

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA-UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS-CAV
CURSO DE DOUTORADO

JÉSSICA MAYUMI ANAMI

**COMPOSTOS FENÓLICOS E AROMÁTICOS E MANUTENÇÃO DA QUALIDADE
DE MIRTILOS 'CLIMAX' ARMAZENADOS EM ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA**

LAGES
2023

JÉSSICA MAYUMI ANAMI

**COMPOSTOS FENÓLICOS E AROMÁTICOS E MANUTENÇÃO DA QUALIDADE
DE MIRTILOS 'CLIMAX' ARMAZENADOS EM ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Produção Vegetal.
Orientador: Prof. Dr. Cristiano André Steffens

LAGES

2023

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Anami, Jéssica Mayumi
COMPOSTOS FENÓLICOS E AROMÁTICOS E
MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE MIRTILOS ?CLIMAX?
ARMAZENADOS EM ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA /
Jéssica Mayumi Anami. -- 2023.
169 p.

Orientador: Cristiano André Steffens
Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2023.

1. Vaccinium spp. 2. pós-colheita. 3. etanol. 4. compostos
voláteis. 5. perfil fenólico. I. Steffens, Cristiano André. II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal. III. Título.

JÉSSICA MAYUMI ANAMI

**COMPOSTOS FENÓLICOS E AROMÁTICOS E MANUTENÇÃO DA QUALIDADE
DE MIRTILOS 'CLIMAX' ARMAZENADOS EM ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Produção Vegetal.

BANCA EXAMINADORA:

Orientador:

Dr. Cristiano André Steffens
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros:

Dr. Bruno Pansera Espíndola
Instituto Federal Catarinense - IFC

Dr. Marcelo Alves Moreira
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Dra. Gabriela Polmann
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Dr. Marcos Vinícius Hendges
Instituto Federal do Mato Grosso do Sul - IFMS

Lages, 2023

Aos meus pais e ao meu irmão, que sempre me incentivaram a buscar meus sonhos, apoiando incondicionalmente, sempre dispostos a oferecer um carinho e momentos de descontração. Ao meu marido, Hugo, por me acompanhar em mais uma etapa crucial para nossa história, compartilhando os momentos de dúvidas e alegrias.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marta e Cid, por serem meu alicerce, pela compreensão, carinho e amor, durante toda a vida.

Ao meu irmão Fernando Mitsuo, por sempre me motivar, me fazer rir, por todo amor e por todos os jogos do Palmeiras que fomos no nosso momento de distração.

Ao meu marido, Hugo François Kuneski, pelos momentos de distração, por todo apoio e pela compreensão nos momentos de estresse, dúvidas e angústias.

A minha avó Alda Carvalho (*in memoriam*), por ser um exemplo de mulher e sempre me incentivar a ser uma pessoa melhor e a seguir meus sonhos.

A minha oma Elfrida Butzke Anami (*in memoriam*), por todo apoio durante o início da minha caminhada acadêmica.

A minha família, a qual sempre apoiou e incentivou buscar meus objetivos, em especial aos meus primos Gustavo Anami Segundo, Kainan Akio Weege e Ana Beatriz Suquisaqui, que compartilharam as dificuldades da pós-graduação no Brasil comigo, sempre mantendo o bom humor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cristiano André Steffens, por aceitar ser orientador dessa pesquisa, sempre compartilhando sua experiência com toda paciência e entusiasmo.

As minhas amigas de São Paulo, minhas MIFES, Bruna Vilas Boas, Daniella Vieira, Júlia Maia, e Nathália Caruso que são minhas irmãs de alma, e me apoiaram na decisão de realizar esse curso e por todos os momentos de alegria e amor que me proporcionaram nas minhas voltas para casa.

Aos meus amigos que a pós me proporcionou, Raquel Fernandes, Viviane Figueiredo, Diana Freitas, Marissa Prá, por todos as risadas, conselhos, companhia e auxílio nas análises e descontração nas horas vagas.

Aos bolsistas, voluntários e colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal (Fisiolab) do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV/UDESC) de Lages-SC, pela ajuda na realização dos experimentos.

A todos os demais que de alguma forma me ajudaram e incentivaram durante a minha caminhada.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, pelo ensino público e de qualidade, e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias.

“Mas existe um grande, o maior obstáculo para eu ir adiante: eu mesma. Tenho sido a maior dificuldade no meu caminho. É com enorme esforço que consigo me sobrepôr a mim mesma.”

Clarice Lispector.

RESUMO

Os objetivos do trabalho foram avaliar o efeito do uso da AM com diferentes embalagens, bem como o uso de absorvedores de etileno e etanol associados com a AM, e doses e modos de aplicação de etanol sobre a qualidade, a atividade antioxidante total, conteúdo de compostos fenólicos (perfil e totais), antocianinas, açúcares (totais e redutores), compostos voláteis e metabolismo fermentativo (etanol, acetaldeído e acetato de etila) em mirtilos 'Climax' produzidos no sistema orgânico. Foram realizados três experimentos, nas safras 2019/20, 2020/21 e 2021/22. Os mirtilos 'Climax' foram colhidos em pomar comercial orgânico em Lages, SC. No primeiro experimento, os tratamentos avaliados foram controle, atmosfera modificada (AM) com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO_2 (20 kPa CO_2) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno. No segundo experimento foram avaliados os tratamentos controle, AM com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO_2 (20 kPa CO_2) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno e AM com filme de nylon com absorção de etileno. No terceiro experimento, os tratamentos foram controle (atmosfera modificada (AM)), etanol associado a AM ativa com diferentes doses (2 mL kg^{-1} ; 5 mL kg^{-1} ; 10 mL kg^{-1} ; 15 mL kg^{-1}) e durante todo o armazenamento (4mL e 8mL). Todos os tratamentos foram mantidos sob refrigeração a $1\pm 0,2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $92\pm 2\%$. Nos experimentos 1 e 2, os frutos foram avaliados após dois períodos de armazenamento, 52 e 90 dias. O terceiro experimento foi avaliado após 45 e 75 dias em armazenamento refrigerado. O delineamento foi inteiramente casualizado, com quatro repetições e unidade experimental de 250 g de frutos, no experimento 1 e 2 e 500 g de frutos no experimento 3. No primeiro experimento, o tratamento com filme nylon apresentou uma melhor manutenção da qualidade de mirtilos 'Climax' durante os 90 dias de armazenamento. O controle apresentou maior perda de água e índice de murchamento, e o alto teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante total e antocianinas. A associação de AM + KMnO_4 , apresentou diminuição de produção de etileno e aumento de cianidina e epicatequina. O aumento do período de armazenamento reduz a concentração de malvidina, delphinidina, mircetina, quercetina e ácido clorogênico. Os aromas predominantes dos mirtilos armazenados na safra 2019/20 foram herbáceos mentolados. No segundo ano de experimento, os mirtilos foram colhidos no final da safra, apresentando diferenças nas características iniciais dos frutos, com um grau de maturação elevado. Destaque para a manutenção da qualidade dos frutos armazenados em AM + etanol, que manteve a firmeza de polpa, diminui a incidência de podridão e a taxa de respiração e produção de etileno. AM associado a aplicação de etanol reduz a atividade antioxidante total e o conteúdo de compostos fenólicos totais. O prolongamento do tempo de armazenamento aumenta os teores de delphinidina, epicatequina e quercetina, independente do tratamento. A utilização de etanol exógeno associado a AM resultou na fermentação dos frutos, com alta presença principalmente de ácido acético de acetato de etila, inibindo a formação de outros compostos voláteis característicos do aroma de mirtilo, presentes nas classes de aldeídos, terpenos e álcoois. No terceiro ano de experimento, as maiores doses de etanol (10 mL. kg^{-1} e 15 mL. kg^{-1}) foram eficazes no controle de podridões pós-colheita e manutenção da

qualidade de mirtilos até 75 dias de armazenamento a frio em atmosfera modificada. A taxa de respiração e produção de etileno foi reduzida pela aplicação de 5mL.kg⁻¹. A maior dose de etanol (15mL.kg⁻¹) e 8 mL durante todo armazenamento são responsáveis pela maior produção de produtos do metabolismo fermentativo. A aplicação altas doses de etanol aumentou a porcentagem de acetato de etila, o responsável pelo aroma característico do mirtilo. O conteúdo de atividade antioxidante após período prolongado de armazenamento, foi elevado no uso de sachês de 8 mL de etanol, possivelmente devido ao aumento da concentração de malvidina, epicatequina, mircetina e quercetina.

Palavras-chave: *Vaccinium spp*; pós-colheita; etanol; compostos voláteis; perfil fenólico.

PHENOLIC AND AROMATIC COMPOUNDS AND QUALITY MAINTENANCE OF 'CLIMAX' BLUEBERRIES STORED IN ACTIVE MODIFIED ATMOSPHERE

ABSTRACT

The aims of this study were to evaluate the effect of using MA with different packages, as well as the use of ethylene and ethanol absorbers associated with MA, and doses and modes of application of ethanol on quality, total antioxidant activity, content of phenolic compounds (profile and total), anthocyanins, sugars (total and reducing), volatile compounds and fermentative metabolism (ethanol, acetaldehyde and ethyl acetate) in 'Climax' blueberries produced in the organic system. Three experiments were carried out, in the 2019/20, 2020/21 and 2021/22 harvests. 'Climax' blueberries were collected in an organic commercial orchard in Lages, SC. In the first experiment, the treatments considered were control, modified atmosphere (MA) with nylon film, MA with low-density polyethylene film (LDPE), MA with LDPE with high initial CO₂ (20 kPa CO₂), MA with LDPE associated with the application of ethanol before storage and MA with LDPE with ethylene absorption. In the second experiment, the control treatments were evaluated, MA with nylon film, MA with low density polyethylene film (LDPE), MA with LDPE with high initial CO₂ (20 kPa CO₂), MA with LDPE associated with the application of ethanol before storage and MA with LDPE with ethylene absorption and MA with nylon film with ethylene absorption. In the third experiment, the treatments were controlled (modified atmosphere (MA)), ethanol associated with active MA at different doses (2 mL kg⁻¹; 5 mL kg⁻¹; 10 mL kg⁻¹; 15 mL kg⁻¹) and throughout storage (4mL and 8mL). All treatments were treated under conduction at 1±0.2°C and relative humidity of 92±2%. In experiments 1 and 2, the fruits were stored after two storage periods, 52 and 90 days. The third experiment was evaluated after 45 and 75 days in refrigerated storage. The design was completely randomized, with four replications and experimental unit of 250 g of fruits, in experiment 1 and 2 and 500 g of fruits in experiment 3. In the first experiment, the treatment with nylon film showed a better maintenance of the quality of 'Climax' blueberries during the 90 days of storage. The control showed greater water loss and wilting index, and the highest content of total phenolic compounds, total antioxidant activity and anthocyanins. The association of MA + KMnO₄ showed a decrease in ethylene production and an increase in cyanidin and epicatechin. Increasing the storage period reduces the concentration of malvidin, delphinidin, myrcetin, quercetin and chlorogenic acid. The predominant aromas of blueberries stored in the 2019/20 season were minty herbs. In the second year of the experiment, the blueberries were harvested at the end of the season, showing differences in the initial characteristics of the fruits, with a high degree of harvest. The maintenance of the quality of the fruits stored in MA + ethanol stands out, which maintained the firmness of the pulp, reduced the incidence of rot and the rate of labor force and ethylene production. MA associated with the application of ethanol reduces the total antioxidant activity and the content of total phenolic compounds, probably due to the reduction in the content of chlorogenic acid and delphinidin. Prolonging the storage time increases delphinidin, epicatechin and quercetin levels, regardless of the treatment. The use of exogenous ethanol associated with MA evolved in fruit fermentation, with a high presence mainly of ethyl acetate acetic acid, inhibiting the formation of other volatile compounds characteristic of the blueberry aroma, present in the classes of aldehydes, terpenes and alcohols. In the third year of the experiment, the highest

doses of ethanol (10 mL.kg^{-1} and 15 mL.kg^{-1}) were effective in controlling postharvest rot and maintaining the quality of blueberries up to 75 days of cold storage in atmospheric modified. The adolescent rate and ethylene production was reduced by the application of 5 mL.kg^{-1} . The highest dose of ethanol (15 mL.kg^{-1}) and 8mL throughout storage are responsible for the highest production of fermentative metabolism products. The application of high doses of ethanol increased the percentage of ethyl acetate, which is responsible for the characteristic blueberry aroma. The content of antioxidant activity after a prolonged period of storage was increased in the use of sachets of 8 mL of ethanol, possibly due to the increase in the concentration of malvidin, epicatechin, myrcetin and quercetin.

Keywords: *Vaccinium spp*; post-harvest; ethanol; volatile compounds; phenolic profile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Frutos e planta de mirtilo ‘Climax’.....	26
Figura 2 – Porcentagem de pressão parcial de O ₂ e CO ₂ durante armazenamento de mirtilos ‘Climax’ durante 52 dias (a, b) e 90 dias (c, d), respectivamente. Safra 2019/20, Lages – SC.	48
Figura 3 – Frutos de mirtilos ‘Climax’ após 52 dias (A) e 90 dias (B) de armazenamento seguido de 2 dias em condições ambiente (20°C±5°C e UR de 65±10%). Safra 2019/20, Lages – SC.....	57
Figura 4 – Porcentagem de pressão parcial de O ₂ e CO ₂ durante armazenamento de mirtilos ‘Climax’ durante 52 dias (a, b) e 90 dias (c, d), respectivamente. Safra 2020/21, Lages – SC.	62
Figura 5 – Frutos de mirtilos ‘Climax’ durante 52 dias (A) e 90 dias (B) de armazenamento seguido de dois dias em condição ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.	72
Figura 6 – Cromatograma dos compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos, obtidos no tratamento controle armazenados por 52 dias, em 280nm e 320nm.	87
Figura 7 – Concentração de etileno (pmol C ₂ H ₄ kg ⁻¹ s ⁻¹) (a, d) e pressão parcial de O ₂ e CO ₂ (kPa) durante armazenamento de mirtilos ‘Climax’ durante 45 dias (b, c) e 75 dias (e, f), respectivamente. Safra 2021/22 Lages – SC.....	117
Figura 8 – Frutos de mirtilos ‘Climax’ durante 45 dias de armazenamento seguido de dois dias em condição ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.	120
Figura 9 – Frutos de mirtilos ‘Climax’ durante 75 dias de armazenamento seguido de dois dias em condição ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.	121

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Luminosidade, Cromaticidade, ângulo hue, a*; b*; Taxa de respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e produção de etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido cítrico); força de compressão de frutos (N) açúcares redutores (mg L^{-1} glicose) e teor de açúcares totais (mg L^{-1} glicose), de mirtilos ‘Climax’ orgânicos na colheita. Safra 2019/20, Lages – SC.43
- Tabela 2** – Luminosidade, Cromaticidade, ângulo hue, a*; b*; Taxa de respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e produção de etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido cítrico); força de compressão de frutos (N) açúcares redutores (mg L^{-1} glicose) e teor de açúcares totais (mg L^{-1} glicose), de mirtilos ‘Climax’ orgânicos na colheita. Safra 2020/21, Lages – SC.44
- Tabela 3** – Taxa de produção de etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.....50
- Tabela 4** – Perda de massa (%), incidência (%) e índice de murchamento (1-4) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.52
- Tabela 5** – Luminosidade, cromaticidade (C), ângulo hue, a* e b* de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.....54
- Tabela 6** – Sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido cítrico) e força de compressão de frutos (N) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.56
- Tabela 7** – Valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.....59
- Tabela 8** – Teor de açúcares redutores (mg.L^{-1} glicose) e teor de açúcares totais (mg.L^{-1} glicose) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52

e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.....	60
Tabela 9 – Taxa de produção de etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e respiração ($\text{nmol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.....	64
Tabela 10 – Perda de massa (%), incidência (%) e índice de murchamento (1-4) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.	65
Tabela 11 – Luminosidade, cromaticidade (C), ângulo hue, a^* e b^* de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.....	67
Tabela 12 – Sólidos solúveis ($^\circ\text{Brix}$), acidez titulável (% ácido cítrico) e força de compressão de frutos (N) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.	69
Tabela 13 – Valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.....	70
Tabela 14 – Teor de açúcares redutores (mg L^{-1} glicose) e teor de açúcares totais (mg/L glicose) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.....	71
Tabela 15 – Teor de compostos fenólicos totais ($\text{mg EAG } 100\text{g}^{-1}$ de MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca e teor de antocianinas totais ($\text{mg cianidina 3-glicosídeo } 100 \text{ g}^{-1}$ MF) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos na colheita. Safra 2019/20, Lages – SC.....	79
Tabela 16 – Teor de compostos fenólicos totais ($\text{mg EAG } 100\text{g}^{-1}$ de MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca e teor de antocianinas totais ($\text{mg cianidina 3-glicosídeo } 100 \text{ g}^{-1}$ MF) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos na colheita. Safra 2020/21, Lages – SC.....	79

Tabela 17 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g ⁻¹ de massa fresca), antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g ⁻¹ MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em µMol Trolox g ⁻¹ de massa fresca de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.....	85
Tabela 18 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.	89
Tabela 19 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.	90
Tabela 20 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2019/20, Lages – SC.	94
Tabela 21 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g ⁻¹ de massa fresca), antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g ⁻¹ MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em µMol Trolox g ⁻¹ de massa fresca de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.....	99
Tabela 22 – Conteúdo de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.	101
Tabela 23 – Conteúdo de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.	102
Tabela 24 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus	

respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2020/21, Lages – SC.....	106
Tabela 25 – Perda de massa (%), incidência de podridões (%) e índice de murchamento (1-4) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados em atmosfera modificada (AM) durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, em função de doses e momentos de aplicação de etanol. Safra 2021/22, Lages – SC.	123
Tabela 26 – Luminosidade, cromaticidade (C) e ângulo hue de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.....	124
Tabela 27 – Sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido cítrico) e força de compressão de frutos (N) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.	126
Tabela 28 – Taxa de produção de etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.....	128
Tabela 29 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g^{-1} de massa fresca), antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g^{-1} MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.....	130
Tabela 30 – Teor de açúcares redutores (mg/L glicose) e teor de açúcares totais (mg/L glicose) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.....	131
Tabela 31 – Valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.....	133

Tabela 32 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.	134
Tabela 33 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.	136
Tabela 34 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2021/22, Lages – SC.....	140
Tabela 35 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2021/22, Lages – SC.....	142

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAT – Atividade antioxidante total

ANT - Antocianinas

ATT - Acidez total titulável

CLAE - Cromatografia líquida de alta eficiência

CFT – Compostos fenólicos totais

cv – Cultivar

CO₂ – Dióxido de carbono

EM - Espectrômetro de massas

GC - Cromatografia a gás

HCl - Ácido clorídrico

HPLC - *High performance liquid chromatography*

IK - Índice de Kovats

IR - Índice de retenção

KMnO₄ – Permanganato de potássio

M - Molar

N - Normal

NI - Não identificado

NIST - *National Institute of Standards and Technology*

O₂ – Oxigênio

SPME - *Solid phase microextraction*

SST - Sólidos solúveis totais

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	24
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MIRTILO NO SUL DO BRASIL 24	
2.2 CULTIVAR ‘CLIMAX’	25
2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM MIRTILOS 26	
2.4 BENEFÍCIOS PARA SAÚDE DO CONSUMO DE MIRTILO	28
2.5 COMPOSTOS VOLÁTEIS	30
2.6 MANEJO PÓS-COLHEITA DE MIRTILOS	32
2.7 EFEITOS DO ETILENO SOBRE A QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MIRTILOS	33
2.8 ATMOSFERA MODIFICADA NO ARMAZENAMENTO DE MIRTILOS 34	
2.9 APLICAÇÃO PÓS-COLHEITA DE ETANOL EM MIRTILOS	35
3 HIPÓTESES	38
4 QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE MIRTILO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ATMOSFERA MODIFICADA	40
4.1 RESUMO	40
4.2 INTRODUÇÃO	40
4.3 MATERIAL E MÉTODOS	42
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.4.1 Safra 2019/20	46
4.4.2 Safra 2020/21	60
4.5 CONCLUSÃO	75
5 USO DE TECNOLOGIAS PÓS-COLHEITA EM MIRTILOS ‘CLIMAX’ SOBRE COMPOSTOS BIOATIVOS	76
5.1 RESUMO	76
5.2 INTRODUÇÃO	76
5.3 MATERIAL E MÉTODOS	78
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
5.5 CONCLUSÃO	109

6 MIRTILOS ‘CLIMAX’ ARMAZENADOS EM ATMOSFERA MODIFICADA COM DOSES DE ETANOL	110
6.1 RESUMO	110
6.2 INTRODUÇÃO	110
6.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	111
6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	117
6.5 CONCLUSÃO.....	144
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	145
8 REFERÊNCIAS	147

1 INTRODUÇÃO GERAL

O mirtilo (*Vaccinium* spp.) tem sido amplamente cultivado em todo o mundo devido ao seu sabor único, cor e riqueza nutricional, como vitaminas, compostos fenólicos, antocianinas e antioxidantes (DONG; YANG, 2019). A produção mundial de mirtilos em 2021 foi de 1789,59 toneladas, com um aumento de 20% comparado ao ano anterior, com projeção para aumento nos próximos anos, de acordo com a Organização Internacional de Mirtilo (Blueberry International Organization, 2022). A região sul do Brasil apresenta um grande potencial para a produção de mirtilos, porém, um dos entraves é que o período máximo de conservação e as condições mais adequadas para a manutenção das características pós-colheita dos frutos são ainda pouco conhecidos.

A durabilidade pós-colheita de mirtilos frescos é muito curta, e a perda pós-colheita é de 30 a 40%, principalmente devido à desidratação causada pelo envelhecimento metabólico, e a alta suscetibilidade a contaminação microbiana e danos mecânicos, durante a colheita e o transporte, causando uma perda de valor comercial durante o armazenamento pós-colheita (LACOMBE *et al.*, 2015; XU; LIU, 2017; ZHOU *et al.*, 2019). Os mirtilos são propensos ao amolecimento excessivo, que pode causar uma menor vida pós-colheita, além de limitar o transporte e comercialização (ZHOU *et al.*, 2021).

Um dos métodos mais usados na conservação de frutas e hortaliças frescas é o armazenamento refrigerado, porém, não tem sido suficiente para ampliar o período de conservação das pequenas frutas. Segundo Wang *et al.* (2020), os mirtilos podem ser armazenados por 30 dias a 0°C e 6-8 dias a 20°C. As condições de armazenamento e o uso de tecnologias adicionais, como absorvedores de etileno, etanol e atmosferas modificadas ativas ou passivas exercem influência sobre o metabolismo e a manutenção dos atributos físicos, químicos e de qualidade dos frutos, principalmente quando utilizados para o armazenamento por períodos prolongados.

O armazenamento de mirtilos em atmosfera modificada (AM) aliado à baixas temperaturas retarda a senescência e a degeneração do fruto, mantendo sua qualidade por até 52 dias (MOGGIA *et al.*, 2012). Segundo Lobos *et al.* (2014), há uma redução de até 20% da desidratação dos frutos de mirtilos 'Brigitta', quando

armazenados em AM por até 52 dias, tendo um grande potencial para aumentar o tempo de armazenamento pós-colheita dos frutos e permitir o alcance de mercados a longas distâncias com uma alta proporção de frutos sadios. Já Beraud *et al.* (2015) verificaram que mirtilos ‘Emerald’ apresentaram redução na perda de peso, mantendo a turgidez e a firmeza dos frutos, por até 28 dias de armazenamento em AM.

Embora alguns estudos sugiram que os mirtilos apresentem um comportamento típico de fruto climatérico (ORTIZ *et al.*, 2018), outros mostram que são frutos não climatéricos (OH *et al.*, 2018). Contudo, segundo Wang *et al.* (2018), os tratamentos com absorvedores de etileno podem inibir o amadurecimento dos frutos, mas ainda não se sabe em que afeta a sua bioatividade.

O etanol é uma substância ecologicamente correta e há anos é estudado como antimicrobiano não biológico para preservação de frutas e verduras, como uvas e mirtilos (CANDIR *et al.*, 2012; JI *et al.*, 2019). Além disso, ele pode atuar na inibição da respiração e na síntese de etileno, aumentar a capacidade antioxidante e atrasar o amolecimento de frutas e vegetais (LI *et al.*, 2018).

O armazenamento em atmosfera controlada (AC) ou AM, com redução e/ou incremento das pressões parciais de O₂ e de CO₂, respectivamente, pode ser benéfico ou prejudicial ao fruto, dependendo da sensibilidade do tecido, pressão parcial usada, do período de exposição e temperatura de armazenamento. Condições de AC e AM inadequadas podem induzir a respiração anaeróbica e induzir o estresse oxidativo, causando a desorganização celular.

As frutas e vegetais são ricos em compostos que desempenham funções antioxidantes, os quais estão associados à potencialização dos efeitos promotores da saúde humana através da prevenção de várias doenças (HENRÍQUEZ *et al.*, 2010). A utilização de técnicas de armazenamento que preservam a atividade antioxidante, o conteúdo de compostos fenólicos e do ácido ascórbico, bem como o período em que os frutos podem ser armazenados sem comprometer a qualidade funcional, pode representar uma forma de oferecer aos consumidores frutos de maior valor funcional, pela associação de técnicas que reduzam o desperdício de nutrientes e alimentos.

Não há informações sobre a manutenção das propriedades funcionais do fruto e metabolismo fermentativo em mirtilos submetidos ao armazenamento em AM associada a diferentes tecnologias, especialmente de frutos em cultivos orgânicos.

Além disso, existem poucos relatos sobre o sabor e o aroma dos mirtilos, fatores importantes que influenciam na sua comercialização.

Portanto, a utilização de tecnologias pós-colheita permitidas pela produção orgânica, que visam aumentar a vida útil de mirtilos frescos com qualidade é de suma importância, tanto para uma melhor comercialização por parte do produtor, quanto para o consumo humano, além de possibilitar um incentivo a implantação de novos plantios na região sul do Brasil.

Os objetivos do trabalho foram: avaliar o efeito do uso da AM com diferentes embalagens, bem como o uso de absorvedores de etileno e etanol associados com a AM, e doses e modos de aplicação de etanol sobre a qualidade, a atividade antioxidante total, conteúdo de compostos fenólicos (perfil e totais), antocianinas, açúcares (totais e redutores), compostos voláteis e metabolismo fermentativo (etanol, acetaldeído e acetato de etila) em mirtilos 'Climax' produzidos no sistema orgânico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO MIRTILO NO SUL DO BRASIL

A introdução do mirtilo no Brasil ocorreu em 1983 pela Embrapa de Clima Temperado (Pelotas – RS), com cultivares do grupo Rabbiteye (ANTUNES; RASEIRA, 2006). Porém, a primeira plantação comercial estabelecida foi em Vacaria – RS, em 1990, com cultivares do grupo Highbush, que apesar de terem maior exigência em frio apresentam melhor qualidade de frutos (FACHINELLO, 2008).

A expansão do cultivo foi limitada pelo pouco conhecimento técnico sobre a cultura, a dificuldade de obtenção de mudas, o manejo dos pomares e manipulação pós-colheita das frutas (EMBRAPA, 2021). Além disso, o fruto é pouco conhecido pelos consumidores brasileiros e os valores de mercado não são convidativos para a maioria da população, dificultando a inserção no mercado local. Portanto, a expansão do cultivo iniciou-se apenas nos anos 2000, motivada pela demanda mundial e preços de fruto fresco no mercado europeu (CANTUARIAS-AVILÉS *et al.*, 2014).

A produção atual está estimada em cerca de 300 toneladas, concentradas nas cidades da Serra Gaúcha, Minas Gerais e São Paulo, com um grande potencial

de cultivo e expansão na Serra Catarinense (ANTUNES *et al.*, 2012). Apesar de não existirem estatísticas oficiais atualizadas, estima-se que a área plantada com mirtilos no Brasil seja de aproximadamente 400 hectares (CANTUARIAS-AVILÉS *et al.*, 2014). Um levantamento realizado pela EMATER/ASCAR-RS (2020) indicou um total de 66 ha cultivados com mirtileiros no RS, porém, estima-se que a área plantada no estado seja bem maior, com aproximadamente 150 ha. Esse aumento nos últimos anos demonstra que a cultura vem ganhando maior importância. Os dados oficiais sobre áreas plantadas e produção são especialmente difíceis de se obterem devido o cultivo do mirtilo ser realizado principalmente por produtores familiares em pequenas áreas, sendo os dados obtidos por escritórios regionais ou prefeituras, divulgados apenas localmente (EMBRAPA, 2021). Além disso, a produção muitas vezes é comercializada em mercados locais ou processada no próprio estabelecimento.

Segundo dados do IBGE (2019), 77% das propriedades rurais em 2017, que cultivavam mirtilos, eram pequenas propriedades, caracterizadas pela mão de obra familiar. A produção de mirtilos em estabelecimentos desse tipo é muito relevante, pois possibilita o desenvolvimento da propriedade e da região, de acordo com alta produtividade e obtenção de boa renda em áreas relativamente pequenas.

2.2 CULTIVAR 'CLIMAX'

O mirtilo possui três grupos diferentes de cultivares que são Rabbiteye (olho de coelho), Highbush e Lowbush. O grupo Highbush é caracterizado por plantas de porte grande, com alta exigência em frio. Já o Lowbush, possui plantas com menos de meio metro de altura, geralmente utilizados para indústria. As cultivares do grupo Rabbiteye (*Vaccinium ashei*) são nativas do sudeste dos Estados Unidos e são mais sensíveis ao inverno rigoroso do que as cultivares do grupo Highbush (EMBRAPA, 2021), que são muito vigorosas, podendo alcançar de dois a quatro metros de altura (RASEIRA, 2004), elevada longevidade e produtividade, maior tolerância a seca e calor, problemas com fungos e variações de solo, além de ser o grupo mais cultivado no Brasil (SILVA; MELO, 2021). Esse grupo foi desenvolvido em regiões com verões longos e quentes e, geralmente, os frutos possuem película mais grossa, maior perceptibilidade das sementes e textura mais arenosa, sendo considerados de qualidade inferior (STRIK *et al.*, 2014).

Figura 1 – Frutos e planta de mirtilo ‘Climax’.



Fonte: Luis E. C. Antunes (2007)

A cultivar Climax pertence ao grupo Rabbiteye, tem origem na cidade de Tifton, Geórgia (EUA), proveniente do cruzamento entre ‘Callaway’ e ‘Ethel’, desenvolvida pela Coastal Plain Experimental Station e o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos. A cv. Climax necessita de aproximadamente 650 horas frio para quebra de dormência, com produção de até 3 kg de fruto por planta no auge da produção (PEREIRA, 2013).

A floração da ‘Climax’ inicia na terceira semana de agosto, com maturação dos frutos no final de novembro, tendo um período de colheita de 21 a 42 dias, com amadurecimento relativamente uniforme (RASEIRA, 2004). Os frutos possuem peso médio de 1,8 gramas, sólidos solúveis entre 10 e 12,4°Brix, com a película coberta por bastante pruína, refletindo em um aspecto bem azulado (RUFATO; ANTUNES, 2016).

2.3 COMPOSTOS FENÓLICOS E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE EM MIRTILOS

Os compostos fenólicos possuem um ou mais anéis aromáticos acoplados a grupos hidroxila. São metabólitos secundários com mais de 8 mil estruturas conhecidas, variando de fenólicos simples, como os ácidos fenólicos, a compostos complexos, como os taninos (ALARA *et al.*, 2021). Eles podem ser classificados em dois grupos principais: não flavonoides (ácidos hidroxibenzeóicos e hidroxicinâmicos e seus derivados, estilbenos e álcoois fenólicos) e flavonoides (antocianinas, flavonóis, flavonas, flavonóis, flavanonas e isoflavonoides) (REBELLO *et al.*, 2013).

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários das plantas e apresentam natureza química diversificada e representada por centenas de estruturas químicas (MATTIVI *et al.*, 2002; NICOLETTI *et al.*, 2021). O mirtilo tem uma coloração característica azul arroxeada, que evidencia seu alto conteúdo de compostos fenólicos, flavonoides e antocianinas. Os compostos fenólicos derivam de interações entre biossíntese, transporte, compartimentalização e degradação; e interferem diretamente na pigmentação, regulação do crescimento celular e na defesa contra patógenos (DELOIRE *et al.*, 1998).

A falta de água e estresse por irradiação ultravioleta aumentam a produção de metabólitos secundários, como os compostos fenólicos e as antocianinas, já a biossíntese dos flavonoides, aumenta quando as plantas são expostas a algum tipo de estresse ou cultivadas em luz brilhante (NICOLETTI *et al.*, 2021). De acordo com Agati *et al.* (2012), o excesso de luz diária estressa a planta, que acaba reduzindo a atividade antioxidante, aumentando e regulando a biossíntese dos flavonoides.

De acordo com Maya-Cano *et al.* (2021), os principais compostos bioativos do mirtilo são os compostos fenólicos, que podem representar até 0,3% do conteúdo dos frutos. Os compostos fenólicos predominantes são ácidos fenólicos, derivados de estilbeno, procianidinas e flavonoides, que incluem flavonóis e antocianinas, como a cianidina, delphinidina, malvidina, petunidina e peonidina (GARZON *et al.*, 2020; GARZON *et al.*, 2010; TOALDO *et al.*, 2015). Há também a presença de carotenoides, fitoesteróis e isoprenoides (NADULSKI *et al.*, 2019; PIIRONEN *et al.*, 2003; TATMAN; MO, 2002).

Segundo Wang *et al.* (2012), as cultivares Owen, Bluegem, Clara, Climax e Centurion estão entre as cultivares do grupo Rabbiteye que apresentaram altos níveis de flavonoides e influenciados pela sua constituição de antocianinas (malvidina, petunidina, delphinidina e cianidina). A qualidade, quantidade e predominância dos compostos bioativos do mirtilo dependem de fatores relacionados ao ambiente de cultivo como composição do solo, clima, época de colheita, exposição solar, localização de frutas no manejo da planta e pós-colheita, além da genética, variedade e processamento dos frutos (FANIADIS *et al.*, 2010; WANG *et al.*, 2017). Além disso, alguns mirtilos tropicais têm apresentado um conteúdo de antioxidantes mais elevados do que as cultivares cultivadas em climas temperados (DASTMALCHI *et al.*, 2011).

Os mirtilos contêm uma mistura complexa de até 27 diferentes antocianinas, e dentre os flavonoides, os dois principais são quercetina e mircetina (NICOLETTI *et al.*, 2021). As antocianinas são um subgrupo dos flavonoides e são responsáveis pelas cores azul, roxa, violeta, magenta. São pigmentos que ocorrem de forma natural em plantas, derivadas das reações mono e diglicosídicas das antocianidinas. A diferença entre estes compostos está no número de hidroxilas e metoxilas, no tipo, número e local onde os açúcares estão ligados (KOWALCZYK *et al.*, 2003; FENNEMA, 2010).

A síntese de antocianinas e outros compostos fenólicos é influenciada por fatores bióticos e abióticos, como radiação solar, temperatura, pH do solo e ataques de patógenos. Além disso, as diferenças observadas nas quantidades de antocianinas e compostos fenólicos podem ser consideradas como resultado dos diferentes métodos de extração ou dos diferentes solventes de extração usados (MICHALSKA; LYSIAK, 2015).

O glicosídeo da cianidina e delphinidina são antocianinas relativamente polares, por terem dois e três grupos hidroxila abertos no anel B, respectivamente, se tornando menos estável do que as com somente uma hidroxila livre no anel B, como a malvidina e peonidina (FUKUMOTO; MAZZA, 2000). Essa diferença deve ser considerada na estabilidade das antocianinas nos órgãos vegetais que sofrem alterações em processos fisiológicos de acordo com fatores abióticos. A utilização rápida das antocianinas polares na presença das espécies reativas de oxigênio ocorre devido à sua alta reatividade (ALVES *et al.*, 2010).

2.4 BENEFÍCIOS PARA SAÚDE DO CONSUMO DE MIRTILO

A alta capacidade antioxidante do mirtilo, devido sua concentração de compostos fenólicos e antocianinas, tem contribuído para o aumento no consumo deste fruto e consequentemente de sua produção. Seus efeitos benéficos à saúde são derivados desses metabólitos secundários, responsáveis pelo seu reconhecimento como fruta da longevidade.

A ingestão e absorção de compostos bioativos do mirtilo, mesmo em porcentagens baixas, demonstram ações positivas na prevenção e no tratamento de doenças crônico degenerativas (NICOLETTI *et al.*, 2021). A ação anticarcinogênese, redução da ocorrência de doença cardíaca coronária, função no tratamento de

distúrbios do trato urinário, além de contribuições específicas na melhora da memória estão entre os benefícios do consumo regular de mirtilos, contribuindo com a redução de diversos tipos de doenças crônicas (DEL BO *et al.*, 2013; SERAFINI *et al.*, 2009). Além disso, as propriedades redox atuam neutralizando radicais livres, decompondo oxigênio singlete e triplete e peróxido de hidrogênio, supressores e inibidores de enzimas, diminuindo os danos oxidativos celulares (AHERNE; O'BRIEN, 2002).

Whyte *et al.* (2017) observaram que doses diárias de mirtilo melhoram a memória e função motora de crianças em idade escolar. Estudos sobre os efeitos da ingestão de mirtilos no controle cognitivo do humor têm apresentado resultados positivos (KHALID *et al.*, 2017). O consumo regular de mirtilos tem apresentado taxas mais lentas de declínio cognitivo causadas pelo processo de envelhecimento (DEVORE *et al.*, 2012), além de aumento da atividade neural e melhoria no desempenho da memória de trabalho (BOWTELL *et al.*, 2017; WHYTE *et al.*, 2018).

A ingestão contínua de mirtilos, de no mínimo 8 semanas, pode reduzir danos causados por H_2O_2 no DNA (DEL BO *et al.*, 2015). De acordo com Liu *et al.* (2013), os extratos de mirtilo reduziram os danos causados por exposição aos raios ultravioleta (UV) ao DNA, reduzindo a produção e acúmulo intracelular das EROS. Há relatos que as antocianinas desaparecem da corrente sanguínea 4 h após o consumo, porém, também há relatos de um acúmulo no organismo, portanto, o efeito antimutagênico dos mirtilos pode ter uma combinação de efeitos diretos e indiretos (FELGINES *et al.*, 2002; DEL BO *et al.*, 2015; KALT *et al.*, 2008).

Cada vez mais surgem pesquisas explorando o poder dos frutos na saúde humana. De acordo com Cassidy *et al.* (2016), a ingestão de frutos específicos, entre eles o mirtilo, pode ser mais eficaz no controle de doenças cardiovasculares, devido a associação dos flavonoides com a melhora do fluxo sanguíneo e da função endotelial. Chorfa *et al.* (2016) obtiveram bons resultados no uso de mirtilos no tratamento de retinopatia diabética e em fatores de riscos cardiovasculares. Além disso, o consumo de mirtilos tem sido relacionado a redução de risco de infarto do miocárdio em mulheres (CASSIDY *et al.*, 2016).

O mirtilo cumpre um papel de anti-inflamatório para diminuir os efeitos de doenças crônicas, como obesidade e diabetes, regulando a população microbiana intestinal (HIDALGO *et al.*, 2012). Portanto, de acordo com Kalt *et al.* (2001), os antioxidantes presentes no mirtilo podem auxiliar na diminuição dos danos causados

por EROS no corpo, além do seu consumo supostamente promover boa saúde, através da diminuição do risco de doenças degenerativas.

2.5 COMPOSTOS VOLÁTEIS

Os voláteis são responsáveis pelo aroma e são principalmente representados por ésteres, álcoois, terpenoides, aldeídos, cetonas e lactonas (GU *et al.*, 2022). A comunicação e interação das plantas com o ambiente é realizada pelos compostos voláteis, que são sintetizados e produzidos para compensar a imobilidade das plantas (DUDAREVA *et al.*, 2006), além de atrair polinizadores, proteger de patógenos e se comunicando interplantas (DUDAREVA *et al.*, 2013).

Os compostos voláteis são derivados principalmente de carboidratos, ácidos graxos, carotenoides e aminoácidos (CADWALLADER, 2005). Eles podem ser compostos primários ou secundários. Os primários são sintetizados na maturação pelas vias anabólicas ou catabólicas e reações catalisadas por enzimas, enquanto os secundários são produzidos na ruptura de tecidos ou reações catalisadas por enzimas. Portanto, o perfil do aroma pode ser influenciado ao analisar frutos intactos, que refletem o aroma que o consumidor sente e os sinais de amadurecimento, ou maceradas, que indicam o sabor durante a alimentação (SONG; FORNEY, 2008).

O melhoramento genético, durante anos, visou melhorar e manter a qualidade externa dos frutos, aumentando o tamanho dos frutos, vida útil, resistência a doenças, cor e rendimento, o que pode ter tido consequências não intencionais na qualidade sensorial (TIEMAN *et al.*, 2017). Entretanto, os consumidores preferem frutos com aroma de alta qualidade e sabor, o que pode levar ao desenvolvimento de novas cultivares com melhoramento dessas características, mesmo que o valor final seja superior, como o caso do tomate “Tasti-lee” (HARKER *et al.*, 2003; CANTLIFFE *et al.*, 2009).

O sabor é um equilíbrio entre a doçura e a acidez, a baixa adstringência e o aroma, esse último desempenhando o papel principal na contribuição do sabor geral (FOLTA; KLEE, 2016). Os voláteis são aqueles que, sozinhos ou em combinação, podem gerar um aroma, dependendo da concentração dos compostos (SATER *et al.*, 2020). Portanto, mesmo que um fruto sintetize diversos voláteis, sempre terá um subconjunto que será responsável pelo seu aroma característico, sendo a avaliação

desse atributo importante para garantir a seleção e comercialização de frutos de alta qualidade. Por exemplo, o linalol, butanoato de etila, butanoato de metila e furaneol são responsáveis por aumentar a doçura em morangos (SCHWIETERMAN *et al.*, 2014).

A biossíntese de compostos voláteis ocorre em todos os órgãos da planta: raízes, caules, folhas, frutos, sementes, bem como flores, que liberam as maiores quantidades e diversidade (MUHLEMANN *et al.*, 2014). A biossíntese volátil em frutos climatéricos e não climatéricos é altamente integrada com amadurecimento dos frutos. Os mirtilos são frutos climatéricos e respondem ao etileno, porém, o seu sabor não melhora após a colheita (DUAN *et al.*, 2018). A regulação da expressão gênica, a biossíntese e produção de voláteis está relacionado a transdução de sinal e é dependente de etileno (LU *et al.*, 2018; YANG *et al.*, 2016). Portanto, uma compreensão sobre o amadurecimento dos frutos pode esclarecer a produção de voláteis e a sua ligação com diversos fatores, como aplicação de 1-MCP, AVG e etileno, e seu controle.

O aroma dos mirtilos depende de muitos fatores, como a cultivar, maturação, condições de armazenamento. A grande variabilidade genética no aroma do mirtilo resulta em diferenças de sabor entre as cultivares (DU *et al.*, 2011). O perfil de aroma de mirtilo rabbiteye é dominado por aldeídos de odor de folha verde, como hexanal e (E)-2-hexenal, com níveis altos de monoterpenos, como o linalol (DU; ROUSEFF, 2014), enquanto para os highbush contém principalmente acetato de etila, (E)-2-hexenal, (E)-2-hexenol, hexanal, (Z)-3-hexenol, linalol e geraniol (DU *et al.*, 2011). Estes resultados indicam que os voláteis dominantes de aroma são diferentes para cada cultivar de mirtilo.

Os terpenos são a família mais abundante e diversa de metabólitos secundários de plantas e óleos essenciais, incluindo mais de 30.000 compostos (MCGARVEY; CROTEAU, 1995), sendo os monoterpenos com papel crucial no aroma único de mirtilos (GU *et al.*, 2022). Os precursores dos terpenos, o isopentenil difosfato (IPP) e dimetilalil pirofosfato (DMAPP), são gerados a partir da rota do ácido melavônico (MVA) no citosol e a via do 2-metileritritol 4-fosfato (MEP) no plastídeo (PULIDO *et al.*, 2012). As etapas reguladoras da síntese e as vias bioquímicas ainda são desconhecidas, muito ainda precisa ser elucidado quanto aos fatores internos e externos que influenciam a biossíntese dos voláteis (PICHERSKY *et al.*, 2006), porém, avanços foram feitos nos últimos anos para melhorar a

compreensão fisiológica da biossíntese e regulação dos voláteis (SONG; FORNEY, 2008).

Alguns estudos demonstram a capacidade dos compostos voláteis de promoverem a saúde, com efeito anti-inflamatório, anticancerígeno, antiobesidade e antidiabéticos, sendo os monoterpenos, como linalol e geraniol, com resultados positivos *in vitro* e *in vivo*, sugerindo um efeito potencial na saúde (GOMES *et al.*, 2017; AGUIAR *et al.*, 2021; ALVARENGA *et al.*, 2021). Mais pesquisas devem ser realizadas para melhor elucidar a ação benéfica a saúde dos compostos voláteis e confirmar a bioatividade.

2.6 MANEJO PÓS-COLHEITA DE MIRTILOS

O armazenamento de mirtilos é mais longo que outras bagas, porém, a sua suscetibilidade a decomposição, principalmente causada pelo fungo *Botrytis cinerea*, aumenta a perecibilidade e reduz sua vida útil (RIVIERA *et al.*, 2013).

De acordo com Daniels *et al.* (2018), a firmeza e textura do mirtilo é responsável pela maior aceitabilidade do consumidor, ao perceberem uma fruta fresca e de qualidade, portanto, a manutenção dessa característica é uma das principais a se considerar no manejo pós-colheita. A perda da integridade da parede celular leva a descoloração dos frutos, tornando-os azul escuros ou até a morte celular, sendo observado pela coloração marrom avermelhada (ALLAN-WOJTAS *et al.*, 2001), diminuindo a atratividade dos frutos ao consumidor.

As diferentes cultivares de mirtilo apresentam características distintas sobre o armazenamento prolongado, sendo fundamental elucidar o melhor método para garantir mirtilos frescos e de qualidade durante todo ano, nos períodos de entressafra (FARNETI *et al.*, 2022).

De acordo com Ji *et al.* (2013), o armazenamento a frio é um meio eficaz para prolongar a vida útil de mirtilos, porém, devido aos danos causados pela cera cuticular e transpiração os frutos tendem a amolecer rapidamente após o armazenamento a 0°C (GAO *et al.*, 2015). Os absorvedores de etileno demonstram um bom potencial para manter a qualidade das frutas, removendo o etileno do ambiente por absorção e oxidação (ABE; WATADA, 2010; SHARMA; SHARMA, 2016). O etanol também auxilia na manutenção pós-colheita ao atuar no metabolismo dos polissacarídeos da parede celular (JI *et al.*, 2021b).

2.7 EFEITOS DO ETILENO SOBRE A QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MIRTILOS

O etileno é um hormônio vegetal, gasoso, incolor e com leve aroma adocicado, ele tem um papel regulador em processos de crescimento, desenvolvimento e morte da planta (DHALL, 2013).

As frutas são agrupadas em duas categorias, climatéricas ou não climatéricas. As frutas climatéricas apresentam um aumento da taxa de respiração e no aumento do etileno no início do amadurecimento das frutas, sendo o principal fitormônio regulador das alterações de amadurecimento (SEYMOUR *et al.*, 2013). O etileno é sintetizado a partir da metionina, que energizada por um ATP, produz S-adenosil metionina (SAM), que por sua vez, é transformada em ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC), pela enzima ACC sintase (ACS). A ACC sofre ação da enzima ACC oxidase (ACO) e finalmente temos como resultado o etileno.

O climatério respiratório e aumento na produção de etileno não são acentuados em frutas não climatéricas, como uvas (*Vitis vinífera*) e morangos (*Fragaria x ananassa*). Nesse grupo, o etileno não funciona como regulador primário do amadurecimento, porém, a produção e sinalização são importantes na regulação de outros aspectos do amadurecimento (ALOS *et al.*, 2017). Alguns autores descrevem o ácido abscísico (ABA) e a auxina como primordiais na regulação do amadurecimento de frutas não climatéricas (MOYA-LEÓN *et al.*, 2019; FENN; GIOVANNONI, 2021).

Ortiz *et al.* (2018), sugerem que o mirtilo exibe um comportamento típico de amadurecimento climatérico quando ainda ligados a planta. Estudos atuais descrevem o amadurecimento do mirtilo como climatérico, com pico na taxa de respiração e produção de etileno (COLLE *et al.*, 2019; YAN *et al.*, 2020), não climatérico (COSTA *et al.*, 2018; CHUNG *et al.*, 2019) ou controverso na sua classificação (CAPPAI *et al.*, 2018; WATANABE *et al.*, 2021). Alguns autores defendem o mirtilo como fruto não climatérico, devido ao papel do ABA no amadurecimento, coloração e acúmulo de antocianinas (BURAN *et al.*, 2012; WANG *et al.*, 2018; KARPPINEN *et al.*, 2013). Porém, resultados de trabalhos sobre aplicação de etileno (COSTA *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2020), e uso de absorvedores de etileno (ÁLVAREZ-HERNANDEZ *et al.*, 2019), 1-metilciclopropeno (1-MCP)

(BRACKMANN *et al.*, 2010; XU *et al.*, 2020), no armazenamento de mirtilos, apresentaram resultados contrastantes, não sendo suficientes para se concluir sobre o papel do etileno no amadurecimento de mirtilos. Farnetti *et al.* (2022) e Wang *et al.* (2022) observaram que a taxa de produção de etileno no amadurecimento de mirtilos tem uma alta variação de acordo com o genótipo de estudo.

O etileno pode ser removido do ambiente por meio de tecnologias que atuam absorvendo, adsorvendo ou oxidando o etileno, preservando a qualidade de frutas por longos períodos (CHOPRA *et al.*, 2017). Wang *et al.* (2018) e Wang *et al.* (2020), descobriram que o uso de absorvedor de etileno reduz o amolecimento dos frutos, além de atuar na degradação da sacarose, sendo um fator crucial na diminuição da pós-colheita de mirtilos.

2.8 ATMOSFERA MODIFICADA NO ARMAZENAMENTO DE MIRTILOS

O armazenamento refrigerado, durante anos, foi a principal técnica pós-colheita utilizada para manutenção da qualidade de frutas. Porém, em mirtilos, o armazenamento a frio pode acarretar o apodrecimento total, amolecimento e desidratação do pedúnculo (ZHOU *et al.*, 2014).

Atualmente, as tecnologias mais utilizadas no armazenamento de mirtilos são a atmosfera modificada (AM) e atmosfera controlada (AC). Essas tecnologias são baseadas na modificação da composição gasosa (O_2 e CO_2) durante o armazenamento (DEFILIPPI *et al.*, 2017). Os valores de O_2 e CO_2 podem ser variáveis, geralmente, em atmosferas controladas o O_2 é estabelecido abaixo de 2kPa e CO_2 acima de 10 kPa, porém, em atmosferas modificadas o O_2 é mantido entre 5 e 10 kPa e CO_2 abaixo de 9kPa (FOLLETT; NEVEN, 2020). Para mirtilos, de acordo com Paniagua *et al.* (2014), as condições de armazenamento recomendadas para mirtilos variam de 5 a 10kPa de O_2 e 10 a 12kPa de CO_2 a 0°C. Para Rodriguez; Zoffoli (2016), a pressão parcial de CO_2 para o armazenamento prolongados de mirtilos não deve ser maior que 6kPa, com associação de tecnologias antifúngicas.

O tipo de embalagem plástica afeta a manutenção da qualidade e o tempo de armazenamento de frutos, devido a resistência da embalagem à permeação do vapor de água. O acúmulo de água devido a condensação da umidade proveniente da transpiração dos frutos, favorece o crescimento de fungos (HORVITZ, 2017).

Atualmente, embalagens comerciais para AM, de PEBD, podem apresentar taxas de trocas gasosas de CO₂ mais altas que de O₂, não conseguindo criar concentrações de CO₂ suficientes para controlar o crescimento de fungos e retardar as perdas de qualidade (MOOR *et al.*, 2014). Porém, para frutos com alto valor agregado, como é o caso das bagas, há embalagens de AM personalizadas com base em taxas de respiração e produção de etileno, para certas quantidades de fruto e com atmosferas desejáveis, como por exemplo as embalagens Xtend® (Stepac, Israel). Koort *et al.* (2018), observaram o aumento da vida útil de mirtilos lowbush e highbush por 15 e 9 dias, respectivamente, ao utilizar embalagens Xtend® no armazenamento.

O uso de AM reduz a incidência de podridão e decomposição de mirtilos em armazenamento a frio por até 45 dias, ao reduzir a respiração da fruta e inibir o crescimento de patógenos devido ao baixo oxigênio (RODRIGUEZ; ZOFFOLI, 2016). A AM é um método consolidado para o armazenamento de mirtilos por períodos prolongados, preservando as suas propriedades físico-químicas e diminuindo a incidência de patógenos (BELL *et al.*, 2021). Porém, é necessário combinar esse método com outras tecnologias, como absorvedores de etileno, aplicação de etanol, a fim de aumentar o armazenamento por longos períodos.

Sendo assim, absorvedores de etileno à base de permanganato de potássio (KMnO₄) são a tecnologia mais conhecida e mais utilizada na indústria de hortifruti (GAIKWAD; LEE 2017). KMnO₄ é um agente ecológico que oxida o etileno (C₂H₄) a CO₂ e H₂O, sendo considerados uma tecnologia de baixo custo e fácil aplicação (DASH *et al.*, 2009), podem ser usados em embalagens (como embalagens ativas), instalações de armazenamento, veículos de transporte e geladeiras (KELLER *et al.*, 2013). Os absorvedores de etileno a base de KMnO₄ são impregnados com o gás em um material inerte, como por exemplo sílica em gel, com uma grande área de superfície, para facilitar a interação entre o etileno e o KMnO₄ (WILLS; WARTON, 2004). De acordo com WYRWA; BARSKA (2017), os sachês são selados, com aproximadamente 4 a 6% de KMnO₄. Wang *et al.* (2018), observaram que mirtilos armazenados com sachês de absorvedor de etileno inibem o amaciamento, deterioração, produção de etileno e mantem o conteúdo de compostos fenólicos, principalmente após um longo período.

2.9 APLICAÇÃO PÓS-COLHEITA DE ETANOL EM MIRTILOS

O etanol é um produto do metabolismo anaeróbico das plantas, sendo reconhecido como uma substância segura, além de ser ecologicamente correto, sendo usado efetivamente para controle de doenças pós-colheita em cerejas (CHU *et al.*, 1999), e principalmente para controle de fungos patogênicos (*Alternaria alternata* e *Botrytis cinerea*) em mirtilos (JI *et al.*, 2021).

Fatores como espécie, cultivar, maturidade do fruto, além da dose e duração da exposição dos frutos ao etanol podem afetar a resposta dos frutos, podendo causar dano celular e estresse oxidativo (PESIS *et al.*, 2005). Os benefícios da utilização pós-colheita de etanol já estão estabelecidos, causando retardo da senescência, inibição do etileno e redução da respiração em brócolis (ASODA *et al.*, 2009), uvas (CANDIR *et al.*, 2012) e cerejas (BAI *et al.*, 2011).

Visando a conservação de frutos, estudos têm demonstrado que o vapor de etanol pode ser utilizado como tratamento complementar ao armazenamento refrigerado (LIGHTER *et al.*, 2006). O etanol atua inibindo a respiração e síntese de etileno, suprimindo a expressão de ácido 1-carboxílico -1-aminociclopropano (ACC) sintase e ACC oxidase (ASODA *et al.*, 2009; JIN *et al.*, 2013; WEBER *et al.*, 2020). Além disso, o etanol também pode agir aumentando a capacidade antioxidante de ameixas, aumentando a atividade enzimática da superóxido dismutase e peroxidase (NUNES *et al.*, 2019), bem como retardando o amaciamento de frutas e melhorando o sabor, aumentando os sólidos solúveis, acidez titulável e os aromas de mirtilos (JI *et al.*, 2019).

A ACC oxidase, com a aplicação exógena de etanol, sofre uma regulação negativa da sua expressão gênica, reduzindo a produção de etileno e consequentemente retardando o amadurecimento e amaciamento do fruto (JI *et al.*, 2023). O retardo no amolecimento dos frutos pode ser causado pela ação do etanol no metabolismo dos polissacarídeos da parede celular, além da atividade das enzimas de parede (Ji *et al.*, 2021b). Um estudo recente, realizado por Ji *et al.* (2023), demonstrou que o etanol pode reduzir o nível do metabolismo geral do mirtilo, regulando a expressão gênica da poligalacturonase, glucan-1,3- β -glicosidase e endoglucanase, na via do metabolismo de carboidratos, e retardar a degradação de polissacarídeos da parede celular, como pectina e celulose.

Em bananas, a exposição ao etanol retardou o apodrecimento dos frutos, além de manter a cor verde das bananas por mais tempo, apresentando um efeito inibitório no metabolismo do etileno (FRANÇA *et al.*, 2019). Thewes *et al.* (2021)

observaram que a aplicação exógena de etanol em maçãs 'Elstar' e 'Nicotier' inibiu o etileno, sem aumentar a suscetibilidade dos frutos a podridão, devido ao efeito redutor do etanol no crescimento dos fungos. Ji *et al.* (2023) descobriram que o etanol reduziu significativamente a expressão gênica de proteínas relacionadas à resistência a doenças, como PR-1 e quinase, além de reduzir a ocorrência de reação de defesa mediada pelo ácido salicílico, indicando que o etanol reduz o amaciamento dos frutos causado por infecções fúngicas por meio de efeitos antimicrobianos.

O etanol é um precursor do acetato de etila, que em altas concentrações pode causar odor e sabor desagradáveis em frutos (THEWES *et al.*, 2018), mas em baixas concentrações pode contribuir positivamente para o flavor (WRIGHT *et al.*, 2015). Adicionalmente, a exposição de frutos ao etanol pode reduzir a atividade da catalase, aumentar o nível de H_2O_2 móvel, induzindo danos oxidativos por peroxidação lipídica nas membranas (WANG *et al.*, 2015). Sendo assim, as doses de etanol utilizadas devem ser previamente estudadas para um melhor resultado nas frutas de interesse, aumentando a vida útil e o sabor.

3 HIPÓTESES

- a) A utilização do absorvedor de etileno reduz a perda de firmeza dos frutos durante o armazenamento em atmosfera modificada e manter suas características físico-químicas;
- b) A embalagem de filme de nylon é mais eficiente em manter a qualidade de mirtilos armazenados em AM, quando comparada com as embalagens de polietileno de baixa densidade;
- c) A aplicação de etanol associado a AM ativa, reduz a incidência de podridão e a perda de firmeza dos frutos;
- d) Os frutos mantidos em armazenamento refrigerado apresentam maior perda de qualidade físico-química e funcional do que aqueles armazenados em AM;
- e) A associação da AM com absorvedor de etileno e etanol proporcionam frutos com maior quantidade de compostos bioativos do que os armazenados apenas sob refrigeração ou em AM; e
- f) A AM associada a aplicação de etanol aumenta o perfil aromático dos frutos de mirtilo armazenados.

4 QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA DE MIRTILO SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE ATMOSFERA MODIFICADA

4.1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso da atmosfera modificada com diferentes embalagens, bem como o uso de absorvedores de etileno e etanol associados com a atmosfera modificada sobre a qualidade de mirtilos 'Climax' produzidos no sistema orgânico. Foram realizados dois experimentos nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Os tratamentos avaliados foram controle, atmosfera modificada (AM) com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO₂ (20 kPa CO₂) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno, na safra 2019/20. Na safra 2020/2021, foram avaliados os tratamentos controle, AM com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO₂ (20 kPa CO₂) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno e AM com filme de nylon com absorção de etileno. Cada tratamento foi constituído por 4 repetições e dois tempos de armazenamento (6x2 e 7x2, respectivamente). Os frutos foram avaliados quanto a perda de massa, incidência de podridões, índice de murchamento, taxas respiratória e de produção de etileno, cor da epiderme, força para compressão do fruto, teor de sólidos solúveis e acidez titulável, produtos do metabolismo fermentativo (acetaldeído, etanol e acetato de etila) e açúcares (totais e redutores). Todos os tratamentos foram mantidos sob refrigeração a 1±0,2°C e umidade relativa de 92±2%. No primeiro experimento, o tratamento com filme nylon apresentou uma melhor manutenção da qualidade de mirtilos 'Climax' durante os 90 dias de armazenamento. O controle apresentou maior perda de água e índice de murchamento. A associação de AM + KMnO₄, apresentou diminuição de produção de etileno. O controle aumenta a concentração de acetato de etila e de acetaldeído. A AM associada a aplicação de etanol aumenta o teor de etanol nos frutos após 90 dias de armazenamento. Os açúcares redutores e totais são mais elevados nos frutos do tratamento controle. No segundo ano de experimento, os mirtilos foram colhidos no final da safra, apresentando diferenças nas características iniciais dos frutos, com um grau de maturação elevado. Sendo assim, os tratamentos que foram eficientes no primeiro experimento não foram tão eficazes. O grande destaque do experimento 2, é a manutenção da qualidade dos frutos armazenados em AM + etanol, diminui a produção de etileno e a taxa de respiração, além de diminuir a incidência de podridão e manter a firmeza. AM associado a aplicação de etanol aumenta a concentração de etanol e de acetato de etila nos frutos após 90 dias de armazenamento. O controle aumenta os açúcares redutores após 90 dias de armazenamento. Os açúcares totais diminuem com o prolongamento do tempo de armazenagem.

Palavras-chave: *Vaccinium spp.*; orgânico, 'Climax', pós-colheita, armazenamento prolongado.

4.2 INTRODUÇÃO

O consumo de mirtilos aumentou consideravelmente nos últimos anos, devido ao seu elevado valor nutricional e benefícios a saúde associados aos seus

compostos bioativos, porém, a sua alta perecibilidade tem sido uma entrave para a comercialização a longas distâncias.

O mirtilo é uma fruta sazonal, que frutifica nos meses de verão, sendo de dezembro ao final de janeiro no hemisfério sul, e de julho a agosto no hemisfério norte. Motivada pela crescente demanda mundial, e atrativos preços da fruta fresca no mercado europeu, nos anos 2000, iniciou uma expansão no cultivo de mirtilo no Brasil (CANTUARIAS-AVILÉS *et al.*, 2014). Sendo assim, a maioria dos países importam mirtilos na entressafra, e devido ao menor custo, geralmente o transporte é realizado por via marítima, podendo levar vários dias a semanas a chegada do produto ao mercado (BOF *et al.*, 2021).

A qualidade pós-colheita de mirtilos é afetada por diversos processos físicos, fisiológicos e patológicos, principalmente doenças fúngicas, como *Botrytis cinerea*, e aspectos de deterioração, como a decomposição, murchamento e amolecimento (PANIAGUA *et al.*, 2014), tornando-a não comercializável.

A manutenção da qualidade pós-colheita depende das condições de armazenamento, sendo uma tecnologia otimizada de armazenamento com atmosfera modificada é necessária para prolongar a qualidade dos frutos de mirtilo no mercado (SMRKE *et al.*, 2021). A atmosfera modificada combinada com uma temperatura de armazenamento ideal aumenta a capacidade de armazenamento de produtos frescos, mantendo a qualidade sensorial e nutricional (MOGGIA *et al.*, 2014), além de reduzir a taxa de respiração e a perda de peso durante o armazenamento (BUGATTI *et al.*, 2020). O uso e desenvolvimento de tecnologias inovadoras de conservação para prevenir, ou pelo menos retardar, a perda dos atributos de qualidade do mirtilo é de grande interesse (BOF *et al.*, 2021). Portanto, somente a utilização de AM com baixas temperaturas não vêm sendo suficiente para uma manutenção de qualidade de mirtilos, sendo necessário a associação com outras tecnologias, como fumigação de etanol e uso de absorvedores de etileno.

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso da atmosfera modificada com diferentes embalagens, bem como o uso de absorvedores de etileno e etanol associados com a atmosfera modificada sobre a qualidade de mirtilos 'Climax' produzidos no sistema orgânico.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos nas safras 2019/2020 e 2020/2021 com mirtilos 'Climax', produzidos no sistema orgânico, colhidos em pomar comercial no município de Lages, SC (27° 48' 58" S de latitude, 50° 19' 34" O de longitude e 884 m de altitude). Os frutos foram colhidos maduros, quando apresentaram coloração azul escura e com presença de pruína, e transportados ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV – UDESC). Após os frutos foram selecionados, eliminando-se aqueles com defeitos ou doenças e então foram homogeneizados e separados em 24 e 28 unidades experimentais, respectivamente, constituídas por 250 g de frutos. Os frutos de cada unidade experimental foram acondicionados em bandejas de polietileno tereftalato com dimensões (largura, comprimento e altura) de 112mm x 108 mm x 51 mm. Os tratamentos avaliados foram controle, atmosfera modificada (AM) com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO₂ (20 kPa CO₂) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno, na safra 2019/20. Na safra 2020/2021, foram avaliados os tratamentos controle, AM com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO₂ (20 kPa CO₂) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno e AM com filme de nylon com absorção de etileno. Cada tratamento foi constituído por 4 repetições. Todos os tratamentos foram mantidos sob refrigeração a 1±0,2°C e umidade relativa de 92±2%.

Nos tratamentos em AM com filme de nylon foi utilizada a embalagem Xtend® (Stepac – Israel), enquanto os tratamentos em AM com PEBD foi utilizado uma embalagem com espessura de 40µm, em ambas as safras.

Nos tratamentos de AM passiva, após a colocação dos frutos na embalagem, foi realizada a sucção do ar contido no interior da embalagem até que o filme de PEBD moldasse a caixa de papelão para retirada do excesso de ar. No tratamento AM ativa com alto CO₂ foi realizada sucção de ar, como descrito para os tratamentos com AM passiva, contudo, após a sucção do ar, foi injetado CO₂ para atingir a pressão parcial inicial preestabelecida (20 kPa CO₂). O gás CO₂ foi proveniente de cilindro de alta pressão, com concentração de 99,9%.

A aplicação de etanol foi realizada por volatilização. As quatro repetições previamente embaladas em bandejas PET foram acondicionados em tambores de 40 litros por 18 horas ($20 \pm 5^\circ\text{C}$ e $60 \pm 5\%$ de UR), onde se colocou 10 mL kg^{-1} de etanol em placas de Petri.

Nos tratamentos com absorção de etileno foi colocado no interior da embalagem, antes de seu fechamento, 2 sachês absorvedores de etileno da marca Always Fresh.

Durante o armazenamento foi realizada semanalmente a análise da composição atmosférica (O_2 e CO_2), no interior das embalagens dos tratamentos em AM, com auxílio um analisador eletrônico de O_2 e CO_2 (Shelle, Alemanha) (Figuras 1 e 3).

Os frutos foram avaliados quanto a perda de massa, incidência de podridões, índice de murchamento, taxas respiratória e de produção de etileno, cor da epiderme, força para compressão do fruto, teor de sólidos solúveis e acidez titulável, produtos do metabolismo fermentativo (acetaldeído, etanol e acetato de etila), teor de açúcares (totais e redutores).

Os frutos utilizados no experimento, na safra 2019/20, apresentavam características de maturação e qualidade constantes na Tabela 1.

Tabela 1 – Luminosidade, Cromaticidade, ângulo hue, a^* ; b^* ; Taxa de respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e produção de etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), sólidos solúveis ($^\circ\text{Brix}$), acidez titulável (% ácido cítrico); força de compressão de frutos (N) açúcares redutores (mg L^{-1} glicose) e teor de açúcares totais (mg L^{-1} glicose), de mirtilos ‘Climax’ orgânicos na colheita. Safra 2019/20, Lages – SC.

	Luminosidade	Cromaticidade	Ângulo hue	a^*	b^*	Compressão (N)
Colheita	29,35	4,02	296,55	1,79	-3,59	3,30
	Respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)	Etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)	Sólidos solúveis ($^\circ\text{Brix}$)	Acidez titulável (% ác. Cítrico)	Açúcar redutor	Açúcar total
Colheita	817,59	39,75	12,05	0,158	19,33	64,63

Fonte: Elaborado pela autora, 2021

Na colheita de 2019/20, os mirtilos apresentavam luminosidade de 29,35, cromaticidade de 4,02, ângulo hue 296,55, a^* 1,79 e b^* -3,59. Os sólidos solúveis de $12,05^\circ\text{Brix}$, acidez titulável de 0,158% de ácido cítrico, e força para compressão do fruto de 3,30 N. A taxa de respiração é de $817,59 \eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e produção de etileno de $39,75 \mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

Os frutos da safra 2020/21, foram caracterizados de acordo com a sua maturação e qualidade e os resultados descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Luminosidade, Cromaticidade, ângulo hue, a*; b*; Taxa de respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e produção de etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), sólidos solúveis ($^\circ\text{Brix}$), acidez titulável (% ácido cítrico); força de compressão de frutos (N) açúcares redutores (mg L^{-1} glicose) e teor de açúcares totais (mg L^{-1} glicose), de mirtilos ‘Climax’ orgânicos na colheita. Safra 2020/21, Lages – SC.

	Luminosidade	Cromaticidade	Ângulo hue	a*	b*	Compressão (N)
Colheita	23,59	1,23	358,16	1,76	-0,42	3,04
	Respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)	Etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)	Sólidos solúveis ($^\circ\text{Brix}$)	Acidez titulável (% ácido cítrico)	Açúcar redutor	Açúcar total
Colheita	258,95	33,42	10,57	0,150	12,11	54,6

Fonte: Elaborado pela autora, 2021

Na colheita de 2020/21, os mirtilos apresentavam luminosidade 23,59, cromaticidade 1,23 e ângulo hue de 358,16, a* 1,76 e b* -0,42. Os sólidos solúveis de 10,6 $^\circ\text{Brix}$, acidez titulável de 0,150% de ácido cítrico, e força para compressão do fruto de 3,04 N. A taxa de respiração é de 258 $\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ e produção de etileno de 33,0 $\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$.

A perda de massa fresca foi calculada em função da variação da massa dos frutos, por meio de pesagem em balança semianalítica marca Tecnal, classe II, com precisão de 0,01 grama, sendo expressa em porcentagem.

A avaliação de incidência de podridões e índice de murchamento foi realizada visualmente, contabilizando os frutos que apresentam características de infecção fúngica e os resultados expresso em porcentagem. Os valores de índice de murchamento são de 1-4, sendo o 4 de 75 -100% de murcha.

As taxas respiratória e de produção de etileno foram obtidas pela concentração de CO_2 e C_2H_4 , respectivamente, no interior do recipiente de 0,5 L após 60 minutos de seu fechamento. Depois desse período, para a quantificação de etileno, utilizando-se uma seringa plástica de 1,0 mL, foram coletadas 4 amostras da atmosfera do espaço livre destes recipientes, as quais foram injetadas em um cromatógrafo a gás (Perkin Elmer, EUA), equipado com coluna Porapak N $^\circ$ de 3 m de comprimento (80-100 mesh) e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, detector e injetor foram 70, 250 e 130 $^\circ\text{C}$ respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético foram de 70, 45 e 450 mL min^{-1} ,

respectivamente. A concentração de CO₂ acumulada no recipiente foi quantificada por meio de um analisador eletrônico de O₂ e CO₂ (Schelle®, Alemanha).

A força para compressão do fruto foi determinada com texturômetro eletrônico TAXT-Plus® (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido), utilizando a plataforma modelo P/75, com 75 mm de diâmetro, com velocidades de pré-teste, teste e pós-teste de 30, 1 e 30 mm s⁻¹, respectivamente, sendo determinada a força de compressão até a deformação de 3 mm na superfície do fruto. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Para a cor da epiderme foi utilizado um colorímetro, modelo CR 400 (Konica Minolta, Japão), determinando-se o ângulo *hue* (*h*°), L (luminosidade), C (croma), h (tonalidade), em dois pontos opostos do fruto, na região equatorial, a fim de obter dados da cor de fundo e de recobrimento da epiderme.

O teor de sólidos solúveis foi obtido através do refratômetro modelo PR201α (Atago®, Japão) utilizando o suco puro dos frutos e a acidez titulável analisada com uma solução de 5 mL de suco dos frutos e 45 mL de água destilada em um titulador automático TitroLine® Easy, (Schott Instruments, Alemanha), com uma solução NaOH 0,1N até pH 8,1.

Para o conteúdo de etanol, acetaldeído e acetato de etila foram coletados 10 mL de suco de cada amostra, que foram acondicionados em recipientes hermeticamente fechados com tampa de borracha e lacre de alumínio (com capacidade de 20 mL), os quais foram ser congelados até o momento da determinação. Para a determinação, as amostras ficaram em banho-maria por 60 minutos a 70°C. Em seguida, foram coletadas amostras gasosas em triplicata de cada vial e injetadas em um cromatógrafo a gás Clarus 580 da Perkin Elmer, equipado com um detector de ionização por chama (DIC), coluna Elite-wax, com temperatura de injetor a 180°C, e detector 250°C, com um fluxo de gás de 1,0 mL min⁻¹, com uma temperatura inicial de 35°C durante 1 minuto, seguido por um aumento de temperatura para 45°C por 4 minutos, e um aumento para 80°C por 0,1 minuto. O tempo para a retenção dos compostos é de 2,29; 3,64 e 4,44 minutos, para acetato de etila, acetaldeído e etanol respectivamente.

Foram coletas amostras dos frutos de cada repetição para obtenção de extrato para análises de açúcares totais e redutores. As amostras foram congeladas em N líquido e armazenadas em ultrafreezer (-50°C) até o momento da avaliação.

A determinação de açúcares redutores foi realizada de acordo com a metodologia de Somogyi-Nelson descrito por Maldonade et al. (2013a). A curva padrão utilizada foi de glicose com concentrações de 50 mg/L a 500 mg/L, os tubos foram agitados para homogeneização e retirado uma alíquota de 1,0mL de cada concentração para o teste de SN. Para o extrato da fruta, foram pesados 2,5g de polpa de fruta triturada e adicionados 25 mL de água destilada com posterior homogeneização com ultraturrax (Schwabach, Alemanha). A amostra diluída foi centrifugada a 15.000 rpm por 15 minutos. Foi retirada 1mL do sobrenadante e realizada o teste de SN. As leituras foram realizadas a 540nm em leitora de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, USA).

Para determinação de açúcares totais foi utilizado o método DNS (ácido dinitrosalicílico) descrito por Maldonade et al. (2013b), com uma curva padrão de glicose, com concentrações de 0,10 a 1 g.L⁻¹, onde retirou-se uma alíquota de 1 mL para realizar o teste de DNS. Para o extrato, foi pesado 2,5g de amostra previamente triturada e adicionado 25mL de água destilada e homogeneizado com ultraturrax (Schwabach, Alemanha). A amostra diluída foi centrifugada a 15.000 rpm por 15 minutos, e retirado 1mL do sobrenadante para o teste DNS. Também foi realizada a hidrólise da amostra, para leitura dos açúcares não redutores, como a sacarose. A hidrólise foi realizada com 2mL do sobrenadante, adicionado 2mL de HCl 2N e aquecido em banho maria em ebulição durante 10 minutos. A amostra foi resfriada em banho de gelo e acrescentado 2mL de NaOH 2N, homogeneizado com ultraturrax (Schwabach, Alemanha) e retirado 1mL para o teste de DNS. As leituras foram realizadas em leitora de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, USA) a 540nm.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), usando o programa SAS (Learning Edition, 2002). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Dados de porcentagens foram submetidos a transformação pela fórmula arco-sen de $[(x+0,5) / 100]^{1/2}$.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.4.1 Safra 2019/20

A variação da composição da atmosfera interna das embalagens durante o armazenamento por 52 dias é demonstrada nas Figuras 2a e 2b, e para os 90 dias, nas Figuras 2c e 2d. As embalagens não conseguiram manter um alto nível de CO₂

e baixo O_2 , provavelmente devido à baixa quantidade de frutos na embalagem, visto que foram armazenados 1kg de fruto por tratamento.

Os frutos armazenados em AM ativa apresentaram pressão parcial de 2,3 kPa de CO_2 durante os primeiros cinco dias (Figura 2a). Aos 10, 21 e 52 dias, a AM + $KMnO_4$ apresentou pressão parcial de CO_2 similar a AM ativa. Os demais tratamentos apresentaram pressões parciais semelhantes durante todo o período de armazenamento.

Após 5 dias de armazenamento, AM ativa apresentou pressão parcial de 15kPa de O_2 , aumentando a cada leitura e sendo similar aos demais tratamentos de AM (Figura 2b). O filme nylon apresentou uma média linear de pressão parcial de O_2 até o 42º dia de armazenamento.

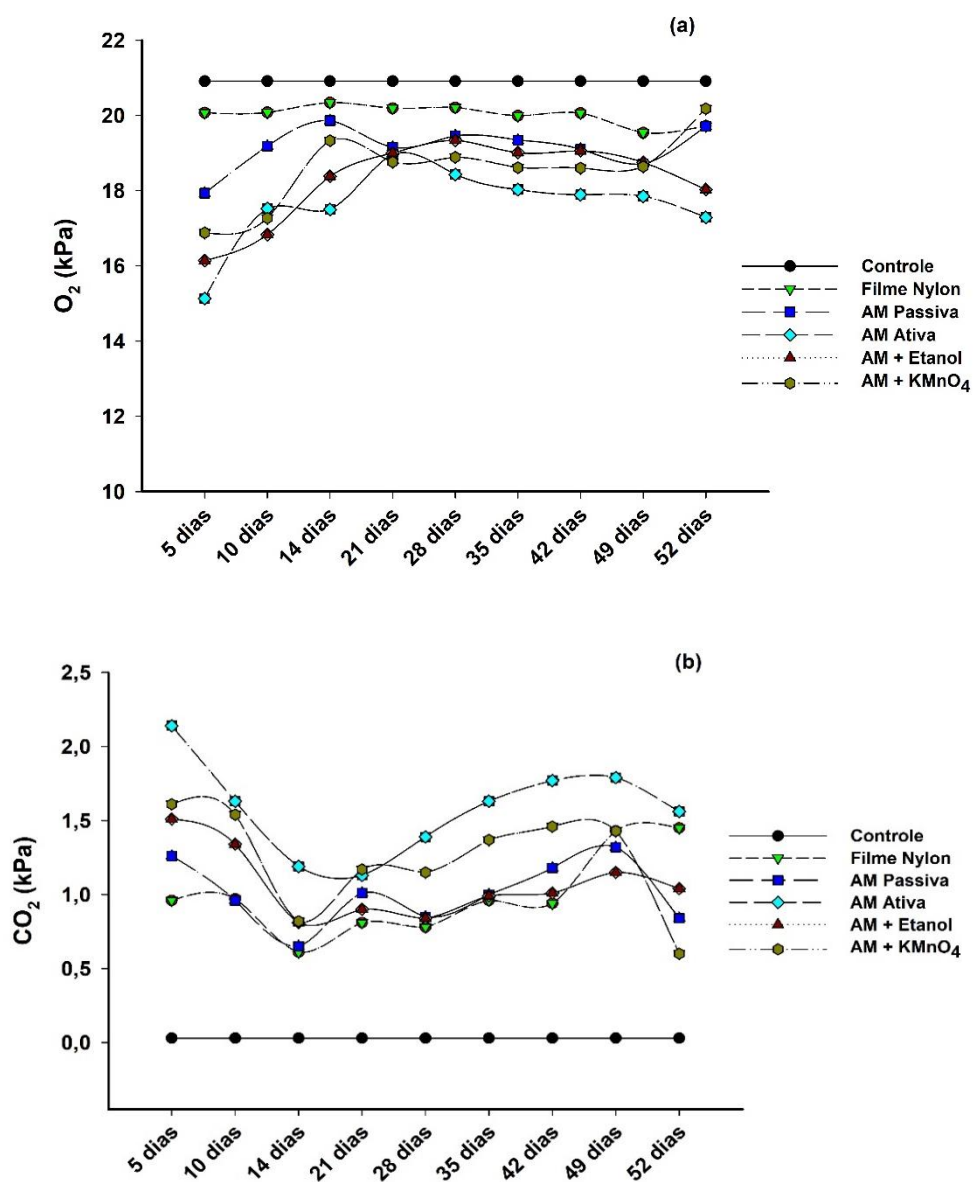
A pressão parcial de CO_2 aos dez dias de armazenamento, foi maior na AM ativa, se tornando similar após 21 dias (Figura 2c). Os demais tratamentos apresentaram o mesmo comportamento.

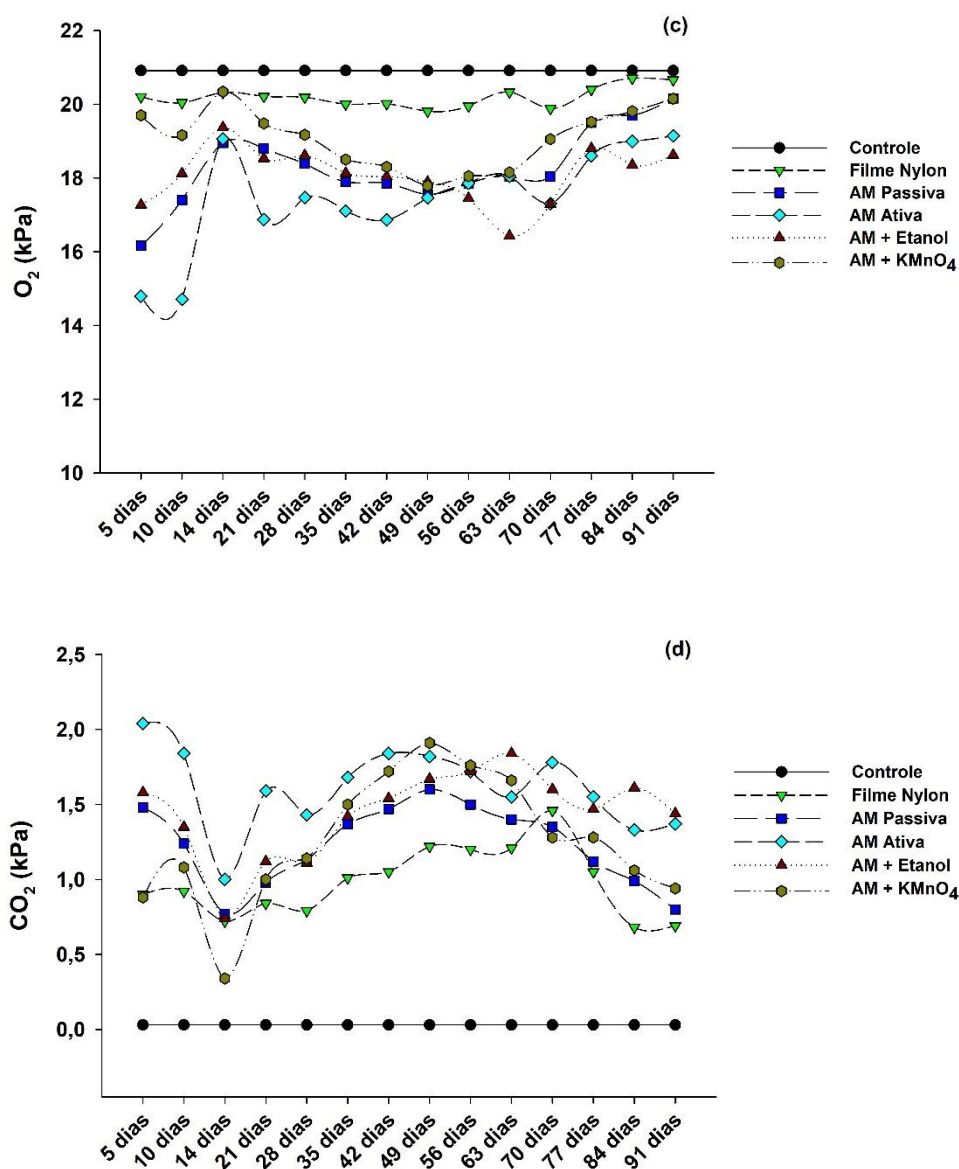
O filme nylon apresentou novamente um comportamento linear na manutenção da pressão parcial de O_2 (Figura 2d). A AM ativa exibiu menores pressões parciais de O_2 apenas nos primeiros dez dias de armazenamento, se assemelhando aos demais tratamentos até a retirada dos frutos.

É necessário observar a relação da massa de frutos/área superficial da embalagem, visto que eles apresentam forte influência sobre a modificação da atmosfera (STEFFENS, 2006). O filme de Nylon (Xtend, da Stepac®), possui dimensão de 65 x 47 cm, obtendo uma área de filme de 3.055cm². No primeiro ano, a massa dos frutos armazenados, foi de aproximadamente 1000 g (4 repetições de 250 g de frutos). O filme PEBD, possui dimensão de 89,5 x 90,5 cm, obtendo uma área de filme de 8.099,75 cm². Sendo assim, a relação é de 0,123 g.cm⁻².

A relação entre a massa de frutos/área da embalagem não foi suficiente para manter a concentração de gases necessária. As diferenças de O_2 , durante todo o período de armazenagem, não foram suficientes para reprimir o metabolismo do fruto. Idem ao CO_2 , com exceção nos primeiros dias de armazenagem onde a pressão parcial partiu de 20 kPa reduzindo rapidamente ao longo dos dias, com pequenas diferenças entre as condições de AM.

Figura 2 – Porcentagem de pressão parcial de O_2 e CO_2 durante armazenamento de mirtilos 'Climax' durante 52 dias (a, b) e 90 dias (c, d), respectivamente. Safra 2019/20, Lages – SC.





Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A taxa de produção de etileno após 52 dias de armazenamento (Tabela 3) foi menor no controle, diferindo de AM ativa (31,86 e 47,83 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$ respectivamente). Todos os tratamentos apresentaram aumento com o tempo de armazenamento, exceto os frutos armazenados em AM + etanol, mantendo uma produção etileno estável.

A taxa respiratória foi superior no controle, AM + etanol e AM + $KMnO_4$, diferindo dos demais tratamentos, após 52 dias de armazenamento (481,99; 423,71 e 397,4 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$, respectivamente). Aos 90 dias AM + $KMnO_4$, apresentou os maiores valores de respiração (766,43 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$), diferindo dos demais tratamentos. Com o aumento do tempo de armazenamento, apenas o

controle e AM + etanol não aumentaram a taxa respiratória, enquanto os demais apresentaram acréscimo na respiração.

Brackmann *et al.* (2010), utilizando sachês de absorvedores de etileno, observaram uma diminuição na taxa de produção de etileno 25% menor do que nos frutos armazenados em atmosfera normal, após 84h em 20°C. Porém, o mesmo autor não observou diferenças na taxa de respiração, corroborando com os resultados do presente estudo.

Tabela 3 – Taxa de produção de etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

Etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	31,86bB	55,91cA	43,88
Filme Nylon	43,98abB	127,96aA	85,96
AM Passiva	34,02abB	82,29abcA	58,15
AM Ativa	47,83aB	119,22abA	83,52
AM + Etanol	32,33abA	31,33cA	31,82
AM + KMnO_4	33,14abA	61,06bcA	47,10
Média	37,19	79,63	
C.V. (%)	19,08	23,45	
Respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)			
Controle	481,99aA	424,83bA	453,40
Filme Nylon	199,48bB	375,96bA	287,72
AM Passiva	237,34bB	431,54bA	334,44
AM Ativa	282,52bB	385,25bA	333,88
AM + Etanol	423,71aA	380,60bA	402,15
AM + KMnO_4	397,40aB	766,43aA	581,93
Média	337,08	460,76	
C.V. (%)	12,81	25,27	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A perda de massa não apresentou interação entre as condições de armazenagem AM com os tempos de armazenagem (Tabela 4). O tratamento controle apresentou maior porcentagem de perda de massa, provavelmente devido ao armazenamento fora de uma embalagem, sendo pelo menos três vezes mais alto que os demais tratamentos em AM. Os frutos do tratamento AM com embalagem de nylon apresentaram maior perda de massa do que os frutos em AM com embalagem de PEBD. O filme nylon por possuir uma permeabilidade maior à água do que o PEBD permitiu maior perda de água da atmosfera interna da embalagem em relação ao exterior, aumentando o déficit de pressão de vapor entre os frutos a atmosfera.

Todos os tratamentos apresentaram aumento na perda de massa com prolongamento do tempo de armazenamento. Koort *et al.* (2018) também observaram maior perda de massa em mirtilos armazenados em atmosfera normal, seguido dos com filme nylon da marca Xtend®, quando comparados com filme PEBD, como observado no presente estudo em ambas saídas.

A incidência de podridão aos 52 dias foi superior no tratamento AM com alto CO₂ inicial, diferindo do controle e da AM com embalagem de nylon, que apresentaram os menores valores de incidência de podridão. AM com filme nylon apresentaram valores intermediários, entre o controle e demais tratamentos em AM, após 90 dias de armazenamento. A AM com absorção de etileno apresentou maior incidência de podridão, sendo até dez vezes maior que o mesmo tratamento aos 52 dias, após 90 dias. O mesmo comportamento foi observado em AM com PEBD associado a aplicação de etanol pré-armazenamento, com um aumento 10x maior após 90 dias, quando comparado com 52 dias (3,34 para 31,68%). Além disso, o controle teve a menor porcentagem de podridão, em ambos os tempos de armazenagem, provavelmente devido a maior perda de água. Ji *et al.* (2019) observaram uma incidência de podridão de 30% em mirtilos tratados com 250 µL. L de etanol, após 40 dias de armazenamento, sendo similar ao observado no presente trabalho após 90 dias. Paniagua *et al.* (2014) observaram que após 6 semanas de armazenamento, baixas concentrações de oxigênio (2,5% O₂ + 10% CO₂) reduziram significativamente a podridão da cultivar 'Maru' em comparação com o armazenamento ao ar. Porém, como o presente estudo não conseguiu manter a alta concentração de CO₂, e a perda de massa superior no controle, os resultados obtidos foram opostos aos descritos anteriormente. Koort *et al.* (2018) observaram incidência de podridão duas vezes maior em mirtilos 'Northblue' armazenados em embalagem PEBD quando comparados com Xtend®.

O controle apresentou maior índice de murchamento, provavelmente devido a sua maior perda de massa. A AM + etanol apresentou o menor valor de índice de murchamento aos 52 dias, diferindo do controle. Já aos 90 dias, AM + KMnO₄ diferiu do controle. Os índices foram maiores para os frutos armazenados durante 90 dias, assim como a perda de massa. Embora os frutos armazenados em AM com embalagem de nylon apresentaram perda de massa intermediária entre o controle e os frutos dos demais tratamentos em AM, esta perda de massa não implicou em

enrugamento dos frutos, pois apresentou índice de murchamento similar a maioria dos tratamentos AM com embalagem de PEBD.

De acordo com Almenar *et al.* (2008), perdas de massa acima de 5% levam o murchamento e uma firmeza ruim, com sabor crítico para a comercialização de mirtilos. A perda de massa é relacionada a alta intensidade de transpiração dos frutos, que leva ao murchamento dos frutos e dificuldades de comercialização (MATTOS *et al.*, 2013).

Tabela 4 – Perda de massa (%), incidência (%) e índice de murchamento (1-4) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

Perda de massa (%)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	22,82	26,00	24,41 a
Filme Nylon	7,93	8,21	8,07 b
AM Passiva	3,80	4,05	3,92 c
AM Ativa	4,47	5,11	4,79 c
AM + Etanol	3,83	4,26	4,05 c
AM + KMnO ₄	3,77	4,52	4,15 c
Média	7,77 B	8,69 A	
C.V. (%)	4,55	5,92	
Incidência de podridão (%)			
Controle	1,10 cB	5,24 dA	3,17
Filme Nylon	1,90 cB	15,44 cA	8,67
AM Passiva	6,29 abB	32,26 bA	19,27
AM Ativa	10,73 aB	43,12 abA	26,93
AM + Etanol	3,34 bcB	31,68 bA	17,51
AM + KMnO ₄	5,48 bB	53,67 aA	29,57
Média	4,81	30,24	
C.V. (%)	15,06	9,66	
Índice de murchamento (1-4)			
Controle	2,44 aA	2,58 aA	2,51
Filme Nylon	1,55 bB	1,86 bA	1,70
AM Passiva	1,46 bcB	1,71 bA	1,59
AM Ativa	1,36 bcA	1,49 bcA	1,43
AM + Etanol	1,28 cB	1,71 bA	1,50
AM + KMnO ₄	1,37 bcA	1,18 cA	1,27
Média	1,57	1,76	
C.V. (%)	6,26	9,30	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A luminosidade dos frutos controle, em ambas os tempos de armazenagem, não diferiu dos frutos dos demais tratamentos. Porém, a luminosidade aumentou com o incremento no tempo de armazenamento em alguns tratamentos em AM com

filme nylon, e AM Ativa (Tabela 5). Baixos valores de luminosidade, como os observados em AM ativa e AM passiva aos 52 dias, podem ser explicados pela ausência de pruína nos frutos (CANTUARIAS-AVILÉS *et al.*, 2014). Segundo Medeiros *et al.* (2018), a luminosidade de mirtilos 'Climax', cultivados na região sul brasileira, deve ser próxima a 32,30, sendo maior que os resultados obtidos no presente estudo, provavelmente devido a quantidade de pruína. É provável que a pruína afete o valor de L^* (ou seja, quantidades maiores de cera de superfície podem clarear a fruta), bem como a percepção visual da cor da fruta (SAFTNER *et al.*, 2008).

A cromaticidade não apresentou diferenças entre os tratamentos aos 52 dias, mas aos 90 dias, o controle apresentou menor valor, indicando coloração menos intensa, não diferindo apenas da AM passiva. Koort *et al.* (2018), observaram diminuição no valor de croma em mirtilos do grupo lowbush armazenados em embalagem Xtend®, quando comparados com embalagem PEBD.

Aos 52 dias, os valores do ângulo *hue* foram menores que aos 90 dias, indicando uma coloração mais próxima ao roxo escuro. Essa variável não apresentou interação entre os tratamentos e os tempos de armazenamento. Os tratamentos não apresentaram diferenças entre si. Galarça *et al.* (2012) observaram aumento do ângulo *hue* após o armazenamento durante 42 dias a 1,5°C, corroborando com os resultados encontrados.

O a^* também não apresentaram diferenças entre os tratamentos. Porém, o valor médio aos 52 dias foi doze vezes menor que aos 90 dias, quando os frutos apresentavam coloração mais avermelhada. O armazenamento em Xtend conferiu maior coloração avermelhada em mirtilos do grupo 'Lowbush' e da cultivar 'Northblue' (2,0 e 1,5 respectivamente), quando comparados com frutos armazenados em PEBD (0,8 e 0,8 respectivamente) (KOORT *et al.*, 2018).

Tabela 5 – Luminosidade, cromaticidade (C), ângulo hue, a* e b* de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

Luminosidade			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	27,44 abcB	28,05 abA	27,74
Filme Nylon	28,18 abB	29,50 aA	28,84
AM Passiva	26,67 cA	27,69 bA	27,18
AM Ativa	26,53 cB	27,94 bA	27,24
AM + Etanol	27,09 bcA	27,05 bA	27,07
AM + KMnO ₄	28,58 aA	27,89 bA	28,23
Média	27,41	28,02	
C.V. (%)	1,93	2,31	
Cromaticidade			
Controle	2,61 aA	2,44 bA	2,52
Filme Nylon	2,64 aB	3,06 aA	2,85
AM Passiva	2,33 aB	2,99 abA	2,66
AM Ativa	2,31 aB	3,33 aA	2,82
AM + Etanol	2,56 aA	3,07 aA	2,81
AM + KMnO ₄	2,66 aA	2,97 abA	2,82
Média	2,52	2,98	
C.V. (%)	8,66	9,16	
ângulo hue			
Controle	263,43	275,48	269,45 a
Filme Nylon	265,47	288,11	276,79 a
AM Passiva	276,62	288,30	282,46 a
AM Ativa	274,37	265,35	269,86 a
AM + Etanol	275,51	291,75	283,63 a
AM + KMnO ₄	273,77	285,03	279,40 a
Média	271,53 B	282,34 A	
C.V. (%)	3,28	4,11	
a*			
Controle	-0,29	0,22	-0,03 a
Filme Nylon	-0,21	0,94	0,36 a
AM Passiva	0,26	0,95	0,60 a
AM Ativa	0,18	-0,27	-0,04 a
AM + Etanol	0,24	1,15	0,69 a
AM + KMnO ₄	0,16	0,72	0,44 a
Média	0,05 B	0,62 A	
C.V. (%)	25,89	27,54	
b*			
Controle	-2,56 aA	-2,41 aA	-2,49
Filme Nylon	-2,57 aA	-2,91 abA	-2,74
AM Passiva	-2,30 aA	-2,80 abB	-2,55
AM Ativa	-2,28 aA	-3,20 bB	-2,74
AM + Etanol	-2,53 aA	-2,80 abA	-2,67
AM + KMnO ₄	-2,64 aA	-2,78 abA	-2,71
Média	-2,48	-2,82	
C.V. (%)	17,48	18,93	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Já a variável b^* , quando negativa, apresenta coloração azul. A AM passiva e AM ativa apresentaram valores mais negativos aos 90 dias de armazenamento, diferindo dos valores da primeira saída. Aos 52 dias, os tratamentos não diferiram entre si. Porém, aos 90 dias, o controle apresentou maior valor (-2,41), diferindo apenas da AM ativa. Os valores encontrados para a^* e b^* são similares aos encontrados por Xu; Liu (2017) em mirtilos armazenados a 4°C, durante 8 dias, após aplicação de 1-MCP. O escurecimento da cor dos frutos, ou seja, a diminuição dos valores de b^* , é geralmente observada em mirtilos durante o armazenamento refrigerado (CHU *et al.*, 2018). Medeiros *et al.* (2018) observaram valores médios de 2,66 para a^* , indicando uma tonalidade mais avermelhada que os do presente estudo, assim como a variável b^* , com valores médios de -6,29, com uma coloração mais azul escura.

Os sólidos solúveis do controle, em ambas saídas, apresentaram valor mais elevado, indicando frutos mais doces, ou seja, mais maduros, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 6). O aumento dos sólidos solúveis também pode ter sido ocasionado devido à alta perda de massa desses frutos. Sanchez *et al.* (2019) observaram um aumento gradual nos sólidos solúveis de pinhas armazenadas com sachês de permanganato de potássio. O mesmo comportamento foi observado em bananas 'Grand Nine' (SARKAR *et al.*, 2017), demonstrando que o uso de absorvedores diminui a velocidade de amadurecimento de frutos.

A acidez titulável do controle e AM passiva foram menores, diferindo do filme nylon aos 52 dias de armazenamento. Aos 90 dias, o filme nylon apresentou uma redução na acidez titulável, não diferindo apenas do controle. A AM + Etanol apresentou comportamento oposto, com valores de acidez titulável maiores aos 90 dias, quando comparados aos 52 dias. A diminuição da acidez titulável dos frutos pode ser causada pelo aumento do metabolismo e utilização dos ácidos orgânicos (BRACKMANN *et al.*, 2010). Romero *et al.* (2021), aplicando etanol em nova cultivar de uva de mesa, não observou variações nos conteúdos de sólidos solúveis e acidez titulável, diferente dos resultados observados no presente estudo. Brackmann *et al.* (2010), concluíram que o uso de KMnO_4 em mirtilos traz benefícios na manutenção pós-colheita de mirtilos ao aumentar os sólidos solúveis e diminuir a acidez titulável.

A força para compressão do fruto aos 52 dias de armazenamento foi menor em AM + Etanol, que aos 90 dias teve um aumento de 40% na firmeza, não diferindo apenas do controle. Já aos 90 dias, o controle apresentou os menores valores,

diferindo dos demais tratamentos. Fálagan *et al.* (2020) observaram um aumento de 10% na firmeza de mirtilos ‘Duke’ após 7 dias de armazenamento. Já trabalhando com a cultivar “O’Neal” tratadas com 500 $\mu\text{L L}^{-1}$ de etanol, Ji *et al.* (2021) observaram manutenção da firmeza próximo a 4 N após 40 dias a 0°C.

Tabela 6 – Sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido cítrico) e força de compressão de frutos (N) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

Sólidos solúveis (°Brix)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	15,97 aA	16,70 aA	16,33
Filme Nylon	13,20 bA	12,35 bA	12,77
AM Passiva	13,17 bA	11,25 bB	12,21
AM Ativa	12,25 cA	11,17 bB	11,71
AM + Etanol	12,5 bcA	11,37 bB	11,93
AM + KMnO_4	12,22 cA	10,90 bB	11,56
Média	13,22	12,29	
C.V. (%)	3,04	5,78	
Acidez titulável (% ácido cítrico)			
Controle	0,146 bA	0,147 cdA	0,147
Filme Nylon	0,207 aA	0,137 dB	0,172
AM Passiva	0,146 bA	0,175 bA	0,160
AM Ativa	0,178 abA	0,185 abA	0,181
AM + Etanol	0,180 abB	0,202 aA	0,191
AM + KMnO_4	0,170 abA	0,172 bcA	0,171
Média	0,171	0,170	
C.V. (%)	14,23	6,64	
Força de compressão (N)			
Controle	2,90 bcA	2,80 cA	2,85
Filme Nylon	3,26 abA	3,45 abA	3,35
AM Passiva	3,28 aB	3,81 aA	3,55
AM Ativa	3,44 aA	3,40 bA	3,42
AM + Etanol	2,79 cB	3,57 abA	3,18
AM + KMnO_4	3,43 aA	3,42 abA	3,43
Média	3,19	3,41	
C.V. (%)	4,94	5,07	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Na Figura 3a, observa-se a qualidade dos frutos após armazenamento por 52 dias. O tratamento controle apresenta frutos com sintomas de depressão na casca, indicando murchamento dos mirtilos. Os demais tratamentos não apresentam sintomas de podridão, ou murchamento, com uma boa coloração e presença de pruína.

Na Figura 3b, após 90 dias de armazenamento seguido de dois dias em temperatura ambiente, o tratamento controle apresenta frutos com sintomas de

depressão na casca, indicando murchamento dos mirtilos. Os frutos submetidos ao AM com filme PEBD associado a aplicação de etanol, AM com filme de Nylon e AM com PEBD associado ao absorvedor de etileno (KMnO_4) apresentaram melhor qualidade visual, apresentando menor quantidade de frutos com incidência de podridão e coloração avermelhada, indicando a morte celular.

Figura 3 – Frutos de mirtilos ‘Climax’ após 52 dias (A) e 90 dias (B) de armazenamento seguido de 2 dias em condições ambiente ($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ e UR de $65 \pm 10\%$). Safra 2019/20, Lages – SC.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A quantidade de acetato de etila, após 52 e 90 dias de armazenamento, foi maior em frutos do tratamento controle (Tabela 7), diferindo dos demais tratamentos.

O acetaldeído não apresentou interação entre os tratamentos e tempos de saída. O tratamento controle apresentou os maiores conteúdos de acetaldeído, não diferindo apenas de AM + Etanol. Os menores valores observados foram nos frutos embalados com filme nylon.

A quantidade de etanol foi maior nos frutos tratados com a aplicação exógena de etanol, em ambas saídas, diferindo dos demais tratamentos.

Ji *et al.* (2019) observaram um declínio dos valores de etanol e aumento dos valores de acetaldeído com o prolongamento do tempo de armazenamento de mirtilos 'O'Neal'. A concentração de etanol e acetaldeído pode ser alterada pela ação da enzima álcool desidrogenase (ADH), responsável pela transformação do etanol em acetaldeído. De acordo com Pesis (2005), valores de acetaldeído maiores que $1500 \mu\text{L.L}^{-1}$ podem causar danos externos, o que não foi observado no presente estudo, devido à baixa concentração de acetaldeído nos frutos.

A aplicação de etanol tem potencial de diminuir a produção de etileno, principalmente ao converter o etanol em acetaldeído. No presente estudo, a aplicação de etanol com o longo período de armazenamento, foi eficaz ao reduzir a produção de etileno. De acordo com Ritenour *et al.* (1997), alguns tecidos podem ter atividade insuficiente da enzima álcool desidrogenase para metabolizar etanol suficiente para produzir um nível de acetaldeído que possa causar efeito no retardo do amadurecimento. É possível observar um alto valor de acetaldeído no controle e em AM + etanol, justificando a diminuição da produção de etileno. Conforme os resultados observados no presente estudo, pode-se concluir que o aumento do tempo de armazenamento também pode afetar a inibição do etileno.

Tabela 7 – Valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

Acetato de etila ($\mu\text{L L}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	5,60aA	3,44aB	4,52
Filme Nylon	0,27cA	0,06cB	0,17
AM Passiva	0,06cA	0,06cA	0,06
AM Ativa	1,30bA	0,65bB	0,98
AM + Etanol	0,33bcA	0,35bcA	0,34
AM + KMnO_4	0,48bcA	0,11cA	0,29
Média	1,34	0,78	
C.V. (%)	32,98	29,69	
Acetaldeído ($\mu\text{L L}^{-1}$)			
Controle	1,21	1,13	1,17a
Filme Nylon	0,81	0,70	0,75c
AM Passiva	0,73	0,90	0,82bc
AM Ativa	0,93	0,78	0,85bc
AM + Etanol	0,99	1,02	1,01ab
AM + KMnO_4	0,95	0,83	0,89bc
Média	0,94A	0,89 ^a	
C.V. (%)	10,57	20,78	
Etanol ($\mu\text{L L}^{-1}$)			
Controle	0,62cB	2,01bA	1,32
Filme Nylon	0,85cA	0,58bA	0,71
AM Passiva	0,73cA	0,87bA	0,80
AM Ativa	0,62cB	1,47bA	1,04
AM + Etanol	9,92aA	10,38aA	10,15
AM + KMnO_4	2,81bA	1,36bB	2,09
Média	2,59	2,78	
C.V. (%)	13,44	34,74	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Os açúcares redutores apresentaram os maiores valores no controle, em relação aos demais tratamentos, em ambos os tempos de armazenamento, provavelmente devido ao alto índice de murchamento e perda de massa apresentados pelos frutos (Tabela 8).

Os teores de açúcares totais também foram mais elevados no controle aos 52 e 90 dias de armazenamento. Aos 52 dias, o filme nylon exibiu os menores valores de açúcares totais, diferindo apenas do controle e AM + KMnO_4 (Tabela 8). Segundo Wang et al. (2020), as mudanças que ocorrem no metabolismo dos açúcares acompanham o amolecimento e degenerescência dos frutos de mirtilo.

O comportamento do teor de açúcares redutores é semelhante ao observado nos sólidos solúveis em ambas as saídas, destacando a importância da presença da

frutose e glicose. Além disso, ao observarmos os resultados da força de compressão dos frutos, o controle, que apresentou menores valores de compressão, é o mesmo que tem elevado teor de sólidos solúveis e açúcares redutores, demonstrando a relação dessas avaliações, visto que o açúcar pode ser proveniente de três fontes após a colheita: ácidos orgânicos, amido e parede celular. A degradação da parede celular, de acordo com Cordenunsi et al. (2003), é um dos responsáveis do acúmulo de açúcar durante o armazenamento de frutas vermelhas frescas.

Tabela 8 – Teor de açúcares redutores (mg. L⁻¹ glicose) e teor de açúcares totais (mg. L⁻¹ glicose) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

Açúcares redutores			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	23,6aA	23,9aA	23,7
Filme Nylon	21,2bA	21,1bA	21,1
AM Passiva	21,7bA	20,1bB	20,9
AM Ativa	21,5bA	19,5bB	20,5
AM + Etanol	21,4bA	20,0bB	20,7
AM + KMnO ₄	21,3bA	19,9bB	20,6
Média	21,8	20,7	
C.V. (%)	2,4	4,1	
Açúcares totais			
Controle	88,9aA	78,3aB	83,6
Filme Nylon	66,1cA	66,4bA	66,3
AM Passiva	67,9bcA	63,6bA	65,4
AM Ativa	66,9bcA	59,8bB	63,4
AM + Etanol	70,5bcA	63,1bB	66,8
AM + KMnO ₄	72,4bA	65,0bB	68,7
Média	72,1	66,0	
C.V. (%)	3,8	4,8	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.4.2 Safra 2020/21

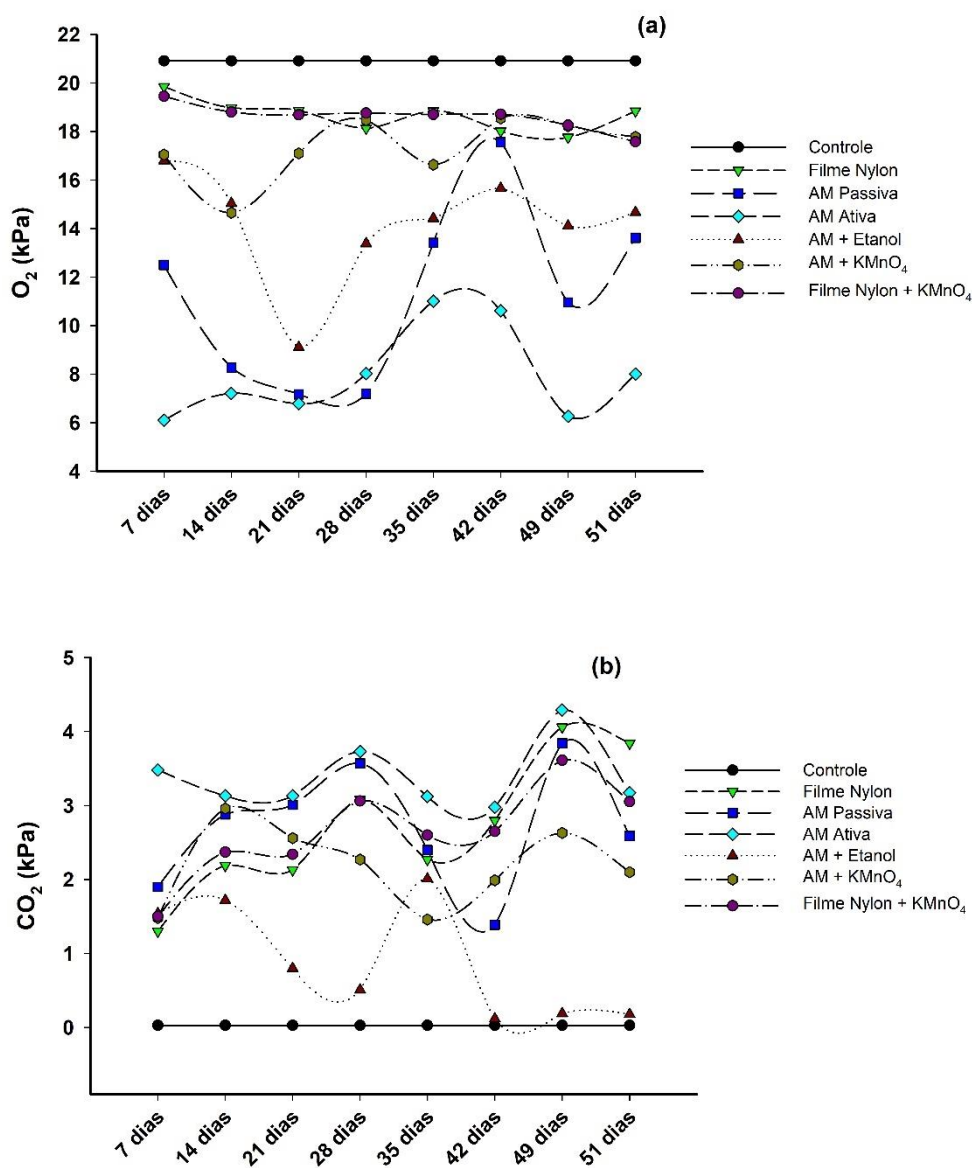
A AM com embalagem filme nylon apresentou um aumento de CO₂ nas últimas duas semanas de armazenamento. A AM associada com etanol apresentou os menores valores de CO₂, tendo um pico acima de 2kPa apenas no dia 9/03, estabilizando abaixo de 0,20kPa até o final do armazenamento (Figura 4a). A pressão parcial do O₂ da AM passiva apresentou variação durante o armazenamento de 52 dias, chegando ao mínimo aos 28 dias (7,2 kPa) e no máximo após duas

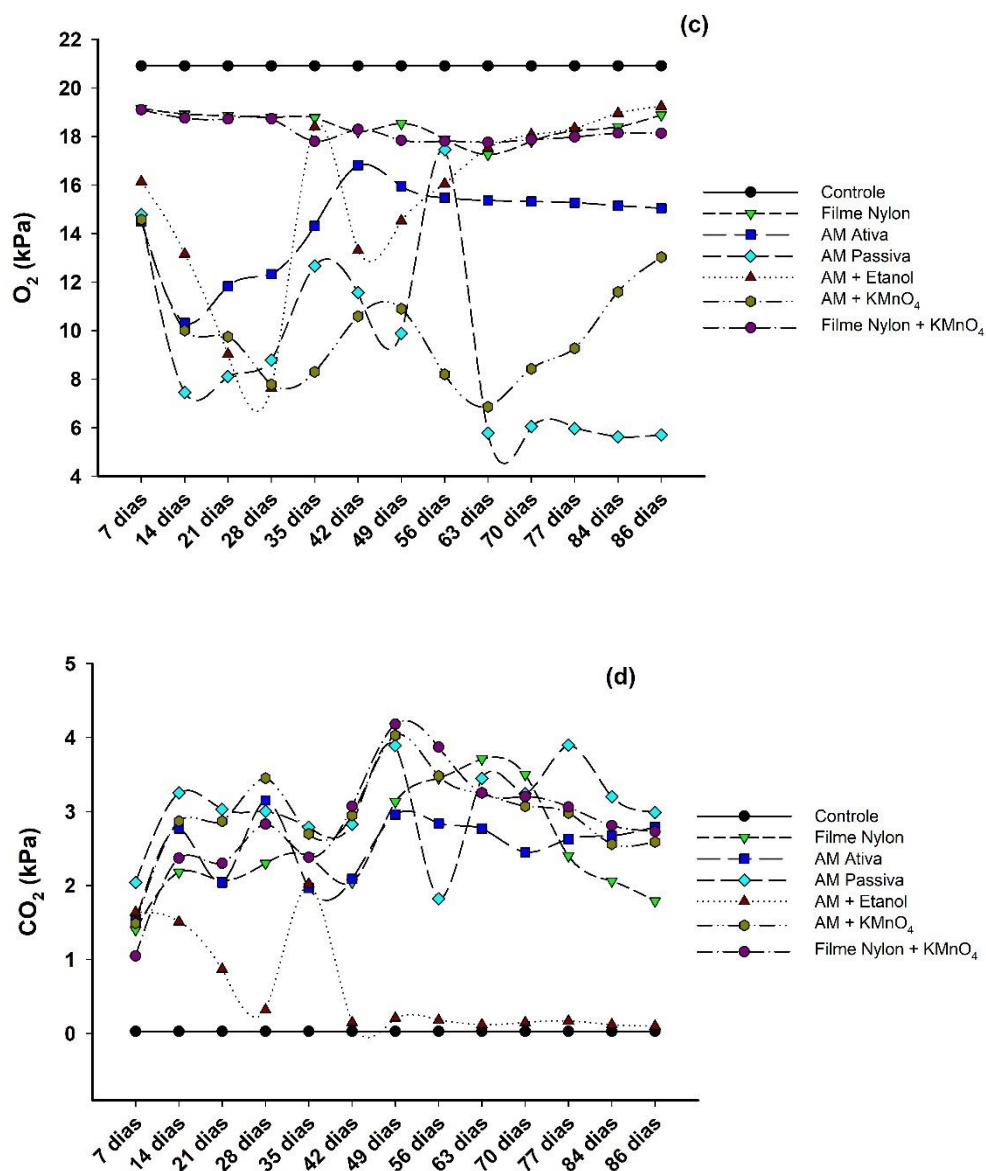
semanas, aos 42 dias (17,56 kPa). Já a AM ativa manteve baixas pressões parciais de O₂ desde o início do armazenamento até o final, mantendo-se abaixo de 10kPa (Figura 4b).

A AM + etanol após 42 dias, apresentou um comportamento linear nas pressões parciais de CO₂, mantendo-se abaixo de 0,20 kPa, após um pico de 2,02 kPa. A embalagem filme nylon manteve o CO₂ acima de 2kPa durante todo o armazenamento, enquanto a sua associação com KMnO₄ apresentou valores próximos a 3kPa (Figura 4c). A AM ativa apresentou um pico de pressão parcial de O₂ aos 56 dias, com posterior decréscimo até o final do armazenamento. Os tratamentos com filme nylon, apresentaram um nível linear de pressão parcial de O₂ durante todo o armazenamento (Figura 4d).

A AM nem sempre consegue alcançar as concentrações de CO₂ e O₂ necessárias. Como relatado anteriormente, após a relação de massa de frutos/área da embalagem na primeira safra não ser suficiente para manter a concentração de gases necessária, na segunda safra foram utilizados o dobro da quantidade de frutos. Com a dimensão da embalagem PEBD de 89,5x90,5 cm, a relação obtida foi de 0,246 g.cm⁻². Porém, a relação também não foi suficiente para reprimir o metabolismo do fruto e manter a concentração de gases. A respiração do fruto fechado dentro da embalagem altera a pressão parcial de estado estacionário de CO₂/O₂, que é influenciada pelas características de transmissão gasosa do filme, a quantidade de fruta e a temperatura de armazenamento (CAMERON *et al.*, 1989).

Figura 4 – Porcentagem de pressão parcial de O_2 e CO_2 durante armazenamento de mirtilos 'Climax' durante 52 dias (a, b) e 90 dias (c, d), respectivamente. Safra 2020/21, Lages – SC.





Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Após 52 dias de armazenamento, os frutos tratados com AM + etanol apresentaram os menores valores de respiração e etileno, demonstrando um retardo na maturação dos frutos. A taxa de produção de etileno foi maior nos frutos tratados com o $KMnO_4$, indicando uma provável saturação do absorvedor.

Ozturk *et al.* (2019), observaram diminuição na taxa de produção de etileno e respiração após 15 dias de armazenamento em AM com filme nylon em cerejas. Wang; Long (2014) não observaram diminuição na taxa de respiração de cerejas 'Bing' e 'Sweetheart' após armazenamento por 6 semanas em AM com filme nylon.

Como mencionado anteriormente, a análise de taxa de produção de etileno e respiração não foi realizada devido à baixa quantidade de frutos sadios após 90 dias de armazenamento.

Tabela 9 – Taxa de produção de etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

	Etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)		Média
	52 dias	90 dias	
Controle	27,14 cd	-	
Filme Nylon	55,62 abc	-	
AM Passiva	59,13 abc	-	
AM Ativa	76,11 ab	-	
AM + Etanol	0,51 d	-	
AM + KMnO_4	88,65 a	-	
Filme Nylon + KMnO_4	31,21 bcd	-	
Média	48,33	-	
C.V. (%)	41,89	-	
	Respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)		
Controle	414,98 a	-	
Filme Nylon	504,14 a	-	
AM Passiva	648,33 a	-	
AM Ativa	660,64 a	-	
AM + Etanol	10,57 b	-	
AM + KMnO_4	655,86 a	-	
Filme Nylon + KMnO_4	636,03 a	-	
Média	504,36	-	
C.V. (%)	25,53	-	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A perda de massa foi maior nos frutos do tratamento controle em ambas saídas. Aos 52 dias, a menor porcentagem de perda foi observada na AM associada a etanol, diferindo de todos os demais tratamentos (Tabela 10). Já aos 90 dias, ambas atmosferas com embalagem filme nylon apresentaram diferença do controle. De acordo com Ji *et al.* (2021), os frutos tratados com etanol apresentaram uma redução de 25% de perda de massa após 20 dias de armazenamento refrigerado. Moor *et al.* (2014), não observaram diferenças entre o armazenamento de framboesas ‘Polka’ em filme Xtend® ou em AM com filme PEBD.

A AM associada a etanol apresentou os menores valores de incidência de podridão em ambas saídas, sendo menor do que 0,5% aos 52 dias, enquanto os demais tratamentos não diferiram entre si. Aos 90 dias de armazenamento, a AM

ativa apresentou quase 100% de frutos podres, não diferindo apenas do filme nylon e AM passiva. Ji *et al.* (2021) encontraram valores similares ao aplicar 500 μ L.L⁻¹ de etanol em mirtilos por até 40 dias, diminuindo 60% da incidência de podridão nos frutos. Uma baixa concentração de O₂ durante o armazenamento do mirtilo tem muito pouco efeito na incidência de podridões (MATTOS *et al.*, 2012), a AM passiva apresentou concentrações baixas de O₂ (6 kPa) após 90 dias de armazenamento, não sendo suficiente para diminuir a incidência de podridões.

O índice de murchamento não apresentou diferenças aos 52 dias de armazenamento. Aos 90 dias, não foi realizada o índice de murchamento, devido à alta incidência de podridão dos frutos.

A perda de massa aos 90 dias foi menor do que na primeira saída aos 52 dias. Esse fato pode ser explicado pela alta incidência de podridão dos frutos, que ao invés de apresentarem murchamento das frutas, o excesso de umidade no interior das embalagens ocasionou o desenvolvimento de fungos, com extravasamento do conteúdo celular dos frutos e conseqüentemente, menor perda de massa.

Tabela 10 – Perda de massa (%), incidência (%) e índice de murchamento (1-4) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

(continua)

Perda de massa (%)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	6,93 aA	3,01 aB	4,97
Filme Nylon	2,32 bcA	0,82 bB	1,57
AM Passiva	2,16 bcA	1,90 abA	2,03
AM Ativa	1,63 cdA	1,67 abA	1,65
AM + Etanol	1,08 dB	1,68 abA	1,38
AM + KMnO ₄	2,55 bcA	1,77 abA	2,16
Filme Nylon + KMnO ₄	2,92 bA	1,15 bB	2,03
Média	2,80	1,72	
C.V. (%)	7,01	11,80	
Incidência de podridão (%)			
Controle	43,21 aA	81,08 bA	62,15
Filme Nylon	36,53 aB	92,87 abA	64,70
AM Passiva	50,02 aB	91,48 abA	70,75
AM Ativa	65,08 aB	97,86 aA	81,47
AM + Etanol	0,17 bB	1,47 cA	0,82
AM + KMnO ₄	40,31 aB	85,15 bA	62,73
Filme Nylon + KMnO ₄	56,06 aB	84,35 bA	70,20
Média	41,63	76,32	
C.V. (%)	25,71	7,37	

Tabela 11 – Perda de massa (%), incidência (%) e índice de murchamento (1-4) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

(final)

	Índice de murchamento		Média
	52 dias	90 dias	
Controle	1,66 a	-	
Filme Nylon	1,60 a	-	
AM Passiva	1,36 a	-	
AM Ativa	1,06 a	-	
AM + Etanol	1,57 a	-	
AM + KMnO ₄	1,43 a	-	
Filme Nylon + KMnO ₄	1,14 a	-	
Média	1,40	-	
C.V. (%)	34,07	-	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A luminosidade não apresentou interação entre os tratamentos e os tempos de armazenamento. A AM ativa apresentou o maior valor, diferindo apenas de AM + etanol. Os frutos retirados do armazenamento após 52 dias apresentaram luminosidade maior do que após 90 dias (Tabela 11).

A AM passiva apresentou diferença apenas da AM + etanol na variável de ângulo *hue*. Além disso, os frutos aos 52 dias exibiram uma coloração mais próxima ao azul (270°), enquanto aos 90 dias mais avermelhada (360°). Em mirtilos ‘lowbush’, o ângulo *hue* foi maior na embalagem Xtend® (297,0) em relação à atmosfera regular (277,0) e a AM com filme PEBD (280,0) (KOORT *et al.*, 2018), oposto ao observado no presente estudo.

Ayala-Zavala *et al.* (2005) não observaram diferenças na luminosidade, cromaticidade e ângulo *hue* de morangos tratados com etanol exógeno.

A variável a^* aos 52 dias apresentou maiores valores em AM + etanol, diferindo dos demais tratamentos, indicando uma coloração mais avermelhada que os demais. Aos 90 dias, AM + etanol e AM + ativa exibiram os maiores valores de a^* , diferindo apenas do controle. A AM + etanol apresentou uma redução de 50% na coloração.

Não houve interação entre os tratamentos e os tempos de armazenamento para a variável b^* . Porém, os frutos armazenados por 90 dias apresentaram coloração mais azulada (-2,04) do que os armazenados por 52 dias (-0,11). As médias dos tratamentos não apresentaram diferenças. Mirtilos do grupo ‘lowbush’,

apresentaram coloração mais azulada (-6,0) quando armazenados em AM com filme PEBD, do que em filme nylon Xtend® (-4,4), já mirtilos 'Northblue', exibem valores de b* similares em embalagens diferentes (KOORT *et al.*, 2018).

Tabela 12 – Luminosidade, cromaticidade (C), ângulo hue, a* e b* de mirtilos 'Climax' orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

(continua)

Luminosidade			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	24,91	21,66	23,29 a
Filme Nylon	24,68	21,07	22,87 ab
AM Passiva	25,17	21,43	23,30 a
AM Ativa	24,73	22,65	23,69 a
AM + Etanol	22,19	20,38	21,28 b
AM + KMnO ₄	25,28	20,26	22,77 ab
Filme Nylon + KMnO ₄	24,94	20,31	22,63 ab
Média	24,55 A	21,11 B	
C.V. (%)	4,78	6,33	
Cromaticidade			
Controle	2,00 bB	2,76 bA	2,38
Filme Nylon	2,34 bB	2,97 abA	2,66
AM Passiva	2,34 bB	3,04 abA	2,69
AM Ativa	2,80 bA	3,24 abA	3,02
AM + Etanol	4,30 aA	3,48 aA	3,89
AM + KMnO ₄	2,24 bB	2,79 abA	2,51
Filme Nylon + KMnO ₄	2,50 bA	2,96 abA	2,73
Média	2,65	3,03	
C.V. (%)	15,73	9,99	
Ângulo hue			
Controle	195,62	300,79	248,20 ab
Filme Nylon	217,66	315,58	266,62 ab
AM Passiva	233,12	321,52	277,32 a
AM Ativa	151,00	325,24	238,12 ab
AM + Etanol	125,98	322,73	224,36 b
AM + KMnO ₄	207,01	310,47	258,74 ab
Filme Nylon + KMnO ₄	170,16	314,48	242,32 ab
Média	185,79 B	315,83 A	
C.V. (%)	24,33	3,38	
a*			
Controle	1,80 bA	1,39 bA	1,59
Filme Nylon	2,17 bA	2,09 abA	2,13
AM Passiva	2,09 bA	2,39 abA	2,24
AM Ativa	2,56 bA	2,57 aA	2,56
AM + Etanol	4,18 aA	2,74 aB	3,46
AM + KMnO ₄	1,99 bA	1,81 abA	1,90
Filme Nylon + KMnO ₄	2,30 bA	2,06 abA	2,18
Média	2,44	2,15	
C.V. (%)	19,07	22,31	

Tabela 13 – Luminosidade, cromaticidade (C), ângulo hue, a* e b* de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

(final)			
b*			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	-0,17	-2,36	-1,27 a
Filme Nylon	-0,13	-2,02	-1,08 a
AM Passiva	-0,33	-1,85	-1,09 a
AM Ativa	0,05	-1,79	-0,87 a
AM + Etanol	0,26	-2,10	-0,92 a
AM + KMnO ₄	-0,33	-2,11	-1,22 a
Filme Nylon + KMnO ₄	-0,09	-2,07	-1,08 a
Média	-0,11 A	-2,04 B	
C.V. (%)	20,15	21,58	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Os sólidos solúveis não apresentaram diferenças entre os tratamentos em ambas saídas. A AM + KMnO₄ exibiu um aumento no °Brix, dos 52 para os 90 dias (Tabela 12).

A acidez titulável aos 90 dias não foi realizada, devido à baixa quantidade de frutos sadios. Porém, aos 52 dias observamos uma grande quantidade de acidez em frutos tratados com AM + etanol, diferindo dos demais tratamentos.

Pinto *et al.* (2020), trabalhando com AM e AM associado a aplicação de ozônio, observaram uma diminuição acentuada da acidez e sólidos solúveis em mirtilos ‘Patriot’, após 15 dias de armazenamento, independente do tratamento utilizado. Porém, Rodriguez; Zoffoli (2016), não observaram diferenças entre diferentes cultivares de mirtilo armazenadas em AM por 45 dias, sobre acidez titulável e sólidos solúveis. Moor *et al.* (2014), estudando diferentes embalagens e condições de AM em framboesas, observaram um aumento nos sólidos solúveis dos frutos armazenados em AM passiva com filme PEBD, enquanto a acidez titulável reduz em AM ativa com alto CO₂. Em morangos, o armazenamento em AM com filme Xtend® diminuem a redução da acidez titulável e aumento dos sólidos solúveis (MAGAZIN *et al.*, 2015).

A força para compressão também foi maior nos frutos tratados com AM + etanol, indicando que o tratamento possivelmente retardou o amadurecimento dos frutos. Os menores valores foram exibidos pela AM ativa, diferindo do controle e AM + etanol. Os frutos armazenados por até 52 dias exibiram valores maiores de

compressão, diferindo dos 90 dias. Ji *et al.* (2021), ao armazenar mirtilos com 500 $\mu\text{L} \cdot \text{L}^{-1}$ de etanol, observaram uma manutenção da firmeza, chegando a ser duas vezes maior aos 40 dias em 0°C, corroborando com os dados do presente estudo.

Tabela 14 – Sólidos solúveis (°Brix), acidez titulável (% ácido cítrico) e força de compressão de frutos (N) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

Sólidos solúveis (°Brix)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	9,87 aA	10,22 aA	10,05
Filme Nylon	9,15 aA	10,62 aA	9,88
AM Passiva	9,52 aA	9,45 aA	9,48
AM Ativa	9,73 aA	10,62 aA	10,17
AM + Etanol	10,52 aA	11,22 aA	10,87
AM + KMnO_4	9,42 aB	10,62 aA	10,02
Filme Nylon + KMnO_4	9,35 aA	10,07 aA	9,71
Média	9,65	10,40	
C.V. (%)	7,16	11,61	
Acidez titulável (% ácido cítrico)			
Controle	0,160 b	-	
Filme Nylon	0,159 b	-	
AM Passiva	0,162 b	-	
AM Ativa	0,173 b	-	
AM + Etanol	0,423 a	-	
AM + KMnO_4	0,145 b	-	
Filme Nylon + KMnO_4	0,157 b	-	
Média	0,197	-	
C.V. (%)	7,06	-	
Força para compressão (N)			
Controle	3,36	3,04	3,20 b
Filme Nylon	2,95	2,67	2,81 bc
AM Passiva	3,15	2,18	2,66 bc
AM Ativa	2,65	1,87	2,26 c
AM + Etanol	5,19	5,59	5,39 a
AM + KMnO_4	3,26	2,44	2,85 bc
Filme Nylon + KMnO_4	3,04	2,70	2,87 bc
Média	3,37 A	2,93 B	
C.V. (%)	10,10	9,20	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Aos 90 dias, o acetato de etila apresentou maiores concentrações nos frutos tratados com etanol exógeno, diferindo dos demais tratamentos. O controle diferiu apenas dos frutos armazenados com AM passiva na quantidade de acetaldeído, após 90 dias de AR. O etanol, aos 45 dias, foi maior nos frutos tratados com etanol

exógeno, porém, aos 90 dias, a associação de KMnO_4 em embalagem de filme nylon apresentaram valores semelhantes (Tabela 13).

Choosung *et al.* (2019), observaram aumento na concentração de etanol e acetaldeído e acetato de etila em ‘mulberry’ armazenadas em AM ativa, sendo superior ao exibido em AM passiva. O aumento dos valores de etanol e acetaldeído podem ser atribuídos a absorção do vapor de etanol aplicado no tecido dos frutos (UTTO, 2014), ou na atividade da enzima ADH, transformando etanol em acetaldeído. O aumento desses valores já foi observado em ‘bayberry’ e uva de mesa, utilizando aplicação exógena de etanol (ZHANG *et al.*, 2007; CHERVIN *et al.*, 2005).

Tabela 15 – Valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

Acetato de etila ($\mu\text{L L}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	0,13dA	0,17cA	0,15
Filme Nylon	0,18cdA	0,18cA	0,19
AM Passiva	0,78abA	0,53bB	0,65
AM Ativa	0,70bA	0,45bB	0,57
AM + Etanol	0,90aA	0,91aA	0,91
AM + KMnO_4	0,32cA	0,18cB	0,25
Filme Nylon + KMnO_4	0,73abA	0,40bB	0,57
Média	0,54	0,41	
C.V. (%)	14,79	17,64	
Acetaldeído ($\mu\text{L L}^{-1}$)			
Controle	1,62aA	0,98aB	1,30
Filme Nylon	1,37abA	0,69abB	1,03
AM Passiva	1,26abA	0,64bB	0,95
AM Ativa	1,19abcA	0,67abB	0,93
AM + Etanol	1,10bcA	0,90abB	1,00
AM + KMnO_4	0,74cA	0,86abA	0,80
Filme Nylon + KMnO_4	1,01bcA	0,95abA	0,98
Média	1,18	0,81	
C.V. (%)	16,58	17,43	
Etanol ($\mu\text{L L}^{-1}$)			
Controle	1,83dA	1,83dA	1,83
Filme Nylon	1,44dA	1,80dA	1,62
AM Passiva	2,92dA	3,61cdA	3,26
AM Ativa	5,71cA	4,38bcB	5,05
AM + Etanol	16,96aA	17,68aA	17,32
AM + KMnO_4	5,67cA	6,42bA	6,05
Filme Nylon + KMnO_4	13,22bB	15,95aA	14,59
Média	6,82	7,38	
C.V. (%)	12,54	13,94	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Os açúcares redutores foram maiores para os tratamentos AM + etanol e AM + KMnO_4 , diferindo do controle, aos 52 dias. Já na segunda saída, o controle apresentou maiores valores, não diferindo apenas de AM + etanol (Tabela 14).

Os açúcares totais não apresentaram interação entre os tratamentos e os tempos de armazenamento, porém, os valores médios exibidos em AM passiva foram menores, diferindo apenas do controle. O teor de açúcares totais decaiu de 52 dias para 90 dias. Dong; Yang (2019), observaram valores três vezes maiores, porém com uma diminuição no teor de açúcares totais após 20 dias de armazenamento, como observado no presente estudo. De acordo com Shi *et al.* (2016), o teor de açúcares totais influencia a síntese de outros metabólitos, como ácidos, nutrientes, substâncias aromáticas e antioxidantes.

O teor de açúcares pode ser influenciado pelo metabolismo de polissacarídeos de parede celular, que por sua vez, é afetado pela aplicação de etanol exógeno, mantendo sua integridade. Além disso, a respiração pode atuar como um influenciador na redução do teor de açúcares totais, visto que a sacarose é o principal açúcar utilizado pela glicólise. Porém, ao observar os resultados de sólidos solúveis e de açúcares redutores e totais, conclui-se que esses fatores não foram afetados pela aplicação exógena de etanol, tratamento que melhor manteve as qualidades físico-químicas dos mirtilos por um período de até 90 dias em armazenamento refrigerado, sendo uma tecnologia promissora.

Tabela 16 – Teor de açúcares redutores (mg L^{-1} glicose) e teor de açúcares totais (mg/L glicose) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

Açúcares redutores			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	14,33cB	17,76aA	16,04
Filme Nylon	15,14bcA	15,53bA	15,34
AM Passiva	14,84bcB	16,19bA	15,52
AM Ativa	16,47abA	15,56bA	16,02
AM + Etanol	17,07aA	16,49abA	16,78
AM + KMnO_4	17,66aA	16,40bB	17,03
Filme Nylon + KMnO_4	16,11abcA	15,58bA	15,84
Média	15,95	16,21	
C.V. (%)	4,97	3,52	
Açúcares totais			
Controle	53,48	49,84	51,66a
Filme Nylon	48,90	46,06	47,48ab
AM Passiva	53,55	42,09	47,82ab
AM Ativa	50,40	41,78	46,09b
AM + Etanol	50,73	42,45	46,59ab
AM + KMnO_4	50,94	46,54	48,74ab

Filme Nylon + KMnO ₄	51,30	43,61	47,46ab
Média	51,33A	44,62B	
C.V. (%)	8,80	3,12	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

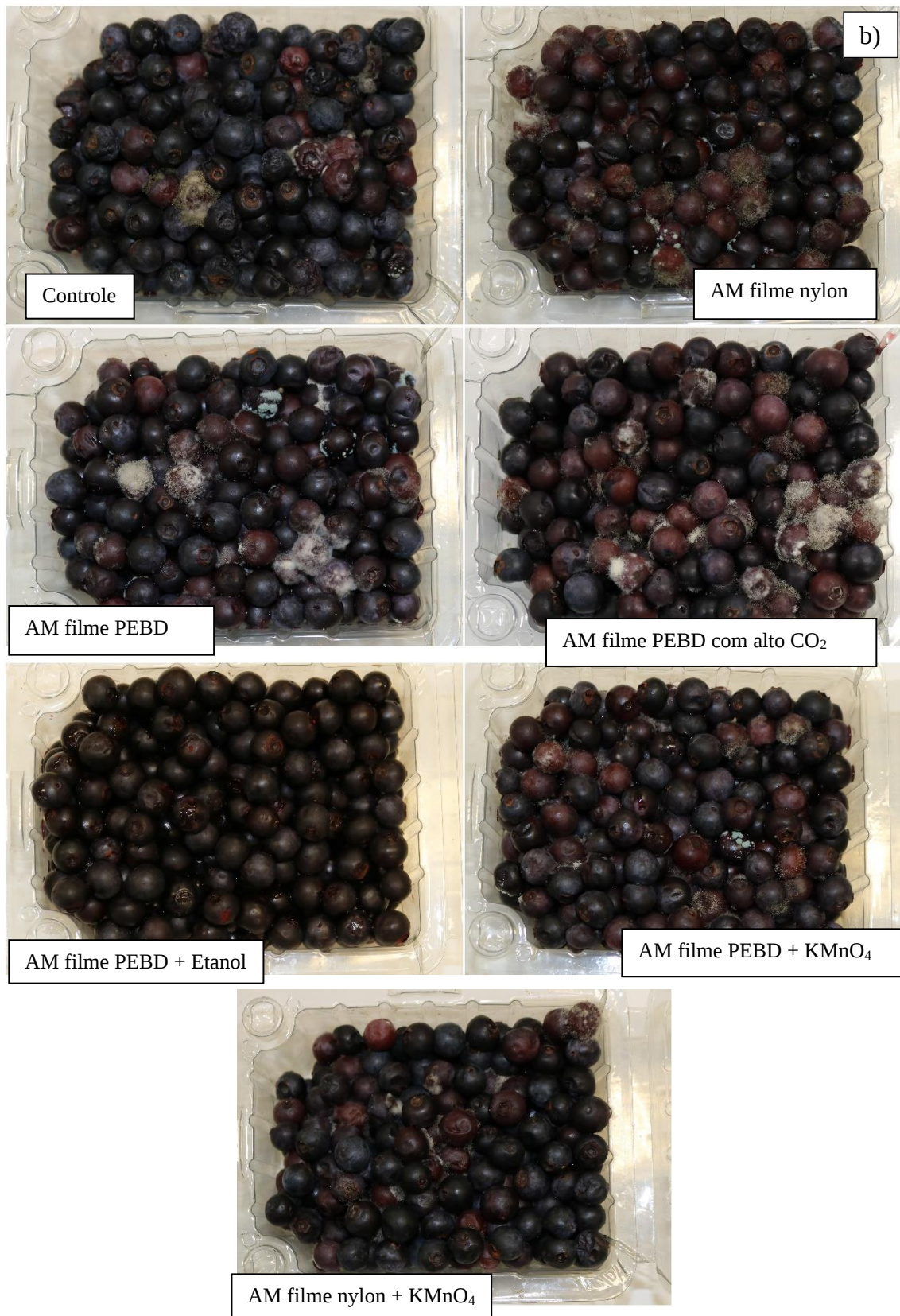
Na figura 5a, observa-se a qualidade dos frutos após armazenamento por 52 dias. O tratamento controle apresenta frutos com sintomas de depressão na casca, indicando murchamento dos mirtilos. O armazenamento com AM em filme PEBD com aplicação de etanol pré armazenagem e AM com filme de nylon, obtiveram melhor qualidade visual, não apresentando murcha ou sintomas de podridão, como pode ser observado nos demais tratamentos.

Na figura 5b, após 90 dias de armazenamento seguido de dois dias em temperatura ambiente, os frutos submetidos ao AM com filme PEBD associado a aplicação de etanol apresentaram melhor qualidade visual, sendo o único tratamento a não apresentar incidência de podridão ou murchamento.

Figura 5 – Frutos de mirtilos ‘Climax’ durante 52 dias (A) e 90 dias (B) de armazenamento seguido de dois dias em condição ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

4.5 CONCLUSÃO

No primeiro experimento, o tratamento com filme nylon apresentou uma melhor manutenção da qualidade de mirtilos 'Climax' durante os 90 dias de armazenamento. O controle apresentou maior perda de água, açúcares totais e redutores, índice de murchamento e concentração de compostos fermentativos. A associação de AM + KMnO_4 , diminui de produção de etileno.

No segundo ano de experimento, a manutenção da qualidade dos frutos armazenados em AM + etanol, diminui a produção de etileno e a taxa de respiração, além de diminuir a incidência de podridão e manter a firmeza.

5 USO DE TECNOLOGIAS PÓS-COLHEITA EM MIRTILOS 'CLIMAX' SOBRE COMPOSTOS BIOATIVOS

5.1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso da atmosfera modificada com diferentes embalagens, bem como o uso de absorvedores de etileno e etanol associados com a atmosfera modificada sobre a atividade antioxidante total, conteúdo de compostos fenólicos (perfil e totais), antocianinas e compostos voláteis em mirtilos orgânicos 'Climax'. Foram realizados dois experimentos nas safras 2019/2020 e 2020/2021. Os tratamentos avaliados foram controle, atmosfera modificada (AM) com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO₂ (20 kPa CO₂) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno, na safra 2019/20. Na safra 2020/2021, foram avaliados os tratamentos controle, AM com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO₂ (20 kPa CO₂) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno e AM com filme de nylon com absorção de etileno. Cada tratamento foi constituído por 4 repetições, com 250g de frutos por unidade experimental e dois tempos de armazenamento (6x2 e 7x2, respectivamente). Os frutos foram armazenados em câmara fria a 1±0,2 °C e umidade relativa de 92±2%. Foram avaliados após 52 e 90 dias de armazenamento, seguido de dois dias em condição ambiente (20±5°C e 60±5% de UR). No primeiro ano, o controle aumentou o teor de compostos fenólicos totais, antocianinas e atividade antioxidante total, devido à alta perda de massa. O aumento do período de armazenamento reduz a concentração de malvidina-3-glu, delphinidina-3-glu, mircetina-3-glu, quercetina e ácido clorogênico. Os aromas predominantes foram herbáceos mentolados. No segundo ano, AM associado a aplicação de etanol reduz a atividade antioxidante total e o conteúdo de compostos fenólicos totais, provavelmente devido à redução do teor de ácido clorogênico e delphinidina. O prolongamento do tempo de armazenamento aumenta os teores de delphinidina, epicatequina e quercetina, independente do tratamento. A utilização de etanol exógeno associado a AM resultou na fermentação dos frutos, com alta presença principalmente de ácido acético de acetato de etila, inibindo a formação de outros compostos voláteis característicos.

Palavras-chave: *Vaccinium spp.*; orgânicos; pós-colheita; compostos voláteis; atividade antioxidante.

5.2 INTRODUÇÃO

O consumo de mirtilo vem aumentando nos últimos anos devido seu reconhecimento como fruto da juventude, que está relacionado ao alto teor de compostos promotores de saúde, representados por compostos fenólicos, antocianinas, flavonoides, flavonóis e ácidos hidroxicinâmicos (FOTIRIC AKSIC *et al.*, 2019b).

A quantidade de compostos fenólicos, açúcares e ácidos orgânicos estão associadas a cultivar, fatores ambientais, estágio de maturação, técnicas de cultivo e manuseio pós-colheita (FOTIRIC AKSIC *et al.*, 2019a). Os açúcares e ácidos orgânicos afetam significativamente a percepção do sabor, podendo influenciar a aceitabilidade do consumidor, e a sua composição pode refletir mudanças na qualidade interna da fruta (MILIVOJEVIC *et al.*, 2012; TALCOTT, 2007).

O transporte a frio é o mais utilizado na preservação dos mirtilos em todo o mundo, porém, em países com sistema de cadeia de frio subdesenvolvido, o transporte de curta duração e a exibição no varejo acontece com temperatura ambiente, podendo levar a problemas como perda de aroma e geração de odor desagradável, afetando a percepção de sabor dos consumidores (YAN *et al.*, 2020).

Os voláteis do aroma contribuem com atributos de sabor únicos para a fruta e sua composição varia entre as espécies e cultivares de mirtilo (PICO *et al.*, 2022; SATER *et al.*, 2020). Estudos recentes identificaram vários monoterpenoides, ésteres e aldeídos, que são fortes contribuintes para o sabor de mirtilo, embora a identificação de compostos voláteis seja limitada (FORNEY *et al.*, 2022; QIAN *et al.*, 2021). Os principais voláteis identificados no mirtilo rabbiteye são acetato de etila, p-cimeno, hexanol, (Z)-2-hexenol, heptanol, cinerolona, β -ionona, terpeno-4-ol, 2-undecanona, α -terpineol, carveol, nerol e eugenol (DU; ROUSSEF, 2014), sendo a combinação de (E)-2-hexenal, (E)-2-hexenol, (Z)-3-hexenol e linalol a responsável pelo sabor característico de mirtilo (HORVAT; SENTER, 1985).

O mirtilo é considerado por alguns autores como um fruto não climatérico, porém, segundo Yan *et al.* (2020), são climatéricos e respondem ao etileno, mas seu sabor não altera com o etileno após a colheita. Portanto, é essencial compreender a mudança de aroma durante o armazenamento pós-colheita, buscando manter ou melhorar essa característica, tornando-a mais atrativa ao consumidor.

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito do uso da atmosfera modificada com diferentes embalagens, bem como o uso de absorvedores de etileno e etanol associados com a atmosfera modificada sobre a atividade antioxidante total, conteúdo de compostos fenólicos (perfil e totais), antocianinas e compostos voláteis em mirtilos orgânicos 'Climax'.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com mirtilos 'Climax', produzidos no sistema orgânico, colhidos em pomar comercial no município de Lages, SC (27° 48' 58" S de latitude, 50° 19' 34" O de longitude e 884 m de altitude). Os frutos foram colhidos maduros, quando apresentaram coloração azul escura e com presença de pruína, e transportados ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV – UDESC). Após os frutos foram selecionados, eliminando-se aqueles com defeitos ou doenças e então foram homogeneizados e separados em 28 unidades experimentais constituídas por 250 g de frutos. Os frutos de cada unidade experimental foram acondicionados em bandejas de polietileno tereftalato com dimensões (largura, comprimento e altura) de 112mm x 108 mm x 51 mm.

Os tratamentos avaliados foram controle, AM com filme de nylon, AM com filme de polietileno de baixa densidade (PEDB), AM com PEBD com alto CO₂ (20 kPa CO₂) inicial, AM com PEBD associada com a aplicação de etanol antes do armazenamento e AM com PEBD com absorção de etileno e AM com filme de nylon com absorção de etileno. Cada tratamento foi constituído por 4 repetições. Todos os tratamentos foram mantidos sob refrigeração a 1±0,2°C e umidade relativa de 92±2%.

Nos tratamentos em AM com filme de nylon foi utilizada a embalagem Xtend® (Stepac, Israel), enquanto os tratamentos em AM com PEBD foi utilizado uma embalagem com espessura de 40µm, em ambas as safras.

Nos tratamentos de AM passiva, após a colocação dos frutos na embalagem, foi realizada a sucção do ar contido no interior da embalagem até que o filme de PEBD moldasse a caixa de papelão para retirada do excesso de ar. No tratamento AM ativa com alto CO₂ foi realizada sucção de ar, como descrito para os tratamentos com AM passiva, contudo, após a sucção do ar, foi injetado CO₂ para atingir a pressão parcial inicial preestabelecida (20 kPa CO₂). O gás CO₂ foi proveniente de cilindro de alta pressão, com concentração de 99,9%.

A aplicação de etanol foi realizada por volatilização. As quatro repetições previamente embaladas em bandejas PET foram acondicionados em tambores de 40 litros por 18 horas (20±5°C e 60±5% de UR), onde se colocou 10 mL kg⁻¹ de etanol em placas de Petri.

Nos tratamentos com absorção de etileno foi colocado no interior da embalagem, antes de seu fechamento, 2 sachês absorvedores de etileno da marca Always Fresh.

Foram avaliados o conteúdo de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante total, antocianinas, açúcares totais e redutores, compostos voláteis e perfil de compostos fenólicos.

Os compostos fenólicos e a atividade antioxidante, pelos métodos DPPH e ABTS, no momento da colheita, são descritos na tabela 3.

Tabela 17 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g⁻¹ de MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca e teor de antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos na colheita. Safra 2019/20, Lages – SC.

	CFT	AAT (DPPH)	AAT (ABTS)	ANT
Colheita	326,3	1019,2	7701,0	221,4

Fonte: Elaborado pela autora, 2021

Tabela 18 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g⁻¹ de MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca e teor de antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos na colheita. Safra 2020/21, Lages – SC.

	CFT	AAT (DPPH)	AAT (ABTS)	ANT
Colheita	304,2	1001,7	7748,5	218,3

Fonte: Elaborado pela autora, 2021

Foram coletas amostras dos frutos de cada repetição para obtenção de extrato para análises de compostos fenólicos, atividade antioxidante total e antocianinas. As amostras foram congeladas em N líquido e armazenadas em ultrafreezer (-50°C) até o momento da avaliação.

O procedimento para a coleta do extrato foi realizado com a utilização de 2,5 gramas da amostra dos frutos, que permaneceram em 10 ml de uma solução de metanol 50% por uma hora em ambiente escuro. A solução foi centrifugada em uma centrífuga de alta rotação (15000 rpm) durante 15 minutos. O sobrenadante das amostras foi coado em papel filtro e balão volumétrico de 25 ml e ao resíduo sólido adicionado 10 ml de acetona 70%. A amostra permaneceu em ambiente escuro por mais uma hora e novamente centrifugado nas mesmas configurações anteriores. O sobrenadante foi armazenado junto ao coletado anteriormente e o volume total completado com água destilada até 25 mL.

A quantificação dos compostos fenólicos foi realizada pelo método Folin-Ciocalteu, conforme descrito por Roesler (2007), com uso de ácido gálico como

padrão. O ácido gálico foi preparado utilizando 10 mg de ácido gálico em 100 mL de metanol. A curva padrão foi obtida com diferentes alíquotas da solução de ácido gálico e metanol, em concentrações de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 $\mu\text{L L}^{-1}$. Para a leitura das amostras foi utilizado 1 mL do extrato dos frutos adicionado de 1 mL de Folin-Ciocalteu (em proporção 1 de Folin-Ciocalteu: 3 de água destilada), 2 mL de carbonato de cálcio (20%) e 2 mL de água destilada. A solução foi homogeneizada em vortex e mantida em escuro por 30 minutos. A leitura foi realizada com uma leitora de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, USA) no comprimento de onda de 765 nm e expresso em equivalente de ácido gálico (EAG; mg EAG 100 g⁻¹ matéria fresca).

A quantidade de antocianinas totais (ANT) foi determinada conforme metodologia adaptada por Fuleki e Francis, (1968). Foram utilizados 2,5 g de amostra de fruto previamente macerado com nitrogênio líquido, adicionado 15 mL de etanol/água destilada (95:5, v/v), acidificado com etanol/ácido clorídrico (HCl, 1,5 N) (85:15, v/v). As amostras foram homogeneizadas em ultraturrax, marca Heidolph, modelo D-91126 (Schwabach, Alemanha), mantidas durante 24 h a 4 °C, e posteriormente centrifugadas durante 20 min a 10000 rpm, a 4 °C, em uma centrífuga Himac (modelo CR22N, Shimadzu, Japão). Foram transferidos 2 mL do sobrenadante para um balão volumétrico e completado o volume para 25 mL com o solvente extrator. As leituras foram realizadas em leitora de microplacas, modelo EnSpire (PerkinElmer, USA) no $\lambda=535$ nm. O conteúdo de ANT foi expressa em mg cianidina 3-glicosídeo por 100 g de massa fresca (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF).

A atividade antioxidante total foi obtida pelos métodos DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazila) descrita por Rufino et al. (2007a) com adaptações e ABTS (2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfônico) de acordo com Rufino et al. (2007b).

Para o preparo da solução de DPPH 60 μM foram dissolvidos 2,4 mg de DPPH em álcool metílico e adicionado álcool metílico até completar o volume de 100 ml em um balão volumétrico. A solução controle foi preparada com 40 ml de solução de álcool metílico 50% e 40 ml de solução de acetona 70% e completado o volume para 100 mL com água destilada.

Para o método DPPH foi utilizado 0,1 ml de cada extrato com 3,9 ml do radical DPPH, previamente preparado. Em ambiente escuro a amostra foi agitada em Vortex e mantida em repouso por 30 minutos. A leitura da solução foi expressa

em μMol de equivalente Trolox 100 g^{-1} lida na leitora de microplacas modelo EnSpire (PerkinElmer, USA).

No método ABTS foi preparado uma solução estoque de ABTS 7 mM dissolvendo 192 mg de ABTS em água destilada. O volume da solução foi completado com água destilada até atingir o volume de 50 mL . A solução de persulfato de potássio 140 mM foi obtida com $378,4\text{ mg}$ de persulfato de potássio dissolvido em água destilada e completado seu volume para 10 mL com água destilada. O radical ABTS foi preparado a partir da reação de 5 mL da solução estoque de ABTS com $88\text{ }\mu\text{L}$ da solução de persulfato de potássio, mantida previamente em ambiente escuro e temperatura ambiente por 16 horas . Após este período, foi diluído 1 mL desta mistura em álcool etílico, até que se atingisse uma absorção de $0,7\text{ nm} \pm 0,05\text{ nm}$ a 734 nm . A solução padrão de trolox foi obtida com a dissolução de 25 mg de trolox em álcool etílico e completado o volume com álcool etílico para 50 mL .

A curva padrão de trolox foi realizada utilizando uma alíquota de $30\text{ }\mu\text{L}$ solução de trolox preparada anteriormente em concentrações de $100\text{ }\mu\text{M}$, $500\text{ }\mu\text{M}$, $1000\text{ }\mu\text{M}$, $1500\text{ }\mu\text{M}$ e $2000\text{ }\mu\text{M}$ e agitada com 3 mL da solução do radical ABTS. A leitura foi realizada após 6 minutos da mistura em 734 nm . A partir da leitura das soluções foi calculada a equação da reta, que foi utilizada para calcular a absorbância referente a $1000\text{ }\mu\text{M}$ de trolox.

As leituras das amostras foram realizadas em triplicata utilizando $30\text{ }\mu\text{L}$ do extrato dos frutos obtido anteriormente misturados a 3 mL do radical ABTS. A mistura foi agitada em vortex e realizada a leitura 6 minutos depois da agitação. O valor obtido foi utilizado na equação da reta e expresso em μM trolox g de fruta.

Os compostos voláteis foram isolados do *headspace* da amostra, por meio da técnica de microextração em fase sólida (*HS-SPME*) empregando-se a fibra $50/30\text{ }\mu\text{m}$ DVB/CAR/PDMS, previamente condicionada no injetor do cromatógrafo de acordo com as recomendações do fabricante. Inicialmente, pesou-se 3 g de NaCl em um *vial* de 40 mL ; adicionou-se 2 g de amostra de mirtilo (macerada integralmente) e 3 mL de água deionizada, e utilizou-se uma bagueta magnética de 5 mm de diâmetro e 10 mm de comprimento. O frasco foi lacrado com tampa rosqueável, cujo septo de politetrafluoretileno (PTFE)/silicone garantiu que não houvesse volatilização. A amostra foi submetida à agitação lenta com temperatura de $55 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Após a amostra permanecer em equilíbrio por 10 minutos , a fibra foi

exposta manualmente ao *headspace*, para a adsorção dos compostos voláteis por 20 minutos, sob agitação contínua da amostra. Em seguida, a fibra foi recolhida e inserida no injetor de um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massas (sistema Perkin Elmer modelo Clarus 680 GC/ SQ8S MS) durante os 10 primeiros minutos da corrida para a dessorção térmica e análise dos voláteis.

Os compostos foram separados em uma coluna capilar Elite 5MS (30m x 0,25mm, 0,25 μm) em cromatógrafo a gás (sistema Perkin Elmer; modelo Clarus 680 GC/ SQ8S MS), com injeção em modo splitless. As análises foram realizadas com temperatura do injetor 200 °C, a temperatura do forno foi mantida por 1 min. a 35 °C, aumentando 8°C min⁻¹ até 180 °C, sendo mantida por 4 min., e em seguida a elevação da temperatura de 15 °C min⁻¹ até 200 °C. A temperatura da *transfer line* foi de 200 °C com fonte de ionização por impacto de elétrons de 70 eV. A faixa de *scanning* de massas foi de 35 a 400 m/z. O gás de arraste utilizado foi o hélio (He) com fluxo de 1,0 mL min⁻¹.

Para auxiliar a identificação dos compostos voláteis, uma mistura padrão de n-alcanos (C7 a C40, Sigma-Aldrich) na concentração de 10 μL /ml foi injetada no CG/MS equipado com a coluna capilar Elite 5MS, e analisada nas mesmas condições da amostra. Os tempos de retenção dos alcanos foram utilizados para calcular o índice de retenção (IR) de cada composto volátil na amostra, conforme descrito por Ettre (1964), Sampaio *et al.* (2011), Sampaio *et al.* (2013), Sampaio *et al.* (2015) e Biasoto *et al.* (2015).

Os compostos voláteis presentes foram identificados utilizando-se os espectros disponíveis na biblioteca *National Institute of Standards and Technology* (NIST), versão 2.0, 2014, e comparando-se os índices de retenção calculados com valores relatados na literatura científica para colunas de mesma polaridade (GARRUTI *et al.*, 2003; ACREE & ARN, 2004; PHEROBASE, 2011; SAMPAIO *et al.*, 2013; SAMPAIO *et al.*, 2015; BIASOTO *et al.*, 2015).

Os compostos foram considerados identificados, quando seus espectros de massas obtidos experimentalmente coincidiram com aqueles existentes na base de dados da NIST, e seus índices de retenção experimentais coincidiram com os valores encontrados na literatura. Quando não foram encontrados índices de retenção na literatura, e os compostos foram identificados apenas pela comparação dos espectros de massas experimentais e da NIST, eles foram considerados tentativamente identificados. Outros compostos com baixa similaridade ($\leq 85\%$) de

espectro de massas e índice de retenção incompatível com a literatura, foram considerados não identificados (NI) (JENNINGS & SHIBAMOTO, 1980).

Para a quantificação de compostos fenólicos por CLAE, a extração dos compostos fenólicos nos mirtilos foi realizada segundo o método descrito por Maksimovic *et al.* (2022), com adaptações. Os mirtilos macerados foram pesados, e adicionado o dobro do volume de metanol acidificado com ácido fórmico (3%), e posteriormente colocado em sonificador durante 1h. Após esse procedimento, as amostras foram filtradas em filtro H-PTFE de 0,45µm e mantidas em vials de HPLC em freezer (- 12°C) até o momento das análises.

Todos os solventes utilizados para a determinação dos compostos fenólicos foram de grau HPLC. Os padrões utilizados para análise dos compostos fenólicos foram: epicatequina, mircetina, quercetina, ácido clorogênico, ácido elágico, cianidina-3-glucosídeo, malvidina-3-glucosídeo e delphinidina-3-glucosídeo. Os padrões foram diluídos em metanol padrão HPLC (SIGMA ALDRICH), em uma concentração de 100ppm, a solução foi previamente filtrada em filtro de seringa H-PTFE de 0,45µm e armazenado em HPLC vial de 2mL.

As análises foram realizadas em um cromatógrafo da marca Shimadzu (modelo-LC). Os espectros UV-VIS foram detectados em 280 nm (delphinidina, cianidina, malvidina, epicatequina e ácido elágico) e 320nm (mircetina, quercetina e ácido clorogênico). As separações cromatográficas foram realizadas em uma coluna de fase reversa C-18 Supelco (25 cm x 4,6 mm, 5µm). A metodologia para separação do perfil dos compostos fenólicos foi realizada de acordo com Cervantes *et al.* (2020), com adaptações. O solvente A foi 2% de ácido acético em água ultrapura, e o solvente B foi ácido acético:água:acetonitrila (1:49:50). O seguinte gradiente foi utilizado: de 15% de B em 2 min., de 25% de B em 5 min.; 30% em 10 min.; de 35% de B em 15 min.; 50% de B em 25 min., de 60% de B em 30 min.; 80% em 35 min.; e 100% de B em 45 min.; e retorno à 15 % de B em 0,1 min. O tempo de equilíbrio da coluna foi de 15 min., o volume de injeção foi de 20 µL e o fluxo de 1,0 mL/min. A temperatura da coluna foi de 30°C. Os compostos foram quantificados por meio do método do padrão externo. A determinação dos compostos nas amostras foi realizada pela comparação entre os tempos de retenção destas com os tempos de retenção dos padrões e confirmados a partir da similaridade entre os perfis dos cromatogramas dos compostos em estudo, para compostos padrões e analitos de interesse.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), utilizando o programa SAS (Learning Edition, 2002). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 17, estão descritos os teores de compostos fenólicos totais. Entre os tratamentos avaliados, a testemunha apresentou o maior teor de CFT, enquanto a AM ativa exibiu os piores valores, para ambos os dias de avaliações (52 e 90 dias). Comparando-se os tempos de armazenamento, a AM + Etanol e AM + KMnO_4 não mantiveram seus teores de CFT quando armazenados por maior tempo. Krasniewska *et al.* (2017) encontrou valores maiores de CFT do que os obtidos no presente estudo, ao armazenar mirtilos do grupo 'Highbush' a 4°C durante 28 dias. A variação de valores pode ser ocasionada pela diferença de cultivares, local de produção, idade da planta e época de colheita.

As antocianinas foram significativamente menores no armazenamento de 90 dias, em todos os tratamentos. A atmosfera modificada aliada a outras tecnologias parece não ser vantajosa para manutenção das antocianinas, visto que apresentou menores valores em relação aos demais tratamentos, em ambos os períodos de armazenamento. Cheng *et al.* (2020), encontrou valores de antocianinas inferiores aos encontrados no presente estudo, com as cultivares "Premier" e "Gardenblue" com 2073 e 2690 mg kg⁻¹ cianidina 3-glucosídeo, porém, essas cultivares do grupo rabbiteye apresentaram valores superiores que as cultivares do grupo highbush. De acordo com Dorostkar; Moradinezhad (2022), as antocianinas são solúveis em água devido à presença de açúcares na sua estrutura, e a aplicação de 10% de etanol em romãs aumentou seu conteúdo em 50%, porém os tipos de embalagem não afetaram o teor de antocianinas. Koort *et al.* (2018), observaram uma diminuição no teor de antocianinas, independentemente do tipo de embalagem utilizada em AM (Xtend® e PEBD), quando comparadas com mirtilos 'lowbush' em atmosfera normal. Em morangos 'Sonata', a embalagem de AM com filme PEBD inibe a biossíntese de antocianinas (MOOR *et al.*, 2012).

O teor de atividade antioxidante por ambos os métodos, DPPH e ABTS, e em ambas saídas, foi maior nos frutos do tratamento controle. AM passiva com filme

PEBD, foi responsável pela menor atividade antioxidante em ambos os métodos, sendo 50% menor do que os demais tratamentos.

O baixo teor de compostos fenólicos, antocianinas e atividade antioxidante dos frutos armazenados por AM ativa pode ser causado pela atividade da enzima fenilalanina amônia liase (FAL), responsável por ativar a rota dos fenilpropanóides, que pode ser diminuída pela aplicação de CO₂ (ROMERO *et al.*, 2008; MOOR *et al.*, 2014).

O alto teor de compostos fenólicos, antocianinas e antioxidantes em frutos do tratamento controle podem ser explicados pela alta perda de massa e de murchamento (observados no primeiro capítulo desde estudo), concentrando os teores nos frutos.

Tabela 19 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g⁻¹ de massa fresca), antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em µMol Trolox g⁻¹ de massa fresca de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

(continua)

CFT			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	157,8 aB	227,1 aA	192,43
Filme Nylon	135,9 abA	128,0 bA	131,99
AM Passiva	91,1 cA	95,3 cA	93,18
AM Ativa	62,2 dA	63,2 dA	62,72
AM + Etanol	122,8 bA	84,5 cB	103,64
AM + KMnO ₄	128,9 bA	97,7 cB	113,36
Média	116,46	115,98	
C.V. (%)	9,14	7,11	
ANT			
Controle	1186,0 abA	1053,8 aB	1119,93
Filme Nylon	1286,1 aA	890,2 bB	1088,19
AM Passiva	1137,8 abA	797,6 cB	967,72
AM Ativa	1099,9 abA	623,2 dB	861,58
AM + Etanol	1146,2 abA	670,3 dB	908,27
AM + KMnO ₄	1042,8 bA	774,9 cB	908,85
Média	1149,85	801,67	
C.V. (%)	8,89	4,55	
AAT (DPPH)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	1944,6 aA	2027,1 aA	1985,85
Filme Nylon	1865,6 aA	1778,5 bA	1822,04
AM Passiva	1208,7 cA	1106,3 cB	1157,49
AM Ativa	498,6 dA	472,7 dA	485,65
AM + Etanol	1545,6 bA	1014,0 cB	1279,82
AM + KMnO ₄	1614,9 bA	1032,7 cB	1323,82
Média	1446,34	1238,56	
C.V. (%)	6,35	7,35	

Tabela 20 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g⁻¹ de massa fresca), antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em µMol Trolox g⁻¹ de massa fresca de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

(final)

AAT (ABTS)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	5951,0a0A	6271,0aA	6111,0
Filme Nylon	3985,4bcA	3976,0bA	3980,7
AM Passiva	3615,4cA	3664,9bcA	3640,2
AM Ativa	1467,9dA	1425,4dA	1446,6
AM + Etanol	4289,3bA	3154,3cB	3721,8
AM + KMnO ₄	4300,4bA	3720,4bcB	4010,4
Média	3934,9	3702,0	
C.V. (%)	6,96	7,69	

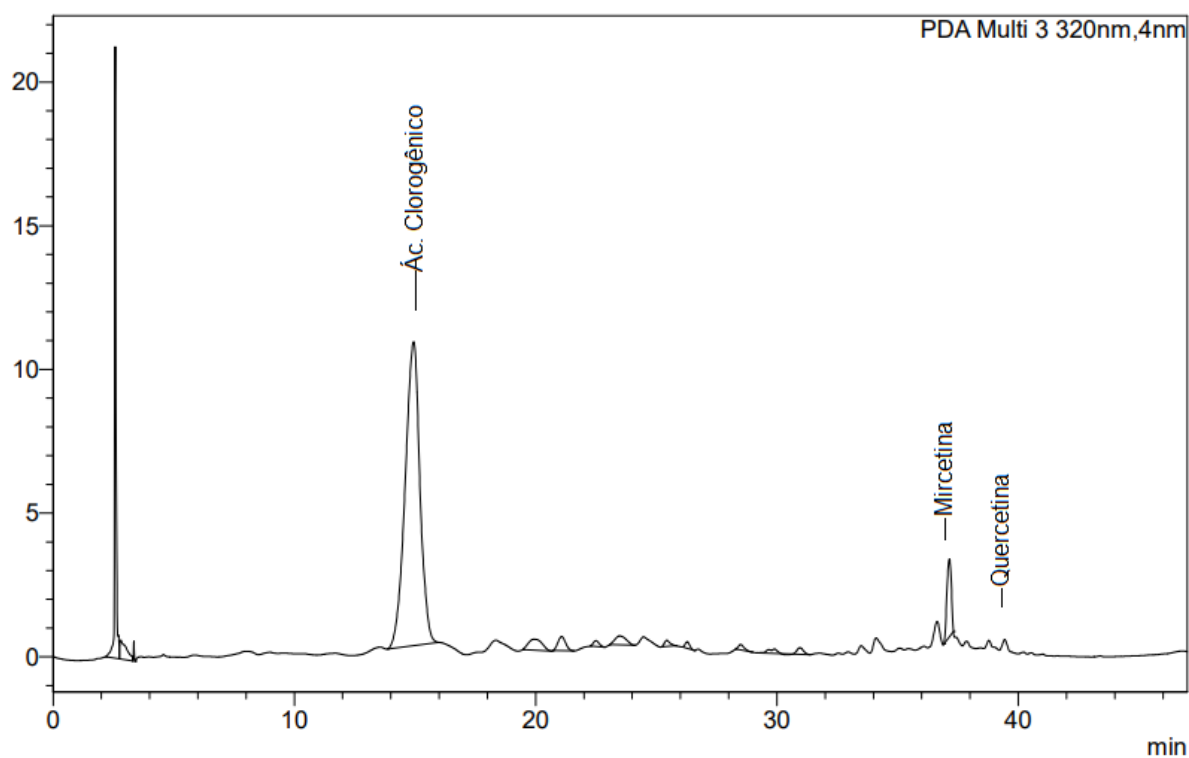
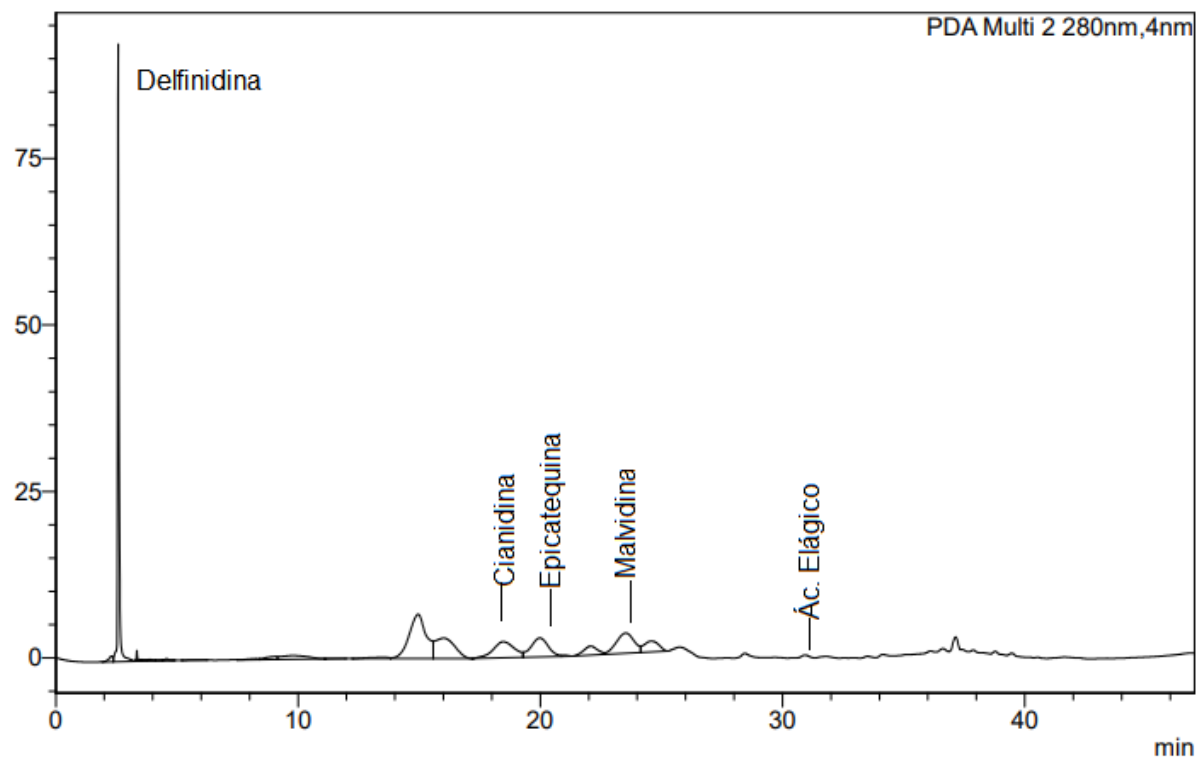
Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Na figura 5, podemos observar os compostos determinados nos cromatogramas (280nm e 320nm), e a partir desses compostos, foi realizada a quantificação com base em uma curva de calibração para cada composto específico. Além disso, pode-se visualizar vários compostos presentes em mirtilos ‘Climax’ que não foram quantificados.

Nas tabelas 16 e 17, são descritos os compostos fenólicos encontrados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos, após 52 e 90 dias de armazenamento em diferentes condições de AM.

Figura 6 – Cromatograma dos compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos, obtidos no tratamento controle armazenados por 52 dias, em 280nm e 320nm.



Nota: compostos obtidos: delphinidina, cianidina, epicatequina, malvidina, ácido elágico, ácido clorogênico, mircetina e quercetina.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

O filme nylon apresentou a maior quantidade de cianidina aos 52 dias de armazenamento, diferindo dos demais tratamentos (Tabela 18). Porém, após 90 dias, houve uma redução de mais de 50% na quantidade de cianidina ($163,67 \mu\text{g.mL}^{-1}$ para $75,00 \mu\text{g.mL}^{-1}$), diferindo apenas do AM + KMnO_4 .

A quantidade de malvidina em frutos armazenados em AM passiva com filme PEBD, AM + etanol e AM + KMnO_4 apresentaram uma redução significativa com o aumento do tempo de armazenagem (79,7 para $63,5 \mu\text{g.mL}^{-1}$; 75,2 para $33,3 \mu\text{g.mL}^{-1}$; 56,2 para $39,0 \mu\text{g.mL}^{-1}$, respectivamente).

A delphinidina aos 52 dias, foi maior nos frutos armazenados em Filme Nylon ($286 \mu\text{g.mL}^{-1}$), diferindo estatisticamente do controle e AM + KMnO_4 (184,6 e $164,0 \mu\text{g.mL}^{-1}$, respectivamente). Apenas esses dois últimos tratamentos citados não apresentaram redução no teor de delphinidina após 90 dias de armazenamento, mantendo os valores estáveis. Filme Nylon, AM passiva e AM + etanol apresentaram diminuição de quase 50% nos teores de delphinidina com o prolongamento do tempo de armazenamento.

As antocianinas cianidina, malvidina e delphinidina foram os compostos com maior concentração no mirtilo. Hutabarat *et al.* (2019), estudando mirtilos do grupo rabbiteye em Nanjing (China), encontraram maiores concentrações de derivados de malvidina, enquanto Reque *et al.* (2014), com mirtilos 'Delite' cultivados no RS, encontraram maiores concentrações de delphinidina, seguidos por cianidina e malvidina, como observado no presente estudo. Essas variações no teor de antocianinas ocorrem devido a sensibilidade térmica desses compostos a exposição de temperaturas elevadas durante o cultivo (YUAN *et al.*, 2011).

Com esses resultados, podemos observar que a diminuição dos compostos cianidina-3-glu, malvidina-3-glu e delphinidina-3-glu são responsáveis pela redução do teor de antocianinas observados anteriormente, e consequentemente na redução da atividade antioxidante total.

Tabela 21 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

Cianidina-3-glucosideo ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	104,3bA	83,5abA	92,4
Filme Nylon	163,6aA	75,0bB	119,3
AM Passiva	116,7bA	81,5abB	105,0
AM + Etanol	104,0bA	84,5abA	94,2
AM + KMnO_4	84,5bA	105,5aA	95,0
Média	112,5	87,1	
C.V. (%)	16,0	11,9	
Malvidina-3-glucosideo ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
Controle	53,7bA	66,7aA	60,2
Filme Nylon	55,6bA	60,7aA	58,5
AM Passiva	79,7aA	63,5aB	71,5
AM + Etanol	75,2abA	33,3bB	57,2
AM + KMnO_4	56,2bA	39,0bB	47,6
Média	64,5	53,6	
C.V. (%)	15,7	9,8	
Delfinidina-3-glucosideo ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	184,6bcA	190,5aA	188,0
Filme Nylon	286,0aA	162,5bB	215,4
AM Passiva	244,3abA	161,2bB	196,8
AM + Etanol	245,7abA	151,5bB	191,8
AM + KMnO_4	164,0cA	176,5abA	171,1
Média	224,9	168,4	
C.V. (%)	12,9	7,5	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A mircetina apresentou redução na sua concentração com o aumento do armazenamento (6,50 para 5,05 $\mu\text{g.mL}^{-1}$) (tabela 19). O tratamento que apresentou as menores concentrações de mircetina foi o AM + KMnO_4 , independente do tempo de armazenamento, enquanto AM com filme PEBD apresentou os maiores valores (6,6 $\mu\text{g.mL}^{-1}$).

A epicatequina apresentou um aumento na sua concentração com o prolongamento do tempo de armazenagem (13,7 para 15,7 $\mu\text{g.mL}^{-1}$). O controle exibiu a maior concentração de epicatequina (18,7 $\mu\text{g.mL}^{-1}$), independente do tempo de armazenamento, diferindo dos demais tratamentos.

A quercetina não apresentou diferenças entre os tratamentos aos 52 dias. Porém, aos 90 dias, os tratamentos com filme PEBD (AM passiva, AM + etanol e AM

+ KMnO_4), apresentaram uma redução no teor de quercetina, diferindo dos valores obtidos aos 52 dias.

O ácido elágico foi maior nos frutos do controle aos 90 dias de armazenamento, tendo um aumento de quase 100% (4,2 para 8,0 $\mu\text{g.mL}^{-1}$), quando comparado com os frutos de 52 dias de armazenagem. Os demais tratamentos apresentaram uma redução nos teores de ácido elágico, com o aumento do tempo de armazenamento.

O ácido clorogênico, aos 52 dias de armazenamento, foi maior nos frutos armazenados em AM passiva com filme PEBD (60,6 $\mu\text{g.mL}^{-1}$), diferindo do controle e do filme nylon (38,6 e 41,7 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, respectivamente). Porém, aos 90 dias, AM passiva apresentou uma redução de 80% (10,6 $\mu\text{g.mL}^{-1}$), sendo o menor teor, não diferindo apenas de AM + etanol (13,2 $\mu\text{g.mL}^{-1}$).

De acordo com Guofang *et al.* (2019), o ácido gálico, ácido elágico e ácido ferúlico foram os principais compostos em quatro cultivares de mirtilos do grupo rabbiteye, diferente do presente estudo, onde o ácido clorogênico apresentou maiores concentrações. Segundo Pertuzatti *et al.* (2021), os mirtilos possuem altas quantidades de ácido clorogênico (0,9 a 4g/kg), sendo a quantidade desse composto relacionada com o grau de radiação UV durante o período de desenvolvimento dos frutos. Mirtilos são ricos em compostos fenólicos, principalmente o ácido clorogênico, ácido gálico, ácido elágico, rutina, catequina, epicatequina, mircetina, quercetina e kaempferol, porém, esses compostos e suas quantidades são muito afetados pelas cultivares, regiões de produção e armazenamento (HUANG *et al.*, 2012; KRAUJALYTE *et al.*, 2015).

Tabela 22 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

(continua)

	Mircetina ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)		
	52 dias	90 dias	Média
Controle	5,2	5,7	5,5ab
Filme Nylon	7,2	5,5	6,3ab
AM Passiva	8,0	5,2	6,6a
AM + Etanol	6,5	4,5	5,5ab
AM + KMnO_4	5,5	4,2	4,8b
Média	6,5 ^a	5,0B	
C.V. (%)	20,0	17,9	

Tabela 23 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

(final)			
Epicatequina ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	12,5Aa	7,7cB	10,1
Filme Nylon	6,0Ba	7,7cA	7,0
AM Passiva	11,0abA	9,5bcA	10,0
AM + Etanol	9,7abA	10,7abA	10,2
AM + KMnO_4	6,7bB	12,7aA	9,7
Média	9,1	9,7	
C.V. (%)	21,9	11,9	
Quercetina ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
Controle	11,2aA	13,2aA	12,2
Filme Nylon	15,2aA	11,5abA	13,3
AM Passiva	15,6aA	10,5bcB	12,7
AM + Etanol	14,2aA	9,0cB	11,6
AM + KMnO_4	12,7aA	9,7bcB	11,2
Média	13,7	10,8	
C.V. (%)	15,7	10,5	
Ácido Elágico ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	4,2bB	8,0aA	5,8
Filme Nylon	7,5abA	4,5bA	6,0
AM Passiva	11,0aA	3,2bB	7,1
AM + Etanol	10,0aA	3,0bB	6,0
AM + KMnO_4	7,0abA	4,5bA	5,7
Média	7,8	4,4	
C.V. (%)	28,4	27,2	
Ácido Clorogênico ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
Controle	38,6bA	25,2aB	31,0
Filme Nylon	41,7bA	15,7bcB	28,7
AM Passiva	60,6aA	10,6dB	35,6
AM + Etanol	43,0abA	13,2cdB	28,1
AM + KMnO_4	44,7abA	19,0bB	28,1
Média	45,3	17,0	
C.V. (%)	16,7	12,3	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2023

Foram detectados 59 compostos voláteis, sendo 13 identificados somente com base em seu espectro de massas e 46 foram identificados com base em seus espectros de massas e índice de retenção linear em coluna apolar (Elite 5MS). A tabela 20 apresenta os compostos voláteis identificados, os índices de retenção, seus percentuais de área relativa no cromatograma e o aroma relatado na literatura.

De acordo com Du *et al.* (2010), o mirtilo é menos aromático do que outras bagas, com menos compostos de aroma e concentrações mais baixas. No presente

estudo, os contribuidores de aroma para o sabor de mirtilo foram álcoois, ésteres, terpenos e aldeídos, que concordam com os relatos da literatura (BEAULIEU *et al.*, 2014; QUIAN *et al.*, 2021).

Na tabela 20, os mirtilos colhidos em 2020 apresentaram maior área nas classes de álcoois, terpenos e aldeídos, com aroma predominantemente herbáceo e mentolado.

A porcentagem de etanol foi maior no tratamento com aplicação etanol exógeno aos 60 dias e aos 90 dias, quando comparado com os demais tratamentos. Com área de mais de 50% do cromatograma de etanol, os demais voláteis apresentaram menores porcentagens, sendo alguns suprimidos. A atmosfera modificada com filme nylon e AM em associação com permanganato de potássio na primeira saída, apresentaram odores de mofo ou bolor, com alta porcentagem de 2-heptanol, já tendo sido encontrado em mirtilos do grupo highbush (DU *et al.*, 2014).

Os compostos 2-hexen-1-ol e isoforona apresentaram porcentagem altas em ambas saídas, e são responsáveis pelo odor verde e menta. A biossíntese de isoforona está associada à degradação da zeaxantina (AMANPOUR *et al.*, 2015), ela é um dos voláteis responsáveis pelo aroma característico de açafrão. A isoforona pode ocorrer em diferentes plantas, como o açafrão e cranberry (ZARGHAMI; HEINZ, 1971; KIRAN *et al.*, 2014). Não foram encontrados relatos de isoforona em mirtilos.

Segundo estudos realizados por Hovart *et al.* (1983) e Hovart *et al.* (1996), os principais voláteis identificados em mirtilos do grupo rabbiteye são acetato de etila, p-cimeno, hexanol, (Z)-2-hexen-1-ol, heptanol, cinerolona, β -ionona, terpeno-4-ol, 2-undecanona, α -terpineol, carveol, nerol e eugenol. No presente estudo foram encontrados apenas os voláteis acetato de etila, (Z)-2-hexen-1-ol, terpeno-4-ol e α -terpineol.

Segundo Hovart *et al.* (1985), a combinação de (E)-2-hexenal, (E)-2-hexenol, (Z)-3-hexenol e linalol responsável pelo sabor característico de mirtilo. De acordo com Gu *et al.* (2022), os aldeídos (E)-2-hexenal, hexanal, (Z)-3-hexenal, hexadienal ou heptanal, respondem por quase metade de composição volátil do gênero *Vaccinium*, sendo detectados principalmente em frutos imaturos, diminuindo durante o amadurecimento. Foi observado uma diminuição na concentração de (E)-2-hexenal após 90 dias de armazenamento quando comparado com 52 dias, indicando um amadurecimento dos frutos.

O volátil 1-heptanol é responsável pelo aroma doce e frutado, e segundo Galvão *et al.* (2011), ele apresenta diminuição na sua concentração com o avanço da maturidade dos frutos. Porém, no presente estudo, frutos com maior tempo de armazenamento apresentaram aumento de até 30 vezes na área relativa do composto.

Os compostos geranilacetona e 6-metil-5-hepten-2-ona são derivados dos carotenóides, e ocupam um papel de grande importância no aroma de vinhos (MENDES-PINTO, 2009), e no aroma de frutas. Esses compostos são formados devido a ruptura celular ou durante a senescência, pela ação de enzimas oxidativas, como a LOX, derivando dos carotenoides acíclicos, como licopeno (SIEGMUND, 2015).

Os terpenos linalol e α -terpineol apresentaram diminuição na área relativa aos 90 dias quando comparado com os valores encontrados aos 52 dias de armazenamento. Comportamento similar foi encontrado por Yan *et al.* (2020), pesquisando o impacto do armazenamento refrigerado em mirtilos do grupo rabbiteye. Os terpenos são a classe aromática mais importante para a aceitabilidade dos consumidores.

É possível observar uma diminuição no aldeído C₆ (E)-2-hexanal, após o armazenamento prolongado, com aumento no álcool com C₆ 1-hexanol, nos frutos armazenados em filme nylon, indicando uma alta atividade da enzima álcool desidrogenase (ADH).

Tabela 24 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2019/20, Lages – SC.

(continua)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	Saída 1				Saída 2				Descritor de aroma
				T2	T3	T5	T6	T2	T3	T5	T6	
Álcoois												
1	Etanol	NC	448	13,2	14,0	56,4	9,5	25,2	23,3	34,4	21,5	Doce
2	2-Metil 1-Butanol	719	722	0,3	0,2	-	0,4	0,9	1,1	0,6	0,8	Vinho, cebola
3	3-Metil 1-Butanol	714	727	-	0,4	-	0,3	-	2,1	0,3	1,5	Malte
4	(Z)-2-Hexen-1-ol	855	851	8,7	2,8	1,0	10,8	8,3	7,6	1,6	5,2	verde, folha, noz
5	1-Hexanol	866	865	3,9	5,7	1,3	3,7	10,9	5,3	1,5	2,5	resina, flor, herbáceo
6	1,2-Ciclohexanodiol	877	870	-	-	-	-	0,5	-	-	-	Menta
7	2-Heptanol	904	906	5,5	6,1	2,1	5,7	4,9	3,6	1,0	4,2	Mofo
8	2-Hexadecanol	NC	1702	1,1	4,5	-	2,4	0,8	0,4		0,2	Flor, cera
9	1-Heptanol	978	975	0,3	0,8	0,6	0,9	3,5	14,0	38,3	26,3	Frutado, doce
10	2-Etil Hexanol	1036	1035	0,7	1,1	0,4	0,7	0,7	0,8	0,4	0,5	Rosa, verde
11	(E)-3-Nonen-1-ol	1111	1126	0,5	1,0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,3	0,6	Melão, cera, pepino
12	(E)-2-Decen-1-ol	1179	-	0,4	0,8	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4	Gordura, rosas
Aldeídos												
13	Pentanal	671	687	0,3	1,2	-	0,1	0,9	0,5	-	0,2	Morango, frutado, tomate
14	3-Metil Hexanal	715	-	0,3	1,4	-	-	1,0	-	-	-	Doce, verde
15	Hexanal	791	798	5,0	7,1	2,1	5,8	7,1	5,8	0,8	3,7	herbáceo, ranço, gordura
16	(E)-2-Hexenal	846	847	8,3	15,5	7,9	4,3	0,6	0,2	0,4	2,2	verde, folha
17	Octanal	1010	1004	0,1	0,2	-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	gordura, sabão, limão, herbáceo
18	Fenilacetaldéido	1053	1049	1,2	0,6	-	0,9	0,5	0,6	-	0,3	floral, mel

Tabela 25 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2019/20, Lages – SC.

(continuação)

Nº	COMPOSTO	IR (cm ⁻¹)										Descritor de aroma
		IR	REF	Saída 1				Saída 2				
				T2	T3	T5	T6	T2	T3	T5	T6	
19	Decanal	1212	1210	0,4	1,5	0,2	0,4	0,8	0,9	0,3	0,8	Sabão, casca de laranja
20	Undecanal	1314	1311	-	0,1	-	-	-	-	-	-	Sabão, gordura, verde
Ésteres												
21	Acetato de metila	NC	518	3,8	-	-	-	0,6	-	-	-	Doce
22	Acetato de etila	612	612	1,1	0,9	0,3	0,3	0,4	1,3	2,8	1,0	Abacaxi
23	Metil Isovalerato	762	765	-	-	-	-	0,2	0,3	-	-	Maçã, abacaxi, frutado
24	Acetato de Lavandulila	1259	1283	1,2	1,0	0,3	1,1	0,6	0,4	-	0,3	Lavanda
25	2,2,4-Trimetil-1,3-pentanodiol diisobutarato	1597	1587	7,3	0,6	3,0	10,8	0,8	1,3	1,1	0,5	Mofado
26	Ftalato de diisobutil	1873	1892	3,3	1,0	1,7	6,0	0,4	0,6	1,0	1,2	Suave, aromático
Terpenos												
27	Eucaliptol	1041	1038	0,1	0,2	-	0,1	0,1	0,1	-	0,1	Menta, frescor
28	Óxido de trans-linalol	1079	1081	1,7	1,1	0,4	1,4	0,8	0,5	0,1	0,6	Citrus, verde
29	Óxido de cis-linalol	1095	1098	0,5	0,4	-	0,4	0,3	0,2	-	0,1	Citrus, verde
30	Trans-3(10)-Caren-2-ol	NC	1101	0,1	-	-	0,2	0,1	0,5	0,8	-	Laranja
31	Linalool	1106	1106	4,7	5,1	1,2	5,0	3,7	2,2	0,4	2,0	Flor, lavanda
32	Isopulegol	1188	1184	0,2	0,1		0,1	0,1	-	-	-	Menta, folha
33	Terpinen-4-ol	1190	1192	0,2	0,1	-	0,2	-	0,1	0,3	0,1	Terebentina, noz moscada, mosto
34	Terpineol	1196	-	0,9	0,8	-	0,5	1,2	0,2	-	0,2	Frescor, limão
35	α-Terpineol	1205	1203	3,1	2,6	1,1	2,5	1,7	1,1	0,3	0,9	Limão

Tabela 26 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2019/20, Lages – SC.

(continuação)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	Saída 1				Saída 2				Descritor de aroma
				T2	T3	T5	T6	T2	T3	T5	T6	
36	(Z)-2,6-Octadien-1-ol-3,7-dimetil	1234	1232	0,2	0,2	-	0,2	-	-	-	-	Verde
37	Santalol, E-cis, epi-β-	NC	1671	0,1	0,1	-	0,1	-	-	-	-	Amadeirado
38	Etiliso alocolato	1390	-	0,1	-	-	-	-	-	-	-	Frutado, doce, maçã, abacaxi
39	Geranilacetona	1456	1445	-	-	-	-	0,1	0,2	-	0,4	Frutado, rosas, folha
40	6-Metil-5-hepten-2-ona	992	988	0,1	0,2	-	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	Peixe
41	Cis-Calamenene	1534	1531	0,2	-	-	-	-	-	-	-	Erva, picante
42	(-)-Globulol	1605	1603	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	Floral
Fenóis												
43	Fenol, 2,5-bis(1,1-dimetil)etil	1473	1472	0,8	0,5	8,1	6,0	0,2	0,2	2,3	0,3	
44	2,4-Di-terc-butilfenol	1517	1513	0,4	0,5	-	0,2	-	-	-	-	
Ácidos												
45	Ácido agárico	1084	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	Batata crua
46	Ácido acético	NC	528	-	-	0,3	0,3	0,4	0,4	-	0,3	Azedo
Cetonas												
47	1-Penten-3-ona	660	678	-	-	-	0,3	-	-	-	-	Doce, químico
48	Isoforona	1130	1132	10,9	16,1	4,8	7,9	7,4	6,1	2,9	7,7	Menta, cânfora
Outros												
49	Tolueno	747	757	0,9	0,5	-	1,0	1,2	0,72	0,6	1,4	Tinta

Tabela 27 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2019/20, Lages – SC.

(final)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	Saída 1				Saída 2				Descritor de aroma
				T2	T3	T5	T6	T2	T3	T5	T6	
50	Ciclopropano, 1,1-dimetil-2-pentil	869	870	3,4	1,8	-	3,9	10,5	13,9	2,7	9,3	Folha
51	2-Octeno	NC	817	0,3	0,6	2,1	0,7	0,3	1,0	1,4	1,3	Alcano
52	2H-Piran-3-ol, 6-eteniltetrahidro-2,2,6-trimetil	1184	1173	0,1	-	-	-	-	-	-	-	Floral
53	2-Miristinoil panteteína	1360	-	0,5	0,3	-	0,8	0,2	0,2	-	0,3	Plástico

Nota: T2: Filme Nylon; T3: AM Passiva; T5: AM + Etanol; T6: AM + KMnO₄. NC: Não calculado; -: Não detectado. ^bACREE, T. E.; ARN, H. Flavornet. Ano 2023. Disponível em: <www.flavornet.org/flavornet.html>. Acesso em: jan. 2023. NIST. National Institute of Standards and Technology. Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, version 2.0. 2014.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Não houve interação entre os tratamentos e os tempos de armazenamento para o teor de CFT. Porém, o controle apresentou maiores valores de CFT, diferindo da AM + ativa, filme nylon + KMnO_4 e AM + etanol. Aos 90 dias, observou-se aumento do CFT, diferindo do valor médio encontrado aos 52 dias (Tabela 21). No teor de CFT, a atmosfera modificada ativa e atmosfera modificada + etanol novamente não se mostraram eficientes na manutenção destes compostos, já que apresentaram os menores valores, inferiores inclusive à testemunha.

O controle apresentou maior valor de ANT aos 52 dias, não diferindo apenas do filme nylon e AM + KMnO_4 . Apenas os tratamentos AM + KMnO_4 e filme nylon + KMnO_4 não apresentaram diferenças entre as saídas. As concentrações de antocianinas contribuem para a atividade antioxidante total e valor nutricional, portanto, a preservação de estes compostos durante o armazenamento a frio é de extrema importância (PINTO *et al.*, 2020). Moor *et al.* (2014) encontraram maior teor de antocianinas em framboesas armazenadas em embalagens Xtend® em comparação com AM PEBD passiva e ativa.

AAT pelo método DPPH aos 52 dias a AM + etanol apresentou os menores valores, diferindo dos demais tratamentos. O mesmo ocorreu aos 90 dias, onde esse tratamento novamente exibiu os menores valores de AAT. Porém, filme nylon + KMnO_4 apresentou uma redução aos 90 dias, quando comparado com os valores encontrados aos 52 dias de armazenamento.

Isso também foi observado pelo método ABTS, com AM + etanol apresentando os menores valores de AAT aos 52 e 90 dias. O controle exibiu os maiores valores de AAT aos 52 dias, diferindo dos demais tratamentos. Já aos 90 dias, filme nylon apresentou uma redução na AAT, diferindo dos demais.

Schotsmans *et al.* (2007) utilizando AC em mirtilos rabbiteye descobriu que a atividade antioxidante e o teor de compostos fenólicos se correlacionam positivamente quando armazenadas em atmosfera normal, e negativamente quando armazenadas com modificação na composição atmosférica. Isso também foi observado por Moor *et al.* (2014), em framboesas 'Polska', após armazenamento em AM com diferentes embalagens. Porém, no presente estudo, foram observados apenas correlações positivas entre os tratamentos e o teor de compostos fenólicos, antioxidantes e atividade antioxidante.

Tabela 28 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g⁻¹ de massa fresca), antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

CFT			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	370,2	361,8	366,0 a
Filme Nylon	361,4	353,5	357,5 ab
AM Passiva	367,0	331,1	349,1 abc
AM Ativa	322,1	334,7	328,4 bc
AM + Etanol	248,6	264,0	256,3 d
AM + KMnO ₄	334,5	341,5	338,0 abc
Filme Nylon + KMnO ₄	301,8	344,5	323,2 c
Média	324,3 B	338,1 A	
C.V. (%)	6,2	5,4	
ANT			
Controle	376,4 aB	506,8 aA	441,6
Filme Nylon	344,8 abB	435,6 aA	390,2
AM Passiva	151,0 dB	480,3 aA	315,7
AM Ativa	186,9 cdB	324,0 bA	225,5
AM + Etanol	193,0 cdB	342,3 bA	267,7
AM + KMnO ₄	337,5 abA	321,4 bA	329,5
Filme Nylon + KMnO ₄	265,8 bcA	286,0 bA	275,9
Média	265,1	385,2	
C.V. (%)	10,0	9,1	
AAT (DPPH)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	1038,4 aA	1023,9 aA	1031,1
Filme Nylon	1019,2 aA	1014,7 aA	1016,9
AM Passiva	1035,0 aA	1033,9 aA	1034,4
AM Ativa	1021,0 aA	1024,4 aA	1022,7
AM + Etanol	932,2 bA	923,2 cA	927,7
AM + KMnO ₄	1032,7 aA	1010,2 abA	1021,4
Filme Nylon + KMnO ₄	1031,4 aA	976,2 bB	1003,8
Média	1015,1	1001,6	
C.V. (%)	1,2	1,7	
AAT (ABTS)			
Controle	8459,8aA	7899,8aA	8179,8
Filme Nylon	7134,8bA	6643,5bcA	6889,1
AM Passiva	6999,8bA	7323,5abA	7161,6
AM Ativa	6418,5bcB	7731,0aA	7074,8
AM + Etanol	5646,0cA	5854,8cA	5750,4
AM + KMnO ₄	7119,8bA	8003,5aA	7561,6
Filme Nylon + KMnO ₄	6883,5bA	7679,8aA	7281,6
Média	6951,7	7305,1	
C.V. (%)	7,60	5,17	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A quantidade de cianidina aumentou com o tempo de armazenamento, exceto nos tratamentos AM + KMnO_4 onde houve uma redução significativa (207,0 para 163,2 $\mu\text{g.mL}^{-1}$) (tabela 22). Aos 52 dias, frutos do controle e armazenados em AM com filme de nylon exibiram os valores mais baixos de cianidina (86,5 e 95,0 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, respectivamente), diferindo dos demais tratamentos. Após 90 dias de armazenamento, os tratamentos não diferiram nos teores de cianidina.

A concentração de malvidina aos 52 dias foi maior no controle e nos frutos armazenados com filme nylon (107,7 e 91,0 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, respectivamente), diferindo dos demais tratamentos. Aos 90 dias, não foi observado diferenças estatísticas na concentração de malvidina. Porém, controle apresentou uma redução de aproximadamente 50% com o aumento do tempo de armazenagem. O oposto foi observado em AM + etanol, AM + KMnO_4 e filme nylon + KMnO_4 , com um aumento de significativo (29,6 para 53,5; 38,5 para 69,0; 35,5 para 70,2 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, respectivamente).

A delfinidina diminuiu sua concentração com o prolongamento do tempo de armazenagem (160,0 para 189,5 $\mu\text{g.mL}^{-1}$), independente do tratamento aplicado. AM + etanol e filme nylon + KMnO_4 apresentaram as menores concentrações de delfinidina (154,3 e 154,7 $\mu\text{g.mL}^{-1}$, respectivamente), independente do tempo de armazenamento, não diferindo apenas de AM + KMnO_4 (163,1 $\mu\text{g.mL}^{-1}$). De acordo com os resultados obtidos, podemos associar uma possível ação do absorvedor de etileno na redução da concentração de delfinidina.

De acordo com Lo Piero et al. (2005), durante o armazenamento pode ocorrer biossíntese ou aumento da disponibilidade de antocianinas livres. Além disso, Kalt et al. (1999), conferem o aumento do teor de antocianinas a diminuição dos ácidos orgânicos, responsáveis pelos esqueletos de carbono para a síntese fenólica. Porém, estresse causado pelo método de armazenamento, pode desencadear o acúmulo da enzima fenilalanina amônia liase (FAL), responsável pela síntese de compostos protetores, aumentando as quantidades desses compostos. O acúmulo de cianidina-3-glucosídeo após 90 dias de armazenamento nos tratamentos controle, filme nylon e AM passiva provavelmente são responsáveis pelo aumento no teor de antocianinas observados na Tabela 21. O aumento do teor total de antocianina observado em AM + etanol pode ser relacionado com o leve aumento nas três principais antocianinas encontradas nos mirtilos, cianidina-3-glu, malvidina-3-glu e delfinidina-3-glu.

Tabela 29 – Conteúdo de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2020/21, Lages – SC.

Cianidina-3-glucosideo ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	86,5dB	245,2aA	165,8
Filme Nylon	95,0dB	188,5aA	126,1
AM Passiva	117,5cB	206,5aA	147,1
AM + Etanol	152,5bA	178,0aA	169,5
AM + KMnO_4	207,0aA	163,2aB	185,1
Filme Nylon + KMnO_4	197,2aA	164,0aA	183,0
Média	141,7	190,9	
C.V. (%)	5,1	16,5	
Malvidina-3-glucosideo ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
Controle	107,7aA	64,2aB	86,0
Filme Nylon	91,0aA	65,5aA	82,5
AM Passiva	46,7bA	66,5aA	53,3
AM + Etanol	29,6bB	53,5aA	43,2
AM + KMnO_4	38,5bB	69,0aA	53,7
Filme Nylon + KMnO_4	35,5bB	70,2aA	52,8
Média	59,4	64,6	
C.V. (%)	15,6	15,0	
Delfinidina-3-glucosideo ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	176,0	199,2	187,6a
Filme Nylon	177,0	219,5	191,2a
AM Passiva	179,3	217,0	194,4a
AM + Etanol	130,5	166,2	154,3b
AM + KMnO_4	149,2	181,6	163,1ab
Filme Nylon + KMnO_4	138,0	177,0	154,7b
Média	160,0B	189,5A	
C.V. (%)	6,4	13,4	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

A quantidade de mircetina aos 52 dias foi mais elevada nos frutos do controle, diferindo dos tratamentos de AM em associação com etanol e permanganato de potássio. Porém, aos 90 dias, o filme nylon + KMnO_4 apresentou a maior quantidade de mircetina, diferindo dos demais tratamentos, que apresentaram um comportamento de redução desse composto na segunda saída.

O controle apresentou os maiores valores de epicatequina, independente do tempo de armazenamento, diferindo dos demais tratamentos, exceto dos frutos em AM Passiva. Houve um aumento nas concentrações de desse composto com a ampliação do tempo de armazenamento.

A associação de AM + etanol, apresentou os menores valores de quercetina, diferindo dos demais tratamentos, independentemente do tempo de

armazenamento. A quercetina apresentou um aumento na sua quantidade aos 90 dias, quando comparado com os 52 dias.

O controle diferiu dos demais tratamentos nas quantidades de ácido elágico aos 52 dias (tabela 23), porém, aos 90 dias, apresentou uma redução de mais de 50% ($3 \mu\text{g.mL}^{-1}$ para $1,25 \mu\text{g.mL}^{-1}$), não apresentando diferenças entre os tratamentos.

O ácido clorogênico dos frutos armazenados em AM + etanol apresentaram menores quantidades em ambas saídas, enquanto o controle, as maiores concentrações.

Tabela 30 – Conteúdo de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

Mircetina ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)			
	52 dias	90 dias	Média
Controle	5,2aA	2,0bB	3,6
Filme Nylon	4,7aA	2,0bB	3,8
AM Passiva	4,5aA	1,5bB	3,5
AM + Etanol	2,0bA	1,0bB	1,4
AM + KMnO_4	2,0bA	2,0bA	2,0
Filme Nylon + KMnO_4	1,7bB	4,5aA	3,1
Média	3,4	2,2	
C.V. (%)	12,7	22,2	
Epicatequina ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)			
Controle	16,5	21,6	18,7a
Filme Nylon	12,0	17,0	13,6b
AM Passiva	15,0	17,5	15,8ab
AM + Etanol	9,6	14,5	12,4b
AM + KMnO_4	15,0	13,0	14,0b
Filme Nylon + KMnO_4	13,0	13,7	13,3b
Média	13,7B	15,7A	
C.V. (%)	14,1	20,4	
Quercetina ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
Controle	10,5	12,7	11,6a
Filme Nylon	9,2	12,5	10,3ab
AM Passiva	9,0	10,5	9,5b
AM + Etanol	6,0	7,2	6,7c
AM + KMnO_4	9,7	11,0	10,3ab
Filme Nylon + KMnO_4	10,7	11,2	11,0ab
Média	9,3B	10,7A	
C.V. (%)	10,7	14,3	
Ácido Elágico ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)			
Controle	3,0aA	1,2aB	2,1
Filme Nylon	1,5bA	1,0aA	1,3
AM Passiva	1,0bA	1,0aA	1,0
AM + Etanol	1,0bA	1,5aA	1,2
AM + KMnO_4	1,0bA	1,0aA	1,0
Filme Nylon + KMnO_4	1,0bA	1,2aA	1,1
Média	1,4	1,2	

C.V. (%) 27,8 35,2

Tabela 31 – Conteúdo de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2019/20, Lages – SC.

(final)			
	Ácido Clorogênico ($\mu\text{g. mL}^{-1}$)		Média
	52 dias	90 dias	
Controle	38,0aA	36,2aA	37,1
Filme Nylon	36,0aA	17,5abB	29,8
AM Passiva	36,0aA	16,5abB	28,2
AM + Etanol	5,0cA	4,7bA	4,8
AM + KMnO_4	14,7bA	10,2bA	12,5
Filme Nylon + KMnO_4	20,0bA	17,7abA	18,9
Média	25,3	17,2	
C.V. (%)	11,0	52,2	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Foram detectados 58 compostos voláteis nos mirtilos na safra de 2020/2021. Dezessete compostos foram identificados apenas pelo espectro de massas e 41 foram identificados com o espectro de massas e índices de retenção linear em coluna apolar (Elite 5MS).

O etanol apresentou menores valores de porcentagem no tratamento com aplicação exógena de etanol, devido à grande área de principalmente ácido acético e acetato de etila, sugerindo, portanto, que os frutos fermentaram, trazendo um aroma característico de azedo. Não há relatos na literatura com a presença de etanol no aroma de mirtilos. Mesmo o aroma característico de mirtilos do grupo rabbiteye ser o acetato de etila, em altas quantidades, ele pode acarretar off flavor e odores não agradáveis.

As concentrações de terpenos variam mais entre os grupos e cultivares de mirtilo. As concentrações de linalol e α -terpineol variaram entre highbush, 1130 para $13 \mu\text{g L}^{-1}$ e 631 para $4 \mu\text{g L}^{-1}$ respectivamente em cultivares Duke e Legacy (QUIAN *et al.*, 2022). Qian *et al.* (2021) determinaram que os terpenos, os álcoois e aldeídos com C_6 , eram contribuidores de aroma significativos para os mirtilos highbush, o que corrobora com os resultados do presente estudo, com altas concentrações de 2-hexen-1ol, 1-hexanol, hexanal e (E)-2-hexanal. A redução da degradação dos ácidos graxos pela diminuição da lipoxigenase pode acarretar a diminuição do hexanal, além da redução do metabolismo dos aldeídos, causando o acúmulo de (E)-2-hexanal. Além disso, os aldeídos de C_6 , tendem a reduzir com o aumento da

maturação, devido ao papel do etileno na transformação dos aldeídos em álcoois e posteriormente em ésteres, ativando as enzimas ADH e ATT. Os aldeídos de C6 são responsáveis também pela inibição de crescimento de microorganismos, portanto sua diminuição ou remoção do ambiente, pode ocasionar em desenvolvimento de podridões. O decanal, um dos responsáveis pelo aroma frutado, foi mais predominante no controle. Xinyu *et al.* (2020) estudando aromas de mirtilos selvagens e cultivados, concluiu que os mirtilos selvagens possuem maior concentração de decanal que os cultivados, contribuindo ativamente para o seu aroma.

O terpeno geranilacetona, responsável pelo aroma frutado de rosas foi encontrado em quase todos os tratamentos. Ele é derivado das vias MEP/MVA, mas é formado através da oxidação dos carotenoides (YUAN *et al.*, 2015). Ferrão *et al.* (2020), estudando o genoma de voláteis com potencial de melhoramento de sabor de mirtilos highbush, identificou o geranilacetona como um dos possíveis contribuidores de aroma. Du *et al.* (2014) encontrou concentrações maiores de geranilacetona em diferentes cultivares do grupo highbush.

O linalol, que é um dos voláteis chaves para o aroma característico do mirtilo (DU *et al.*, 2011), com um aroma frutado e fresco, teve uma participação menor nos frutos armazenados em atmosfera modificada passiva e com aplicação exógena de etanol. Utilizando provadores treinados, Ferrão *et al.* (2020), observaram uma preferência positiva para mirtilos com maior quantidade de linalol na composição aromática.

Outro importante contribuinte de sabor é o eucaliptol, responsável pelo aroma fresco de menta. Porém, outros autores observaram que mirtilos com alto teor de eucaliptol reduziram a aceitabilidade de gosto de mirtilo (GILBERT *et al.*, 2015; FARNETI *et al.*, 2017). Alta concentração de eucaliptol é observada em frutos verdes, com redução drástica durante o amadurecimento, o que pode ser observado no presente estudo, onde os frutos mais maduros não apresentaram eucaliptol na sua composição, levantando a hipótese de que o eucaliptol pode ser considerado como um metabólito 'não atraente' ou 'repelente', afetando negativamente as preferências do consumidor (FARNETI *et al.*, 2017).

A aplicação de etanol foi capaz de reduzir a respiração e a produção de etileno (dados demonstrados no primeiro capítulo) dos frutos. A biossíntese de compostos voláteis é relacionada com o etileno e a atividade de algumas enzimas,

como a LOX, ADH e ATT, onde a redução principalmente de etileno levaria a menor produção de compostos voláteis, como observado no tratamento de AM + etanol. A diminuição do etileno afeta principalmente a produção de ésteres, ao regular a expressão gênica da ATT (DEFILLIPI et al., 2005). Porém, a aplicação de etanol, e consequente acúmulo deste composto na fruta, pode ser utilizado como substrato na biossíntese dos ésteres de etila, como por exemplo o acetato de etila. Esse composto é considerado um dos característicos no aroma de mirtilo rabbiteye, porém, em altas quantidades, pode causar aroma indesejável.

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	T1	T2	T3	T5	T6	T7	Descritor aroma ^b
Álcoois										
1	Etanol	NC	448	17,2	17,0	16,5	8,4	25,2	33,9	Doce
2	2-Metil-1-butanol	719	722	0,6	0,5	1,6	-	0,3	1,9	Vinho, cebola
3	3-Metil-1-butanol	714	727	-	1,0	6,7	-	0,5	1,6	Malte
4	(E)-2-Hexen-1-ol	855	851	3,6	2,9	3,2	-	3,8	2,2	Verde, folha, noz
5	1-Hexanol	866	865	1,7	1,7	6,8	-	5,6	1,2	Resina, flor, herbáceo
6	1,2-Ciclohexanediol	877	870	7,4	-	-	-	2,7	4,2	Menta
7	2-Heptanol	904	906	3,0	2,3	1,5	-	3,3	2,6	Mofo
8	2-Etil hexanol	1036	1035	1,0	1,1	0,8	-	0,8	1,0	Rosa, verde
9	(E)-3-Nonen-1-ol	1111	1126	1,9	2,0	1,4	0,4	1,9	1,5	Melão, cera, pepino
10	(E)-2-Decen-1-ol	1179	-	0,5	0,9	0,5	0,1	1,1	0,5	Gordura, rosas
11	1-Nonanol	1180	1181	0,4	-	0,2	-	0,4	0,5	Cítrico
Aldeídos										
12	Pentanal	671	687	0,3	1,7	0,8	0,2	1,2	0,8	Morango, frutado, tomate
13	3-Metil hexanal	715	-	0,9	-	-	-	-	-	Doce, verde
14	Hexanal	791	798	4,4	4,4	3,0	0,2	5,4	4,3	Herbáceo, ranço, gordura
15	(E)-2-Hexenal	846	847	2,1	5,6	2,6	-	1,0	0,9	Verde, folha
16	Octanal	1010	1004	0,3	0,4	0,2	0,1	0,4	0,3	Gordura, sabão, limão, herbáceo
17	Fenilacetaldéido	1053	1049	0,4	0,3	0,3	-	0,7	0,5	Floral, mel
18	(E)-2-Octenal	1067	1064	0,1	0,3	0,2	-	0,1	0,1	Verde, ranço
19	Octadecanal, 2-bromo-	NC	1989	0,2	0,3	0,1	-	0,3	0,7	
20	(E)-2-Nonanal	NC	1157	1,6	2,7	0,9	-	-	-	Rosa, citrus
21	7,11-Hexadecadienal	NC	1982	0,1	-	-	-	-	-	Suave, doce
22	Decanal	1212	1210	1,9	2,4	1,4	0,4	2,3	1,7	Sabão, casca de laranja, ranço
23	Undecanal	1314	1311	0,1	0,1	0,1	-	0,1	0,1	Sabão, gordura, verde
24	Dodecanal	1420	1417	0,1	0,2	0,1	-	0,1	0,1	
Ésteres										

Tabela 33 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2020/21, Lages – SC.

(continuação)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	T1	T2	T3	T5	T6	T7	Descritor aroma ^b
25	Acetato de metila	NC	518	3,0	-	-	-	-	-	Doce
26	Acetato de etila	612	612	4,1	10,0	9,7	20,2	4,5	10,0	Abacaxi
27	Metil isovalerato	762	765	1,0	0,3	0,2	-	0,1	-	Maçã, abacaxi, frutado
28	Ácido 13-docosenóico, éster metílico	928	-	0,2	0,4	0,3	-	0,6	0,4	Camarão
29	Hexanoato de metila	1006	1007	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,2	Fruta, frescor, doce
30	Metil hexadeca-4,7,10,13-tetranoato	NC	1671	0,5	0,8	0,4	-	0,3	0,4	Fruta
31	Acetato de lavandulil	1259	1283	0,5	0,4	0,2	-	0,8	0,4	Lavanda
32	Ácido Propanóico, 2-metil, 2-etil-3-hidroxihexil éster	1384	1375	0,7	1,0	1,1	0,2	0,5	-	Doce, frutado, rum
33	Isobutil 3-hidroxi-2,2,4-trimetilpentanoato	1384	-	0,7	-	-	-	-	-	
34	2,2,4-Trimetil-1,3-pentanodiol diisobutirato	1597	1587	0,6	2,1	1,5	0,5	1,3	1,0	Mofado
35	Ftalato de diisobutil	1873	1892	1,6	2,9	2,0	-	1,7	1,7	Suave, aromático
Terpenos										
36	p-Cimene	NC	1101	-	-	0,2	-	-	-	Solvente, gasolina, citrus
37	Eucaliptol	1041	1038	0,1	0,2	0,2	-	-	0,1	Menta, frescor
38	Óxido trans-linalool (furanóide)	1079	1081	1,8	-	1,3	1,0	0,9	0,6	Citrus, verde
39	Óxido cis-linalool (furanóide)	1095	1098	0,1	1,1	0,1	-	0,3	0,2	Citrus, verde
40	Linalool	1106	1106	3,2	3,8	1,9	0,3	4,0	3,1	Flor, lavanda
41	Terpinen-4-ol	1190	1192	0,1	0,2	0,1	0,2	0,5	2,1	Terebentina, noz moscada, mosto
42	Terpineol	1196	-	0,6	0,4	0,1	-	0,7	0,2	Frescor, limão
43	α-Terpineol	1205	1203	2,3	1,8	1,4	0,3	2,9	2,1	Limão

Tabela 34 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2020/21, Lages – SC.

(final)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	T1	T2	T3	T5	T6	T7	Descritor aroma ^b
44	p-Menta-1,8-dien-7-ol	NC	1286	0,1	0,1	0,1	-	0,2	-	Menta, citrus
45	Etiliso-alocolato	1390	-	0,2	0,4	-	-	-	-	Frutado, doce, maçã, abacaxi
46	Geranilacetona	1456	1445	0,6	0,9	0,5	-	0,3	0,5	Frutado, rosas, folha
Fenóis										
47	Fenol 2,5-bis(1,1-dimetiletil)	1473	1472	0,6	0,5	0,6	-	0,6	0,6	
48	2,4 Di-terc-butilfenol	1517	1513	0,4	-	0,4	-	0,4	0,4	
Ácidos										
49	Ácido acético	NC	528	1,2	2,4	0,5	64,7	0,4	0,7	Azedo
Cetonas										
50	1-Penten-3-ona	660	678	0,3	0,3	0,2	-	0,3	0,2	Doce, químico
51	5-Hepten-2-ona, 6-metil-	992	988	0,5	0,4	0,5	-	0,2	0,4	Peixe
52	Isoforona	1130	1132	11,8	12,0	19,5	2,4	10,7	6,5	Menta
Outros										
53	Tolueno	747	757	2,9	0,9	0,4	-	0,6	1,0	Tinta
54	Ciclopropano, 1,1-dimetil-2-pentil	869	870	7,8	4,4	4,2	-	6,9	4,0	Folha
55	2-Octeno	979	975	0,1	0,1	0,2	-	0,4	0,1	Alcano
56	Cholestan-3-ol, 2-methylene-, (3 β ,5 α)-	1189	1184	0,6	0,3	0,2	-	-	-	Picante
57	2-Miristinoil panteteína	1360	-	-	0,4	0,7	-	0,2	0,3	Plástico
58	β Carotene	1648	-	0,3	0,4	-	-	0,3	0,1	Floral, rosas

Nota: T1: Controle; T2: Filme Nylon; T3: AM Passiva; T4: AM Ativa; T5: AM + Etanol; T6: AM + KMnO₄; T7: Filme Nylon + KMnO₄. NC: Não calculado; -: Não detectado. ^bACREE, T. E.; ARN, H. Flavornet. Ano 2023. Disponível em: <www.flavornet.org/flavornet.html>. Acesso em: jan. 2023. NIST. National Institute of Standards and Technology. Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, version 2.0. 2014.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

5.5 CONCLUSÃO

Na safra 2019/20, o controle foi responsável pelo aumento no teor de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante total e antocianinas, devido à alta perda de massa. A aplicação de AM ativa com alto CO₂, reduz a concentração de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante total e antocianinas.

O aumento do período de armazenamento reduz a concentração de malvidina, delphinidina, miricetina, quercetina e ácido clorogênico.

Os compostos voláteis predominantes nos mirtilos armazenados na safra 2019/20 foram álcoois, terpenos e aldeídos.

Na safra 2020/21, AM + etanol reduz a atividade antioxidante total e o conteúdo de compostos fenólicos totais, provavelmente devido à redução do teor de ácido clorogênico e delphinidina.

O prolongamento do tempo de armazenamento aumenta os teores de delphinidina, epicatequina e quercetina, independente do tratamento.

A utilização de etanol exógeno associado a AM resultou na fermentação dos frutos, com alta presença principalmente de ácido acético de acetato de etila, inibindo a formação de outros compostos voláteis característicos do aroma de mirtilo, presentes nas classes de aldeídos, terpenos e álcoois.

6 MIRTILOS ‘CLIMAX’ ARMAZENADOS EM ATMOSFERA MODIFICADA COM DOSES DE ETANOL

6.1 RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses de etanol associado a atmosfera modificada (PEBD) sobre a qualidade, a atividade antioxidante total, conteúdo de compostos fenólicos (perfil e totais), antocianinas, açúcares (totais e redutores), aroma e metabolismo fermentativo (etanol, acetaldeído e acetato de etila), em mirtilos ‘Climax’ produzidos no sistema orgânico. Os frutos foram colhidos em pomar comercial orgânico em Lages – SC, quando apresentavam coloração azul escura e presença de pruína. Os tratamentos avaliados foram pré-tratamento por volatilização com doses de etanol ou aplicação de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada, sendo eles: controle (atmosfera modificada (AM)), etanol associado a AM ativa com diferentes doses (2 mL kg⁻¹; 5 mL kg⁻¹; 10 mL kg⁻¹; 15 mL kg⁻¹) e durante todo o armazenamento (4 mL e 8 mL). Os frutos foram armazenados em câmara fria a 1±0,2 °C e umidade relativa de 92±2%. Foram avaliados após 45 e 75 dias de armazenamento, seguido de dois dias em condição ambiente (20 ± 5 °C e 60 ± 5 % de UR). O delineamento foi inteiramente casualizado, com quatro repetições e unidade experimental de 500g. As doses mais altas de etanol (10 mL.kg⁻¹ e 15 mL.kg⁻¹) controlaram podridões e diminuíram a perda de massa, mantendo a firmeza e acidez titulável até os 75 dias de armazenamento a frio. O uso de etanol durante todo o período de armazenamento é ineficaz na diminuição da respiração e produção de etileno. A maior dose de etanol (15 mL.kg⁻¹) e 8 mL durante todo armazenamento são responsáveis pela maior produção de produtos do metabolismo fermentativo. A aplicação altas doses de etanol aumentou a porcentagem de acetato de etila, o responsável pelo aroma característico do mirtilo. O conteúdo de atividade antioxidante após período prolongado de armazenamento, foi elevado no uso de sachês de 8 mL de etanol, devido ao aumento da concentração de malvidina, epicatequina, mircetina e quercetina.

Palavras-chave: *Vaccinium spp.*; orgânicos; compostos bioativos; aromas; qualidade.

6.2 INTRODUÇÃO

O mirtilo (*Vaccinium spp*) tem sido amplamente consumido devido seu alto valor nutricional, e os volumes de produção tem aumentado rapidamente em todo o mundo (FOTIRIĆ AKŠIĆ *et al.*, 2019a). As preocupações ambientais, econômicas e sociais têm aumentado o interesse na produção de frutas orgânicas (FOTIRIĆ AKŠIĆ *et al.*, 2019b), que além de evitar produtos químicos, minimiza insumos não recicláveis e resíduos de agrotóxicos nos alimentos, contribuindo para a segurança alimentar global (OCHMIAN *et al.*, 2015).

A pós-colheita dos mirtilos é altamente curta, devido sua casca fina e polpa suculenta, além da colheita no verão, com altas temperaturas e umidade, que aumentam a respiração e aceleram o metabolismo de envelhecimento, resultado em perda de peso, amolecimento e decomposição (ZHOU *et al.*, 2014; PANIAGUA *et al.*, 2014).

O etanol é um composto volátil natural com baixa toxicidade, reconhecido como substância segura (GRAS) pela Food and Drug Administration (FDA) (LIN *et al.*, 2020), além de ter ação bactericida e ser utilizado como desinfetante (YAN *et al.*, 2017). Ele tem potencial para retardar o amadurecimento de maçãs (WEBER *et al.*, 2016), tomate cereja (LIU *et al.*, 2019), uva (CANDIR *et al.*, 2012), além de retardar a senescência (ASODA *et al.*, 2009) e a decomposição (YAN *et al.*, 2015; WANG *et al.*, 2014), por reduzir a respiração e a síntese de etileno (XU *et al.*, 2012). Além disso, segundo Li *et al.* (2018), o etanol pode suprimir o crescimento de populações microbianas e aumentar flavonoides e antocianinas totais.

A aplicação de etanol exógeno, pode aumentar os voláteis dos frutos, podendo melhorar seu sabor até certo ponto, como em caju (TEZOTTO-ULIANA *et al.*, 2018), maçã (BAI *et al.*, 2004), melão (LIU *et al.*, 2012) e mirtilos (JI *et al.*, 2019). No entanto, existem poucos relatos sobre as doses de etanol exógeno que podem incrementar o sabor e o aroma dos mirtilos, que são fatores importantes que influenciam a comercialização.

Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de doses de etanol associado a atmosfera modificada (PEBD) sobre a qualidade, a atividade antioxidante total, conteúdo de compostos fenólicos (perfil e totais), antocianinas, açúcares (totais e redutores), aroma e metabolismo fermentativo em mirtilos 'Climax' produzidos no sistema orgânico.

6.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com mirtilos 'Climax', produzidos no sistema orgânico, colhidos em pomar comercial no município de Lages, SC (27° 48' 58" S de latitude, 50° 19' 34" O de longitude e 884 m de altitude), na safra 2021/22. Os frutos foram colhidos maduros, quando apresentaram coloração azul escura e com presença de pruína, e transportados ao Laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de

Santa Catarina (CAV – UDESC). Foram armazenados em câmara fria a $1\pm0,2$ °C e umidade relativa de $92\pm2\%$. Os tratamentos avaliados foram pré-tratamento com etanol ou aplicação de etanol durante o armazenamento em atmosfera modificada. Os tratamentos avaliados foram atmosfera modificada (AM), etanol associado a AM ativa com diferentes doses (2 mL kg^{-1} ; 5 mL kg^{-1} ; 10 mL kg^{-1} ; 15 mL kg^{-1}) e durante todo o armazenamento (4 mL e 8 mL). Cada tratamento foi constituído por 4 repetições e a unidade experimental composta de 500 gramas de frutos.

Os mirtilos foram colocados em bandejas de polietileno tereftalato (PET) com capacidade de 300 g. A aplicação de etanol nos tratamentos com pré-tratamento com etanol foi realizada por volatilização. As quatro repetições previamente embaladas em bandejas PET, foram acondicionados em tambores de 40 litros por 12 horas ($20\pm5^\circ\text{C}$ e $60\pm5\%$ de UR), onde se colocou as doses de 2 mL kg^{-1} ; 5 mL kg^{-1} ; 10 mL kg^{-1} ; 15 mL kg^{-1} de etanol em placas de petri, com concentração final de $199\text{ }\mu\text{L L}^{-1}$; $497\text{ }\mu\text{L L}^{-1}$; $960\text{ }\mu\text{L L}^{-1}$; $1491\text{ }\mu\text{L L}^{-1}$. Os frutos destes tratamentos, após o tempo de exposição ao etanol, e os demais tratamentos foram então colocados em embalagem de polietileno de baixa densidade (PEBD), com espessura de $40\mu\text{m}$. Para os tratamentos com aplicação de etanol durante a armazenagem em AM, antes do fechamento da embalagem, foram adicionados sachês de papel embebidos em 4 mL e 8 mL de etanol, os quais permaneceram durante todo o armazenamento.

Durante o armazenamento foi realizada quinzenalmente a análise da composição atmosférica (O_2 e CO_2) no interior das embalagens dos tratamentos em AM, por meio de um analisador eletrônico de O_2 e CO_2 (Shelle, Alemanha).

Os frutos foram avaliados aos 45 e 75 dias de armazenamento mais 2 dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 ± 5 °C e 60 ± 5 % de UR), para simular o tempo de prateleira. Foram realizadas as análises das variáveis: perda de massa, incidência de podridões e de murchamento, frutos sadios, taxas respiratória e de produção de etileno, cor da epiderme, força para compressão do fruto, teor de sólidos solúveis e acidez titulável, conteúdo de compostos fenólicos totais, atividade antioxidante total, antocianinas, açúcares totais e redutores, o perfil aromático, perfil de compostos fenólicos e produtos do metabolismo fermentativo (acetaldeído, etanol e acetato de etila).

A perda de massa fresca foi calculada em função da variação da massa dos frutos nas diferentes amostragens, por meio de pesagem em balança semianalítica

marca Tecnal, classe II, com precisão de 0,01 grama, sendo expressa em porcentagem.

A avaliação de incidência de podridões foi realizada visualmente, contabilizando os frutos que apresentam características de infecção fúngica e expresso em porcentagem de frutos. A avaliação de incidência de murchamento foi realizada visualmente, contabilizando os frutos que apresentam características de murcha e expresso em porcentagem de frutos. Os frutos sadios são os que não apresentaram incidência de podridões e murchamento, expresso em porcentagem.

As taxas respiratória e de produção de etileno foram obtidas pela concentração de CO₂ e C₂H₄, respectivamente, no interior do recipiente de 0,5 L após 60 minutos de seu fechamento. Depois desse período, para a quantificação de etileno, utilizando-se uma seringa plástica de 1,0 mL, foram coletadas 4 amostras da atmosfera do espaço livre destes recipientes, as quais foram injetadas em um cromatógrafo a gás (Perkin Elmer, EUA), equipado com coluna Porapak N[®] de 3 m de comprimento (80-100 mesh) e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, detector e injetor foram 70, 250 e 130°C respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético foram de 70, 45 e 450 mL min⁻¹, respectivamente. A concentração de CO₂ acumulada no recipiente foi quantificada por meio de um analisador eletrônico de O₂ e CO₂ (Schelle[®], Alemanha).

A força para compressão do fruto foi determinada com texturômetro eletrônico TAXT-Plus[®] (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido), utilizando a plataforma modelo P/75, com 75 mm de diâmetro, com velocidades de pré-teste, teste e pós-teste de 30, 1 e 30 mm s⁻¹, respectivamente, sendo determinada a força de compressão até a deformação de 3 mm na superfície do fruto. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Para a cor da epiderme foi utilizado um colorímetro, modelo CR 400 (Konica Minolta, Japão), determinando-se o ângulo *hue* (*h*[°]), L (luminosidade), C (croma), h (tonalidade), em dois pontos opostos do fruto, na região equatorial, a fim de obter dados da cor de fundo e de recobrimento da epiderme.

O teor de sólidos solúveis foi obtido através do refratômetro modelo PR201α (Atago[®], Japão) utilizando o suco puro dos frutos e a acidez titulável analisada com uma solução de 5 mL de suco dos frutos e 45 mL de água destilada em um titulador

automático TitroLine® Easy, (Schott Instruments, Alemanha), com uma solução NaOH 0,1N até pH 8,1.

Para o conteúdo de etanol, acetaldeído e acetato de etila foram coletados 10 mL de suco de cada amostra, que foram acondicionados em recipientes hermeticamente fechados com tampa de borracha e lacre de alumínio (com capacidade de 20 mL), os quais foram ser congelados até o momento da determinação. Para a determinação, as amostras ficaram em banho-maria por 60 minutos a 70°C. Em seguida, foram coletadas amostras gasosas em triplicata de cada vial e injetadas em um cromatógrafo a gás Clarus 580 da Perkin Elmer, equipado com um detector de ionização por chama (DIC), coluna Elite-wax, com temperatura de injetor a 180°C, e detector 250°C, com um fluxo de gás de 1,0 mL min⁻¹, com uma temperatura inicial de 35°C durante 1 minuto, seguido por um aumento de temperatura para 45°C por 4 minutos, e um aumento para 80°C por 0,1 minuto. O tempo para a retenção dos compostos é de 2,29; 3,64 e 4,44 minutos, para acetato de etila, acetaldeído e etanol respectivamente.

Os compostos voláteis foram isolados do *headspace* da amostra, por meio da técnica de microextração em fase sólida (*HS-SPME*) empregando-se a fibra 50/30 µm DVB/CAR/PDMS, previamente condicionada no injetor do cromatógrafo de acordo com as recomendações do fabricante. Inicialmente, pesou-se 3 g de NaCl em um *vial* de 40 mL; adicionou-se 2 g de amostra de mirtilo (macerada integralmente) e 3 mL de água deionizada, e utilizou-se uma bagueta magnética de 5 mm de diâmetro e 10 mm de comprimento. O frasco foi lacrado com tampa rosqueável, cujo septo de politetrafluoretileno (PTFE)/silicone garantiu que não houvesse volatilização. A amostra foi submetida à agitação lenta com temperatura de 55 ± 1 °C. Após a amostra permanecer em equilíbrio por 10 minutos, a fibra foi exposta manualmente ao *headspace*, para a adsorção dos compostos voláteis por 20 minutos, sob agitação contínua da amostra. Em seguida, a fibra foi recolhida e inserida no injetor de um cromatógrafo a gás acoplado a um espectrômetro de massas (sistema Perkin Elmer modelo Clarus 680 GC/ SQ8S MS) durante os 10 primeiros minutos da corrida para a dessorção térmica e análise dos voláteis.

Os compostos foram separados em uma coluna capilar Elite 5MS (30m x 0,25mm, 0,25 µm) em cromatógrafo a gás (sistema Perkin Elmer; modelo Clarus 680 GC/ SQ8S MS), com injeção em modo splitless. As análises foram realizadas com

temperatura do injetor 200 °C, a temperatura do forno foi mantida por 1 min. a 35 °C, aumentando 8°C min⁻¹ até 180 °C, sendo mantida por 4 min., e em seguida a elevação da temperatura de 15 °C min⁻¹ até 200 °C. A temperatura da *transfer line* foi de 200 °C com fonte de ionização por impacto de elétrons de 70 eV. A faixa de *scanning* de massas foi de 35 a 400 m/z. O gás de arraste utilizado foi o hélio (He) com fluxo de 1,0 mL.min⁻¹.

Para auxiliar a identificação dos compostos voláteis, uma mistura padrão de n-alcanos (C7 a C40, Sigma-Aldrich) na concentração de 10µL/ml foi injetada no CG/MS equipado com a coluna capilar Elite 5MS, e analisada nas mesmas condições da amostra. Os tempos de retenção dos alcanos foram utilizados para calcular o índice de retenção (IR) de cada composto volátil na amostra, conforme descrito por Ettre (1964), Sampaio *et al.* (2011), Sampaio *et al.* (2013), Sampaio *et al.* (2015) e Biasoto *et al.* (2015).

Os compostos voláteis presentes foram identificados utilizando-se os espectros disponíveis na biblioteca *National Institute of Standards and Technology* (NIST), versão 2.0, 2014, e comparando-se os índices de retenção calculados com valores relatados na literatura científica para colunas de mesma polaridade (GARRUTI *et al.*, 2003; ACREE & ARN, 2004; PHEROBASE, 2011; SAMPAIO *et al.*, 2013; SAMPAIO *et al.*, 2015; BIASOTO *et al.*, 2015).

Os compostos foram considerados identificados, quando seus espectros de massas obtidos experimentalmente coincidiram com aqueles existentes na base de dados da NIST, e seus índices de retenção experimentais coincidiram com os valores encontrados na literatura. Quando não foram encontrados índices de retenção na literatura, e os compostos foram identificados apenas pela comparação dos espectros de massas experimentais e da NIST, eles foram considerados tentativamente identificados. Outros compostos com baixa similaridade (≤85%) de espectro de massas e índice de retenção incompatível com a literatura, foram considerados não identificados (NI) (JENNINGS & SHIBAMOTO, 1980).

Para a quantificação de compostos fenólicos por CLAE, a extração dos compostos fenólicos nos mirtilos foi realizada segundo o método descrito por Maksimovic *et al.* (2022), com adaptações. Os mirtilos macerados foram pesados, e adicionado o dobro do volume de metanol acidificado com ácido fórmico (3%), e posteriormente colocado em sonicador durante 1h. Após esse procedimento, as

amostras foram filtradas em filtro H-PTFE de 0,45µm e mantidas em vials de HPLC em freezer (- 12°C) até o momento das análises.

Todos os solventes utilizados para a determinação dos compostos fenólicos foram de grau HPLC. Os padrões utilizados para análise dos compostos fenólicos foram: epicatequina, mircetina, quercetina, ácido clorogênico, ácido elágico, cianidina-3-glucosideo, malvidina-3-glucosideo e delphinidina-3-glucosideo. Os padrões foram diluídos em metanol padrão HPLC (Sigma Aldrich), em uma concentração de 100ppm, a solução foi previamente filtrada em filtro de seringa H-PTFE de 0,45µm e armazenado em HPLC vial de 2 mL.

As análises foram realizadas em um cromatógrafo da marca Shimadzu (modelo-LC). Os espectros UV-V IS foram detectados em 280 nm (delphinidina-3-glucosideo, cianidina-3-glucosideo, malvidina-3-glucosideo, epicatequina e ácido elágico) e 320nm (mircetina, quercetina e ácido clorogênico). As separações cromatográficas foram realizadas em uma coluna de fase reversa C-18 Supelco (25 cm x 4,6 mm, 5µm). A metodologia para separação do perfil dos compostos fenólicos foi realizada de acordo com Cervantes *et al.* (2020), com adaptações. O solvente A foi 2% de ácido acético em água ultrapura, e o solvente B foi ácido acético:água:acetonitrila (1:49:50). O seguinte gradiente foi utilizado: de 15% de B em 2 min., de 25% de B em 5 min.; 30% em 10 min.; de 35% de B em 15 min.; 50% de B em 25 min., de 60% de B em 30 min.; 80% em 35 min.; e 100% de B em 45 min.; e retorno à 15 % de B em 0,1 min. O tempo de equilíbrio da coluna foi de 15 min., o volume de injeção foi de 20 µL e o fluxo de 1,0 mL.min⁻¹. A temperatura da coluna foi de 30°C. Os compostos foram quantificados por meio do método do padrão externo. A determinação dos compostos nas amostras foi realizada pela comparação entre os tempos de retenção destas com os tempos de retenção dos padrões e confirmados a partir da similaridade entre os perfis dos cromatogramas dos compostos em estudo, para compostos padrões e analitos de interesse.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), usando o programa SAS (Learning Edition, 2002). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05). Dados de porcentagens foram submetidos a transformação pela fórmula arco-sen de $[(x+0,5) / 100]^{1/2}$.

6.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

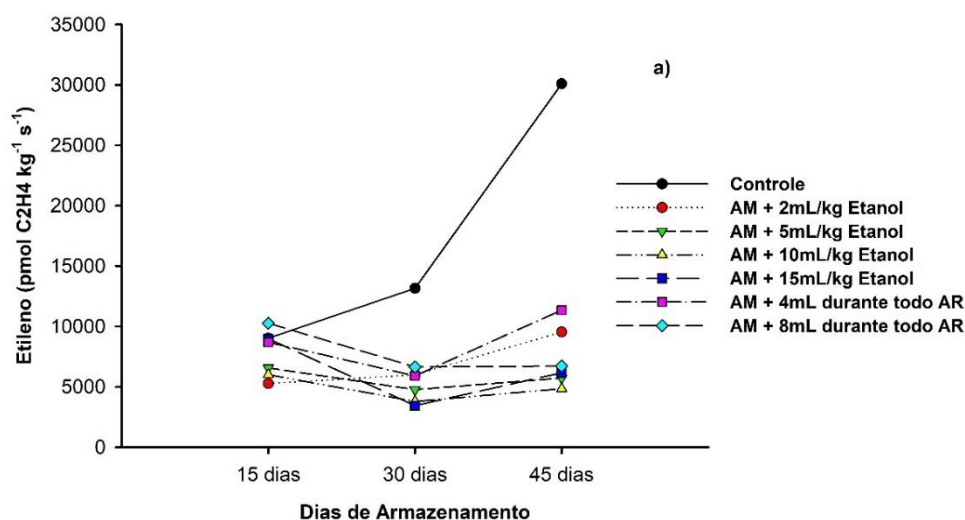
O controle apresentou altas concentrações de etileno durante os últimos 15 dias de AR. A aplicação exógena de etanol diminuiu a produção de etileno em ambas saídas (Figura 7a e 7d).

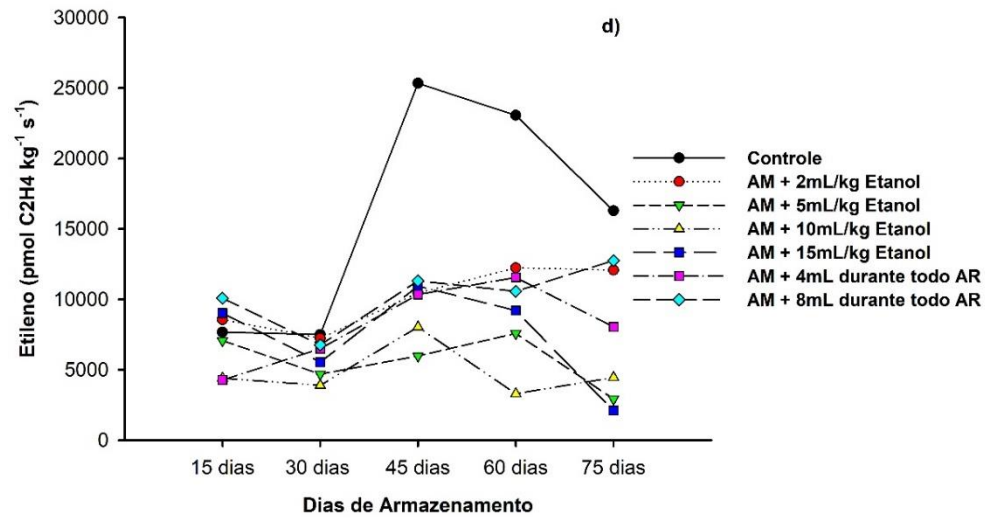
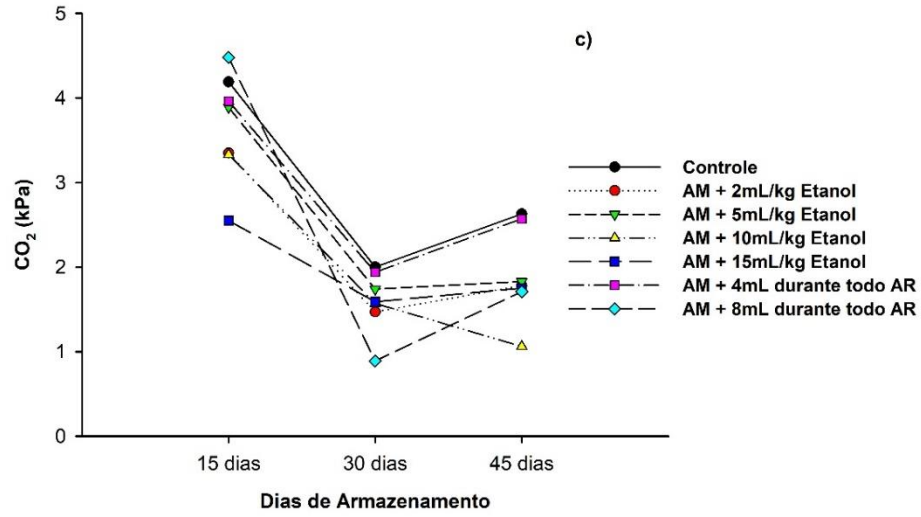
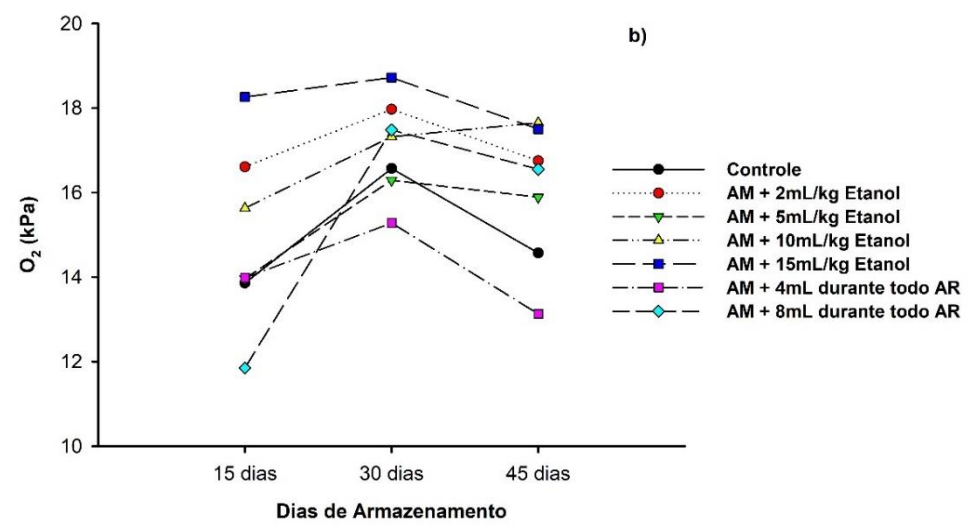
A variação da composição da atmosfera interna das embalagens durante o armazenamento por 45 dias é demonstrada nas figuras 7b e 7c, e para os 75 dias, nas figuras 7e e 7f.

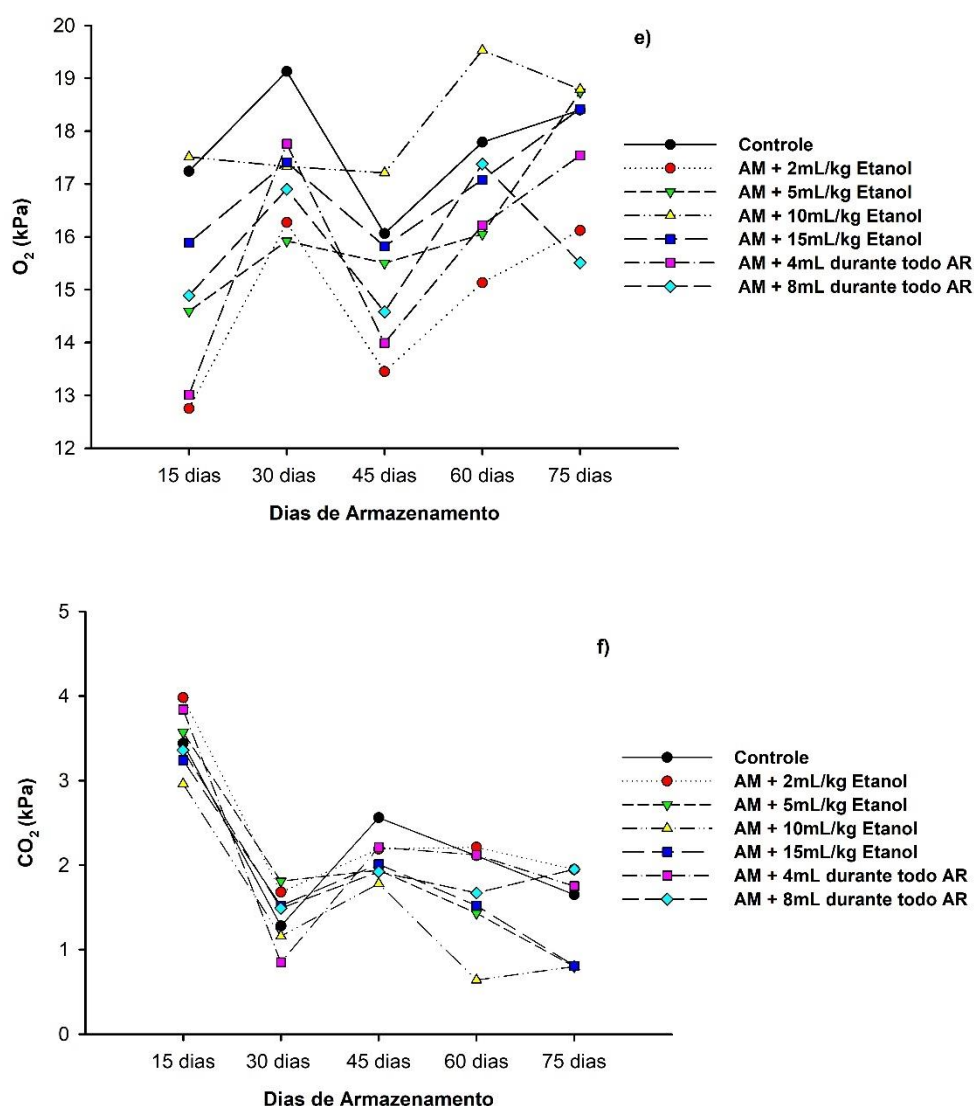
Os frutos do controle e 4 mL durante todo armazenamento apresentaram comportamento similar na atmosfera interna, com concentração de aproximadamente 3 kPa de CO_2 aos 45 dias (Figura 7c). O uso de 10 mL kg^{-1} de etanol apresentou a maior diminuição de pressão parcial interna de CO_2 (1 kPa). Após 75 dias, podemos observar uma redução considerável da concentração de CO_2 aos 30 dias de armazenamento, com leve aumento aos 45 dias e decréscimo aos 75 dias (figura 7f).

Os frutos armazenados com 8 mL de etanol, apresentaram a menor concentração de oxigênio aos 15 dias, com aumento aos 30 dias. Os demais tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes, com leve acréscimo aos 30 dias, retornando para a concentração parecidas aos 15 dias, após 45 dias de armazenamento (figura 7b).

Figura 7 – Concentração de etileno ($\text{pmol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) (a, d) e pressão parcial de O_2 e CO_2 (kPa) durante armazenamento de mirtilos ‘Climax’ durante 45 dias (b, c) e 75 dias (e, f), respectivamente. Safra 2021/22 Lages – SC.







O controle durante o armazenamento prolongado, de até 75 dias, apresentou um pico de etileno aos 45 dias, com posterior redução nos últimos 30 dias (figura 6a). Os resultados obtidos no presente estudo, da concentração de etileno nas embalagens durante ambos os períodos de armazenagem corroboram Colle *et al.* (2019), e Yan *et al.* (2020), que descrevem o comportamento de mirtilos como frutos climatéricos, apresentando pico de produção de etileno após a colheita. Além disso, confirma a ação do etanol na inibição da síntese de etileno, como descrito por outros autores, suprimindo a ACC sintase e oxidase (ASODA *et al.*, 2009; JIN *et al.*, 2013; WEBER *et al.*, 2020), diminuindo o pico de etileno nos frutos tratados com etanol em ambos os períodos.

Durante o armazenamento de 75 dias, 10 mL kg⁻¹ e 5 mL kg⁻¹ de etanol apresentaram comportamento na concentração de gases diferente dos demais tratamentos. Aos 30 dias, todos os tratamentos exibiram um aumento na concentração de oxigênio, menos 10 mL kg⁻¹, que se manteve estável. Já aos 60 dias, quando os demais tratamentos apresentavam aumento na concentração de O₂, 5 mL kg⁻¹ se manteve estável, aumentando somente aos 75 dias (Figura 7e).

Na figura 8, os frutos após 45 dias de armazenamento refrigerado, seguido de dois dias em condições ambiente. Os frutos mantiveram a qualidade visual, com poucas podridões visíveis ou descoloração pelo período de armazenagem.

Figura 8 – Frutos de mirtilos ‘Climax’ durante 45 dias de armazenamento seguido de dois dias em condição ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.



Na figura 9, observa-se os frutos após 75 dias de armazenamento refrigerado, seguido de dois dias em condições ambiente. Os frutos do tratamento controle exibem podridão, assim como frutos com coloração amarronzada, indicando a morte celular. 2 mL.kg⁻¹, apresentam frutos com incidência de podridão, o que não é

observado nos demais tratamentos com doses de etanol e mantidos durante todo o armazenamento.

Figura 9 – Frutos de mirtilos ‘Climax’ durante 75 dias de armazenamento seguido de dois dias em condição ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.



Na primeira saída, apenas os frutos armazenados em controle diferiram dos 2 mL.kg⁻¹, 5 mL.kg⁻¹ e 10 mL.kg⁻¹, apresentando a menor perda de massa. Já na segunda saída, observa-se comportamento oposto, onde o tratamento que exibiu menor perda de massa foi 10 mL.kg⁻¹ de etanol, e a maior os frutos de controle. De acordo com Charles; Arul (2007), perda de massa é causada pela perda de água durante a transpiração e degradação dos substratos durante a respiração. Dong *et al.* (2022), estudando vapor de etanol em bambu aquático, observaram que a perda de massa da dose intermediária estudada (750 µl.L⁻¹) foi 39% menor que o controle, 37,92% menor que a maior dose de etanol (1000 µl.L⁻¹) e 19,12% menor que a dose de 500 µl.L⁻¹. O presente estudo apresentou diminuição da perda de massa em

todos os tratamentos com etanol após 75 dias de armazenamento. De acordo com Ji *et al.* (2021), o etanol reduz a perda de água e impediu a ocorrência de plasmólise, mantendo a integridade e diminuindo a perda de massa.

A incidência de podridão aos 45 dias não apresentou diferenças entre os tratamentos. Porém, aos 75 dias, observou-se que os frutos armazenados em Controle apresentaram 26,88% dos frutos com podridão, enquanto os tratamentos com altas doses de etanol (10 mL.kg^{-1} e 15 mL.kg^{-1}) apenas 5,08 e 4,89%, respectivamente. A menor incidência de podridões com a aplicação de etanol deve-se a sua ação sobre os esporos, destruindo a membrana mitocondrial interna (GABBLER *et al.*, 2004). Ji *et al.* (2021), estudando tempos de armazenamento e de vida de prateleira de mirtilos com e sem aplicação de etanol, observaram 5% de incidência de podridões após 30 dias de AR seguidos de 3 dias em condições ambiente, valores muito superiores aos observados aos 45 dias no presente estudo. Em “bayberries”, tratamentos com aplicação de altas doses de vapor de etanol inibiram a germinação de esporos e alongamento do tubo germinativo de patógenos (WANG *et al.*, 2011).

Apenas os frutos que foram armazenados com etanol durante todo o tempo de exibiram diminuição na porcentagem de frutos com incidência de murchamento quando comparamos os 45 dias com 75, indicando a ação do etanol na estrutura da parede celular. O etanol mantém a firmeza ao suprimir a atividade de enzimas que degradam a parede celular, como pectina metil esterase, poligalacturonase, CMCase, β -galactosidase, α -galactosidase, α -mannosidase, retardando a degradação dos polissacarídeos da parede celular (JI *et al.*, 2021).

Aos 45 dias não apresentaram diferenças entre porcentagem de frutos sadios, porém, na segunda saída, o tratamento com 5 e 10 mL.kg^{-1} de etanol exibiram as maiores porcentagens de frutos sadios, enquanto ao controle os menores (57,91%).

Tabela 35 – Perda de massa (%), incidência de podridões (%) e índice de murchamento (1-4) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados em atmosfera modificada (AM) durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, em função de doses e momentos de aplicação de etanol. Safra 2021/22, Lages – SC.

Perda de massa (%)			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	6,14bB	9,05aA	7,59
2 mL.kg ⁻¹	7,84aB	8,70abA	8,27
5 mL.kg ⁻¹	7,73aA	7,86abA	7,79
10 mL.kg ⁻¹	7,96aA	7,76bA	7,86
15 mL.kg ⁻¹	7,05abA	8,57abA	7,81
4 mL DTA	7,15abB	8,43abA	7,79
8 mL DTA	7,65abB	8,58abA	8,11
Média	7,36	8,42	
C.V. (%)	4,21	5,92	
Incidência de podridão (%)			
Controle	1,18aB	26,88aA	14,03
2 mL.kg ⁻¹	0,12aB	17,73abA	8,92
5 mL.kg ⁻¹	0,04aB	16,99abA	8,51
10 mL.kg ⁻¹	0,59aA	5,08bA	2,83
15 mL.kg ⁻¹	0,37aA	4,89bA	2,63
4 mL DTA	1,04aB	15,44abA	8,24
8 mL DTA	1,34aA	10,92abA	6,13
Média	0,66	13,99	
C.V. (%)	23,80	9,66	
Incidência de murchamento (%)			
Controle	15,11aA	15,87aA	15,49
2 mL.kg ⁻¹	10,92aA	15,26aA	13,09
5 mL.kg ⁻¹	7,51aA	5,22aA	6,36
10 mL.kg ⁻¹	11,95aA	9,39aA	10,67
15 mL.kg ⁻¹	14,57aA	10,52aA	12,54
4 mL DTA	18,69aA	3,26aB	10,97
8 mL DTA	17,37aA	5,17aB	11,27
Média	13,73	9,24	
C.V. (%)	22,20	9,30	
Frutos sadios (%)			
Controle	83,70aA	57,91bB	70,80
2 mL.kg ⁻¹	88,95aA	66,52abB	77,73
5 mL.kg ⁻¹	92,44aA	83,04aA	87,74
10 mL.kg ⁻¹	87,45aA	84,43aA	85,94
15 mL.kg ⁻¹	85,05aA	82,48abA	83,76
4 mL DTA	80,25aA	78,30abA	79,27
8 mL DTA	81,28aA	76,56abA	78,92
Média	85,59	75,60	
C.V. (%)	6,54	9,30	

DTA = Durante todo armazenamento. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022

A luminosidade não apresentou diferenças entre tratamentos, porém, os frutos avaliados após 45 dias de armazenamento exibiram valores mais baixos de luminosidade, diferindo dos armazenados por 75 dias, demonstrando que os frutos se tornaram menos brilhantes com o passar do tempo (tabela 26).

Os frutos tratados com a maior dose de etanol apresentaram menores valores de cromaticidade durante os 45 dias, aumentando aos 75 (1,79 para 2,24 respectivamente). Segundo Stanger *et al.* (2014), a diminuição da biossíntese de etileno é responsável pelo desenvolvimento lento da tonalidade da epiderme dos frutos, ao diminuir a síntese e atividade de enzimas responsáveis pela mudança de coloração, como as oxidases e clorofilases.

O ângulo hue aos 45 dias não apresentou diferenças entre os tratamentos. Entretanto, aos 75 dias, os em controle e 5mL.kg⁻¹ de etanol apresentaram menores valores, sendo eles próximos aos de coloração verde azulada. De acordo com Suzuki *et al.* (2005), o etanol manteve a coloração de brócolis, retardando a degradação de clorofilas e a degradação em cromoplastos durante o armazenamento, assim como observado por Nunes *et al.* (2019) em ameixas, ao reduzir a evolução da cor vermelha dos frutos.

Tabela 36 – Luminosidade, cromaticidade (C) e ângulo hue de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

(continua)

Luminosidade			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	25,59	26,42	26,01a
2 mL.kg ⁻¹	26,05	27,38	26,71a
5 mL.kg ⁻¹	24,34	25,96	25,15a
10 mL.kg ⁻¹	24,30	27,45	25,87a
15 mL.kg ⁻¹	23,27	27,47	25,37a
4 mL DTA	25,35	28,95	27,15a
8 mL DTA	24,01	26,82	25,42a
Média	24,70 B	27,21 A	
C.V. (%)	4,96	6,69	
Cromaticidade			
Controle	2,77abA	1,36aB	2,06
2 mL.kg ⁻¹	2,96aA	1,51aB	2,24
5 mL.kg ⁻¹	2,32abA	1,78aA	2,06
10 mL.kg ⁻¹	2,48abA	1,70aA	2,09
15 mL.kg ⁻¹	1,79bA	2,24aA	2,02
4 mL DTA	2,55abA	2,21aA	2,38
8 mL DTA	2,10abA	1,87aA	1,98
Média	2,42	1,81	

C.V. (%)	20,94	9,16
----------	-------	------

Tabela 37 – Luminosidade, cromaticidade (C) e ângulo hue de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

	(final)		
	ângulo hue		
	45 dias	75 dias	Média
Controle	273,43aA	182,8bB	228,116
2 mL.kg ⁻¹	267,72aA	263,15aA	265,44
5 mL.kg ⁻¹	281,32aA	178,07bB	229,70
10 mL.kg ⁻¹	281,71aA	272,64aA	277,18
15 mL.kg ⁻¹	277,64aA	275,45aA	276,54
4 mL DTA	273,01aA	262,96aA	267,98
8 mL DTA	279,14aA	248,29aA	263,71
Média	276,28	240,48	
C.V. (%)	2,81	10,72	

DTA = Durante todo armazenamento. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022

Os sólidos solúveis aos 45 dias não apresentaram diferenças entre os tratamentos (tabela 27). Jin *et al.* (2013) e Martin *et al.* (2018) não verificaram alterações nos sólidos solúveis em melão e ameixas ‘Laetitia’. Porém, aos 75 dias, o armazenamento com 4mL durante todo AR não diferiu apenas da maior dose de etanol. Ji *et al.* (2019), observaram aumento dos sólidos solúveis nos mirtilos tratados com doses de etanol exógeno, e o mesmo comportamento foi observado por Ponzo *et al.* (2017) em goiabas.

A maior concentração de etanol exógeno apresentou os maiores valores de acidez titulável, diferindo dos demais tratamentos após 45 dias. Já aos 75 dias, os frutos armazenados em 10mL de etanol kg⁻¹, apresentaram os maiores. Cossins; Beevers (1963), o etanol exógeno pode ser convertido em acetaldeído, ácido acético ou acetil coenzima A (Acetil-coA), pelas enzimas ADH, PDC e carboxilas, alterando assim, o teor de sólidos solúveis e acidez titulável dos frutos. Martin *et al.* (2018), também observou maiores valores de acidez titulável em ameixas ‘Laetitia’ tratadas com altas doses de etanol.

Aos 45 dias, o tratamento com maior concentração de etanol exógeno apresentou maiores valores de firmeza de polpa, indicando um retardo no amadurecimento, quando comparada com os demais tratamentos. Já aos 75 dias, não foram observadas diferenças. De acordo com Liu *et al.* (2019), o amaciamento dos frutos é um dos principais fatores que afetam a aceitabilidade do consumidor e

da qualidade pós-colheita. Ji *et al.* (2019) e Ji *et al.* (2021), observaram que a dose de 500 $\mu\text{L L}^{-1}$, retardou diminuição da firmeza após armazenamento de mirtilos, resultado similar ao encontrado em cereja doce (BAI *et al.*, 2011), e uvas de mesa (LICHTER *et al.*, 2002). O vapor de etanol é capaz de retardar a degradação da parede celular, mantendo a sua integridade e assim atrasando seu amolecimento durante o armazenamento (JI *et al.*, 2021).

Tabela 38 – Sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$), acidez titulável (% ácido cítrico) e força de compressão de frutos (N) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

Sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$)			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	15,27aA	15,40aA	15,33
2 mL.kg ⁻¹	14,62aB	15,70aA	15,16
5 mL.kg ⁻¹	14,52aB	15,70aA	15,11
10 mL.kg ⁻¹	15,10aA	15,70aA	15,40
15 mL.kg ⁻¹	15,05aA	15,10abA	15,07
4 mL DTA	14,97aA	14,35bA	14,66
8 mL DTA	15,02aA	15,32aA	15,17
Média	14,93	15,32	
C.V. (%)	2,54	2,43	
Acidez titulável (% ácido cítrico)			
Controle	0,166bA	0,144bcdB	0,155
2 mL.kg ⁻¹	0,166bA	0,163bcdA	0,164
5 mL.kg ⁻¹	0,162bcA	0,171bcA	0,167
10 mL.kg ⁻¹	0,173bB	0,236aA	0,204
15 mL.kg ⁻¹	0,423aA	0,188bB	0,306
4 mL DTA	0,144cA	0,123dB	0,134
8 mL DTA	0,157bcA	0,134cdB	0,146
Média	0,198	0,166	
C.V. (%)	4,61	3,88	
Força de compressão (N)			
Controle	3,36bA	3,12aA	3,24
2 mL.kg ⁻¹	2,95bA	3,02aA	2,99
5 mL.kg ⁻¹	3,15bA	2,95aA	3,05
10 mL.kg ⁻¹	2,65bA	2,84aA	2,75
15 mL.kg ⁻¹	5,19aA	2,76aB	3,97
4 mL DTA	3,26bA	2,65aB	2,95
8 mL DTA	3,04bA	2,84aA	2,94
Média	3,37	2,88	
C.V. (%)	10,10	11,02	

DTA = Durante todo armazenamento. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A taxa de produção de etileno foi maior nos frutos com 4mL e 8mL durante todo o armazenamento, após 45 dias, diferindo dos demais tratamentos (tabela 28).

Já aos 75 dias, 8 mL durante todo AR teve uma redução de 60% na produção de etileno (103,3 para 33,14 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$). O tratamento com 10 mL kg^{-1} apresentou aumento na produção de etileno com o prolongamento do tempo de armazenamento (19,59 para 63,62 $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$). Em melões ‘Yumeiren’, o vapor de etanol (0,5 mL kg^{-1} e 3 mL kg^{-1}) diminuiu a atividade das enzimas ACC-sintase e ACC-oxidase, reduzindo a concentração de etileno dentro do frutas durante o armazenamento (Jin *et al.*, 2013). Ao observar os resultados do presente estudo, a maior dose de etanol e a utilização desde durante todo o armazenamento, parecem ter um efeito de antecipar o pico de produção de etileno, ao exibirem uma redução significativa após os 75 dias de AR.

A aplicação de etanol exógeno pode reduzir a concentração de etileno em melão doce (LIU *et al.*, 2012), além de inibir a senescência de brócolis ao suprimir a capacidade de resposta e biossíntese de etileno (ASODA *et al.*, 2009). O mecanismo de ação do etanol também é relacionado a concentração de acetaldeído, que atua inibindo a ação das enzimas ACC sintase e ACC oxidase, que convertem a ACC em etileno (BAI *et al.*, 2004; BOTH *et al.*, 2014).

A taxa de respiração foi maior no tratamento com 8mL de etanol durante todo o armazenamento aos 45 dias, não diferindo apenas de 4mL durante todo AR. Aos 75 dias, a dose de 5mL por kg, exibiu os menores valores de taxa de respiração, diferindo apenas dos frutos armazenados com etanol durante todo o período. O armazenamento com 4 mL e 8 mL durante todo o período e 15mL kg^{-1} apresentaram redução na taxa de respiração com o aumento do tempo de armazenagem. Thewes *et al.* (2022) observaram que o tratamento com vapor de etanol em maçãs reduziu o metabolismo geral da fruta (taxa de respiração), o que pode ser atribuído ao seu efeito no metabolismo do etileno ou a um efeito direto no ciclo do ácido tricarboxílico (TCA). Weber *et al.* (2020) observaram comportamento diferente em maçãs, ao diminuir a taxa respiratória após armazenamento, com o aumento da dose de etanol exógeno utilizado.

Tabela 39 – Taxa de produção de etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) e respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

Etileno ($\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	27,05bB	62,20bA	44,62
2 mL.kg ⁻¹	20,14bB	28,16cdA	24,15
5 mL.kg ⁻¹	20,11bA	15,74dB	17,93
10 mL.kg ⁻¹	19,59bB	63,62abA	41,61
15 mL.kg ⁻¹	39,66bA	22,38cdB	31,02
4 mL DTA	98,71aA	76,00aB	87,36
8 mL DTA	103,30aA	33,14cB	68,22
Média	46,94	43,03	
C.V. (%)	27,11	13,63	
Respiração ($\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$)			
Controle	283,17bcA	259,20abA	271,18
2 mL.kg ⁻¹	261,13cA	249,24abA	255,19
5 mL.kg ⁻¹	247,37cA	229,83bA	238,60
10 mL.kg ⁻¹	222,65cA	251,61abA	237,13
15 mL.kg ⁻¹	335,48abA	269,60abB	302,54
4 mL DTA	348,67abA	288,39aB	318,53
8 mL DTA	358,5aA	285,90aB	322,20
Média	293,85	261,96	
C.V. (%)	9,91	9,18	

DTA = Durante todo armazenamento. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

O total de compostos fenólicos e de antocianinas totais não exibiram diferenças entre os tratamentos na primeira saída (tabela 29). Porém, aos 75 dias, os frutos armazenados em Controle apresentaram os maiores valores de compostos fenólicos totais (256,41 mg EAG 100g⁻¹), diferindo dos tratamentos com altas doses de etanol e com 4 mL durante todo o AR.

Já para a segunda saída, os frutos tratados com 4 mL de etanol durante todo armazenamento apresentaram maiores valores de antocianinas totais, com 2028,8 mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF, enquanto os frutos com 2 mL.kg⁻¹ de etanol, apresentaram os menores valores (1180,5 mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF). Unstun *et al.* (2012), utilizando saches de etanol durante o armazenamento de uvas ‘Red Globe’, observaram que o tratamento com vapor de etanol pode aumentar a concentração de antocianinas em armazenamentos a longo prazo. De acordo com Yan *et al.* (2015), em altas concentrações o etanol pode inibir a atividade da fenilalanina amônia liase (FAL), enzima envolvida na síntese de compostos

fenólicos, podendo aumentar a atividade da enzima polifenol oxidase (JI *et al.*, 2021), que é responsável por degradar pigmentos, principalmente antocianinas.

A atividade antioxidante total em ambos os métodos não apresentou interação entre o tempo de armazenamento e os tratamentos. Pelo método DPPH e pelo método ABTS, os frutos com maior aplicação de etanol (15 mL.kg⁻¹) apresentaram os menores valores (765,82 µMol Trolox g⁻¹; 3474,1 µMol Trolox g⁻¹, respectivamente) diferindo dos mirtilos armazenados com 8mL de etanol durante todo o tempo (898,82 µMol Trolox g⁻¹; 4462,9 µMol Trolox g⁻¹, respectivamente). Além disso, pelo método ABTS, a segunda saída apresentou maiores valores de atividade antioxidante do que aos 45 dias de armazenamento.

Li *et al.* (2018) observaram um aumento no CFT, ANT e AAT, em morangos minimamente processados submetidos a pré-tratamento com etanol e armazenados por 7 dias. O mesmo comportamento foi observado em brócolis e framboesas (XU *et al.*, 2012; CHANJIRAKUL *et al.*, 2006), e com maçã 'Cripps pink', que apresentaram valores maiores de CFT e AAT em frutos com aplicação de etanol (STEFFENS *et al.*, 2021). Ainda, de acordo com Li *et al.* (2018), o vapor de etanol promove a produção de EROS, induzindo a atividade das enzimas catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase, regulando a expressão dos genes antioxidantes. A ação do etanol acontece ao modificar a estrutura e a permeabilidade das membranas, sendo assim, Shao *et al.* (2020) relataram um efeito positivo na integridade de membrana de frutos wampi, regulando o metabolismo do fenol, mantendo um alto teor de compostos fenólicos e consequentemente alta capacidade antioxidante.

Tabela 40 – Teor de compostos fenólicos totais (mg EAG 100g⁻¹ de massa fresca), antocianinas totais (mg cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ MF), atividade antioxidante total (métodos ABTS e DPPH) expressa em $\mu\text{Mol Trolox g}^{-1}$ de massa fresca de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

CFT			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	193,32aA	256,41aA	224,87
2 mL.kg ⁻¹	205,43aA	221,79abA	213,61
5 mL.kg ⁻¹	188,29aA	201,25abA	194,77
10 mL.kg ⁻¹	186,24aA	183,41bA	184,82
15 mL.kg ⁻¹	184,96aA	177,24bA	181,10
4 mL DTA	189,99aA	189,78bA	189,89
8 mL DTA	207,70aA	194,67abA	201,18
Média	193,70	203,50	
C.V. (%)	9,68	13,44	
ANT			
Controle	1737,54aA	1816,84abA	1777,2
2 mL.kg ⁻¹	1853,8aA	1180,5bA	1517,2
5 mL.kg ⁻¹	1427,4aA	1460,9abA	1444,2
10 mL.kg ⁻¹	1709,9aA	1416,0abA	1563,0
15 mL.kg ⁻¹	1622,1aA	1313,9abB	1468,0
4 mL DTA	1799,8aA	2028,8aA	1914,3
8 mL DTA	1704,5aA	1747,5abA	1726,0
Média	1693,58	1566,36	
C.V. (%)	12,63	21,40	
AAT (DPPH)			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	804,57	887,07	845,82ab
2 mL.kg ⁻¹	817,90	907,57	862,73ab
5 mL.kg ⁻¹	846,57	837,90	842,23ab
10 mL.kg ⁻¹	843,90	771,23	807,57ab
15 mL.kg ⁻¹	785,73	745,90	765,82b
4 mL DTA	851,23	871,73	861,48ab
8 mL DTA	891,23	906,40	898,82a
Média	834,45A	846,83A	
C.V. (%)	6,39	9,38	
AAT (ABTS)			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	3031,0	4116,0	3573,5b
2 mL.kg ⁻¹	3364,8	4674,8	4019,8ab
5 mL.kg ⁻¹	3199,8	4232,3	3716,0b
10 mL.kg ⁻¹	3403,5	4341,0	3872,3ab
15 mL.kg ⁻¹	3084,8	3863,5	3474,1b
4 mL DTA	3484,8	4483,5	3984,1ab
8 mL DTA	3997,3	4928,5	4462,9a
Média	3366,5B	4377,1A	
C.V. (%)	11,53	9,97	

DTA = Durante todo armazenamento. Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os açúcares redutores não apresentaram diferenças entre os tratamentos após 45 dias de armazenamento refrigerado (Tabela 30). Já aos 75 dias, os frutos com aplicação de 5 mL.kg⁻¹ exibiram os maiores valores, enquanto os tratamentos com maiores doses de etanol exógeno, os menores. Unstun *et al.* (2012) não observou alterações nos açúcares redutores de uvas 'Red Globe' tratadas com vapor de etanol.

De acordo com Thewes *et al.* (2022), o vapor de etanol pode inibir a conversão de sacarose em glicose e frutose, via inibição da ação do etileno, pois a enzima invertase é induzida por etileno em maçãs e mirtilos (SUN *et al.*, 2021; WANG *et al.*, 2020).

O teor de açúcar total aos 45 dias de armazenamento, foi maior em 4mL durante todo AR, não diferindo apenas de 15 mL.kg⁻¹ e 5 mL.kg⁻¹. Após 75 dias, 4 mL durante todo AR apresentaram uma redução significativa (109,13 mg.L⁻¹ glicose para 84,17 mg.L⁻¹ glicose), já 8 mL durante todo AR exibiram um aumento no teor de açúcares totais (88,91 mg.L⁻¹ glicose para 107,99 mg.L⁻¹ glicose).

A aplicação de etanol em maçãs 'Elstar' e 'Nicoter' manteve o teor de açúcares totais semelhante aos dos frutos sem aplicação (THEWES *et al.*, 2022). Zhang *et al.* (2007), observaram que o efeito do etanol no teor de açúcares totais foi de reduzir a taxa de degradação nos níveis normais de taxa de amadurecimento. Segundo Sun *et al.* (2021), o tratamento com etanol não é capaz de inibir a expressão ou atividade da amilase, enzima responsável pela degradação do amido em glicose.

Tabela 41 – Teor de açúcares redutores (mg.L⁻¹ glicose) e teor de açúcares totais (mg.L⁻¹ glicose) de mirtilos 'Climax' orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

(continua)

	Açúcares redutores		
	45 dias	75 dias	Média
Controle	10,87aA	11,25abA	11,06
2 mL.kg ⁻¹	11,50aA	11,63abA	11,56
5 mL.kg ⁻¹	10,08aB	12,69aA	11,39
10 mL.kg ⁻¹	10,53aA	9,24bA	9,89
15 mL.kg ⁻¹	11,24aA	9,03bB	10,13
4 mL DTA	10,52aA	10,95abA	10,74
8 mL DTA	10,99aA	11,39abA	11,19
Média	10,82	10,88	
C.V. (%)	10,75	10,83	

Tabela 42 – Teor de açúcares redutores (mg.L⁻¹ glicose) e teor de açúcares totais (mg.L⁻¹ glicose) de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.
(final)

	Açúcares totais		Média
	45 dias	75 dias	
Controle	91,54bA	89,50abA	90,52
2 mL.kg ⁻¹	88,84bB	99,35abA	94,09
5 mL.kg ⁻¹	93,86abA	93,76abA	93,81
10 mL.kg ⁻¹	89,77bA	79,31bB	84,54
15 mL.kg ⁻¹	101,51abA	81,50bA	91,50
4 mL DTA	109,13aA	84,17bB	96,65
8 mL DTA	88,91bB	107,99aA	98,45
Média	94,79	90,80	
C.V. (%)	7,64	10,08	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Os frutos com a maior dose de etanol exógeno apresentaram os maiores valores de acetato de etila e de etanol em ambas saídas (tabela 31). O acetaldeído foi maior nos frutos do controle.

O etanol exógeno pode ser metabolizado de duas maneiras, sendo esterificado, formando ésteres etílicos ou oxidados, formando o acetaldeído (LIU *et al.*, 2013). O acetaldeído é tóxico para os frutos (PESIS, 2005), os frutos com maior dose de etanol exógeno e durante todo armazenamento, apresentaram os menores valores de acetaldeído, indicando uma baixa conversão do etanol.

Ji *et al.* (2019), observaram que os mirtilos tratados com vapor de etanol, atingem um pico de concentração de acetaldeído aos 30 dias de AR, diminuindo após esse período, mesmo comportamento é exibido pela concentração de etanol. Portanto, é possível que os valores obtidos dos produtos do metabolismo fermentativo já tenham apresentado seu pico previamente ao momento de análise.

Nunes *et al.* (2019), notaram comportamento similar ao do presente estudo, onde ameixas ‘Laetitia’ aumentaram a concentração de etanol de acordo com o aumento da dose aplicada, porém, para acetaldeído e acetato de etila, o comportamento foi o mesmo do etanol, diferindo do deste estudo.

Tabela 43 – Valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol de mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 52 e 90 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

Acetato de etila			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	0,13dA	0,17cA	0,15
2mL.kg ⁻¹	0,18cdA	0,18cA	0,19
5mL.kg ⁻¹	0,78abA	0,53bB	0,65
10mL.kg ⁻¹	0,70bA	0,45bB	0,57
15mL.kg ⁻¹	0,90aA	0,91aA	0,91
4mL DTA	0,32cA	0,18cB	0,25
8mL DTA	0,73abA	0,40bB	0,57
Média	0,54	0,41	
C.V. (%)	14,79	17,64	
Acetaldeído			
Controle	1,62aA	0,98aB	1,30
2mL.kg ⁻¹	1,37abA	0,69abB	1,03
5mL.kg ⁻¹	1,26abA	0,64bB	0,95
10mL.kg ⁻¹	1,19abcA	0,67abB	0,93
15mL.kg ⁻¹	1,10bcA	0,90abB	1,00
4mL DTA	0,74cA	0,86abA	0,80
8mL DTA	1,01bcA	0,95abA	0,98
Média	1,18	0,81	
C.V. (%)	16,58	17,43	
Etanol			
Controle	1,83dA	1,83dA	1,83
2mL.kg ⁻¹	1,44dA	1,80dA	1,62
5mL.kg ⁻¹	2,92dA	3,61cdA	3,26
10mL.kg ⁻¹	5,71cA	4,38bcB	5,05
15mL.kg ⁻¹	16,96aA	17,68aA	17,32
4mL DTA	5,67cA	6,42bA	6,05
8mL DTA	13,22bB	15,95aA	14,59
Média	6,82	7,38	
C.V. (%)	12,54	13,94	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey (p<0,05).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A cianidina dos frutos armazenados no controle apresentaram as maiores concentrações aos 45 dias (537,67 µg. mL⁻¹), porém, houve um decréscimo de 75% aos 75 dias (131,50 µg. mL⁻¹). Apenas 2 mL.kg⁻¹ manteve a concentração de cianidina estável na segunda saída (Tabela 32).

A maior dose de etanol exógeno e ambos os tratamentos com etanol durante todo armazenamento apresentaram maiores valores de malvidina aos 45 dias, diferindo dos frutos da Controle. Aos 75 dias de armazenamento, 8mL durante todo AR demonstraram uma concentração 8x maior que aos 45 dias, diferindo dos demais tratamentos.

A delfinidina aos 45 dias apresentou um aumento nas concentrações de acordo com o aumento na dose de etanol utilizada. Aos 75 dias, controle e 2 mL.kg⁻¹ Etanol aumentaram a concentração, enquanto 15 mL.kg⁻¹ e etanol durante todo AR diminuíram ou se mantiveram.

Huang *et al.* (2015), aplicando 500µL L⁻¹ em mirtilos Lowbush, observaram um aumento de 32,4% na concentração de malvidina e 174,9% de delfinidina em comparação com frutos não tratados e armazenados por 14 dias. Assim como Kereamy *et al.* (2002), que observaram um aumento de três vezes no teor de malvidina em uvas submetidas a aplicação de etanol em pré-colheita. Liu *et al.* (2019), associam o aumento no conteúdo de antocianinas ao efeito do etanol na redução de radicais livres e aumento da atividade das enzimas antioxidantes. Provavelmente, a concentração de malvidina apresentou aumento com 8 mL durante todo o tempo de armazenamento, devido à alta presença do etanol com os frutos, reagindo como um solvente extrator dessa antocianina, sendo corroborado pelo alto valor de etanol na análise de compostos fermentativos. O armazenamento com 15 mL.kg⁻¹ não apresentou o mesmo aumento da malvidina, mesmo com altos valores de etanol na análise fermentativa, demonstrando que a extratibilidade dessa antocianina por etanol deve ocorrer ao longo do tempo de exposição. Porém, o papel do etanol no aumento de antocianinas ainda não está completamente elucidado, sendo necessário mais estudos sobre o assunto.

Tabela 44 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

(continua)

	Cianidina-3-glucosideo (µg mL ⁻¹)		Média
	45 dias	75 dias	
Controle	537,6aA	131,5aB	305,6
2 mL.kg ⁻¹	136,0bA	143,2aA	140,8
5 mL.kg ⁻¹	237,2bA	109,7abB	182,6
10 mL.kg ⁻¹	194,7bA	127,5abB	156,3
15 mL.kg ⁻¹	168,7bA	113,0abB	136,9
4 mL DTA	155,0bA	94,5bB	120,4
8 mL DTA	173,2bA	128,0abB	153,9
Média	231,0	121,2	
C.V. (%)	16,8	12,3	

Tabela 45 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

(final)			
Malvidina-3-glucosideo ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	45,0bA	56,7cdA	52,8
2 mL.kg ⁻¹	82,7abA	73,0bcdA	78,6
5 mL.kg ⁻¹	77,0abA	48,7dB	62,9
10 mL.kg ⁻¹	89,0abA	56,7cdB	75,1
15 mL.kg ⁻¹	98,0aA	124,0bA	112,9
4 mL DTA	98,0aA	109,0bcA	104,3
8 mL DTA	109,0aB	893,3aA	445,1
Média	87,9	176,9	
C.V. (%)	22,2	13,0	
Delfinidina-3-glucosideo ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
Controle	136,0cB	302,2abA	231,0
2 mL.kg ⁻¹	137,5cB	312,7aA	242,6
5 mL.kg ⁻¹	193,2bcA	207,3cA	199,3
10 mL.kg ⁻¹	246,0abA	246,7bcA	246,4
15 mL.kg ⁻¹	264,0aA	258,7abcA	261,4
4 mL DTA	256,5aA	213,0cA	237,9
8 mL DTA	301,0aA	274,0abA	289,4
Média	228,3	260,5	
C.V. (%)	10,4	8,8	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A concentração de mircetina não apresentou diferenças após armazenamento refrigerado durante 45 dias. Porém, após 75 dias, os frutos com etanol exógeno durante todo armazenamento apresentaram as maiores concentrações de mircetina. Já 5 mL.kg⁻¹ e 10 mL.kg⁻¹ demonstraram as menores concentrações aos 75 dias, reduzindo em 50% em comparação aos 45 dias (tabela 33).

A aplicação de 2 mL.kg⁻¹ de etanol apresentou o maior teor de epicatequina aos 45 dias de armazenamento (34,33 $\mu\text{g mL}^{-1}$), diferindo dos demais tratamentos. Com o aumento da dose de etanol aplicada e a manutenção durante todo armazenamento, a concentração de epicatequina diminuiu. Porém, aos 75 dias, a maior dose de etanol (15 mL.kg⁻¹) e 8 mL durante todo armazenamento, apresentaram aumento na concentração de epicatequina, diferindo do resultado obtido aos 45 dias (5,0 para 11,7 $\mu\text{g mL}^{-1}$; 7,2 para 16,7 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente).

A quercetina não apresentou diferenças aos 45 dias, porém, houve um aumento significativo na concentração após 75 dias de armazenamento em 15 mL.kg⁻¹ e em ambos os tratamentos com aplicação de etanol exógeno durante todo

AR. Sendo assim, o etanol provavelmente desempenha um papel na síntese de quercetina, aumentando a produção com o aumento de tempo de armazenamento.

Na primeira saída, aos 45 dias, o ácido elágico apresentou os maiores valores nos frutos armazenados em 2 mL kg⁻¹ etanol (29,0 µg mL⁻¹), diferindo dos demais tratamentos. Aos 75 dias, 5 mL kg⁻¹ etanol exibiu um aumento 9x maior do que aos 45 dias (2,25 para 19,66 µg mL⁻¹), o controle de 10x (1,66 para 14,50 µg mL⁻¹) e o 10 mL kg⁻¹, de 5x (2,50 para 10,33 µg mL⁻¹). Os tratamentos com maior dose e etanol durante todo o armazenamento apresentaram os menores valores de ácido elágico após 75 dias, diferindo dos demais tratamentos.

O ácido clorogênico apresentou uma redução significativa em quase todos os tratamentos, exceto 2 mL.kg⁻¹, que exibiu um aumento 60x maior após 75 dias de armazenamento (2,66 para 116,33 µg mL⁻¹). Aos 45 dias, a manutenção de 8 mL de etanol durante todo armazenamento apresentou os maiores valores de ácido clorogênico, reduzindo seu teor em aproximadamente 50% após 75 dias (120,25 para 69,5 µg mL⁻¹).

Wang *et al.* (2010), observaram um aumento na concentração de quercetina e mircetina com aplicação de etanol em 'bayberries'. Não foram encontrados dados sobre o efeito da aplicação de etanol na concentração de mircetina, quercetina, epicatequina, ácido elágico e ácido clorogênico em mirtilos na literatura.

Tabela 46 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos 'Climax' orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

(continua)

Mircetina (µg mL ⁻¹)			
	45 dias	75 dias	Média
Controle	3,00aA	3,75abA	3,42
2 mL.kg ⁻¹	3,25aA	3,75abA	3,50
5 mL.kg ⁻¹	3,00aA	1,50bB	2,25
10 mL.kg ⁻¹	3,25aA	1,75bB	2,50
15 mL.kg ⁻¹	2,50aA	3,50abA	3,00
4 mL DTA	2,75aB	4,75aA	3,75
8 mL DTA	4,00aA	4,75aA	4,37
Média	3,11	3,39	
C.V. (%)	34,65	33,88	
Epicatequina (µg mL ⁻¹)			
Controle	17,33cdA	5,25cB	10,43
2 mL.kg ⁻¹	34,33aA	6,00cB	18,14
5 mL.kg ⁻¹	23,00bA	4,25cB	13,62
10 mL.kg ⁻¹	22,00bA	5,00cB	14,71

Tabela 47 – Determinação de compostos fenólicos em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 e 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente. Safra 2021/22, Lages – SC.

(final)			
Epicatequina ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
	45 dias	75 dias	Média
15 mL.kg ⁻¹	5,00dB	11,75abA	8,37
4 mL DTA	6,75dA	9,50bcA	8,12
8 mL DTA	7,25dB	16,75aA	12,00
Média	15,80	8,48	
C.V. (%)	27,33	27,39	
Quercetina ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
Controle	3,33aA	3,00cA	3,14
2 mL.kg ⁻¹	2,25aA	3,50cA	2,87
5 mL.kg ⁻¹	2,75aA	2,50cA	2,62
10 mL.kg ⁻¹	3,50aA	2,66cA	3,14
15 mL.kg ⁻¹	3,25aB	7,75bA	5,50
4 mL DTA	3,50aB	9,50abA	6,50
8 mL DTA	3,25aB	11,33aA	6,71
Média	3,11	5,65	
C.V. (%)	22,34	19,49	
Ácido Elágico ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
Controle	1,66bB	14,50bA	9,00
2 mL.kg ⁻¹	29,00aA	10,00cB	17,60
5 mL.kg ⁻¹	2,25bB	19,66aA	9,71
10 mL.kg ⁻¹	2,50bB	10,33bcA	5,85
15 mL.kg ⁻¹	2,75bA	1,50dB	2,12
4 mL DTA	1,25bA	1,25dA	1,25
8 mL DTA	2,00bA	2,25dA	2,12
Média	4,24	7,92	
C.V. (%)	15,64	22,03	
Ácido Clorogênico ($\mu\text{g mL}^{-1}$)			
Controle	89,50bA	12,25cB	38,00
2 mL.kg ⁻¹	2,66cB	116,33aA	59,50
5 mL.kg ⁻¹	93,25abA	9,75cB	51,50
10 mL.kg ⁻¹	77,00bA	56,33bB	66,66
15 mL.kg ⁻¹	100,00abA	48,66bB	78,00
4 mL DTA	97,00abA	5,25cB	44,57
8 mL DTA	120,25aA	69,50bB	94,88
Média	85,37	42,04	
C.V. (%)	11,95	24,96	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Após 45 dias de armazenamento, nos mirtilos da safra de 2021/22 foram detectados 38 compostos voláteis, sendo 12 identificados pelo espectro de massas e 26 por espectro de massas e índice de retenção linear em coluna apolar (Elite 5MS).

Após 75 dias de armazenamento, foram detectados apenas 32 compostos voláteis, sendo 5 identificados apenas pelo espectro de massas, e 27 por espectro de massas e índice de retenção linear em coluna apolar (Elite 5MS).

Os mirtilos apresentaram maior área nas classes de álcoois, aldeídos e terpenos. Os álcoois e aldeídos com 6 carbonos foram os majoritários na contribuição do aroma do mirtilo aos 45 dias de armazenamento, principalmente o (E)-2-hexen-1-ol, 1-hexenol, (E)-2-hexanal e hexanal, que estiveram presentes em todos os tratamentos, contribuindo com um aroma majoritariamente verde e herbáceo. A biossíntese de aldeídos C₆ (hexanal e (E)-2-hexenal) diminuiu nos tratamentos com altas doses de etanol durante 45 dias de armazenamento, se mantendo igual ao controle na dose de 2 mL.kg⁻¹. Já aos 75 dias, a quantidade de hexanal e (E)-2-hexanal foi maior nos tratamentos com etanol durante todo armazenamento. Ji *et al.* (2019) também observaram aumento desses compostos em mirtilos do grupo highbush tratados com etanol, provavelmente devido a β-oxidação dos ácidos graxos (EICHHOLZ *et al.*, 2011).

Forney *et al.* (2012) relatou a presença de (E)-2-Hexanal em suco extraído de frutas de mirtilo lowbush. Porém, nenhum desses álcoois ou aldeídos foi encontrado no headspace coletado de frutas inteiras de mirtilo (LUGEMWA *et al.*, 1989), sugerindo que sua formação ocorreu como resultado da homogeneização da fruta. Os álcoois e aldeídos C₆ são produtos da atividade da enzima lipoxigenase (LOX), que ocorre na homogeneização dos frutos. A adição de NaCl é responsável por reduzir a atividade da LOX, no entanto, diferenças no perfil de voláteis do headspace da fruta inteira e homogeneizada sugere que a inibição da LOX pelo NaCl não é total (DU *et al.*, 2012; PICO *et al.*, 2022).

O pentanal contribuiu no aroma dos frutos tratados com aplicações mais altas de etanol exógeno aos 45 dias, trazendo um odor de morango, frutado. No segundo período, aos 75 dias de armazenamento, 5 mL.kg⁻¹ de etanol apresentou maiores valores de pentanal. Os tratamentos com etanol durante todo armazenamento não exibiram concentrações de pentanal em ambas saídas. Segundo Yang *et al.* (2008), o pentanal e octanal estão relacionados aos aromas de nozes e cítricos. O octanal foi identificado com uma alta concentração (4,78%) apenas nos mirtilos com 8mL de etanol durante todo armazenamento, aos 45 dias. Aos 75 dias, as concentrações

encontradas foram baixas (0,1 - 0,48%), não sendo identificada nos tratamentos com 8 mL durante todo armazenamento e com aplicação de 15 mL.kg⁻¹.

Segundo Cheng *et al.* (2020), os ésteres são os compostos voláteis dominantes no aroma de mirtilos do grupo rabbiteye, principalmente o acetato de etila, o que pode ser observado no presente estudo, sendo positivamente aumentado sua expressão com a aplicação de 10 mL.kg⁻¹ de etanol exógeno em ambas saídas. De acordo com Ji *et al.* (2019), o etanol promove a produção de voláteis em mirtilo, principalmente ésteres etílicos, desenvolvidos após a absorção do etanol e reação com ácidos, como descoberto anteriormente em cajus (TEZOTTO-ULIANA *et al.*, 2018).

A concentração de linalol aumentou aos 75 dias, exceto no tratamento com 8 mL de etanol durante todo armazenamento. Para mirtilos highbush, o linalol e o α -terpineol contribuíram majoritariamente para o aroma (DU *et al.*, 2014). Segundo Ferrão *et al.* (2022), a diferença nos terpenos é responsável pela diferença dos aromas entre cultivares e aceitabilidade do consumidor.

Cheng *et al.* (2020) encontraram porcentagens de metil isovalerato elevadas, bem acima de seus limiares relatados em todas as cultivares, indicando sua contribuição de aroma frutado para esses mirtilos.

As concentrações de etanol diminuíram aos 75 dias de armazenamento, provavelmente devido ao aumento das concentrações de ácido acético, indicando uma fermentação dos frutos. Há também a possibilidade dessa diminuição ser causada pelo aumento do acetato de etila, uma vez que o etanol age na formação dos ésteres.

Tabela 48 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2021/22, Lages – SC.

(continua)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Descritor aroma ^b
Álcoois											
1	Etanol	NC	448	13,6	36,0	33,8	41,3	42,4	35,9	41,9	Doce
2	2-Metil-1-butanol	719	722	-	-	-	1,0	2,0	-	-	Vinho, cebola
3	2-Hexin-1-ol	845	847	8,2	-	9,2	0,5	1,2	1,4	1,2	Frutado, verde
4	(E)-2-Hexen-1-ol	855	851	2,6	5,9	3,1	5,6	7,8	6,7	5,6	verde, folha, noz
5	1-Hexanol	866	865	8,9	2,7	1,3	1,9	2,1	4,1	4,6	resina, flor, herbáceo
6	2-Heptanol	904	906	0,8	-	-	-	0,6	-	0,4	Verde
7	3-Decin-2-ol	NC	1101	-	-	-	-	0,3	-	-	Gordura, rosas
8	1-Nonanol	1180	1181	-	-	0,9	0,6	0,6	0,3	0,6	Citrus
Aldeídos											
9	Pentanal	671	687	-	-	5,3	5,9	11,0	-	-	Morango, frutado, tomate
10	Hexanal, 3-metil	715	-	4,5	-	-	-	2,5	3,2	2,9	Doce, verde
11	Hexanal	791	798	6,7	8,0	2,1	2,3	3,6	5,6	4,5	Herbáceo, ranço, gordura
12	(E)-2-Hexenal	846	847	16,8	17,0	0,8	0,8	1,1	12,3	11,3	Verde, folha
13	Octanal	1010	1004	-	-	-	-	-	-	4,8	Gordura, sabão, limão, herbáceo
14	Nonanal	1108	1108	-	-	0,4	-	-	-	-	Gordura, citrus, verde
15	Decanal	1212	1210	-	-	0,3	-	-	-	-	Sabão, casca de laranja
Ésteres											
16	Acetato de etila	612	612	3,8	14,0	14,5	28,1	-	14,8	5,5	Abacaxi
17	Metil isovalerato	762	765	0,7	0,5	-	-	-	4,2	-	Maçã, abacaxi, frutado
18	Ácido 2-butenóico, éster etílico	840	830	-	-	0,9	-	-	-	-	Azedo, caramelo, frutado
19	Ácido pentanóico, 2,2,4-trimetil-3-carboxiisopropil, éster isobutílico	NC	4025	5,7	0,1	0,4	0,8	1,3	0,9	1,0	Frutado
20	2,2,4-Trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato	1597	1587	0,7	-	-	0,5	-	-	-	Mofado
21	Ftalato de diisobutil	1873	1892	3,0	-	-	-	-	-	2,3	Suave, aromático

Tabela 49 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 45 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2021/22, Lages – SC.

(continuação)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Descritor aroma ^b
Terpenos											
22	Timol	1295	1295	-	-	1,2	-	-	-	-	Herbáceo
23	Epóxido de trans-Z- α -Bisaboleno	NC	1338	-	-	0,6	-	-	-	-	Picante, balsâmico, doce
24	Linalool	1106	1106	4,7	3,6	2,7	1,7	1,6	2,5	4,7	Flor, lavanda
25	α -Terpineol	1205	1203	1,1	0,8	-	0,3	0,2	0,6	0,6	Limão
26	Etiliso alcolato	1390	-	1,8	0,7	-	0,7	1,4	1,3	1,2	Frutado, doce, maçã, abacaxi
27	(-)-Espatulenol	1587	1582	-	-	0,1	-	-	-	-	Terra
40	α -Calacoreno	1550	1540	-	0,9	-	-	-	-	-	Madeira
41	cis-Calameneno	1542	1531	-	-	-	0,2	0,3	-	-	Herbáceo, picante
Fenóis											
28	Fenol, 2,5-bis(1,1-dimetiletil)	1473	1472	-	-	0,6	-	-	-	-	
Ácidos											
29	Ácido agárico	1209	-	0,6	0,5	-	0,2	0,3	0,3	1,1	Batata crua
30	Ácido fólico	935	-	0,2	-	-	-	-	-	-	Suave, doce, verde, frutado
31	Ácido acético	NC	528	-	2,1	-	4,4	-	1,8	-	Azedo
Cetonas											
32	2-Hexanona, 4-metil	891	-	0,3	-	-	-	-	-	-	Doce, químico
33	5-Hepten-2-ona, 6-metil	992	988	0,3	-	-	-	-	-	-	Peixe
34	Isoforona	1130	1132	9,6	4,7	3,9	-	3,3	3,2	5,6	Menta
Outros											
35	Tolueno	747	757	1,6	-	3,1	0,7	0,4	0,6	-	Tinta
36	Ciclopropano, 1,1-dimetil-2-pentil	869	870	-	-	0,7	-	-	-	-	Folha
37	Octadecano, 3-etil-5-(2-etilbutil)	1701	-	0,4	-	-	-	-	-	-	
38	Tetratetracontano	1668	-	0,9	-	-	-	-	-	-	

Nota: T1: Controle; T2: 2 mL.kg⁻¹; T3: 5 mL.kg⁻¹; T4: 10 mL.kg⁻¹; T5: 15 mL.kg⁻¹; T6: 4 mL durante todo AR; T7: 8 mL durante todo AR. NC: Não calculado; -: Não detectado. ^aACREE, T. E.; ARN, H. Flavornet. Ano 2023. Disponível em: <www.flavornet.org/flavornet.html>. Acesso em: jan. 2023. NIST. National Institute of Standards and Technology. Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, version 2.0. 2014. Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Tabela 50 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2021/22, Lages – SC.

(continua)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Descritor de aroma ^b
Álcoois											
1	Etanol	NC	448	19,3	13,4	20,0	29,8	31,4	32,3	42,4	Doce
2	3-Metil 1 butanol	714	727	0,5	2,9	0,2	10,6	16,7	0,4	0,3	Malte
3	2-Hexin-1-ol	845	847	3,0	2,1	0,5	1,2	2,4	1,3	1,0	Frutado, verde
4	(E) 2-Hexen-1-ol	855	851	6,0	5,5	2,8	0,9	0,3	5,3	4,5	Verde, folha, noz
5	1-Hexanol	866	865	2,5	0,9	0,6	0,7	0,5	3,1	2,1	Resina, flor, herbáceo
6	2-Heptanol	904	906	0,9	1,9	0,5	0,6	0,4	1,5	1,4	Verde
7	2-Hexadecanol	908	1702	-	0,9	-	0,3	0,3	1,0	-	Flor, cera
8	2-Etil hexanol	1036	1035	0,6	0,5	0,5	-	-	-	-	Rosa, verde
9	1-Nonanol	1180	1181	0,1	0,1	0,3	0,7	-	1,5	2,4	Citrus
Aldeídos											
10	Pentanal	671	687	5,6	11,6	18,7	2,9	1,0	-	-	Morango, frutado, tomate
11	Hexanal	791	798	6,3	5,0	2,3	1,1	1,1	3,6	3,3	Herbáceo, ranço, gordura
12	(E) 2-Hexenal	846	847	10,4	6,6	3,4	2,3	1,6	11,2	11,3	Verde, folha
13	Octanal	1010	1004	0,5	0,1	0,1	0,1	-	0,2	-	Gordura, sabão, limão, herbáceo
14	Decanal	1212	1210	1,1	-	-	-	-	-	-	Sabão, casca de laranja, ranço
Ésteres											
15	Acetato de etila	612	612	6,1	11,5	23,6	29,9	18,5	9,5	8,8	Abacaxi
16	Metil isovalerato	762	765	1,7	1,4	-	-	-	0,3	-	Maçã, abacaxi, frutado
17	Formato de heptil	984	988	-	1,1	0,8	0,6	0,5	0,5	2,1	Floral, frutado

Tabela 51 – Compostos voláteis identificados em mirtilos ‘Climax’ orgânicos armazenados durante 75 dias, seguidos de dois dias em condições ambiente, agrupados de acordo com a classe química, com seus respectivos índices de retenção linear encontrados experimentalmente (IR exp.) e na literatura (IR lit.), % de área relativa (% Área) e abundância no cromatograma, e descrição do aroma conforme consta na literatura. Safra 2021/22, Lages – SC.

(continua)

Nº	COMPOSTO	IR	IR REF	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	Descritor de aroma ^b
18	Ácido pentanóico, 2,2,4-trimetil-3-carboxiisopropil, éster isobutílico	NC	4025	4,1	4,6	-	-	-	-	-	Frutado
19	2,2,4-Trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato	1597	1587	0,1	0,2	0,5	0,2	-	0,6	0,7	Mofado
20	Ftalato de diisobutil	1873	1892	-	3,4	1,6	0,9	0,52	1,2	1,1	Suave, aromático
Terpenos											
21	p-Cimene	1034	1030	-	-	-	0,2	0,2	0,6	0,4	Cítrica, terra, madeira
22	Linalool	1106	1106	8,9	5,7	4,0	1,7	1,3	5,0	2,6	Flor, lavanda
23	α-Terpineol	1205	1203	1,2	1,0	0,7	0,4	0,3	1,4	0,8	Limão
24	Etiliso alocolato	1390	-	1,9	2,9	1,1	0,4	0,4	0,7	0,8	Frutado, doce, maçã, abacaxi
Fenóis											
25	Fenol, 2,5-bis(1,1-dimetiletil)	1473	1472	-	-	0,5	0,4	0,3	0,9	0,3	
26	2,4-Di-tert-butilfenol	1517	1513	-	-	0,4	-	-	-	0,5	
Ácidos											
27	Ácido agárico	1209	-	2,6	0,3	0,4	0,2	0,2	0,3	0,3	Batata crua
28	Ácido acético	NC	528	-	2,2	10,6	10,1	14,2	8,5	6,7	azedo
Cetonas											
29	5-Hepten-2-ona, 6-metil	992	988	1,7	0,3	-	-	-	-	-	Peixe
30	Isoforona	1130	1132	8,0	6,0	3,9	1,9	2,5	8,6	5,3	Menta
Outros											
31	Tolueno	747	757	0,8	2,8	1,0	0,8	3,9	-	0,5	Tinta
32	Ciclopropano, 1,1-dimetil-2-pentil	869	870	-	3,1	-	0,5	-	-	-	Folha

Nota: T1: Controle; T2: 2 mL.kg⁻¹; T3: 5 mL.kg⁻¹; T4: 10 mL.kg⁻¹; T5: 15 mL.kg⁻¹; T6: 4 mL durante todo AR; T7: 8 mL durante todo AR. NC: Não calculado; -: Não detectado. ^bACREE, T. E.; ARN, H. Flavornet. Ano 2023. Disponível em: <www.flavornet.org/flavornet.html>. Acesso em: jan. 2023. NIST. National Institute of Standards and Technology. Mass Spectral Search Program for the NIST/EPA/NIH Mass Spectral Library, version 2.0. 2014.

Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

6.5 CONCLUSÃO

As maiores doses de etanol (10 mL.kg^{-1} e 15 mL.kg^{-1}) foram eficazes no controle de podridões pós-colheita e diminuição de perda de massa, mantendo a acidez titulável alta e a firmeza dos frutos até 75 dias de armazenamento a frio em atmosfera modificada. A taxa de respiração e produção de etileno foi reduzida pela aplicação de 5 mL.kg^{-1} de etanol após 75 dias. O armazenamento com etanol durante todo período é ineficaz na diminuição da respiração e produção de etileno.

A maior dose de etanol (15 mL.kg^{-1}) e 8 mL durante todo armazenamento são responsáveis pela maior produção de produtos do metabolismo fermentativo. A aplicação altas doses de etanol aumentou a porcentagem de acetato de etila, o responsável pelo aroma característico do mirtilo.

O conteúdo de atividade antioxidante após período prolongado de armazenamento, foi elevado no uso de sachês de 8 mL de etanol, possivelmente devido ao aumento da concentração de malvidina-3-glu, epicatequina, mircetina e quercetina.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa tese partiu das hipóteses de que a) A utilização do absorvedor de etileno pode reduzir a perda de firmeza dos frutos durante o armazenamento em atmosfera modificada e manter suas características físico-químicas; b) A embalagem comercial Xtend® é mais eficiente em manter a qualidade de mirtilos armazenados em AM, quando comparada com as embalagens de polietileno de baixa densidade (PEBD); c) A aplicação de etanol associado a AM ativa reduz a incidência de podridão e a perda de firmeza dos frutos; d) Os frutos mantidos em armazenamento refrigerado apresentam maior perda de qualidade sensorial e funcional do que aqueles armazenados em AM; e) A associação da AM com absorvedor de etileno e etanol proporcionam frutos com maior quantidade de compostos bioativos do que os armazenados apenas sob refrigeração ou em AM; e f) A AM associada a aplicação de etanol aumenta o perfil aromático dos frutos de mirtilo armazenados. De uma maneira geral, essas hipóteses foram confirmadas pelos resultados obtidos, porém, alguns pontos devem ser considerados.

Na primeira safra, a utilização de absorvedor de etileno (KMnO_4) diminuiu a produção de etileno, e manteve a qualidade dos frutos de mirtilo por 90 dias. Além disso, o uso de AM em filme nylon, ou seja, a embalagem comercial Xtend®, manteve a qualidade dos frutos por 90 dias, sendo o melhor tratamento dessa safra. Sendo assim, no segundo ano, foi implementado um tratamento com AM em filme nylon associado com absorvedor de etileno.

No segundo ano de experimento, os frutos foram colhidos no final da safra, apresentando um grau de maturação mais elevado. Sendo assim, os tratamentos eficientes na primeira safra (AM + KMnO_4 e filme nylon), não foram eficazes em manter a qualidade. Aos 90 dias, os frutos estavam quase 100% com incidência de podridão, não sendo realizada diversas análises por falta de frutos. Porém, a hipótese sobre a utilização de etanol foi confirmada. Os frutos de AM + etanol apresentaram menor taxa respiratória e de produção de etileno, além de diminuir a incidência de podridão e manter a firmeza dos frutos, por até 90 dias. Nas duas primeiras safras, os frutos mantidos sob refrigeração em atmosfera normal apresentaram menor qualidade, com alta perda de massa e murchamento. Devido a

isso, esses frutos também apresentaram maiores quantidades de açúcares totais e redutores, além de atividade antioxidante, compostos fenólicos e antocianinas.

O aroma na primeira safra foi predominantemente herbáceo e mentolado, com alta quantidade de álcoois, terpenos e aldeídos. Porém, no segundo ano, a associação de etanol com AM resultou na fermentação dos frutos, confirmada pela presença principalmente de ácido acético e acetato de etila, inibindo a formação de outros compostos voláteis característicos de aroma de mirtilos, das classes de aldeídos, terpenos e álcoois.

No terceiro ano de experimento, devido aos ótimos resultados obtidos na segunda safra, foram utilizados doses e modos de aplicação de etanol. As maiores doses de etanol aplicadas (10 mL.kg^{-1} e 15 mL.kg^{-1}) foram eficazes na manutenção da qualidade dos mirtilos, mantendo a acidez titulável e a firmeza, além de diminuir a incidência de podridão e a perda de massa. A utilização de 8mL de etanol durante todo o armazenamento, em forma de sachês, resultou em maior atividade antioxidante, elevando a concentração de malvidina-3-glu, epicatequina, mircetina e quercetina. Os compostos voláteis foram melhores nos tratamentos com as doses de 5 mL.kg^{-1} e 10 mL.kg^{-1} , onde há maior concentração de acetato de etila, responsável pelo aroma característico do mirtilo, além de pentanal e linalol, após 75 dias de armazenamento. De maneira geral, pode-se concluir que o uso de altas doses de etanol em mirtilos 'Climax' é benéfico para o prolongamento do tempo de armazenamento, além de ser uma alternativa orgânica e segura.

Espera-se que o presente estudo sirva para fornecer alternativas de armazenamento para produtores de mirtilos, convencionais e orgânicos, mantendo a qualidade dos frutos por um maior período, sendo possível acessar mercados distantes e preços mais atrativos, além de estimular o consumo devido a maior qualidade sensorial dos frutos. Porém, é necessário que mais pesquisas sejam feitas a ponto de elucidar o comportamento do etanol em outras cultivares de mirtilos, visto que cada cultivar pode apresentar um comportamento diferente.

8 REFERÊNCIAS

- ACREE, T. E.; ARN, H. Flavornet – Gas chromatography-olfactometry (CG-O) of natural products. **New York State Agricultural Experiment Station**. Cornell (EUA): Cornell University. Ano 2004. Disponível em: <www.flavornet.org> . Acesso em: jan/2023.
- AGATI, G.; AZZARELLO, E.; POLLASTRI, S.; TATTINI, M. Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. **Plant science**, v. 196, p. 67-76, 2012.
- AGUIAR, J.; GONÇALVES, J.L.; ALVES, V.L.; CÂMARA, J.S. Relationship between Volatile Composition and Bioactive Potential of Vegetables and Fruits of Regular Consumption—An Integrative Approach. **Molecules**, v. 26, 2021.
- AHERNE, S. A.; O'BRIEN, N. M. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. **Nutrition**, v. 18, p. 75-81, 2002.
- ALARA, O. R.; ABDURAHMAN, N. H.; UKAEGBU, C. I. Extraction of phenolic compounds: A review. **Current Research in Food Science**, v. 4, p. 200-214, 2021.
- ALLAN-WOJTAS, P. M.; FORNEY, C. F.; CARBYN, S. E.; NICHOLAS, K. U. K. G. Microstructural indicators of quality-related characteristics of blueberries—an integrated approach. **LWT-Food Science and Technology**, v. 34, p. 23-32, 2001.
- ALMENAR, E.; SAMSUDIN, H.; AURAS, R.; HARTE, B.; RUBINO, M. Postharvest shelf life extension of blueberries using a biodegradable package. **Food Chemistry**, v. 110, p. 120–127, 2008.
- ALOS, E.; MARTINEZ-FUENTES, A.; REIG, C.; MESEJO, C.; RODRIGO, M. J.; AGUSTÍ, M.; ZACARÍAS, L. Ethylene biosynthesis and perception during ripening of loquat fruit (*Eriobotrya japonica* Lindl.). **Journal of plant physiology**, v. 210, p. 64-71, 2017.
- ALVARENGA, J.F.R.; GENARO, B.; COSTA, B.L.; PURGATTO, E.; MANACH, C.; FIAMONCINI, J. Monoterpenes: Current Knowledge on Food Source, Metabolism, and Health Effects. **Critical Reviews Food Science and Nutrition**, p. 1–38, 2021.
- ÁLVAREZ-HERNÁNDEZ, M. H.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, G. B.; AVALOS-BELMONTES, F.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, A. M.; CASTILLO-CAMPOHERMOSO, M. A.; ARTÉS-HERNÁNDEZ, F. An innovative ethylene scrubber made of potassium permanganate loaded on a protonated montmorillonite: A case study on blueberries. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 524-538, 2019.
- ALVES, C. Q.; DAVID, J. M.; DAVID, J. P.; BAHIA, M. V.; AGUIAR, R. M. Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**, v. 33, p. 2202-2210, 2010.

AMANPOUR, A.; SONMEZDAG, A. S.; KELEBEK, H.; SELLI, S. GC–MS–olfactometric characterization of the most aroma-active components in a representative aromatic extract from Iranian saffron (*Crocus sativus* L.). **Food Chemistry**, v. 182, p. 251-256, 2015.

ANTUNES, L. E. C.; RASEIRA, M. **Cultivo do mirtilo** (*Vaccinium spp*), 2006.

ANTUNES, L. E. C.; PAGOT, E.; PEREIRA, J. F. M.; TREVISAN, R.; GONÇALVES, E. D.; VIZZOTTO, M. Aspectos técnicos da cultura do mirtilero. **Informe Agropecuário**, v. 33, p. 38-45, 2012.

ANTUNES, L. E. C.; PAGOT, E. Capítulo 2 - Produção de Mirtilo. **Técnicas de produção de framboesa e mirtilo**, p. 33 – 39, 2016.

ASODA, T.; TERAU, H.; KATO, M.; SUZUKI, Y. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on ethylene responsiveness in broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, v. 52, p. 216-220, 2009.

AYALA-ZAVALA, J. F.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Methyl jasmonate in conjunction with ethanol treatment increases antioxidant capacity, volatile compounds and postharvest life of strawberry fruit. **European Food Research and Technology**, v. 221, p. 731-738, 2005.

BAI, J.; BALDWIN, E. A.; FORTUNY, R. C. S.; MATTHEIS, J. P.; STANLEY, R.; PERERA, C.; BRECHT, J. K. Effect of pretreatment of intact 'Gala' apple with ethanol vapor, heat, or 1-methylcyclopropene on quality and shelf life of fresh-cut slices. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 129(4), p. 583-593, 2004.

BAI, J.; PLOTTO, A.; SPOTTS, R.; RATTANAPANONE, N. Ethanol vapor and saprophytic yeast treatments reduce decay and maintain quality of intact and fresh-cut sweet cherries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 62, p. 204-212, 2011.

BEAULIEU, J. C.; STEIN-CHISHOLM, R. E.; BOYKIN, D. L. Qualitative analysis of volatiles in rabbiteye blueberry cultivars at various maturities using rapid solid-phase microextraction. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 139, p. 167-177, 2014.

BELL, S. R.; MONTIEL, L. G. H.; ESTRADA, R. R. G.; MARTÍNEZ, P. G. Main diseases in postharvest blueberries, conventional and eco-friendly control methods: A review. **LWT- Food Science and Technology**, v. 149, 2021.

BERAUD, M. R.; WYSS, A.; HORMAZÁBAL, N. Evaluation of modified atmosphere bag and sulphur dioxide concentrations applied on highbush blueberries fruit (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald. **Scientia Agropecuaria**, v. 6, p. 259-270, 2015a.

BERAUD, M. R.; VALDES, A. W.; VÁSQUEZ, N. H. Evaluación de bolsa atmósfera modificada y concentraciones de anhídrido sulfuroso aplicadas sobre frutos de

arándano alto (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. Emerald. **Scientia Agropecuaria**, v. 4, n. 6, p. 259-270, 2015b.

BIASOTO, A. C. T.; SAMPAIO, K. L.; MARQUES, E. J. N.; DA SILVA, M. A. A. P. Dynamics of the loss and emergence of volatile compounds during the concentration of cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.) and the impact on juice sensory quality. **Food Research International**, v. 69, p. 224-234, 2015.

BOF, M.J.; LAURENT, F.E.; MASSOLO, F.; LOCASO, D.E.; VERSINO, F.; GARCÍA, M.A. Bio-Packaging Material Impact on Blueberries Quality Attributes under Transport and Marketing Conditions. **Polymers**, v. 13, 2021.

BOTH, V.; THEWES, F. R.; BRACKMANN, A.; DE OLIVEIRA ANESE R.; DE FREITAS FERREIRA, D.; WAGNER, R. Effects of dynamic controlled atmosphere by respiratory quotient on some quality parameters and volatile profile of 'Royal Gala' apple after long-term storage. **Food chemistry**, v. 215, p. 483-492, 2017.

BOWTELL, J. L.; ABOO-BAKKAR, Z.; CONWAY, M. E.; ADLAM, A. L. R.; FULFORD, J. Enhanced task-related brain activation and resting perfusion in healthy older adults after chronic blueberry supplementation. **Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism**, v. 42, p. 773-779, 2017.

BRACKMANN, A.; WEBER, A.; GIEHL, R. F. H.; EISERMANN, A. C.; SAUTTER, C. K.; GONÇALVES, E. D.; ANTUNES, L. E. C. Armazenamento de mirtilo 'Bluegem' em atmosfera controlada e refrigerada com absorção e inibição do etileno. **Revista Ceres**, v. 57, p. 6-11, 2010.

BUGATTI, V.; CEFOLA, M.; MONTEMURRO, N.; PALUMBO, M.; QUINTIERI, L.; PACE, B.; GORRASI, G. Combined effect of active packaging of polyethylene filled with a nano-carrier of salicylate and modified atmosphere to improve the shelf life of fresh blueberries. **Nanomaterials**, v. 10, 2020.

BURAN, T. J.; SANDHU, A. K.; AZEREDO, A. M.; BENT, A. H.; WILLIAMSON, J. G.; GU, L. Effects of exogenous abscisic acid on fruit quality, antioxidant capacities, and phytochemical contents of southern high bush blueberries. **Food chemistry**, v. 132, p. 1375-1381, 2012.

CABRAL, G. J. Determinação experimental da solubilidade e coeficiente de difusão efetivo do CO₂ em queijo tipo minas frescal e simulação de embalagem sob atmosfera modificada. Florianópolis, SC, 2011. **Dissertação de mestrado**. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

CADWALLADER, K. R. Flavor and volatile metabolism in produce. **Produce degradation: pathways and prevention**, p. 155-189, 2005.

CAMERON, A. C., BOYLAN-PETT, W.; LEE, J. Design of modified atmosphere packaging systems: Modeling oxygen concentrations within sealed packages of tomato fruits. **Journal of Food Science**, v. 54, p.1413-1416, 1989.

CANDIR, E.; OZDEMIR, A. E.; KAMILOGLU, O.; SOYLU, E. M.; DILBAZ, R.; USTUN, D. Modified atmosphere packaging and ethanol vapor to control decay of 'Red Globe' table grapes during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 63, p.98-106, 2012.

CANTLIFFE, D. J.; SHAW, N. L.; SARGENT, S. A.; SIMMS, C.; BERRY, A.; KAN, E. L.; PUENTES, L.; SCOTT, J. The Determinate 'Tasti-Lee' Tomato Competes with Indeterminate, Greenhouse Cultivars for Yield, Fruit Quality, and Sensory Analysis When Produced Hydroponically. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 120, p. 275–280, 2009.

CANTUARIAS-AVILES, T.; SILVA, S.R. da; MEDINA, R.B.; MORAES, A.F.G.; ALBERTI, M.F. Cultivo do mirtilo: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, p.139-147, 2014.

CAPPAI, F.; BENEVENUTO, J.; FERRÃO, L. F. V.; MUNOZ, P. Molecular and genetic bases of fruit firmness variation in blueberry—a review. **Agronomy**, v. 174, 2018.

CASSIDY, A.; BERTOIA, M.; CHIUVE, S.; FLINT, A.; FORMAN, J.; RIMM, E. B. Habitual intake of anthocyanins and flavanones and risk of cardiovascular disease in men. **The American journal of clinical nutrition**, v. 104, p. 587-594, 2016.

CERVANTES, L., MARTINEZ-FERRI, E., SORIA, C.; ARIZA, M. T. Bioavailability of phenolic compounds in strawberry, raspberry and blueberry: Insights for breeding programs. **Food Bioscience**, v. 37, 2020.

CHANJIRAKUL, K.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y.; SIRIPHANICH, J. Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries. **Postharvest Biology and Technology**, v. 40, p. 106-115, 2006.

CHARLES, M. T.; ARUL, J. UV treatment of fresh fruits and vegetables for improved quality: a status report. **Stewart Postharvest Review**, v. 3, p. 1-8, 2007.

CHENG, K.; PENG, B.; YUAN, F. Volatile composition of eight blueberry cultivars and their relationship with sensory attributes. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 35, p. 443-453, 2020.

CHENG, Y.; WU, T.; CHU, X.; TANG, S.; CAO, W.; LIANG, F.; FANG, Y.; PAN, S.; XU, X. Fermented blueberry pomace with antioxidant properties improves fecal microbiota community structure and short chain fatty acids production in an in vitro mode. **LWT**, v. 125, 2020.

CHERVIN, C.; WESTERCAMP, P.; MONTEILS, G. Ethanol vapours limit Botrytis development over the postharvest life of table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 36, p. 319-322, 2005.

CHOOSUNG, P.; UTTO, W.; BOONYARITTHONGCHAI, P.; WASUSRI, T.; WONGS-AREE, C. Ethanol vapor releasing sachet reduces decay and improves aroma attributes in mulberry fruit. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 22, 2019.

CHORFA, N., SAVARD, S., & BELKACEMI, K. An efficient method for high-purity anthocyanin isomers isolation from wild blueberries and their radical scavenging activity. **Food chemistry**, v. 197, p. 1226-1234, 2016.

CHU, C. L.; LIU, W. T.; ZHOU, T.; TSAO, R. Control of postharvest gray mold rot of modified atmosphere packaged sweet cherries by fumigation with thymol and acetic acid. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 79, p. 685-689, 1999.

CHUNG, S. W.; YU, D. J.; OH, H. D.; AHN, J. H.; HUH, J. H.; LEE, H. J. Transcriptional regulation of abscisic acid biosynthesis and signal transduction, and anthocyanin biosynthesis in 'Bluecrop' highbush blueberry fruit during ripening. **PLoS One**, v. 14, 2019.

COLLE, M.; LEISNER, C. P.; WAI, C. M.; OU, S.; BIRD, K. A.; WANG, J.; WISECAVER, J. H.; YOCCA, A. E.; ALGER, E. I.; TANG, H.; XIONG, Z.; CALLOW, P.; BEN-ZVI, G.; BRODT, A.; BARUCH, K.; SWALE, T.; SHIUE, L.; SONG, G.; CHILDS, K. L.; SCHILMILLER, A.; VORSA, N.; BUELL, C. R.; VANBUREN, R.; JIANG, N.; EDGER, P. P. Haplotype-phased genome and evolution of phytonutrient pathways of tetraploid blueberry. **GigaScience**, v. 8, 2019.

COSSINS, E. A.; BEEVERS, H. Ethanol metabolism in plant tissues. **Plant physiology**, v. 38, 1963.

COSTA, D. V. T. A.; PINTADO, M.; ALMEIDA, D. P. F. Postharvest ethylene application affects anthocyanin content and antioxidant activity of blueberry cultivars. In **X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits**, v. 1017, p. 525-530, 2012.

DANIELS, M.; SIMONNE, A. H.; JENSEN, S.; DIEHL, D.; SHELNUTT, K. P.; BRUHN, C.; BRECHT, J. K.; WYSOCKI, A. F.; COOK, R.; MITCHAM, E. Consumer perceptions of quality and price of high-value specialty crops in supermarkets in the United States: lessons for producers, handlers and educators. **III Asia Pacific Symposium on Postharvest Research, Education and Extension**, p. 21-30, 2014.

DASH, S.; PATEL, S.; MISHRA, B. K. Oxidation by permanganate: synthetic and mechanistic aspects. **Tetrahedron**, v. 65, p. 699-706, 2009.

DASTMALCHI, K., FLORES, G., PETROVA, V., PEDRAZA-PENALOSA, P., & KENNELLY, E. J. Edible neotropical blueberries: antioxidant and compositional fingerprint analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 3020-3026, 2011.

DEFILIPPI, B.; ROBLEDO, P.; BECERRA, C. Cosecha Y Pos Cosecha. **Manual de manejo agronómico del arándano**, p. 90, 2017.

DEFILIPPI, B.G.; DANDEKAR, A.M.; KADER, A.A. Relationship of ethylene biosynthesis to volatile production, related enzymes, and precursor availability in apple peel and flesh tissues. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 8, p. 3133-3141, 2005.

DEL BO, C.; RISO, P.; CAMPOLO, J.; MØLLER, P.; LOFT, S.; KLIMIS-ZACAS, D.; BRAMBILLA, A.; RIZZOLO, A.; PORRINI, M. (2013). A single portion of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L) improves protection against DNA damage but not vascular function in healthy male volunteers. **Nutrition Research**, v.33, p. 220-227, 2013.

DEL BO', C.; FRACASSETTI, D.; LANTI, C.; PORRINI, M.; RISO, P. Comparison of DNA damage by the comet assay in fresh versus cryopreserved peripheral blood mononuclear cells obtained following dietary intervention. **Mutagenesis**, v. 30, p. 29-35, 2015.

DEVORE, E. E.; KANG, J. H.; BRETELER, M. M.; GRODSTEIN, F. Dietary intakes of berries and flavonoids in relation to cognitive decline. **Annals of neurology**, v. 72, p. 135-143, 2012.

DHALL, R. K. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 53, p. 435-450, 2013.

DONG, X. Y.; YANG, Y. L. A novel approach to enhance blueberry quality during storage using cold plasma at atmospheric air pressure. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 1409-1421, 2019.

DONG, G.; WANG, C.; LIU, H.; LIU, C.; QIAO, Y. Impact of ethanol vapor treatment on the quality of water bamboo (*Zizania caduciflora* L.) shoots during cold storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, 2022.

DOROSTKAR, M.; MORADINEZHAD, F. Postharvest quality responses of pomegranate fruit (cv. Shishe-kab) to ethanol, sodium bicarbonate dips and modified atmosphere packaging. **Advances in Horticultural Science**, v. 36, p. 107-117, 2022.

DU, X.; PLOTTO, A.; SONG, M.; OLMSTEAD, J.; ROUSEFF, R. Volatile Composition of Four Southern Highbush Blueberry Cultivars and Effect of Growing Location and Harvest Date. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 8347–8357, 2011.

DU, X.; ROUSEFF, R. Aroma Active Volatiles in Four Southern Highbush Blueberry Cultivars Determined by Gas Chromatography–Olfactometry (GC-O) and Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 4537–4543, 2014.

DU, X.; QIAN, M. Flavor chemistry of small fruits: Blackberry, raspberry, and blueberry. **Flavor and health benefits of small fruits**, p. 27-43, 2010.

DUAN, W.; SUN, P.; CHEN, L.; GAO, S.; SHAO, W.; LI, J. Comparative Analysis of Fruit Volatiles and Related Gene Expression between the Wild Strawberry *Fragaria pentaphylla* and cultivated *Fragaria × ananassa*. **European Food Research and Technology**, v. 244, p. 57–72, 2018.

DUDAREVA, N.; NEGRE, F.; NAGEGOWDA, D.A.; ORLOVA, I. Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives. **Critical Review in Plant Science**, v. 25, p. 417–440, 2006.

DUDAREVA, N.; KLEMPIEN, A.; MUHLEMANN, J.K.; KAPLAN, I. Biosynthesis, Function and Metabolic Engineering of Plant Volatile Organic Compounds. **New Phytologist**, v. 198, p. 16–32, 2013.

EICHHOLZ, I.; HUYSKENS-KEIL, S.; KELLER, A.; ULRICH, D.; KROH, L. W.; ROHN, S. UV-B-induced changes of volatile metabolites and phenolic compounds in blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Chemistry**, v. 126, p. 60-64, 2011.
ETTRE, L. S. The kováts retention index system. **Analytical Chemistry**, v.36, p.31-41, 1964.

FALAGÁN, N., MICLO, T., & TERRY, L. A. (2020). Graduated controlled atmosphere: A novel approach to increase “Duke” blueberry storage life. *Frontiers in plant science*, 11, 221, 2020.

FANIADIS, D.; DROGOUDI, P. D.; VASILAKAKIS, M. Effects of cultivar, orchard elevation, and storage on fruit quality characters of sweet cherry (*Prunus avium* L.). **Scientia horticultrae**, v. 125, p. 301-304, 2010.

FARNETI, B.; KHOMENKO, I.; GRISENTI, M.; AJELLI, M.; BETTA, E.; ALGARRA, A. A.; CAPPELLIN, L.; APREA, E.; GASPERI, F.; BIASIOLI, F.; GIONGO, L. Exploring blueberry aroma complexity by chromatographic and direct-injection spectrometric techniques. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 2017.

FARNETI, B., KHOMENKO, I., AJELLI, M., EMANUELLI, F., BIASIOLI, F., & GIONGO, L. (2022). Ethylene production affects blueberry fruit texture and storability. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

FELGINES, C.; TALAVÉRA, S.; TEXIER, O.; BESSON, C.; FOGLIANO, V.; LAMAISSON, J. L.; FAUCI, L.; GALVANO, G.; RÉMÉSY, C.; GALVANO, F. Absorption and metabolism of red orange juice anthocyanins in rats. **British journal of nutrition**, v. 95, p. 898-904, 2006.

FENN, M. A.; GIOVANNONI, J. J. Phytohormones in fruit development and maturation. **The Plant Journal**, v. 105, p. 446-458, 2021.

FERRÃO, L. F. V.; JOHNSON, T. S.; BENEVENUTO, J.; EDGER, P. P.; COLQUHOUN, T. A.; MUNOZ, P. R. Genome-wide association of volatiles reveals candidate loci for blueberry flavor. **New Phytologist**, v. 226, p. 1725-1737, 2020.

FERRAO, L. F. V.; SATER, H.; LYRENE, P.; AMADEU, R. R.; SIMS, C. A.; TIEMAN, D. M.; MUNOZ, P. R. Terpene volatiles mediates the chemical basis of blueberry aroma and consumer acceptability. **Food Research International**, v. 158, 2022.

FOLLETT, P. A.; NEVEN, L. G. Phytosanitary irradiation: Does modified atmosphere packaging or controlled atmosphere storage creating a low oxygen environment threaten treatment efficacy?. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 173, 2020.

FOLTA, K. M.; KLEE, H. J. Sensory sacrifices when we mass-produce mass produce. **Horticulture Research**, v. 3, 2016.

FORNEY, C. F.; KALT, W.; JORDAN, M. A.; VINQVIST-TYMCHUK, M. R.; FILLMORE, S. A. Blueberry and cranberry fruit composition during development. **Journal of Berry Research**, v. 2, p. 169-177, 2012.

FORNEY, C. F.; JORDAN, M. A.; PENNELL, K. M.; FILLMORE, S. Controlled atmosphere storage impacts fruit quality and flavor chemistry of five cultivars of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 194, 2022.

FOTIRIĆ AKŠIĆ, M.; DABIĆ ZAGORAC, D.; SREDOJEVIĆ, M.; MILIVOJEVIĆ, J.; GAŠIĆ, U.; MELAND, M.; NATIĆ, M. Chemometric characterization of strawberries and blueberries according to their phenolic profile: Combined effect of cultivar and cultivation system. **Molecules**, v. 24, 2019a.

FOTIRIĆ AKŠIĆ, M.; TOSTI, T.; SREDOJEVIĆ, M.; MILIVOJEVIĆ, J.; MELAND, M.; NATIĆ, M. Comparison of sugar profile between leaves and fruits of blueberry and strawberry cultivars grown in organic and integrated production system. **Plants**, v. 8, 2019b.

FRANÇA, D. L. B., BRAGA, G. C., LAURETH, J. C. U., DRANSKI, J. A. L., & DE ANDRADE MOURA, C. Physiological response, antioxidant enzyme activities and conservation of banana treated with ethanol vapor. **Journal of food science and technology**, v. 56, p. 208-216, 2019.

FUKUMOTO, L.R.; MAZZA, G. Assessing Antioxidant and Prooxidant Activities of Phenolic Compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 3597-3604, 2000.

GABLER, F. M.; MANSOUR, M. F.; SMILANICK, J. L.; MACKEY, B. E. Survival of spores of *Rhizopus stolonifer*, *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea* and *Alternaria alternata* after exposure to ethanol at various temperature. **Journal of Applied Microbiology**, v. 96, p. 1354–1360, 2004.

GAIKWAD, K. K.; LEE, Y. S. Current scenario of gas scavenging systems used in active packaging—a review. **Korean Journal of Packaging Science and Technology**, v. 23, p. 109-117, 2017.

GALARÇA, S. P.; CANTILLANO, R. F. F.; SCHUNEMAMN, A. P. P.; LIMA, C. S. M. Efeito do armazenamento em atmosfera controlada na qualidade pós-colheita de mirtilos 'bluegem' produzidos no Brasil. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 13, p. 165-170, 2012.

GALVÃO, M. S.; NARAIN, N.; DOS SANTOS, M. D. S. P.; NUNES, M. L. Volatile compounds and descriptive odor attributes in umbu (*Spondias tuberosa*) fruits during maturation. **Food Research International**, v. 44, p. 1919-1926, 2011.

GAO, X.; WALWORTH, A. E.; MACKIE, C.; SONG, G. Q. Overexpression of blueberry FLOWERING LOCUS T is associated with changes in the expression of phytohormone-related genes in blueberry plants. **Horticulture research**, v. 3, 2016.

GARRUTI, D. S.; FRANCO, M. R. B.; DA SILVA, M. A. A. P.; JANZANTTI, N.; ALVES, G. L. Assessment of aroma impact compounds in a cashew apple-based alcoholic beverage by GC-MS and GC olfactometry. **Food Science and Technology/Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie**, v. 39, p. 372-377, 2006.

GARZÓN, G. A.; SOTO, C. Y.; LÓPEZ-R, M.; RIEDL, K. M.; BROWMILLER, C. R.; HOWARD, L. Phenolic profile, in vitro antimicrobial activity and antioxidant capacity of *Vaccinium meridionale* Swartz pomace. **Heliyon**, v. 6, 2020.

GARZÓN, G. A.; NARVÁEZ, C. E.; RIEDL, K. M.; SCHWARTZ, S. J. Chemical composition, anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and antioxidant activity of wild bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) from Colombia. **Food Chemistry**, v. 122, p. 980-986, 2010.

GILBERT, J. L.; GUTHART, M. J.; GEZAN, S. A.; PISAROGLO DE CARVALHO, M.; SCHWIETERMAN, M. L.; COLQUHOUN, T. A.; BARTOSHUK, L. M.; SIMS, C. A.; CLARK, D. G.; OLMSTEAD, J. W. Identifying breeding priorities for blueberry flavor using biochemical, sensory, and genotype by environment analyses. **PLoS One**, v. 10, 2015.

GOMES, B.S.; NETO, B.P.S.; LOPES, E.M.; CUNHA, F.V.M.; ARAÚJO, A.R.; WANDERLEY, C.W.S.; WONG, D.V.T.; JÚNIOR, R.C.P.L.; RIBEIRO, R.A.; SOUSA, D.P. Anti-Inflammatory Effect of the Monoterpene Myrtenol Is Dependent on the Direct Modulation of Neutrophil Migration and Oxidative Stress. **Chemico-Biological Interactions**, v. 273, 73–81, 2017.

GU, I.; HOWARD, L.; LEE, S.-O. Volatiles in Berries: Biosynthesis, Composition, Bioavailability, and Health Benefits. **Applied Sciences**, v. 12, 2022.

GUOFANG, X.; XIAOYAN, X.; XIAOLI, Z.; YONGLING, L.; ZHIBING, Z. Changes in phenolic profiles and antioxidant activity in rabbiteye blueberries during ripening. **International Journal of Food Properties**, v. 22, p. 320-329, 2019.

HARKER, F. R.; GUNSON, F. A.; JAEGER, S. R. The case for fruit quality: an interpretive review of consumer attitudes, and preferences for apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 28, p. 333–347, 2003.

HENRÍQUEZ, C.; ALMONACID, S.; CHIFFELLE, I.; VALENZUELA, T.; ARAYA, M., CABEZAS, L.; SIMPSON, R.; SPEISKY, H. Determination of antioxidant capacity, total phenolic content and mineral composition of different fruit tissue of five apple cultivars grown in Chile. **Chilean journal of agricultural research**, v. 70, p. 523-536, 2010.

HIDALGO, C.; TORIJA, M. J.; MAS, A.; MATEO, E. Effect of inoculation on strawberry fermentation and acetification processes using native strains of yeast and acetic acid bacteria. **Food Microbiology**, v. 34, p. 88-94, 2013.

HORVAT, R. J.; SENTER, S. D.; DEKAZOS, E. D. GLC-MS analysis of volatile constituents in rabbiteye blueberries. **Journal of Food Science**, v. 48, p. 278-279, 1983.

HORVAT, R. J.; SENTER, S. D. Comparison of the volatile constituents from rabbiteye blueberries (*Vaccinium ashei*) during ripening. **Journal of Food Science**, v. 50, p. 429-431, 1985.

HORVITZ, S. Postharvest handling of berries. **Postharvest Handling**, 2017.

HUANG, W.; ZHANG, H. C.; LIU, W. X.; LI, C. Y. Survey of antioxidant capacity and phenolic composition of blueberry, blackberry, and strawberry in Nanjing. **Journal of Zhejiang University Science**, v. 13, p. 94-102, 2012.

HUTABARAT, R. P.; XIAO, Y. D.; WU, H.; WANG, J.; LI, D. J.; HUANG, W. Y. Identification of anthocyanins and optimization of their extraction from rabbiteye blueberry fruits in Nanjing. **Journal of Food Quality**, 2019.

JENNINGS, W.G.; SHIBAMOTO, T. Qualitative analysis of flavor and fragrance volatiles by glass capillary gas chromatography. **San Francisco Academic Press**, 1980.

JI, Y.; HU, W.; JIANG, A.; XIU, Z. Effect of ethanol treatment on the quality and volatiles production of blueberries after harvest. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, p. 6298-6306, 2019.

JI, Y.; HU, W.; LIAO, J.; XIU, Z.; JIANG, A.; GUAN, Y.; YANG, X.; FENG, K. Ethanol vapor delays softening of postharvest blueberry by retarding cell wall degradation during cold storage and shelf life. **Postharvest Biology and Technology**, v. 177, p. 111538, 2021.

JI, Y.; HU, W.; XIU, Z.; YANG, X.; GUAN, Y. Integrated transcriptomics-proteomics analysis reveals the regulatory network of ethanol vapor on softening of postharvest blueberry. **LWT**, v. 180, 2023.

JIN, M.; ANDE, A.; KUMAR, A.; KUMAR, S. Regulation of cytochrome P450 2e1 expression by ethanol: role of oxidative stress-mediated pkc/jnk/sp1 pathway. **Cell death & disease**, v. 4, 2013.

JIN, Y. Z.; LIU, W. W.; QI, H. Y.; BAI, X. H. Ethanol vapor treatment maintains postharvest storage quality and inhibits internal ethylene biosynthesis during storage of oriental sweet melons. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 372-380, 2013.

KALT, W., RYAN, D. A., DUY, J. C., PRIOR, R. L., EHLENFELDT, M. K., & VANDER KLOET, S. P. Interspecific variation in anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity among genotypes of highbush and lowbush blueberries (*Vaccinium section cyanococcus spp.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 4761-4767, 2001.

KALT, W.; BLUMBERG, J. B.; MCDONALD, J. E.; VINQVIST-TYMCHUK, M. R.; FILLMORE, S. A.; GRAF, B. A.; O'LEARY, J. M.; MILBURY, P. E. Identification of anthocyanins in the liver, eye, and brain of blueberry-fed pigs. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, p. 705-712, 2008.

KARPPINEN, K.; HIRVELÄ, E.; NEVALA, T.; SIPARI, N.; SUOKAS, M.; JAAKOLA, L. Changes in the abscisic acid levels and related gene expression during fruit development and ripening in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). **Phytochemistry**, v. 95, p. 127-134, 2013.

KELLER, N., DUCAMP, M. N., ROBERT, D., & KELLER, V. Ethylene removal and fresh product storage: a challenge at the frontiers of chemistry. Toward an approach by photocatalytic oxidation. **Chemical reviews**, v. 113, p. 5029-5070, 2013.

KHALID, S.; BARFOOT, K. L.; MAY, G.; LAMPORT, D. J.; REYNOLDS, S. A.; WILLIAMS, C. M. Effects of acute blueberry flavonoids on mood in children and young adults. **Nutrients**, v. 9, 2017.

KOORT, A., MOOR, U., PÖLDMA, P., KAISER, C., & STARAST, M. Comparison of regular atmospheric storage versus modified atmospheric packaging on postharvest quality of organically grown lowbush and half-highbush blueberries. **Sustainability**, v. 10, 2018.

KOWALCZYK, E., KRZESIŃSKI, P., KURA, M., SZMIGIEL, B., & BLASZCZYK, J. Anthocyanins in medicine. **Polish Journal of Pharmacology**, v. 55, p. 699-702, 2003.

KRAEVA, E.; ANDARY, C.; CARBONNEAU, A.; DELOIRE, A. Salicylic acid treatment of grape berries retards ripening. **VITIS-GEILWEILERHOF**, v. 37, p. 143-144, 1998.

KRAŚNIEWSKA, K.; ŚCIBISZ, I.; GNIEWOSZ, M.; MITEK, M.; POBIEGA, K.; CENDROWSKI, A. Effect of pullulan coating on postharvest quality and shelf-life of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). **Materials**, v. 10, p. 965, 2017.

KRAUJALYTĖ, V.; VENSKUTONIS, P. R.; PUKALSKAS, A.; ČESONIENĖ, L.; DAUBARAS, R. Antioxidant properties, phenolic composition and potentiometric

sensor array evaluation of commercial and new blueberry (*Vaccinium corymbosum*) and bog blueberry (*Vaccinium uliginosum*) genotypes. **Food Chemistry**, v. 188, p. 583-590, 2015.

LACOMBE, A.; NIEMIRA, B. A.; GURTLE, J. B.; FAN, X.; SITES, J.; BOYD, G.; CHEN, H. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. **Food microbiology**, v. 46, p. 479-484, 2015.

LI, M.; LI, X.; LI, J.; JI, Y. HAN, C.; JIN, P.; ZHENG, Y. Responses of fresh-cut strawberries to ethanol vapor pretreatment: improved quality maintenance and associated antioxidant metabolism in gene expression and enzyme activity levels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, p. 8382-8390, 2018.

LICHTER, A.; ZUTKHY, Y.; SONEGO, L.; DVIR, O.; KAPLUNOV, T.; SARIG, P.; BEN-ARIE, R. Ethanol controls postharvest decay of table grapes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 24, p. 301-308, 2002.

LIU, W.; LU, X.; HE, G.; GAO, X.; LI, M.; WU, J.; ZHENJING, L.; WU, J.; WANG, J.; LUO, C. Cytosolic protection against ultraviolet induced DNA damage by blueberry anthocyanins and anthocyanidins in hepatocarcinoma HepG2 cells. **Biotechnology letters**, v. 35, p. 491-498, 2013.

LIU, Y.; DONG, S.; WANG, S. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and volatile compounds of blueberry fruit. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, 2020.

LIU, H.; MENG, F.; CHEN, S.; YIN, T.; HU, S.; SHAO, Z.; LIU, Y.; ZHU, C.; YE, H.; WANG, Q. Ethanol treatment improves the sensory quality of cherry tomatoes stored at room temperature. **Food chemistry**, v. 298, 2019.

LIU, W. W.; QI, H.; XU, B.; LI, Y.; TIAN, X.; JIANG, Y.; XU, X.; LV, D. Ethanol treatment inhibits internal ethylene concentrations and enhances ethyl ester production during storage of oriental sweet melons (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino). **Postharvest Biology and Technology**, v. 67, p. 75-83, 2012.

LOBOS, G.; MOGGIA, C.; RETAMALES, J.; SÁNCHEZ, C.; VANKOOTEN, O. Effect of mechanized (automotive or shaker) vs. hand harvest on postharvest fruit quality of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits**, v. 1017, p. 135-140, 2014.

LU, X. G.; MENG, G. L.; JIN, W. G.; GAO, H. Effects of 1-MCP in combination with Ca application on aroma volatiles production and softening of 'Fuji' apple fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 229, p. 91-98, 2018.

LUGEMWA, F. N.; LWANDE, W.; BENTLEY, M. D.; MENDEL, M. J.; ALFORD, A. R. Volatiles of wild blueberry, *Vaccinium angustifolium*: possible attractants for the

blueberry maggot fruit fly, *Rhagoletis mendax*. **Journal of Agricultural and Food chemistry**, v. 37, p. 232-233, 1989.

MAGAZIN, N., KESEROVIĆ, Z., ČABILOVSKI, R., MILIĆ, B., DORIĆ, M., & MANOJLOVIĆ, M. Modified atmosphere packaging of fully ripe strawberries. **XI International Controlled and Modified Atmosphere Research Conference**, v. 1071, p. 241-244, 2013.

MAKSIMOVIĆ, J. D., MILIVOJEVIĆ, J., DJEKIĆ, I., RADIVOJEVIĆ, D., VEBERIĆ, R., & PETKOVŠEK, M. M. Changes in quality characteristics of fresh blueberries: Combined effect of cultivar and storage conditions. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 111, 2022.

MALDONADE, I. R.; CARVALHO, P. G. B.; FERREIRA, N. A.; MOULIN, B. S. F. Protocolo para determinação de açúcares redutores pelo método de Somogyi-Nelson. **Comunicado Técnico**, 86, 2013a.

MALDONADE, I. R.; CARVALHO, P. G. B.; FERREIRA, N. A. Protocolo para determinação de açúcares totais em hortaliças pelo método DNS. **Comunicado Técnico**, 85, 2013b.

MARTIN, M. S.; STEFFENS, C. A.; PAVARIN, D. F.; RODRIGUES, M. F.; DO AMARANTE, C. V. T.; BRACKMANN, A. Quality maintenance of 'Laetitia' plum by application of 1-methylcyclopropene, ethanol vapor and heat treatment. **Comunicata Scientiae**, v. 9, p. 312-321, 2018.

MATTIVI, F.; ZULIAN, C.; NICOLINI, G.; VALENTI, L. Wine, biodiversity, technology, and antioxidants. **Annals of the New York academy of sciences**, v. 957, p. 37-56, 2002.

MATTOS, L.M.; MORETTI, C.L.; FERREIRA, M.D. Modified atmosphere packaging for perishable plant products. **Polypropylene**, p. 95–110, 2013.

MAYA-CANO, D. A.; ARANGO-VARELA, S.; SANTA-GONZALEZ, G. A. Phenolic compounds of blueberries (*Vaccinium spp*) as a protective strategy against skin cell damage induced by ROS: A review of antioxidant potential and antiproliferative capacity. **Heliyon**, v. 7, 2021.

MCGARVEY, D.J.; CROTEAU, R. Terpenoid Metabolism. **Plant Cell**, v. 7, p. 1015–1026, 1995.

MEDEIROS, J. G. S.; BIASI, L. A.; BONA, C. M.; CUQUEL, F. L. Phenology, production and quality of blueberry produced in humid subtropical climate. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, 2018.

MICHALSKA, A.; ŁYSIAK, G. Bioactive compounds of blueberries: post-harvest factors influencing the nutritional value of products. **International journal of molecular sciences**, v. 16(8), p. 18642-18663, 2015.

MILIVOJEVIC, J.; SLATNAR, A.; MIKULIC-PETKOVSEK, M.; STAMPAR, F.; NIKOLIC, M.; VEBERIC, R. The influence of early yield on the accumulation of major taste and health-related compounds in black and red currant cultivars (*Ribes spp.*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 2682-2691, 2012.

MOGGIA, C.; LOBOS, G. A.; RETAMALES, J. B. Modified atmosphere packaging in blueberries: effect of harvest time and moment of bag sealing. **X International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits**, v. 1017, p. 153-158, 2012.

MOGGIA, C.; LOBOS, G.; RETAMALES, J. Beneficios del uso de atmósfera modificada para el almacenaje prolongado de arándanos. **Revista Frutícola Copefrut S.A.** v. 12, n. 3, p. 37-40, 2012.

MOGGIA, C.; LOBOS, G. A.; RETAMALES, J. B. Modified atmosphere packaging in blueberries: Effect of harvest time and moment of bag sealing. **Acta Horticulturae**, v. 1017, p. 153-158, 2014.

MOOR, U.; PÖLDMA, P.; TÕNUTARE, T.; MOOR, A.; STARAST, M. The effect of modified atmosphere storage on the postharvest quality of the raspberry 'Polka'. **Agronomy Research**, v. 12, p. 745-752, 2014.

MOOR, U.; MÖLDER, K.; PÖLDMA, P.; TÕNUTARE, T. Postharvest quality of 'Sonata', 'Honeoye' and 'Polka' strawberries as affected by modified atmosphere packages. **Acta Horticulture**, v. 945, p. 55-62, 2012.

MOYA-LEÓN, M. A.; MATTUS-ARAYA, E.; HERRERA, R. Molecular events occurring during softening of strawberry fruit. **Frontiers in plant science**, v. 10, 2019.

MUHLEMANN, J.K., KLEMPIEN, A.; DUDAREVA, N. Floral volatiles. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, p. 1936-1949, 2014.

NADULSKI, R.; MASŁOWSKI, A.; MAZUREK, A.; SOBCZAK, P.; SZMIGIELSKI, M.; ŻUKIEWICZ-SOBCZAK, W.; NIEDZIÓŁKA, I.; MAZUR, J. Vitamin C and lutein content of northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) juice processed using freezing and thawing. **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 13, p. 2521-2528, 2019.

NICOLETTI, A. M.; PEREIRA, A. M.; ÁVILA, B. P.; GULARTE, M. A. Propriedades bioativas do mirtilo (*Vaccinium myrtillus*): uma revisão. **Tecnologia de Frutas e Hortaliças: compostos químicos de interesse**, p. 104-113, 2021.

NUNES, F. R.; STEFFENS, C. A.; HEINZEN, A. S.; SOETHE, C.; MOREIRA, M. A.; AMARANTE, C. V. T. D. Ethanol vapor treatment of 'Laetitia' plums stored under modified atmosphere. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, 2019.

OCHMIAN, I.; KOZOS, K.; CHELPINSKI, P.; SZCZEPANEK, M. Comparison of berry quality in highbush blueberry cultivars grown according to conventional and organic methods. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 39, p. 174-181, 2015.

OH, H. D.; YU, D. J.; CHUNG, S. W.; CHEA, S.; LEE, H. J. Absciscic acid stimulates anthocyanin accumulation in 'Jersey' highbush blueberry fruits during ripening. **Food chemistry**, v. 244, p. 403-407, 2018.

ORTIZ, C. M.; FRANCESCHINIS, F.; GROZEFF, G. E. G.; CHAN, H.; LABAVITCH, J. M.; CRISOSTO, C.; VICENTE, A. R. Pre-treatment with 1-methylcyclopropene alleviates methyl bromide-induced internal breakdown, softening and wall degradation in blueberry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 146, p. 90-98, 2018.

OZTURK, B.; KARAKAYA, O.; YILDIZ, K.; SARACOGLU, O. Effects of Aloe vera gel and MAP on bioactive compounds and quality attributes of cherry laurel fruit during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 249, 31-37, 2019.

PANIAGUA, A. C.; EAST, A. R.; HINDMARSH, J. P.; HEYES, J. A. Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 79, p. 13-19, 2013.

PANIAGUA, A.; EAST, A.; HEYES, J. Interaction of temperature control deficiencies and atmosphere conditions during blueberry storage on quality outcomes. **Postharvest Biology Technology**, v. 95, p. 50–59, 2014

PESIS, E. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. **Postharvest Biology and Technology**, v. 370, p. 1-19, 2005.

PEREIRA, I. S.; PICOLOTTO, L.; CORRÊA, A. P. A.; RASEIRA, M. C. B.; ANTUNES, L. E. C. Informações técnicas de cultivares de mirtilo. **Embrapa Clima Temperado**, 2013.

PERTUZATTI, P. B.; BARCIA, M. T.; GÓMEZ-ALONSO, S.; GODOY, H. T.; HERMOSIN-GUTIERREZ, I. Phenolics profiling by HPLC-DAD-ESI-MSn aided by principal component analysis to classify Rabbiteye and Highbush blueberries. **Food Chemistry**, v. 340, 2021.

PHEROBASE (2011). Database of pheromones and semiochemicals. Disponível em: <<http://www.pherobase.com/database/kovats/kovatsindex.php>>. Acesso em: mar/23.

PICHERSKY, E.; NOEL, J.P.; DUDAREVA, N. Biosynthesis of plant volatiles: Nature's diversity and ingenuity. **Science**, v. 311, p. 808–811, 2006.

PICO, J.; YAN, Y.; GERBRANDT, E. M.; CASTELLARIN, S. D. Determination of free and bound phenolics in northern highbush blueberries by a validated HPLC/QTOF methodology. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 108, 2022.

PIIRONEN, V.; TOIVO, J.; PUUPPONEN-PIMIÄ, R.; LAMPI, A. M. Plant sterols in vegetables, fruits and berries. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, p. 330-337, 2003.

PINTO, L.; PALMA, A.; CEFOLA, M.; PACE, B.; D'AQUINO, S.; CARBONI, C.; BARUZZI, F. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and gaseous ozone pre-packaging treatment on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of small berry fruit. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 26, 2020.

PONZO, F. S.; BENATO, E. A.; SILVA, B. M. P. D.; CIA, P. Ethanol on the postharvest control of anthracnose in 'Kumagai' guava. **Bragantia**, v. 77, p. 160-167, 2017.

PULIDO, P.; PERELLO, C.; RODRIGUEZ-CONCEPCION, M. New Insights into Plant Isoprenoid Metabolism. **Molecular Plant**, v. 5, p. 964–967, 2012.

QIAN, Y. L.; ZHANG, D.; AN, Y.; ZHOU, Q.; QIAN, M. C. Characterization of Aroma-Active Compounds in Northern Highbush Blueberries "Bluecrop" (*Vaccinium corymbosum* "Bluecrop") and "Elliott" (*Vaccinium corymbosum* "Elliott") by Gas Chromatography–Olfactometry Dilution Analysis and Odor Activity Value. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 69, v. 20, p. 5691 – 5701, 2021.

QIAN, Y. P. L.; ZHOU, Q.; MAGANA, A. A.; QIAN, M. C. Comparative study of volatile composition of major Northern Highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 110, 2022.

RASEIRA, M. C. B. A cultura do mirtilo. **Embrapa**, 2004.

REBELLO, L. P. G.; LAGO-VANZELA, E. S.; BARCIA, M. T.; RAMOS, A. M.; STRINGHETA, P. C.; DA-SILVA, R.; CASTILLO-MUÑOZ, N.; GÓMEZ-ALONSO, S.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. Phenolic composition of the berry parts of hybrid grape cultivar BRS Violeta (BRS Rubea × IAC 1398-21) using HPLC–DAD–ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 54, p. 354-366, 2013.

REQUE, P. M.; STEFFENS, R. S.; JABLONSKI, A.; FLÔRES, S. H.; RIOS, A. D. O.; DE JONG, E. V. Cold storage of blueberry (*Vaccinium spp.*) fruits and juice: Anthocyanin stability and antioxidant activity. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 33, p. 111-116, 2014.

RITENOUR, M. A., MANGRICH, M. E., BEAULIEU, J. C., RAB, A., & SALTVEIT, M. E. Ethanol effects on the ripening of climacteric fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 12, p. 35-42, 1997.

RIVERA, S. A.; ZOFFOLI, J. P.; LATORRE, B. A. Determination of optimal sulfur dioxide time and concentration product for postharvest control of gray mold of blueberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 83, p. 40-46, 2013.

RODRIGUEZ, J.; ZOFFOLI, J. P. Effect of sulfur dioxide and modified atmosphere packaging on blueberry postharvest quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 117, p. 230-238, 2016.

ROESLER, R.; MALTA, L. G.; CARRASCO, L. C.; HOLANDA, R. B.; SOUSA, C. A. S.; PASTORES, G. M. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n.1, p.53-60, 2007.

ROMERO, I.; SANCHEZ-BALLESTA, M. T.; MALDONADO, R.; ESCRIBANO, M. I.; MERODIO, C. Anthocyanin, antioxidant activity and stress-induced gene expression in high CO₂-treated table grapes stored at low temperature. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, p. 522-530, 2008.

ROMERO, I.; VAZQUEZ-HERNANDEZ, M.; TORNEL, M.; ESCRIBANO, M. I.; MERODIO, C.; SANCHEZ-BALLESTA, M. T. The effect of ethanol treatment on the quality of a new table grape cultivar It 681–30 stored at low temperature and after a 7-day shelf-life period at 20 °C: a molecular approach. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, 2021.

RUFATO, A. R.; ANTUNES, L. E. C. Técnicas de produção de framboesa e mirtilo. **Embrapa**, 2016.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. **Embrapa**, 2007a.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. **Embrapa**, 2007b.

SAFTNER, R.; POLASCOCK, J.; EHLENFELDT, M.K.; VINYAR, B. Instrumental and sensory quality characteristics of blueberry fruit from twelve cultivars. **Postharvest Biology Technology**, v. 49, p. 19–26, 2008.

SAMPAIO, K. L.; BIASOTO, A. C. T.; DA SILVA, M. A. A. P. Comparison of techniques for the isolation of volatiles from cashew apple juice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 95, p. 299-312, 2015.

SAMPAIO, K.L.; BIASOTO, A.C. T., NASCIMENTO E.J.M; CALDAS E.A.B.; DA SILVA, M.A.A.P. Dynamics of the recovery of aroma volatile compounds during the concentration of cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.). **Food Research International**, v. 51, p. 335-343, 2013.

SAMPAIO, K.L.; GARRUTI, D.S.; FRANCO, M.R.; JANZANTTI, N.S.; DA SILVA, M.A.A.P. Aroma volatiles recovered in the water phase of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) juice during concentration. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, p. 1801-1809, 2011.

SANCHES, A. G.; DA SILVA, M. B.; MOREIRA, E. G. S.; DOS SANTOS, E. X.; MENEZES, K. R. P.; CORDEIRO, C. A. M. Ethylene absorber (KMnO₄) in postharvest quality of pinha (*Anona squamosa* L.). **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 605-612, 2019.

SATER, H. M.; BIZZIO, L. N.; TIEMAN, D. M.; MUÑOZ, P. D. A review of the fruit volatiles found in blueberry and other *Vaccinium* species. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol. 68, p. 5777-5786, 2020.

SARKAR, T.; SAL, S.; JOSHI, V.; SARKAR, T.; SARKAR, S. Effect of modified and active packaging on shelf life and quality of banana cv. Grand nine. **The Bioscan**, v. 12, p. 95-100, 2017.

SAS Institute. **System for Information**, Versão 8.2 Cary, 2001.

SCHOTSMANS, W.; MOLAN, A.; MACKAY, B. Controlled atmosphere storage of rabbiteye blueberries enhances postharvest quality aspects. **Postharvest Biology & Technology**, v. 44, p. 277– 285, 2007.

SCHWIETERMAN, M. L.; COLQUHOUN, T. A.; JAWORSKI, E. A.; BARTOSHUK, L. M.; GILBERT, J. L.; TIEMAN, D. M.; ODABASI, A. Z.; MOSKOWITZ, H. R.; FOLTA, K. M.; KLEE, H. J.; SIMS, C. A.; WHITAKER, V. M.; CLARK, D. G. Strawberry flavor: diverse chemical compositions, a seasonal influence, and effects on sensory perception. **PLOS One**, v. 9, 2014.

SERAFINI, M.; TESTA, M. F.; VILLANO, D.; PECORARI, M.; VAN WIEREN, K.; AZZINI, E.; BRAMBILLA, A.; MAIANI, G. (2009). Antioxidant activity of blueberry fruit is impaired by association with milk. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 46, p. 769-774, 2009.

SEYMOUR, G. B., ØSTERGAARD, L., CHAPMAN, N. H., KNAPP, S., & MARTIN, C. Fruit development and ripening. **Annual review of plant biology**, v. 64, p. 219-241, 2013.

SHAO, Y.; JIANG, Z.; ZENG, J.; LI, W.; DONG, Y. Effect of ethanol fumigation on pericarp browning associated with phenol metabolism, storage quality, and antioxidant systems of wampee fruit during cold storage. **Food Science & Nutrition**, v. 8, p. 3380-3388, 2020.

SHARMA, S.; SHARMA, R. R. Impact of staggered treatments of novel molecules and ethylene absorbents on postharvest fruit physiology and enzyme activity of 'Santa Rosa' plums. **Scientia horticulturae**, v. 198, p. 242-248, 2016.

SHI, H.; WANG, B.; YANG, P.; LI, Y.; MIAO, F. Differences in sugar accumulation and mobilization between sequential and non-sequential senescence wheat cultivars under natural and drought conditions. **PloS One**, v. 11, 2016.

SIEGMUND, B. Biogenesis of aroma compounds: Flavour formation in fruits and vegetables. **In Flavour development, analysis and perception in food and beverages**, (pp. 127-149). Woodhead Publishing, 2015.

SILVA, E. R.; MELO, F. C. Manual de manejo da cultura do mirtilo (*Vaccinium sp.*). **Secretaria de agricultura de Tijucas do Sul**, 2021.

SMRKE, T.; CVELBAR WEBER, N.; VEBERIC, R.; HUDINA, M.; JAKOPIC, J. Modified atmospheric CO₂ levels for maintenance of fruit weight and nutritional quality upon long-term storage in blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) 'Liberty'. **Horticulturae**, v. 7, 2021.

SONG, J.; FORNEY, C. F. Flavour volatile production and regulation in fruit. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 88, 2008.

STANGER, M. C.; STEFFENS, C. A.; SOETHE, C.; MOREIRA, M. A.; DO AMARANTE, C. V. T.; BOTH, V.; BRACKMANN, A. Phenolic compounds content and antioxidant activity of 'Galaxy' apples stored in dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen conditions. **Postharvest Biology and Technology**, v. 144, p. 70-76, 2018.

STEFFENS, C. A. Respiração de frutos e permeabilidade de filmes poliméricos. Santa Maria, RS, 2006. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

STEFFENS, C. A.; SOARDI, K.; HEINZEN, A. S.; AMARAL VIGNALI ALVES, J.; DA SILVA, J. C.; TALAMINI DO AMARANTE, C. V.; BRACKMANN, A. Quality of "Cripps Pink" apples following the application of 1-MCP, ethanol vapor and nitric oxide as pretreatments for controlled atmosphere storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 46, 2022.

STRIK, B. C.; VANCE, A.; BRYLA, D. R. Organic production systems research in blueberry and blackberry-a review of industry-driven studies. **XXIX International Horticultural Congress on Horticulture: Sustaining Lives, Livelihoods and Landscapes**, p. 139-148, 2014.

SUN, Y.; SHI, Z.; JIANG, Y.; ZHANG, X.; LI, X.; LI, F. Effects of preharvest regulation of ethylene on carbohydrate metabolism of apple (*Malus domestica* Borkh cv. Starkrimson) fruit at harvest and during storage. **Scientia Horticulturae**, v. 276, 2021.

SUZUKI, R.; YE, W.; RYLANDER-RUDQVIST, T.; SAJI, S.; COLDITZ, G. A.; WOLK, A. Alcohol and postmenopausal breast cancer risk defined by estrogen and progesterone receptor status: a prospective cohort study. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 97, p. 1601-1608, 2005.

TALCOTT, S. T. Chemical components of berry fruits. **Food Science and Technology**, v. 168, 2007.

TATMAN, D.; MO, H. Volatile isoprenoid constituents of fruits, vegetables and herbs cumulatively suppress the proliferation of murine B16 melanoma and human HL-60 leukemia cells. **Cancer Letters**, v. 175, p. 129-139, 2002.

TEZOTTO-ULIANA, J. V.; DE PAULA, J. T.; TESSMER, M. A.; KLUGE, R. A. Ethanol vapor is efficient for reduction of astringency compounds in cashew apple. **Postharvest Biology and Technology**, v. 145, p. 117-124, 2018.

THEWES, F. R.; BRACKMANN, A.; DE OLIVEIRA ANESE, R.; LUDWIG, V.; SCHULTZ, E. E.; BERGHETTI, M. R. P. 1-methylcyclopropene suppresses anaerobic metabolism in apples stored under dynamic controlled atmosphere monitored by respiratory quotient. **Scientia Horticulturae**, v. 227, p. 288-295, 2018.

THEWES, F. R.; BALKEES, B. M.; BÜCHELE, F.; WÜNSCHE, J. N.; NEUWALD, D. A.; BRACKMANN, A. Ethanol vapor treatment inhibits apple ripening at room temperature even with the presence of ethylene. **Postharvest Biology and Technology**, v. 173, 2021.

THEWES, F. R.; BALKEES, B. M.; BÜCHELE, F.; BOTH, V.; BRACKMANN, A.; NEUWALD, D. A. The isolated and combined impacts of ethanol and ethylene application on sugars and organic acids dynamics in 'Elstar' and 'Nicoter' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 194, 2022.

TIEMAN, D.; ZHU, G.; RESENDE, M. F. R. A Chemical genetic roadmap to improved tomato flavor. **Science**, v. 355, p. 391-394, 2017.

TOALDO, I. M.; CRUZ, F. A.; ALVES, T. DE L.; DE GOIS, J. S.; BORGES, D. L.; CUNHA, H. P.; DA SILVA, E. L.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Bioactive potential of *Vitis labrusca* L. grape juices from the Southern Region of Brazil: phenolic and elemental composition and effect on lipid peroxidation in healthy subjects. **Food Chemistry**, v. 173, p. 527-535, 2015.

TSAO, R.; YANG, R. Optimization of a new mobile phase to know the complex and real polyphenolic composition: Towards a total phenolic index using high-performance liquid chromatography. **Journal of Chromatography A**, Nova Iorque, v.1018, n.1, p.29-40, 2003.

USTUN, D.; CANDIR, E.; OZDEMIR, A. E.; KAMILOGLU, O.; SOYLU, E. M.; DILBAZ, R. Effects of modified atmosphere packaging and ethanol vapor treatment on the chemical composition of 'Red Globe' table grapes during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 68, p. 8-15, 2012.

UTTO, W. Factors affecting release of ethanol vapour in active modified atmosphere packaging systems for horticultural products. **Maejo International Journal of Science & Technology**, v. 8, 2014.

WANG, S. Y.; CAMP, M. J.; EHLENFELDT, M. K. Antioxidant capacity and α -glucosidase inhibitory activity in peel and flesh of blueberry (*Vaccinium spp.*) cultivars. **Food Chemistry**, v. 132, p. 1759-1768, 2012.

WANG, Y.; LONG, L. E. Respiration and quality responses of sweet cherry to different atmospheres during cold storage and shipping. **Postharvest Biology and Technology**, v. 92, p. 62-69, 2014.

WANG, K.; CAO, S.; DI, Y.; LIAO, Y.; ZHENG, Y. Effect of ethanol treatment on disease resistance against anthracnose rot in postharvest loquat fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 188, p. 115-121, 2015.

WANG, H.; GUO, X.; HU, X.; LI, T.; FU, X.; LIU, R. H. Comparison of phytochemical profiles, antioxidant and cellular antioxidant activities of different varieties of blueberry (*Vaccinium spp.*). **Food chemistry**, v. 217, p. 773-781, 2017.

WANG, Q. G.; NIE, X. L.; CANTWELL, M. Hot water and ethanol treatments can effectively inhibit the discoloration of fresh-cut sunchoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. **Postharvest Biology and Technology**, v. 94, p. 49-57, 2014.

WANG, K.; JIN, P.; TANG, S.; SHANG, H.; RUI, H.; DI, H.; CAI, Y.; ZHENG, Y. Improved control of postharvest decay in Chinese bayberries by a combination treatment of ethanol vapor with hot air. **Food Control**, v. 22, p. 82-87, 2011.

WANG, S.; ZHOU, Q.; ZHOU, X.; WEI, B.; JI, S. The effect of ethylene absorbent treatment on the softening of blueberry fruit. **Food chemistry**, v. 246, p. 286-294, 2018.

WANG, S.; ZHOU, Q.; ZHOU, X.; ZHANG, F.; JI, S. Ethylene plays an important role in the softening and sucrose metabolism of blueberries postharvest. **Food chemistry**, v. 310, 2020.

WANG, Y. W.; ACHARYA, T. P.; MALLADI, A.; TSAI, H. J.; NESMITH, D. S.; DOYLE, J. W.; NAMBEESAN, S. U. Atypical climacteric and functional ethylene metabolism and signaling during fruit ripening in blueberry (*Vaccinium sp.*). **Frontiers in Plant Science**, v. 13, 2022.

WATANABE, M.; GOTO, R.; MURAKAMI, M.; KOMORI, S.; SUZUKI, A. Interaction between ethylene and abscisic acid and maturation in highbush blueberry. **The Horticulture Journal**, v. 90, p. 14-22, 2021.

WEBER, C. T.; TRIERWEILER, L. F.; TRIERWEILER, J. O. Food waste biorefinery advocating circular economy: Bioethanol and distilled beverage from sweet potato. **Journal of Cleaner Production**, v. 268, 2020.

WEBER, A.; NEUWALD, D. A.; KITTEMANN, D.; THEWES, F. R.; BOTH, V.; BRACKMANN, A. Influence of respiratory quotient dynamic controlled atmosphere (DCA-RQ) and ethanol application on softening of Braeburn apples. **Food chemistry**, v. 303, 2020.

WHANG, D.D.; YEATS, T. H.; ULUISIK, S.; ROSE, J. K. C.; SEYMOUR, G. B. Fruit softening: Revisiting the role of pectin. **Trends in Plant Science**, v. 23, p. 203-210, 2018.

WHYTE, A. R.; SCHAFER, G.; WILLIAMS, C. M. The effect of cognitive demand on performance of an executive function task following wild blueberry supplementation in 7 to 10 years old children. **Food & Function**, v. 8, 4129-4138, 2017.

WHYTE, A. R.; CHENG, N.; FROMENTIN, E.; WILLIAMS, C. M. A randomized, double-blinded, placebo-controlled study to compare the safety and efficacy of low dose enhanced wild blueberry powder and wild blueberry extract (ThinkBlue™) in maintenance of episodic and working memory in older adults. **Nutrients**, v. 10, 2018.

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

WYRWA, J.; BARSKA, A. Innovations in the food packaging market: Active packaging. **European Food Research and Technology**, v. 243, p. 1681-1692, 2017.

XINYU, Z.; YI, W.; XUE, H.; ZIXI, Y.; WEIQIONG, Y.; ZHAOLIN, L. Characterization of volatile compounds in five blueberry varieties using purge and trap coupled to gas chromatography-mass spectrometry. **Italian Journal of Food Science**, v. 32, 2020.

XU, F.; LIU, S. Control of postharvest quality in blueberry fruit by combined 1-methylcyclopropene (1-MCP) and UV-C irradiation. **Food and Bioprocess Technology**, v. 10, p. 1695-1703, 2017.

XU, F.; MOYA-LEÓN, M. A.; MATTUS-ARAYA, E.; HERRERA, R. Molecular events occurring during softening of strawberry fruit. **Frontiers in plant science**, v. 10, 2019.

XU, F.; YANG, Z.; CHEN, X.; JIN, P.; WANG, X.; ZHENG, Y. 6-Benzylaminopurine delays senescence and enhances health-promoting compounds of harvested broccoli. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, p. 234-240, 2012.

XU, J.; DUAN, X. G.; YANG, J.; BEECHING, J. R.; ZHANG, P. Enhanced reactive oxygen species scavenging by overproduction of superoxide dismutase and catalase delays postharvest physiological deterioration of cassava storage roots. **Plant Physiology**, v. 161, p. 1517-1528, 2013.

XU, F.; LIU, S.; LIU, Y.; WANG, S. Effect of mechanical vibration on postharvest quality and volatile compounds of blueberry fruit. **Food Chemistry**, v. 349, 2021.

YAN, S. L.; YANG, T. B.; LOU, Y. G. The mechanism of ethanol treatment on inhibiting lettuce enzymatic browning and microbial growth. **LWT- Food Science and Technology**, v. 63, p. 383-390, 2015.

YAN, S.; LUO, Y.; ZHOU, B.; INGRAM, D. T. Dual effectiveness of ascorbic acid and ethanol combined treatment to inhibit browning and inactivate pathogens on fresh-cut apples. **LWT - Food Science and Technology**, v. 80, p. 311-320, 2017.

YAN, X.; YAN, J.; PAN, S.; YUAN, F. Changes of the aroma composition and other quality traits of blueberry 'garden blue' during the cold storage and subsequent shelf life. **Foods**, v. 9, 2020.

YANG, X., SONG, J., DU, L., FORNEY, C., CAMPBELL-PALMER, L., FILLMORE, S., ZHANG, Z. Ethylene and 1-MCP regulate major volatile biosynthetic pathways in apple fruit. **Food Chemistry**, v. 194, p. 325–336, 2016.

YUAN, W.; ZHOU, L.; DENG, G.; WANG, P.; CREECH, D.; LI, S. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity of *Vaccinium* L. in Texas, USA. **Pharmaceutical Crops**, v. 2, p. 11-23, 2011.

ZARGHAMI, N. S.; HEINZ, D. E. Monoterpene aldehydes and isophorone-related compounds of saffron. **Phytochemistry**, v. 10, p. 2755-2761, 1971.

ZHANG, W.; LI, X.; WANG, X.; WANG, G.; ZHENG, J.; ABEYSINGHE, D. C.; FERGUSON, I. B.; CHEN, K. Ethanol vapour treatment alleviates postharvest decay and maintains fruit quality in Chinese bayberry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 46, p. 195-198, 2007.

ZHOU, Q.; MA, C.; CHENG, S.; WEI, B.; LIU, X.; JI, S. Changes in antioxidative metabolism accompanying pitting development in stored blueberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 88, p. 88-95, 2014.

ZHOU, D.; WANG, Z.; TU, S.; CHEN, S.; PENG, J.; TU, K. Effects of cold plasma, UV-C or aqueous ozone treatment on *Botrytis cinerea* and their potential application in preserving blueberry. **Journal of Applied Microbiology**, v. 127, p. 175-185, 2019.

ZHOU, Q.; ZHANG, F.; JI, S.; DAI, H.; ZHOU, X.; WEI, B.; CHENG, S.; WANG, A. Absciscic acid accelerates postharvest blueberry fruit softening by promoting cell wall metabolism. **Scientia Horticulturae**, v. 288, 2021.