarifard (2022) que observou um aumento no teor de carotenoides de damascos no tratamento com maior nível de dióxido de carbono, sob atmosfera modificada. Esse incremento no conteúdo de carotenoides atua como uma forma de prevenção ao dano oxidativo, na presença de alto CO_2 .

O mecanismo envolvido pode estar relacionado com um aumento significativo das atividades e expressões gênicas das enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase, indicando que altos níveis de CO_2 retardam a produção de ROS e induz a síntese de compostos antioxidantes, tais como os carotenoides (Wang *et al.*, 2021; Santos, 2020). Quanto a capacidade antioxidante, os frutos de uvaia foram avaliados segundo o método DPPH. Esse método foi empregado visto que o mesmo é amplamente utilizado para avaliar e depende-se um tempo relativamente curto em comparação com outros métodos (Rufino *et al.*, 2009). Como observa-se (Figura 10), até o dia 5 todos os tratamentos reduziram significativamente quando se compara com o teor inicial. No dia 10, os frutos do BOPP, PA/PE e PEBD não apresentaram redução da sua capacidade antioxidante e diferiram estatisticamente do controle e PVC, o que pode indicar o efeito da atmosfera modificada na conservação dos compostos bioativos.

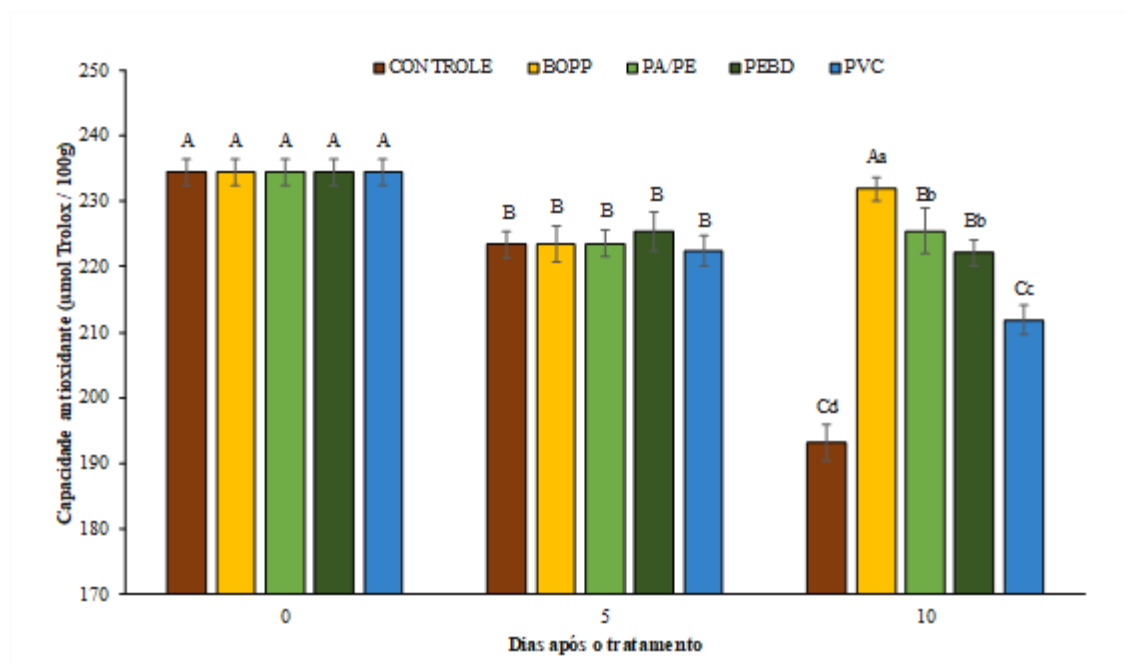


Figura 10. Capacidade antioxidante de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Os compostos fenólicos também são importantes metabólitos secundários que possuem capacidade antioxidante natural e podem efetivamente eliminar os radicais livres e atuar na prevenção da ocorrência de câncer e doenças cardiovasculares e cerebrovasculares (Wu *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2020).

Nesse sentido, com relação ao teor dos compostos fenólicos encontrado para a uvaia (Figura 11), observa-se que no dia 5 o BOPP apresentou o maior conteúdo de compostos fenólicos e diferiu estatisticamente de todos os grupos. No dia 10, além do BOPP, o PA/PE e PEBD também diferiram significativamente do controle e PVC.

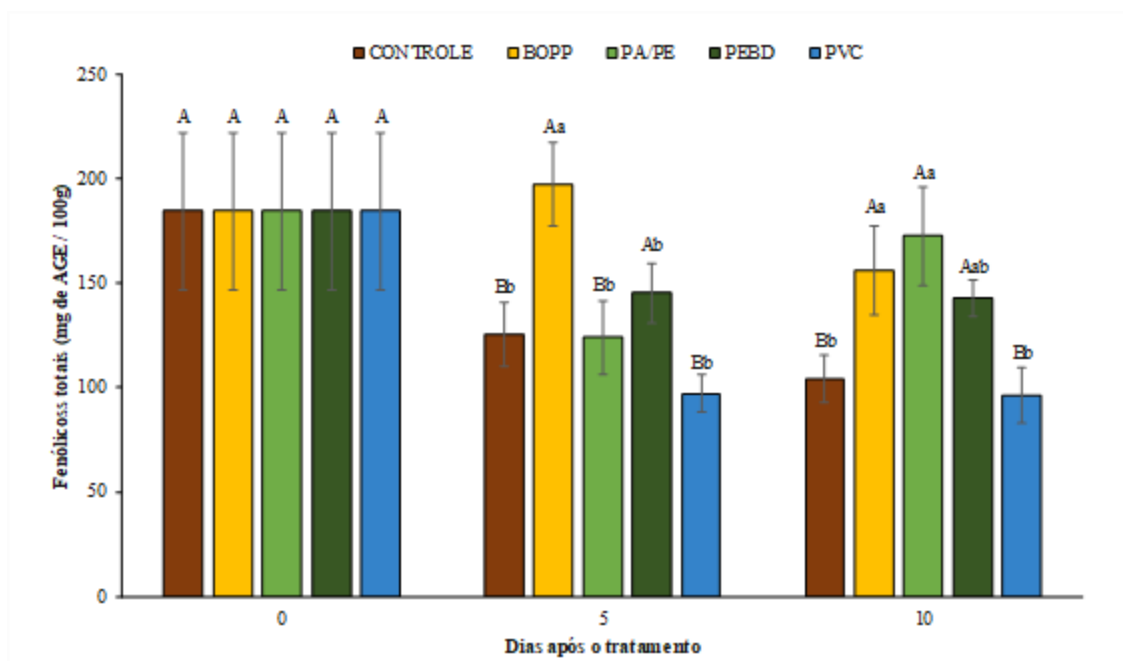


Figura 11. Teor de fenólicos totais de uvaia sob atmosfera modificada após 5 e 10 dias a $10\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $95\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Segundo Ali *et al.* (2019) a integridade da membrana dos tecidos vegetais também tem sido correlacionada com o escurecimento enzimático, pois as membranas celulares danificadas permitem o contato direto das enzimas oxidantes com os fenólicos, resultando na oxidação destes últimos, o que pode justificar o menor teor de fenólicos nos frutos do controle e PVC, grupos nos quais houve maior incidência de manchas e podridão.

4.4. Conclusão

O uso da atmosfera modificada sob refrigeração foi benéfico a conservação pós-colheita da uvaia, de modo que os frutos que estavam acondicionados em filmes que proporcionaram uma modificação mais intensa, apresentaram uma melhor aparência que os demais.

Os frutos acondicionados nas embalagens de BOPP e PA/PE foram aqueles que obtiveram os melhores resultados, conservando a maioria dos frutos íntegros até o final do armazenamento refrigerado, além de uma maior retenção de compostos bioativos. Os frutos acondicionados nas embalagens de PVC, com exceção da perda de massa, tiveram seus atributos equivalentes aos do controle. Já os frutos das embalagens de PEBD, que produziram uma modificação moderada da atmosfera, apresentaram um comportamento variável,

estando em alguns atributos mais próximos ou iguais aos frutos do BOPP e PA/PE, enquanto em outros, estava mais próximo do controle e PVC.

Diante disso, os resultados indicaram que o armazenamento de uvaia em embalagens de BOPP, no formato de sacos plásticos de dimensões 35 cm x 18 cm, contendo 12 frutos cada e totalizando uma massa de 200 gramas, é uma forma eficiente de manter os atributos sensoriais e nutricionais dos frutos ao longo de 11 dias.

Referências

Agostini, J., da Silva Candido, A. C., Teodósio, T. K. C., Rodrigues, J. N., Garcete, G. J., & Scalon, S. D. P. Q. (2009). Modified atmosphere and storage conditions in jaboticabas cv'paulista' physicochemistry characteristics/Atmosfera modificada e condicoes de armazenamento nas características físico-químicas de jaboticabas da cultivar'paulista'. *Ciência Rural*, 39(9), 2601-2609.

Al-Duais, M., Müller, L., Böhm, V., & Jetschke, G. (2009). Antioxidant capacity and total phenolics of *Cyphostemma digitatum* before and after processing: use of different assays. *European food research and technology*, 228, 813-821.

Ali, S., Khan, A. S., Malik, A. U., Anjum, M. A., Nawaz, A., & Shah, H. M. S. (2019). Modified atmosphere packaging delays enzymatic browning and maintains quality of harvested litchi fruit during low temperature storage. *Scientia Horticulturae*, 254, 14-20.

Benkeblia, N. (2021). Physiological and biochemical response of tropical fruits to hypoxia/anoxia. *Frontiers in Plant Science*, 12, 670803.

Berk, Z. (2018). *Food process engineering and technology*. Academic press.

Caron, V. C. (2009). *Conservação refrigerada de lima ácida "Tahiti" em combinação com atmosfera modificada, ácido giberélico e permanganato de potássio*. Master's Dissertation, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/D.11.2010.tde-26022010-080246. Retrieved 2023-11-13, from www.teses.usp.br

Chitarra, M. I. F., & Chitarra, A. B. (2005). *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio* (Vol. 1). Lavras: Universidade Federal de Lavras.

Coutinho, A. M., & Pascolatti, Y. S. (2014). *Caracterização físico-química e análise antioxidante da polpa de uvaia (Eugenia Pyriformis Cambess)* (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Dorostkar, M., Moradinezhad, F., & Ansarifard, E. (2022). Influence of active modified atmosphere packaging pre-treatment on shelf life and quality attributes of cold stored apricot fruit. *International Journal of Fruit Science*, 22(1), 402-413.

Falagán, N., & Terry, L. A. (2018). Recent advances in controlled and modified atmosphere of fresh produce. *Johnson Matthey Technology Review*, 62(1), 107-117.

Caron, V. C. (2009). *Conservação refrigerada de lima ácida "Tahiti" em combinação com atmosfera modificada, ácido giberélico e permanganato de potássio*. Master's Dissertation, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/D.11.2010.tde-26022010-080246. Retrieved 2023-11-13, from www.teses.usp.br

Jacomino, A. P., Bron, I. U., Sarantópoulos, C. I. G. D. L., & Sigrist, J. M. M. (2005). Preservation of cold-stored guavas influenced by package materials. *Packaging Technology and Science: An International Journal*, 18(2), 71-76.

Kluge, R. A., Jacomino, A. P., & Peitoto, C. P. (2001). *Distúrbios fisiológicos em frutos* (p. 58p). Campus" Luiz de Queiroz"/USP.

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophyll and carotenoids—pigments of photosynthetic biomembrances za Colowick SP, Kaplan NO *Methods in Enzymology*. Vol. 148.

Mandro, G. F. (2021). *Conservação de uvaia (Eugenia pyriformis Cambess) na forma de fruta congelada e polpas congeladas, pasteurizadas e liofilizadas e desenvolvimento de gelado comestível de uvaia* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Mariani, L., & Ferrante, A. (2017). Agronomic management for enhancing plant tolerance to abiotic stresses—drought, salinity, hypoxia, and lodging. *Horticulturae*, 3(4), 52.

Mizobutsi, G. P., Silva, J. M. D., Mizobutsi, E. H., Rodrigues, M. L. M., Lopes, R. S., Fernandes, M. B., & Oliveira, F. S. (2012). Conservação de pinha com uso de atmosfera modificada e refrigeração. *Revista Ceres*, 59, 751-757.

Neto, H. N. (2013). *Adequação de metodologia para a determinação da taxa respiratória e caracterização da fisiologia pós-colheita de murici [Byrsonima verbascifolia (L.) rich]*. Master's Dissertation, Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde.

Oliveira, J. D., Silva, I. G., Silva, P. P. M. D., & Spoto, M. H. F. (2014). Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita de camu-camu. *Ciência Rural*, 44, 1126-1133.

Pasternak, T., Potters, G., Caubergs, R., & Jansen, M. A. (2005). Complementary interactions between oxidative stress and auxins control plant growth responses at plant, organ, and cellular level. *Journal of experimental botany*, 56(418), 1991-2001.

Pesis, E. (2005). The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. *Postharvest Biology and Technology*, 37(1), 1-19.

Ferreira, M. D., & Spricigo, P. C. (2017). Colorimetria-princípios e aplicações na agricultura. In *Análises não destrutivas* (pp. 208-220). Instrumentação Pós-colheita em Frutas e Hortaliças, Embrapa.

Porat, R., & Fallik, E. (2008). Production of off-flavours in fruit and vegetables under fermentative conditions. In *Fruit and Vegetable Flavour* (pp. 150-164). Woodhead Publishing.

Radaelli, J. C. (2015). *Atmosfera modificada e temperatura de armazenamento para pós-colheita de ameixa da mata com a presença e ausência de pedúnculo* (Bachelor's thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná).

Rufino, M. S., Fernandes, F. A., Alves, R. E., & de Brito, E. S. (2009). Free radical-scavenging behaviour of some north-east Brazilian fruits in a DPPH system. *Food Chemistry*, *114*(2), 693-695.

Sanches, J., Cia, P., Valentini, S. R. D. T., Benato, E., Chagas, E. A., & Pio, R. (2011). Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita da nêspera 'Fukuhara'. *Bragantia*, *70*, 455-459.

Santos, N. C. D. (2020). Ácido naftaleno acético e metil jasmonato na conservação de ameixas 'Laetitia'. Instituto Federal de Santa Catarina - Campus São Miguel Do Oeste.

Scalon, S. D. P. Q., Oshiro, A. M., & Dresch, D. M. (2012). Conservação pós-colheita de guavira (*Campomanesia adamantium* Camb.) sob diferentes revestimentos e temperaturas de armazenamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*, *34*, 1022-1029.

Scalon, S. D. P. Q., Dell'Olio, P., & Fornasieri, J. L. (2004). Temperatura e embalagens na conservação pós-colheita de *Eugenia uvalha* Cambess-Mirtaceae. *Ciência Rural*, *34*, 1965-1968.

Silva, A. P. G., Sganzerla, W. G., Jacomino, A. P., da Silva, E. P., Xiao, J., & Simal-Gandara, J. (2022). Chemical composition, bioactive compounds, and perspectives for the industrial formulation of health products from uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess-Myrtaceae): A comprehensive review. *Journal of Food Composition and Analysis*, *109*, 104500.

Taver, I. B., Spricigo, P. C., Neto, H. B., de Alencar, S. M., Massarioli, A. P., & Jacomino, A. P. (2022). Bioactive Compounds and In Vitro Antioxidant Capacity of Cambuci and Uvaia: An Extensive Description of Little-Known Fruits from the Myrtaceae Family with High Consumption Potential. *Foods*, *11*(17), 2612.

Teles, C. S. *Avaliação física, química e sensorial de couve (Brassica oleracea, L. var. acephala) minimamente processada, armazenada sob atmosfera modificada*. Viçosa, 2001, 95 p (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos)—Universidade Federal de Viçosa).

Vianna-Silva, T., Resende, E. D. D., Viana, A. P., Pereira, S. M. D. F., Carlos, L. D. A., & Vitorazi, L. (2008). Qualidade do suco de maracujá-amarelo em diferentes épocas de colheita. *Food Science and Technology*, 28, 545-550.

Tokairin, T. O. (2017). *Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci, fruto nativo da Mata Atlântica*. Doctoral Thesis, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2017.tde-24082017-134117. Retrieved 2023-11-13, from www.teses.usp.br

Vieites, R. L., Evangelista, R. M., de Souza Silva, C., & Martins, M. L. (2006). Conservação do morango armazenado em atmosfera modificada. *Semina: Ciências Agrárias*, 27(2), 243-252.

Wang, Y., Bai, J., & Long, L. E. (2015). Quality and physiological responses of two late-season sweet cherry cultivars 'Lapins' and 'Skeena' to modified atmosphere packaging (MAP) during simulated long distance ocean shipping. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 1-8.

Wang, D., Li, W., Li, D., Li, L., & Luo, Z. (2021). Effect of high carbon dioxide treatment on reactive oxygen species accumulation and antioxidant capacity in fresh-cut pear fruit during storage. *Scientia Horticulturae*, 281, 109925.

Woisky, R. G., & Salatino, A. (1998). Analysis of propolis: some parameters and procedures for chemical quality control. *Journal of apicultural research*, 37(2), 99-105.

Wu, Q., Li, C., Zhang, D., Tian, Q., Tao, X., Luo, Z., ... & Zhang, Y. (2022). Nitrogen modified atmosphere packaging maintains the bioactive compounds and antioxidant capacity of postharvest fresh edible peanuts. *Postharvest Biology and Technology*, 190, 111957.

Yang, Q. Q., Kim, G., Farha, A. K., Luo, Q., & Corke, H. (2020). Phenolic profile, antioxidant and antiproliferative activities of diverse peanut cultivars. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14, 2361-2369.

Zahra, N., Hafeez, M. B., Shaukat, K., Wahid, A., Hussain, S., Naseer, R., ... & Farooq, M. (2021). Hypoxia and Anoxia Stress: Plant responses and tolerance mechanisms. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(2), 249-284.

Zillo, R. R., SILVA, P. D., Zanatta, S., CARMO, L. D., & Spoto, M. H. F. (2013). Qualidade físico-química da fruta in natura e da polpa de uvaia congelada. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 15(3), 293-298.

5. ATMOSFERA MODIFICADA NA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE CAMBUCI

Resumo

O cambuci (*Campomanesia phaea*) é uma fruta nativa da Mata Atlântica brasileira com sabor ácido e adstringente, aspecto carnudo e aroma adocicado. Trata-se de um fruto que possui atributos nutricionais e comerciais que tem despertado interesse, porém ainda pouco conhecido fora de sua região de origem. A conservação pós-colheita do cambuci representa um desafio, de modo que para viabilizar sua comercialização torna-se fundamental o uso de técnicas para estender a sua vida útil. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes tipos de embalagens para a conservação pós-colheita do cambuci. Os tratamentos utilizados incluíram filmes de BOPP, PA/PE, PEBD, PVC e um grupo controle, utilizando a temperatura de 5 °C. As avaliações dos resultados incluíram análises físico-químicas, de compostos bioativos e avaliações de aparência em 3 diferentes momentos de avaliação. Os resultados indicaram que as embalagens que promoveram mudanças mais intensas na atmosfera apresentaram melhores resultados em termos de aparência, perda de massa, manutenção da firmeza e incidência de podridão. No entanto, não foi observada influência dos tratamentos nos teores de vitamina C, compostos fenólicos e capacidade antioxidante. Concluiu-se que a embalagem de PA/PE foi a mais eficiente para a conservação do cambuci.

Palavras-chave: cambuci, atmosfera modificada, conservação pós-colheita.

Abstract

Cambuci (*Campomanesia phaea*) is a fruit native to the Brazilian Atlantic Forest with an acidic and astringent flavor, fleshy appearance and sweet aroma. It is a fruit that has nutritional and commercial attributes that have aroused interest, but is still little known outside its region of origin. The post-harvest conservation of cambuci represents a challenge, so to make its commercialization viable, it is essential to use techniques to extend its useful life. The objective of this work was to evaluate different types of packaging for the post-harvest conservation of cambuci. The treatments used included BOPP, PA/PE, LDPE, PVC films and a control group, using a temperature of 5 °C. Results evaluations included physicochemical analysis, bioactive compound analysis and appearance evaluations at 3 different evaluation moments. The results indicated that packaging that promoted more intense changes in the atmosphere presented better results in terms of appearance, loss of mass, maintenance of firmness and incidence of rot. However, no influence of treatments on the levels of vitamin C, phenolic compounds and antioxidant capacity was observed. It was concluded that the PA/PE packaging was the most efficient for the conservation of cambuci.

Keywords: cambuci, modified atmosphere, postharvest conservation.

5.1. Introdução

O cambuci (*Campomanesia phaea*) é uma espécie nativa da Mata Atlântica brasileira, que tem despertado interesse tanto por suas características sensoriais peculiares quanto por suas propriedades nutricionais. Trata-se de um fruto com sabor ácido e adstringente e elevada quantidade de vitamina C, fibras e compostos antioxidantes, conferindo-lhe potenciais benefícios à saúde (TAVER *et al.*, 2022).

Além desses atributos, possui um bom potencial para industrialização, devido a elevada quantidade de pectina presente em sua polpa, polissacarídeo muito utilizado em

diversos alimentos industrializados. Apesar disso, o cambuci ainda é um fruto pouco conhecida fora de sua região de origem pois enfrenta desafios relacionados à conservação pós-colheita e à comercialização. Com isso, a implementação de técnicas de técnicas de conservação pós-colheita pode ter um papel fundamental na preservação da qualidade do cambuci, prolongando sua vida útil e facilitando seu acesso a mercados mais amplos (TOKAIRIN, 2017).

Entre as técnicas utilizadas para essas finalidades, está a atmosfera modificada, que consiste em alterar a composição gasosa ao redor do produto, com o intuito de retardar os processos de amadurecimento e senescência. A redução do oxigênio atua diminuindo a taxa de respiração, enquanto o aumento do dióxido de carbono inibe o crescimento de microrganismos responsáveis pela deterioração, contribuindo para a preservação do fruto. Além disso, essa técnica é sempre feita em combinação com a refrigeração e o controle da umidade relativa também é essencial para evitar a desidratação e a perda de textura e sabor (FALAGÁN; TERRY, 2018).

Diante dos benefícios associados a essa técnica, o presente estudo tem como objetivo avaliar o uso de diferentes filmes plásticos na conservação pós-colheita de cambuci. Dado que a conservação pós-colheita é uma importante ferramenta para valorizar e promover a sua comercialização desse fruto, busca-se também contribuir para a sua valorização econômica e preservação cultural.

5.2. Material e Métodos

5.2.1. Material vegetal

Frutos de cambuci foram coletados no município de Natividade da Serra – SP, localizado nas coordenadas geográficas: latitude: -23.3766, Longitude: -45.4476 23° 22' 36" Sul, 45° 26' 51" Oeste a 712 metros de altitude à 299 km de Piracicaba. Segundo a classificação climática de Köppen, esta região é classificada como Cwa (Cwa = temperado ameno, w = inverno seco e a = verão quente) - um clima subtropical úmido que tem verões quentes e úmidos e invernos frios a amenos. Os frutos foram colhidos manualmente e acomodados em caixas de papelão revestidas internamente com espuma, colocados em caixas isotérmicas refrigeradas com placa de gelo e transportados até o Laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas (LPV-ESALQ/USP).

5.2.2. Atmosfera modificada para cambuci

O experimento foi instalado no dia posterior a coleta, iniciando com rigorosa seleção dos frutos quanto a estágio de maturação e tamanho. Após isso, foram aleatoriamente acondicionados em 4 tipos de embalagens plásticas no formato de sacos (Tabela 8), de dimensões 25 cm x 18 cm, dentro de bandejas plásticas, com aproximadamente 200 g de fruto por bandeja (Figura 12). O filme de BOPP (Polipropileno biorientado), por não ser fornecido na forma de saco plástico, foi cortado e selado termicamente na lateral, de modo a obter as mesmas dimensões dos sacos de PA/PE (Poliamida/Polietileno), adquiridos com as medidas específicas. O filme de PEBD (Polietileno de baixa densidade), apesar de estar no formato de saco plástico foi cortado e selado termicamente para que também ficasse no tamanho das embalagens de PA/PE. Para o filme de PVC (Policloreto de vinila), as bandejas foram revestidas com ele e seladas com uso da seladora marca Everest, modelo XIII. Para as demais embalagens, utilizou-se a seladora da marca Selovac, modelo 220B.

Tabela 8. Especificações físicas dos filmes plásticos

Filmes Plásticos	Espessura	Taxa de permeabilidade (mL (CNTP) .m ⁻² .dia ⁻¹)	Taxa de permeabilidade ao vapor de água (g água.m ⁻² .dia ⁻¹)
BOPP	50 µm	715,6	2,43
PA/PE	40 µm	177,7	10,84
PEBD	55 µm	3.545,4	7,50
PVC	17 µm	8.664,9	333,96

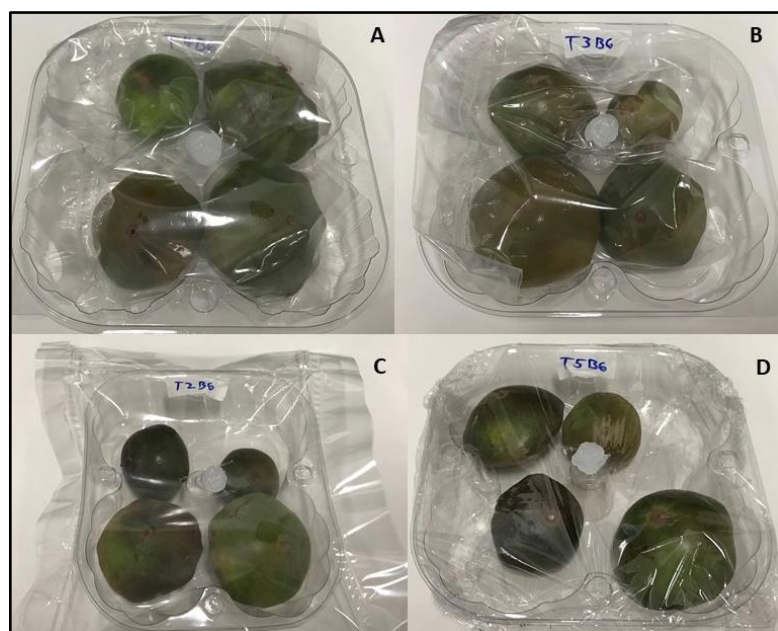


Figura 12. Acondicionamento do cambuci em filmes plásticos do tipo BOPP (A); PA/PE (B), PEBD (C) e PVC (D).

O controle foi definido como frutos acondicionados na bandeja sem embalagem plástica (Figura 13). Todos os tratamentos foram armazenados a 5 ± 1 °C e $95 \pm 5\%$ de umidade relativa durante 15 dias. O monitoramento da composição gasosa foi realizado diariamente nos primeiros 3 dias, e depois, alternando-se um dia. No dia da instalação do experimento, o dia 0, no dia 8 e no dia 14, final do armazenamento, foram feitas análises físico-químicas (teores de acidez total titulável, sólidos solúveis e coloração da casca) e análises de aparência. Amostras de polpa foram congeladas com N_2 líquido e armazenados a -80 °C para as análises por espectrofotometria e cromatografia.



Figura 13. Acondicionamento do cambuci sem filme plástico.

5.2.3. Metodologias de análise

Medição de CO₂ e de O₂: amostras de ar do espaço livre das embalagens contendo os frutos de cambuci foram coletadas e analisadas com um analisador de gases marca PBI Dansensor, modelo Check Mate, que retira cerca de 2 mL de gás a cada amostragem. As amostras foram retiradas por meio de septos de silicone colados nas embalagens. Os resultados foram expressos em termos das porcentagens de O₂ e de CO₂.

Teor de sólidos solúveis: medido com o auxílio do refratômetro digital Atago modelo Palette 101, Tóquio, Japão, usando-se polpa homogeneizada e filtrada com auxílio de gaze. Foram realizadas duas leituras por repetição e os resultados foram expressos em °Brix.

Acidez titulável: determinada por titulometria de neutralização, em que 5 g de polpa foram misturadas com 50 mL de água destilada. A solução foi titulada com solução de NaOH 1 N, até o pH 8,10 em pHmetro digital, da marca Tecnal, modelo Tec 03 MP. Os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico por litro (mg.L⁻¹).

Firmeza da polpa: determinada com penetrômetro digital, da marca TrTuroni, Forlì-Itália (Sammar – 53200), utilizando uma ponteira de 8 mm de diâmetro. Os frutos foram cortados longitudinalmente e foram feitas 2 leituras nas extremidades opostas. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Perda de massa fresca: quantificada através da diferença entre a massa inicial e a massa final da amostra, em balança semi-analítica. Os resultados foram expressos em porcentagem (%).

Teores de acetaldeído e de etanol – Para o preparo da solução padrão de etanol foram pesados 0,01; 0,14 e 0,81 g de etanol em balões volumétricos de 200 mL com água deionizada gelada. Em cada balão volumétrico, a solução foi homogeneizada e transferida para frascos herméticos. De cada frasco foi transferido um volume de 1 mL da solução para frascos hermeticamente fechados de 40 mL. Para o preparo da solução padrão de acetaldeído foram pesados 0,085 g de acetaldeído e adicionados um volume de 400 mL de água deionizada. Desta solução retirou-se os volumes de 2,5; 10 e 20,0 mL e adicionou-se em balões volumétricos de 100 mL e completou-se o volume com água deionizada gelada. As soluções foram homogeneizadas e transferidas para frascos hermeticamente fechados. Posteriormente, de cada frasco foi transferido 1 mL para frascos herméticos de 40 mL. Para a determinação: alíquotas com 1 g de polpa do fruto foram adicionadas em frascos herméticos

de volume de 22 mL. Tanto os frascos com as amostras quanto aqueles com as soluções padrões de acetaldeído e etanol foram deixados em banho-maria a 50°C durante 30 minutos. Após este tempo, 1 mL do espaço livre de cada frasco foi retirado com auxílio de uma seringa e injetado no cromatógrafo a gás. Os resultados foram expressos em gramas por de massa 100 gramas de massa fresca ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Análises visuais: Os frutos foram avaliados de modo subjetivo, em que cada fruto era avaliado como ótimo, bom, regular, ruim ou péssimo. O fruto era classificado como 1) ótimo, se estivesse com aparência de fresco, sem manchas, sem podridão e perfeito para comercialização; 2) bom, se o fruto estivesse com perda parcial de frescor, pequenas manchas escuras e boas condições de ser comercializado; 3) regular, se o fruto apresentasse pequenas manchas escuras e/ou lesões de podridão e passível de ser comercializado; 4) ruim para frutos com manchas escuras/podridões e sem condições de ser comercializado; 5) péssimo para frutos opacos (s/ frescor), com muitas manchas e/ou podridões e/ou tecido coalescendo em partes do fruto. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos por cada nota de avaliação.

Coloração da casca: medida com colorímetro da marca Minolta CR-300, modelo Osaka, Japão usando a seguinte configuração: sistema de cor $L^* a^* b^* C^* h^\circ$, iluminante D65 e observador padrão 2°. Fazendo-se duas leituras por fruto.

Vitamina C: o teor de vitamina C foi determinado de acordo com a metodologia de Pasternak *et al.* (2005). A amostra, na concentração de $0,07 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$, foi extraída com ácido metafosfórico 3% em centrífuga a 7.168 g durante 20 minutos a 4°C e filtrada com auxílio de filtro PTFE de $0,45 \mu\text{m}$. Em seguida, adicionou-se ditioneitol (DTT), para a redução do ácido dehidroascórbico. A identificação e quantificação foi feita por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) utilizando coluna Atlantis dC18 $5 \mu\text{m}$ (150mm x 4,6 mm i.d., Waters, Ireland). A fase móvel foi formada por uma solução de KCl (2 mM, pH 2,5) utilizando um fluxo de $0,8 \text{ mL min}^{-1}$ e a detecção feita em comprimento de onda de 254 nm. A vitamina C foi identificada pelo tempo de retenção e identificação de espectro. Os resultados foram expressos em mg de vitamina C por 100 gramas de massa fresca ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$).

Capacidade antioxidante pelo método DPPH: os extratos de uvaia foram preparados utilizando a concentração $0,1 \text{ g mL}^{-1}$ por meio da centrifugação das amostras na rotação de 7.168 g durante 5 minutos a 4 °C, utilizando o solvente etanol a 80%. A quantificação da

capacidade antioxidante foi realizada pela redução do radical livre 1,1-difenil-2-picrilhidrazil DPPH, adaptando a metodologia de Al-Duais *et al.* (2009). Os resultados foram expressos em micromol de trolox por grama de massa fresca ($\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$).

Compostos Fenólicos Totais: a quantificação dos compostos fenólicos totais em foi feita por meio da reação de oxidação com o reagente Folin-Ciocalteou (WOISKY; SALATINO, 1998). Após centrifugação do extrato, na rotação de 7.168 g durante 5 minutos a 4 °C com etanol 80%, retirou-se um volume de 0,5 mL do sobrenadante (concentração 0,1 g mL⁻¹) e adicionou-se 2,5 mL de solução Folin-Ciocalteou (diluição 1:10) e 2 mL de carbonato de sódio, na concentração 4%. A leitura, em espectrofotômetro, foi realizada na absorvância de 740 nm. Os resultados foram expressos em miligramas de ácido gálico por 100 gramas de massa fresca (mg.100 g⁻¹).

5.2.4. Análise dos resultados

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com parcelas subdivididas, em que as parcelas principais são os tratamentos (4 tipos de filme plástico e sem adição de filme plástico) e as subparcelas são os tempos de análise (0, 8 e 14 dias), com 4 repetições constituída por 4 frutos cada. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey (5%).

5.3. Resultados e Discussão

A Figura 14 contém a composição gasosa no interior das embalagens contendo cambuci. As embalagens de BOPP e PA/PE foram aquelas que apresentaram uma modificação mais intensa da atmosfera.

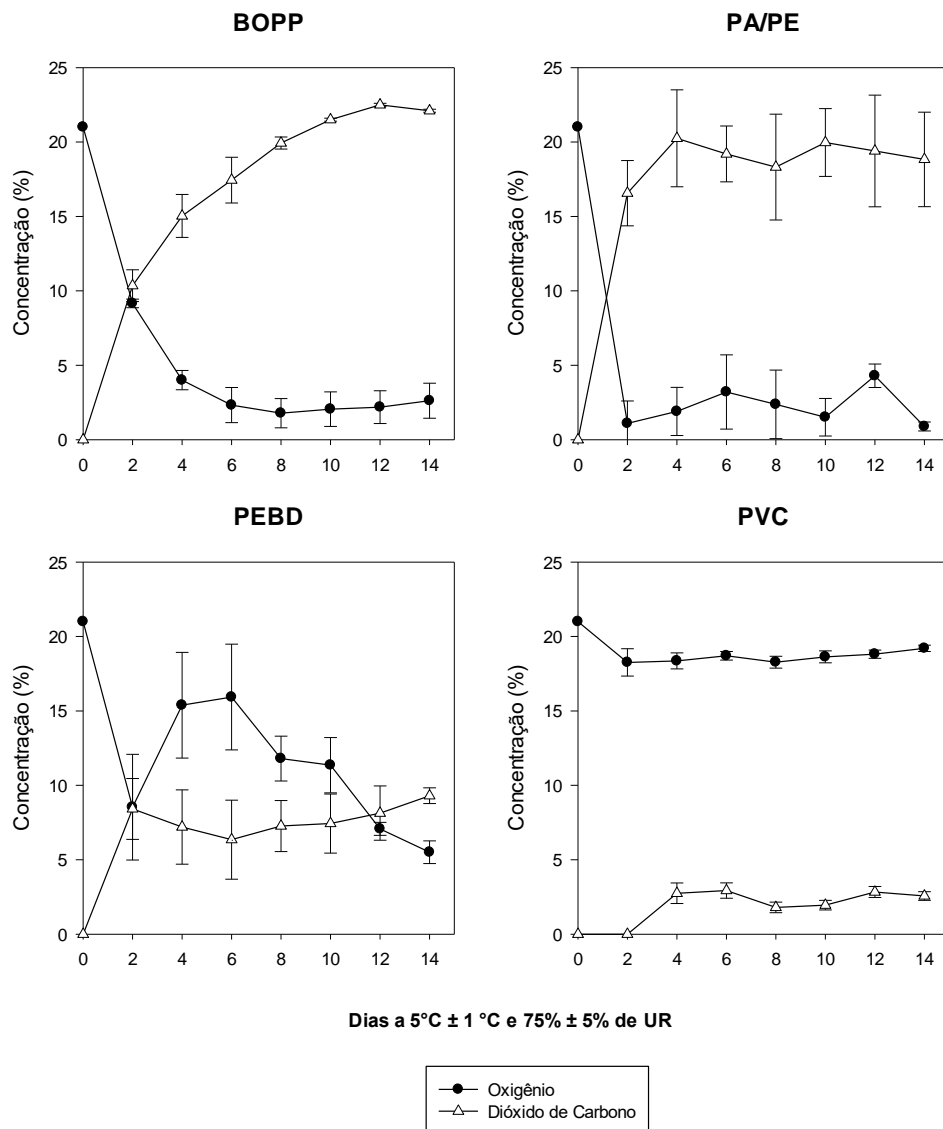


Figura 14. Composição gasosa das embalagens de diferentes materiais contendo cambuci. BOPP = Filme de Polipropileno Biorientado, PA/PE = Filme de Poliamida e Polietileno, PEBD = Filme de Polietileno de Baixa Densidade e PVC = Filme de Policloreto de vinila.

Para o BOPP, as composições ao final do armazenamento foram de aproximadamente 2% de oxigênio e 22% de dióxido de carbono. A concentração de oxigênio esteve estabilizada desde o 6º dia de armazenamento, enquanto a concentração de dióxido de carbono continuava a crescer. Já para o PA/PE, ao final do armazenamento, o nível de oxigênio esteve em cerca de 1%, enquanto o nível de dióxido de carbono em 18%. Nessa embalagem, houve a formação de uma atmosfera de equilíbrio desde o 4º dia. Resultados esses que se relacionam com a baixa permeabilidade que esses filmes têm aos gases.

Nas embalagens de PEBD, o nível de oxigênio apresentou oscilações até o fim do armazenamento e atingiu, ao final um teor de O₂ de cerca de 5%. Já para o CO₂, desde o segundo dia de armazenamento o nível esteve próximo de 9%. Para o PVC, como esperado, devido à alta permeabilidade do filme, a atmosfera formada ficou em cerca de 20% de oxigênio e 2% de dióxido de carbono.

Quanto aos teores de sólidos solúveis (Tabela 9), não houve diferença entre os tratamentos ao longo do armazenamento. Na análise do fator tempo, foi observado que os frutos do PA/PE e PEBD apresentaram reduções significativas do início para o fim do armazenamento. Ressalta-se que o teor de sólidos solúveis sofre influência da perda de peso do fruto, principalmente pelo processo de transpiração. Isso acaba por dificultar a obtenção de diferenças significativas entre os tratamentos, pois o consumo de açúcares supostamente maior nos tratamentos controle, devido a não supressão de oxigênio, acaba sendo compensada pela concentração dos compostos devido a perda de peso (Werner et al, 2009).

Tabela 9. Teor de sólidos solúveis de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a 5 °C ± 1 °C e 75% ± 5% de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	DIA 0	DIA 5	DIA 10
Controle	9,67 A	9,07 A	9,25 A
BOPP	9,67 A	8,75 A	9,20 A
PA/PE	9,67 A	9,37 AB	8,17 B
PEBD	9,67 A	9,10 AB	8,08 B
PVC	9,67 A	8,75 A	8,93 A

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Adicionalmente, o teor de sólidos solúveis não é um bom indicativo da maturação do cambuci, não ocorrendo modificações expressivas nesse parâmetro tanto em frutos do controle quanto em frutos submetidos a tratamentos com refrigeração e/ou atmosfera controlada (Tokarin, 2017; Freitas, 2022).

Para a acidez (Tabela 10), a tendência geral observada foi de redução desse teor. No dia 8, os frutos do controle, BOPP, PA/PE e PEBD, apresentaram aumento significativo nesse atributo, dado que não é um comportamento esperado, atribui-se isso a alta variabilidade genética existente na população de plantas, além de uma contenção da diminuição que naturalmente ocorreria, pelo efeito dos tratamentos. No dia 14, todos os tratamentos

apresentaram uma redução da acidez. Tais resultados estão de acordo com os obtidos por Tokarin (2017), que também observou uma tendência de diminuição no teor de acidez para o cambuci ao longo do armazenamento, mas que o armazenamento refrigerado contribuiu para que não houvesse variação. No caso do presente trabalho, pode-se dizer que o armazenamento refrigerado sob atmosfera modificada potencializou esse efeito visto que os frutos do controle também estavam submetidos a refrigeração.

Tabela 10. Acidez titulável em equivalente de ácido cítrico para o cambuci sob atmosfera modificada a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	0 dia	8 dias	14 dias
Controle	3,86 A	3,90 Ab	3,41 Ba
BOPP	3,86 B	4,27 Aa	3,58 Ca
PA/PE	3,86 B	4,26 Aa	3,64 Ba
PEBD	3,86 B	4,11 Aab	3,39 Ca
PVC	3,86 A	3,19 Bc	2,82 Cb

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Com relação a firmeza da polpa (Figura 15), os tratamentos BOPP e PA/PE, apresentaram frutos com firmeza estatisticamente superior aos demais tratamentos no dia 8 do armazenamento. Já no dia 14, houve redução significativa de firmeza, em todos os tratamentos, e o BOPP diferiu significativamente do controle. Destaca-se que a esse ponto, todos os frutos já estavam com a aparência ruim, elevada incidência de manchas e podridão. O processo de redução da firmeza durante o amadurecimento pode ser explicado pela perda de água e pela ação de enzimas hidrolíticas, como poligalacturonase e pectinametilesterase, que levam à dissolução da pectina presente na parede celular e, conseqüentemente, ao amolecimento da polpa (Wang *et al.*, 2018).

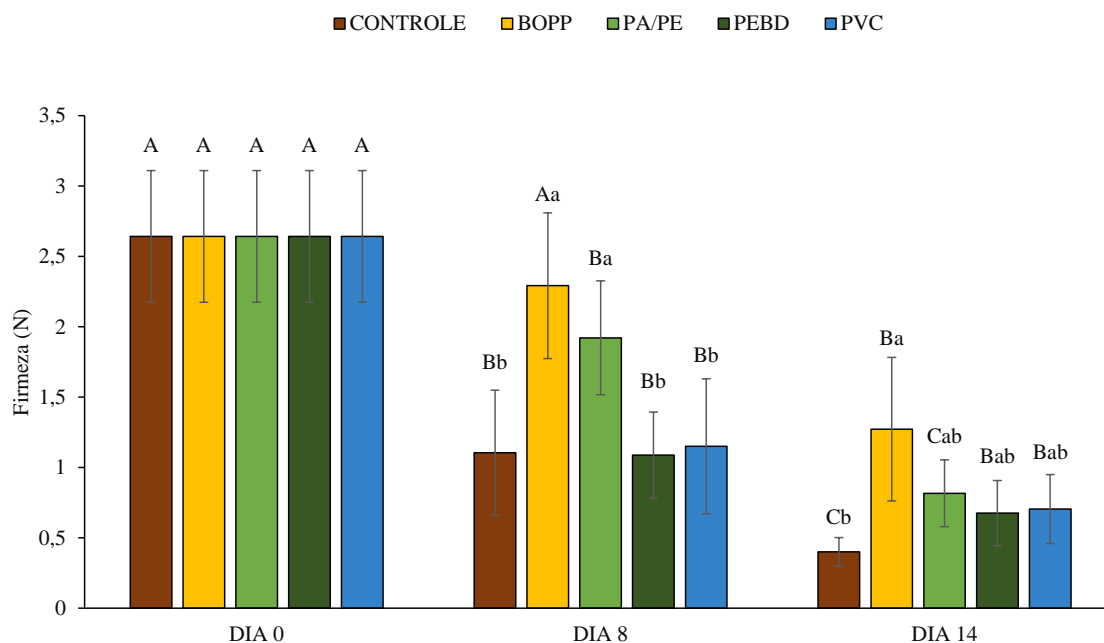


Figura 15. Firmeza de polpa cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Quanto a perda de massa (Figura 16), no dia 8, os filmes de PA/PE, PEBD e PVC apresentaram menor perda de massa, diferindo estatisticamente do controle. No dia 14, ao final do armazenamento, todos os filmes apresentaram perda de massa estatisticamente inferior ao controle. Tal resultado confirma a ação benéfica da atmosfera modificada na redução da perda de massa, que decorre principalmente do processo de perda água pela transpiração e trata-se de uma causa muito importante de deterioração dos produtos, com consequências graves por, primeiramente diminuir o peso comercializável do produto e depois por afetar sua aparência (Irtwange, 2006; Kim *et al.*, 2006).

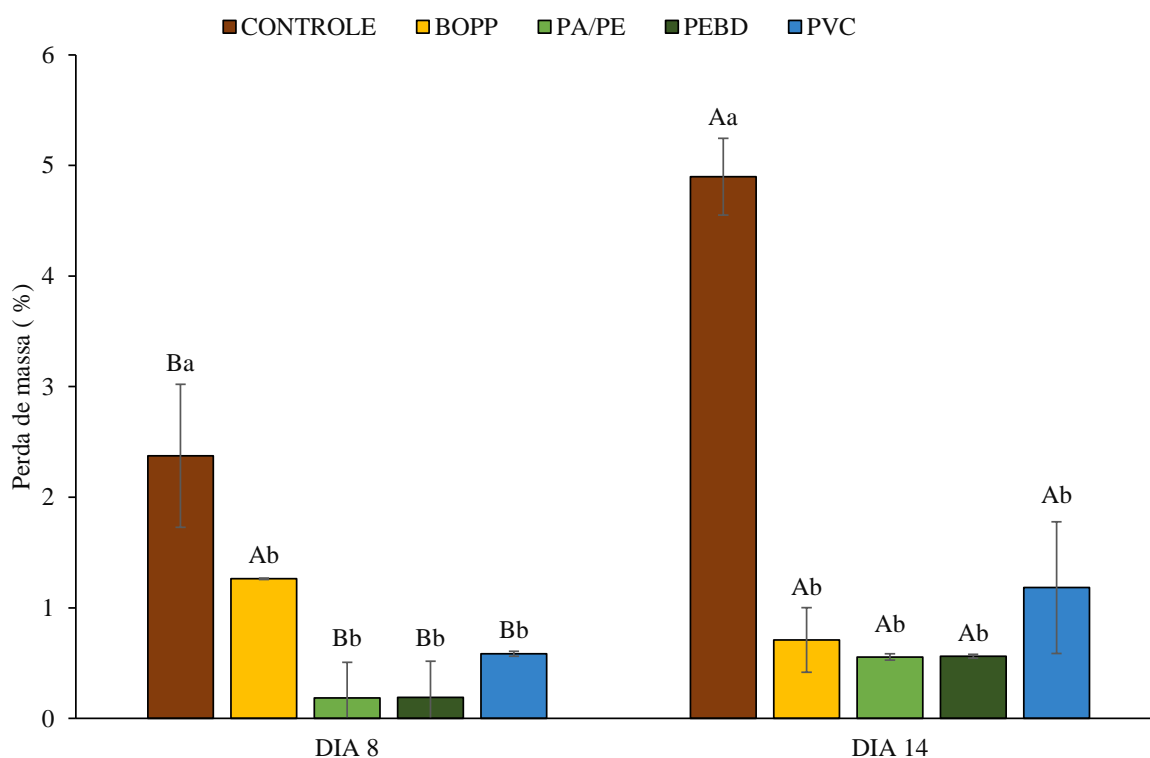


Figura 16. Perda de massa de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Referente aos teores de acetaldeído (Tabela 11), não foi observado diferença significativa entre os tratamentos nos dois dias de análise. Na análise ao longo dos dias, todos os tratamentos apresentaram um aumento significativo do dia 0 para o dia 14.

Tabela 11. Teores de acetaldeído de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Tratamentos	DIA 0	DIA 8	DIA 14
Controle	0,010 B	0,007 B	0,027 A
BOPP	0,010 B	0,006 B	0,043 A
PA/PE	0,010 B	0,006 B	0,033 A
PEBD	0,010 B	0,006 B	0,038 A
PVC	0,010 B	0,012 B	0,036 A

Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Já para os teores de etanol (Figura 17), no dia 14 o BOPP diferiu estatisticamente do controle, PEBD e PVC. O PA/PE, apesar de ser um tratamento com privação de oxigênio,

obteve teores estatisticamente iguais até mesmo ao controle e PVC, tratamentos sob concentrações atmosféricas normais.

Segundo Paul e Pandey (2014), condições de anaerobiose ocorrem naturalmente na parte interna dos frutos e as diferenças nas atmosferas formadas podem ser compreendidas como uma das causas da variabilidade existente em termos de taxa de amadurecimento, mudanças qualitativas, vida útil, grau de tolerância a redução O_2 e/ou CO_2 elevado, perda transpiratória e suscetibilidade a vários distúrbios fisiológicos. Entende-se que as características de superfície e anatômicas, influem não apenas a difusibilidade de gases nas frutas, como também na atividade e resposta de vários processos metabólicos e fisiológicos regulados por esses compostos (Paul; Pandey, 2014).

Nas avaliações de aparência (Figura 18), os tratamentos que receberam as melhores notas foram aqueles com modificação mais intensa da atmosfera, reforçando o indício de alta tolerância que o cambuci pode apresentar a um baixíssimo teor de oxigênio e elevado teor de dióxido de carbono.

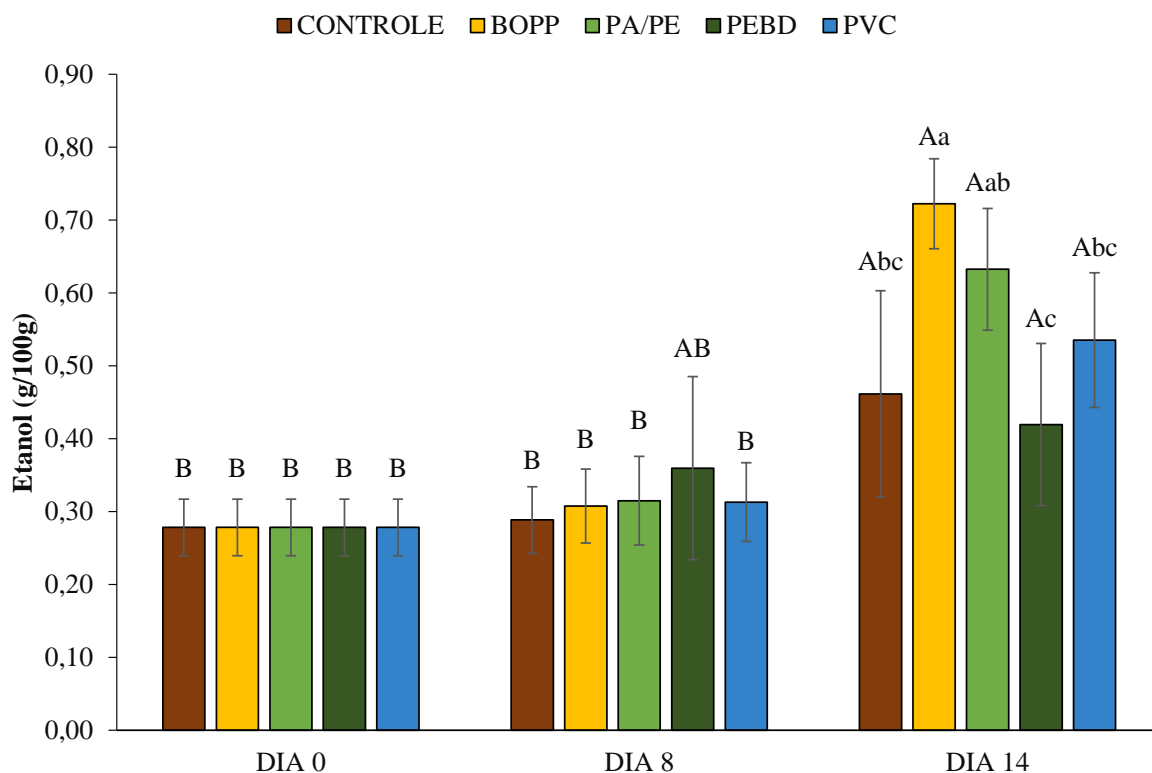


Figura 17. Teores de etanol de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

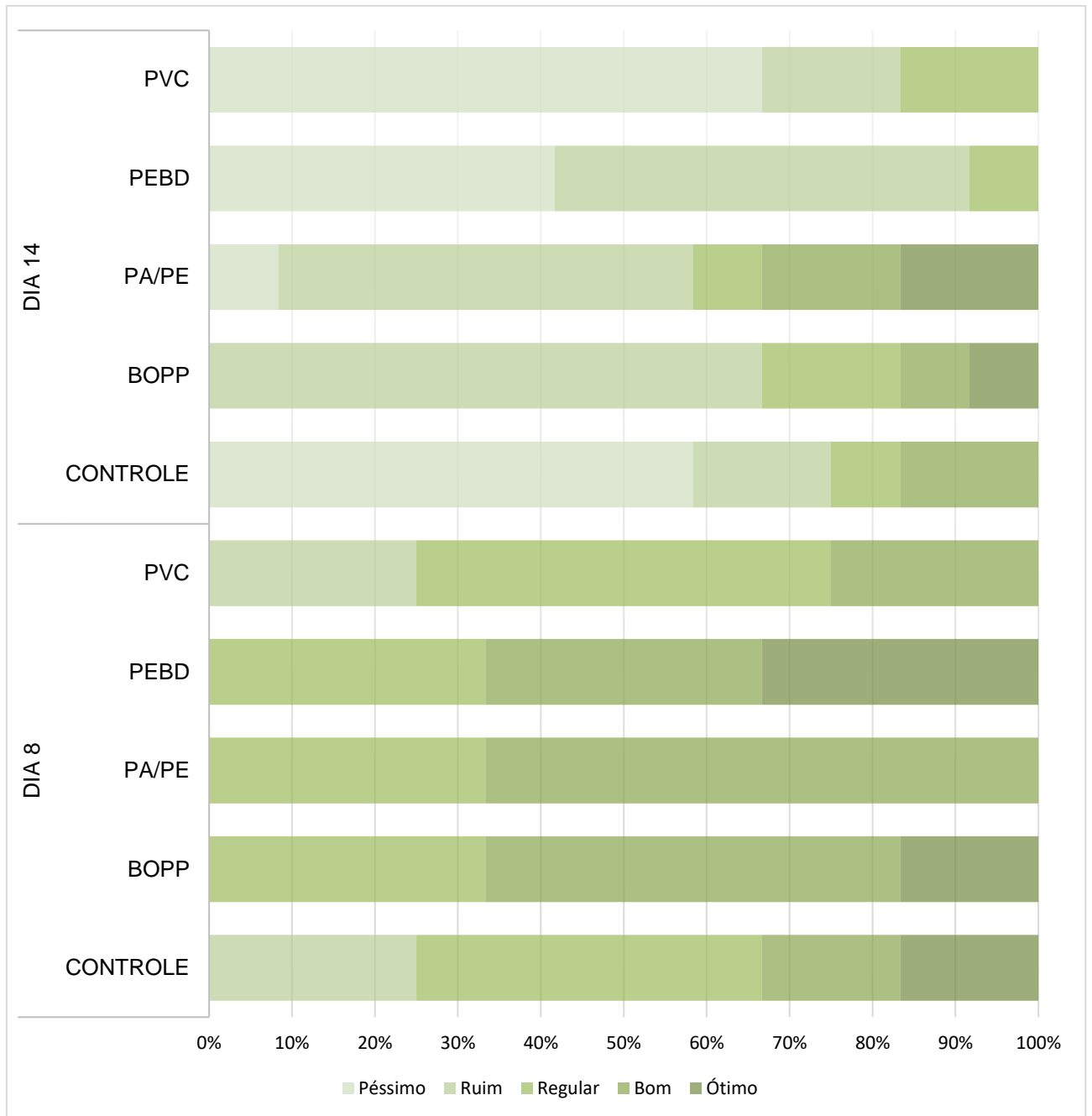


Figura 18. Percentual de frutos de cambuci por cada nota de avaliação sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

A aparência dos frutos (Figura 19) também reitera esse achado e confirma o papel do alto CO_2 na inibição do crescimento de patógenos e redução da incidência de podridão. Ainda assim, é válido destacar que, apesar de estarem com uma aparência melhor que os demais tratamentos, houve uma moderada incidência de manchas nos frutos do BOPP e do PA/PE, com este último apresentando manchas um pouco mais escuras.

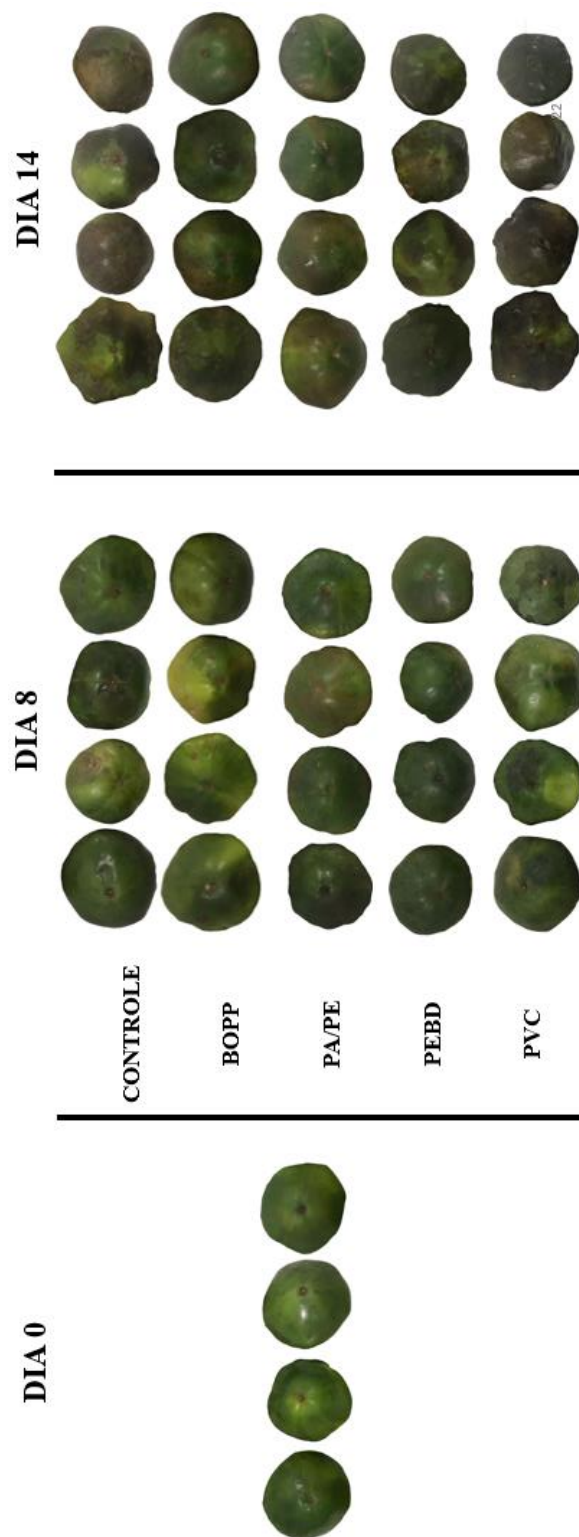


Figura 19. Aparência de frutos de cambuci sob atmosfera modificada a após 8 e 14 dias a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila.

Com relação as análises de coloração, os resultados de cromaticidade (C^*) (Figura 20) permite concluir que nos dias de análise, a intensidade da cor da casca para o BOPP foi maior.

Visualmente, observou-se que os frutos do BOPP e PA/PE apresentavam uma coloração verde-amarelada mais forte, enquanto os demais aparentavam estar mais escuros ou acizentados.

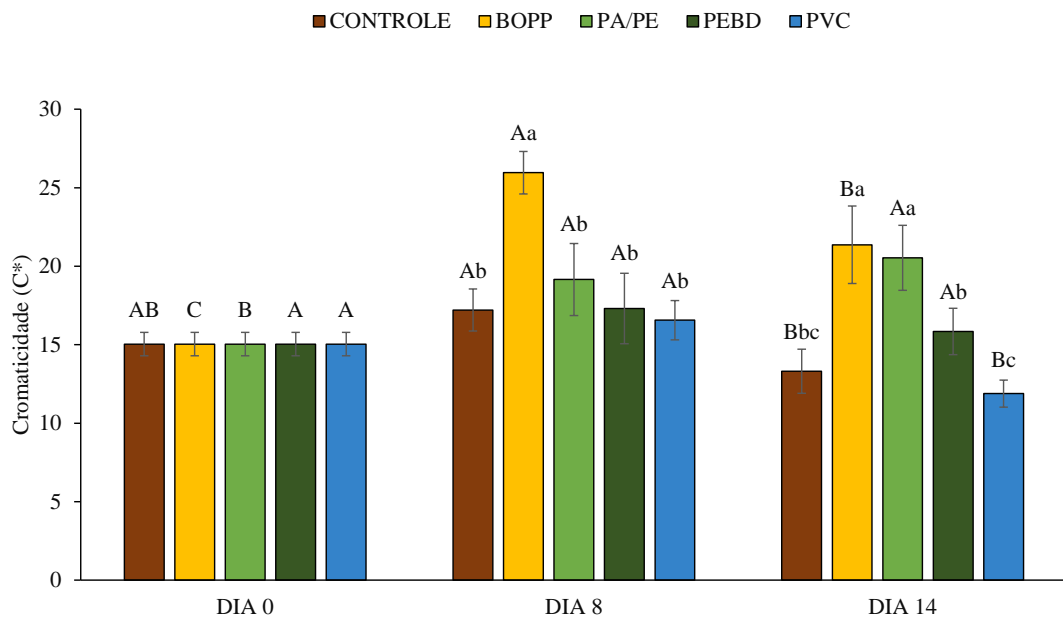


Figura 20. Cromaticidade (C*) de frutos de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

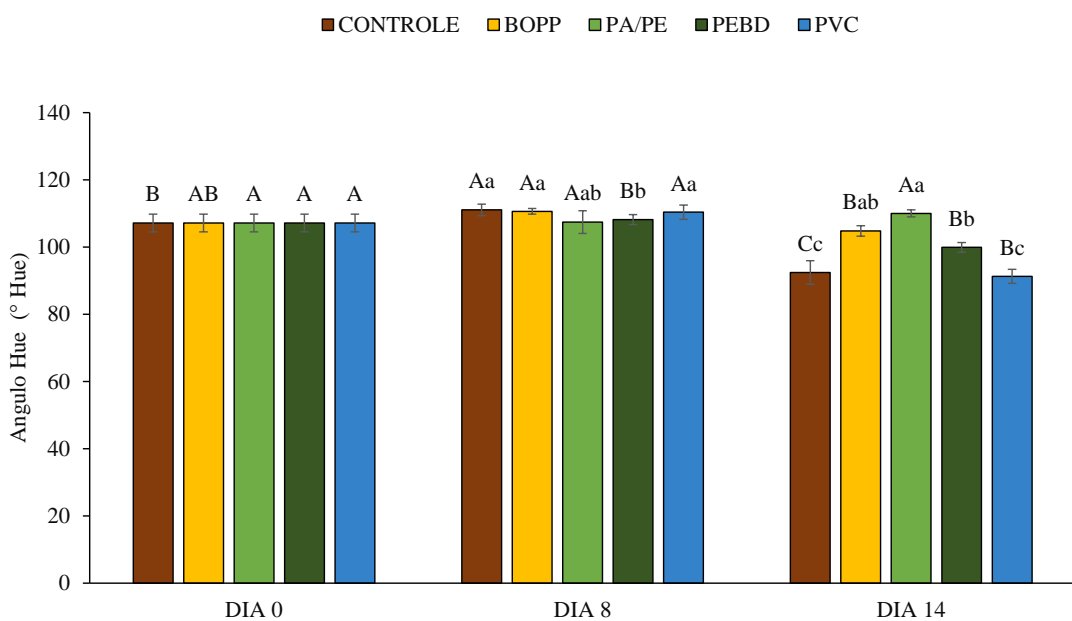


Figura 21. Ângulo Hue de frutos de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de

baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Quanto ao Ângulo Hue ($^{\circ}$ h) (Figura 21), destaca-se que no dia 14, o controle e PVC, alcançaram valores mais baixos desse atributo, diferindo estatisticamente dos demais. Além disso, os frutos do PA/PE foram os únicos que não apresentaram uma variação significativa desse atributo ao longo do tempo. Graficamente os valores encontrados, para todos os tratamentos, referem-se a uma coloração verde-amarelada, no entanto, assim como observado por Tokairin (2017), a esse ponto, os frutos já apresentavam aspecto escurecido.

Referente aos compostos bioativos, na análise de Vitamina C (Figura 22), foi observado uma diminuição ao longo dos dias. Um comportamento esperado visto que ao longo de processo de amadurecimento, o teor de ácido ascórbico diminui em razão da oxidação dos ácidos orgânicos. Destaca-se, no entanto, que o controle, no dia 8 não apresentou uma redução significativa comparando-se com o ponto inicial. Segundo Oliveira *et al.* (2014) isso pode ocorrer devido a maior perda de água que ocorre nesse tratamento, o que pode levar a concentração de compostos. Já no último dia do armazenamento, o controle sofreu uma redução significativa, assim como os demais tratamentos.

Com relação a faixa de valores encontrados para essa vitamina no presente estudo, os valores estão bem superiores aos obtidos por Tokairin (2019), que ao fim de armazenamento refrigerado, a 5 e 10 $^{\circ}$ C, obteve valores na faixa de 30 a 50 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de fruto. Todavia, estão em consonância com aqueles obtidos por Taver *et al.* (2022) em caracterização de 12 acessos, que variou entre 24,8 e 80,4 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$. Os resultados também estão de acordo com aqueles obtidos por Bianchini *et al.* (2015), que obteve uma faixa de 25,62 a 127,4 $\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de fruto, em caracterização de 120 acessos.

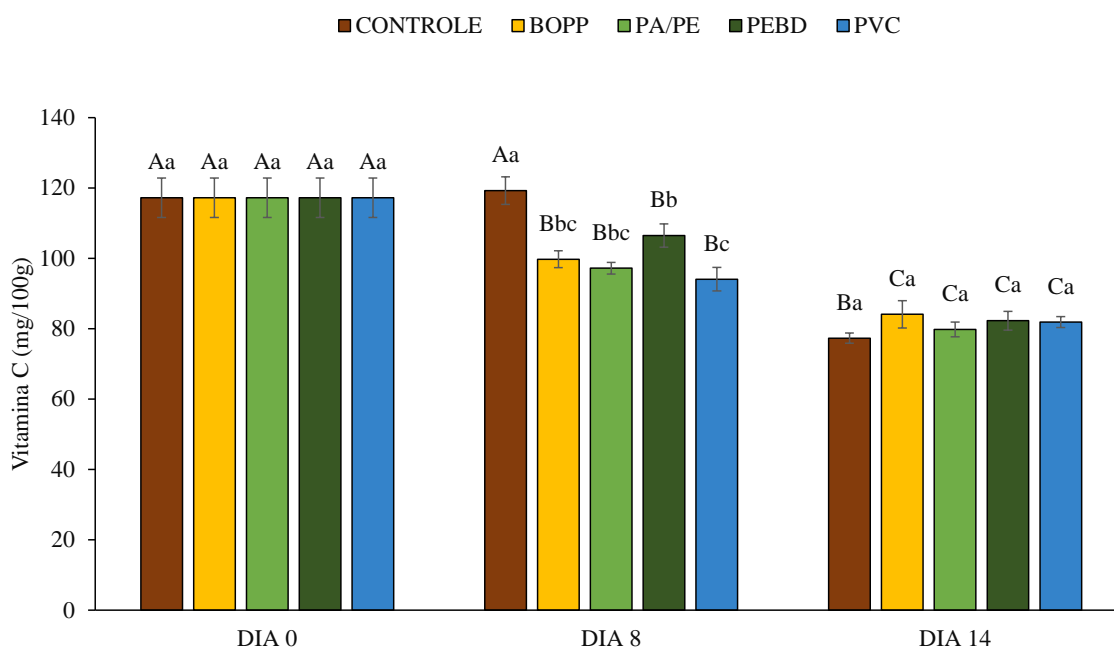


Figura 22. Teores de Vitamina C de frutos de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Cabe destacar que a recomendação diária de vitamina C para adultos é de 90 mg para homens e de 75 mg mulheres, que pode ser obtida principalmente pelo consumo de frutos cítricos (Taver *et al*, 2022). Segundo a Food Data Central (2022), as laranjas (*Citrus sinensis*), reconhecidamente como uma fonte de vitamina C, contêm cerca de $60\text{ mg } 100\text{ g}^{-1}$, e como visto, tanto o cambuci quanto a uvaia chegaram a superar esse valor em certos dias de análises.

Com relação a capacidade antioxidante (Figura 23), foi observado um aumento significativo do dia 0 para o dia 14 em todos os tratamentos. Quanto aos teores encontrados, os valores obtidos foram abaixo daqueles reportados por Taver *et al.* (2022), Genovese *et al.* (2008) e Gonçalves, Lajolo e Genovese (2010). Segundo Wang (2006), está bem descrito na literatura o efeito da variação geográfica, mês a mês e ano a ano na capacidade antioxidante de vários frutos provavelmente devido às condições ambientais como temperatura de crescimento, intensidade de luz, além de condições pré-colheita.

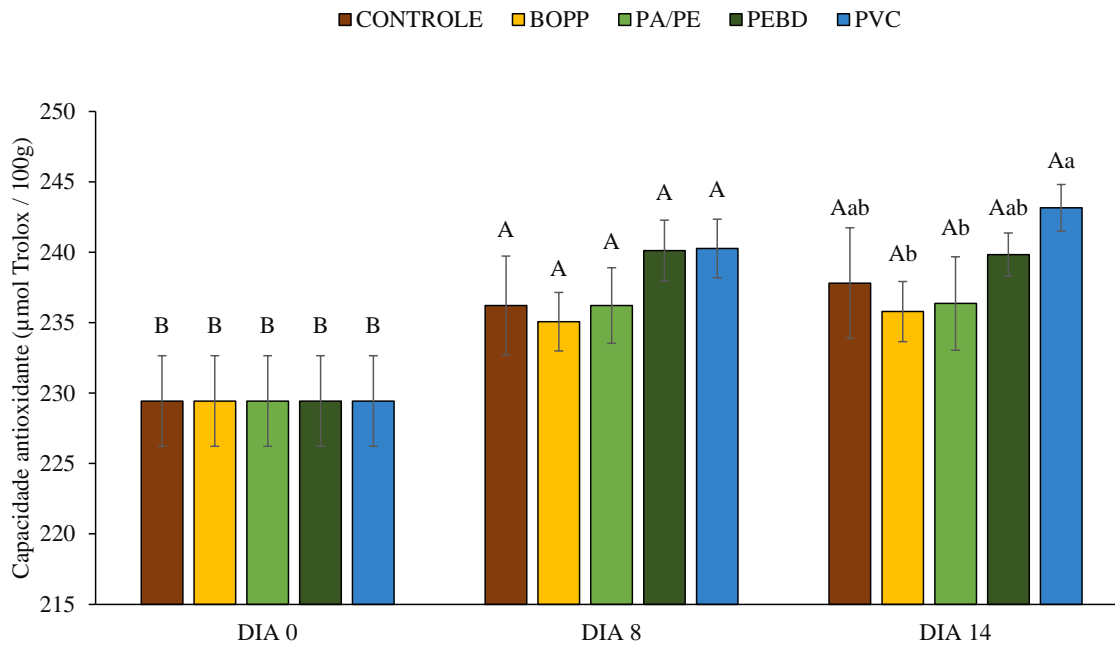


Figura 23. Capacidade antioxidante de frutos de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Referente aos teores de compostos fenólicos (Figura 24), não houve diferença significativa entre os tratamentos até o dia 8. A influência do tempo no teor desses compostos dentro de um mesmo tratamento foi observada apenas para o BOPP, em que houve uma redução significativa no teor de fenólicos. Tal resultado não era esperado visto que níveis elevados de CO_2 tem sido positivamente relacionado com o acúmulo de fenólicos totais nas células vegetais (Gouda *et al.*, 2023).

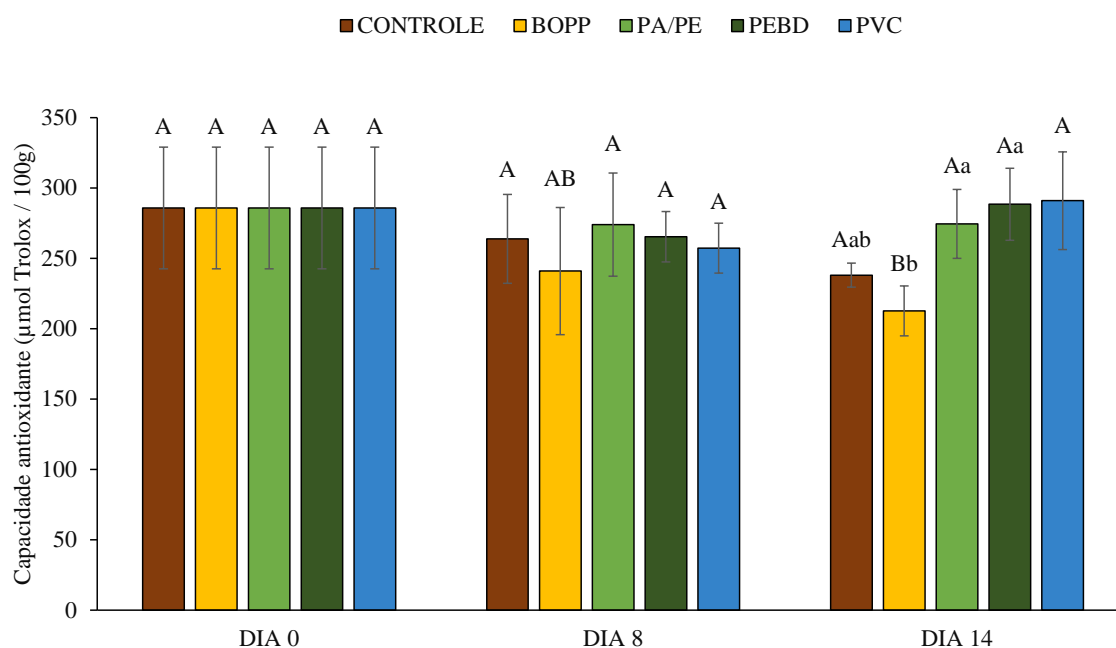


Figura 24. Compostos fenólicos de frutos de cambuci sob atmosfera modificada após 8 e 14 dias a $5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ e $75\% \pm 5\%$ de UR. BOPP = filme de polipropileno biorientado, PA/PE = filme de poliamida e polietileno, PEBD = filme de polietileno de baixa densidade e PVC = filme de policloreto de vinila. Médias seguidas por letras distintas minúsculas em um mesmo dia e maiúsculas em dias diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

5.4. Conclusão

O uso da atmosfera modificada sob refrigeração foi benéfico a conservação pós-colheita de cambuci. Os tratamentos com modificações mais intensas da atmosfera, BOPP e PA/PE apresentaram melhores resultados de aparência, menor perda de massa, manutenção da firmeza e menor incidência de podridão que os demais. Em termos de compostos bioativos, não foi possível constatar efeitos claros da atmosfera modificada nos teores de Vitamina C, compostos fenólicos e capacidade antioxidante.

Ponderando-se todos esses aspectos, conclui-se que a embalagem de PA/PE foi aquela que apresentou melhores resultados, porém estudos mais aprofundados são indicados, sobretudo considerando um tempo de armazenamento menor, para uma definição mais precisa da melhor forma de conservação pós-colheita do cambuci.

Referências

Al-Duais, M., Müller, L., Böhm, V., & Jetschke, G. (2009). Antioxidant capacity and total phenolics of *Cyphostemma digitatum* before and after processing: use of different assays. *European food research and technology*, 228, 813-821.

Falagán, N., & Terry, L. A. (2018). Recent advances in controlled and modified atmosphere of fresh produce. *Johnson Matthey Technology Review*, 62(1), 107-117.

Freitas, T. P. (2017). Pós-colheita de uvaia: caracterização de acessos e estádios de maturação. Master's Dissertation, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/D.11.2017.tde-16102017-180336.

Freitas, T. P. (2022). *Estudos da fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada*. Doctoral Thesis, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2022.tde-12122022-173239.

Genovese, M. I., Da Silva Pinto, M., De Souza Schmidt Gonçalves, A. E., & Lajolo, F. M. (2008). Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. *Food Science and Technology International*, 14(3), 207-214.

Goncalves, A. E., Lajolo, F. M., & Genovese, M. I. (2010). Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potential of Brazilian native fruits and commercial frozen pulps. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(8), 4666-4674.

Gouda, M., Nassarawa, S. S., Gupta, S. D., Sanusi, N. I. I., & Nasiru, M. M. (2023). Evaluation of carbon dioxide elevation on phenolic compounds and antioxidant activity of red onion (*Allium cepa* L.) during postharvest storage. *Plant Physiology and Biochemistry*, 200, 107752.

Irtwange, S. V. (2006). Application of modified atmosphere packaging and related technology in postharvest handling of fresh fruits and vegetables. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.

Kim, K. M., Ko, J. A., Lee, J. S., Park, H. J., & Hanna, M. A. (2006). Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms. *LWT-Food Science and Technology*, 39(4), 365-372.

Oliveirai, J. D., Silva, I. G., Silva, P. P. M. D., & Spoto, M. H. F. (2014). Atmosfera modificada e refrigeração para conservação pós-colheita de camu-camu. *Ciência Rural*, 44, 1126-1133.

Pasternak, T., Potters, G., Caubergs, R., & Jansen, M. A. (2005). Complementary interactions between oxidative stress and auxins control plant growth responses at plant, organ, and cellular level. *Journal of experimental botany*, 56(418), 1991-2001.

Paul, V., & Pandey, R. (2014). Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability—a review. *Journal of food science and technology*, 51, 1223-1250.

Taver, I. B., Spricigo, P. C., Neto, H. B., de Alencar, S. M., Massarioli, A. P., & Jacomino, A. P. (2022). Bioactive Compounds and In Vitro Antioxidant Capacity of Cambuci and Uvaia: An Extensive Description of Little-Known Fruits from the Myrtaceae Family with High Consumption Potential. *Foods*, 11(17), 2612.

Tokairin, T. O. (2017). Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci, fruto nativo da Mata Atlântica. Doctoral Thesis, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba. doi:10.11606/T.11.2017.tde-24082017-134117. Retrieved 2023-11-13, from www.teses.usp.br

Wang, S. Y. (2006, August). Effect of pre-harvest conditions on antioxidant capacity in fruits. In *IV International Conference on Managing Quality in Chains-The Integrated View on Fruits and Vegetables Quality 712* (pp. 299-306).

Wang, D., Yeats, T. H., Uluisik, S., Rose, J. K., & Seymour, G. B. (2018). Fruit softening: revisiting the role of pectin. *Trends in plant science*, 23(4), 302-310.

Werner, E. T., Oliveira Junior, L. F. G. D., Bona, A. P. D., Cavati, B., & Gomes, T. D. U. H. (2009). Efeito do cloreto de cálcio na pós-colheita de goiaba Cortibel. *Bragantia*, 68, 511-518.

Woisky, R. G., & Salatino, A. (1998). Analysis of propolis: some parameters and procedures for chemical quality control. *Journal of apicultural research*, 37(2), 99-105.