

TIAGO MIQUELOTO

**ATRIBUTOS DE QUALIDADE E PERFIL AROMÁTICO DE AMEIXAS
'LAETITIA' ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA E
REFRIGERADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, área de concentração em Biologia e Tecnologia Pós-colheita.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano André Steffens.

LAGES

2022

TIAGO MIQUELOTO

**ATRIBUTOS DE QUALIDADE E PERFIL AROMÁTICO DE AMEIXAS
'LAETITIA' ARMAZENADAS EM ATMOSFERA CONTROLADA E
REFRIGERADA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, área de concentração em Biologia e Tecnologia Pós-colheita.

BANCA EXAMINADORA

Membros:

Professor Dr. Cristiano André Steffens

Universidade do Estado de Santa Catarina

Professor Dr. Marcelo Alves Moreira

Universidade do Estado de Santa Catarina

Professor Dr. Marcos Vinicius Hendges

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul

Professor Dr. Rogério de Oliveira Anese

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Professor Dr. Vanderlei Both

Universidade Federal de Santa Maria

Lages, 9 de dezembro de 2022.

Dedico ao meu querido amigo e irmão do peito,
Renan Dorini Baretta (in memoriam). Com
carinho, respeito e admiração!

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo.

Aos meus pais, Neri Luiz e Zanete, pela entrega absoluta e incondicional na minha formação pessoal e profissional.

Ao professor Dr. Cristiano André Steffens, pela oportunidade concedida, pela orientação inestimável, confiança e pelo exemplo de conduta pessoal e profissional.

À minha irmã, Aquidauana e ao seu marido, Odimar, por terem me mostrado o significado das palavras responsabilidade e dedicação.

A todos que contribuíram na elaboração, construção e/ou condução do trabalho: Angélica, Cristina, Juliana, Janaiana, Raquel, Jéssica, Josias, Cristhian, Keli, Adriana, Viviane, Josiane, Marissa, Carla, Rafaela, Brenda, Iana, Carol, William, Paulo, Marceli, Karina e Samara.

À UDESC, pelo ensino de qualidade e estrutura disponíveis desde a minha graduação até o desenvolvimento desta tese.

À FUMDES pela concessão de bolsa de estudo.

A todos os funcionários terceirizados da UDESC pela cooperação e amizade.

A todos os professores e colegas do curso de pós-graduação.

A todos que de alguma forma contribuíram na construção deste trabalho.

“Se vai tentar, vá até o fim. Caso contrário, nem comece. Se vai tentar, vá até o fim. Você pode perder namorada, esposa, parentes, emprego e talvez até a cabeça. Vá até o fim. Pode ficar sem comer por três ou quatro dias. Pode congelar no banco de uma praça. Pode ser preso. Pode receber escárnio, gozações, isolamento. Isolamento é um presente, todo o resto é um teste da sua resistência, de quão forte é a sua vontade. E você fará a despeito da rejeição e dos piores azares e será melhor do que qualquer coisa que possa imaginar. Se vai tentar, vá até o fim. Não há outra emoção como essa. Você estará sozinho com os deuses e as noites queimarão como fogo. Faça, faça, faça, faça, até o fim, até o fim. Você cavalgará a vida diretamente para o riso perfeito. Essa é a única boa luta que existe”. Charles Bukowski.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar efeito do armazenamento em atmosfera refrigerada (AR) e diferentes condições de atmosfera controlada (AC) sobre o amadurecimento e os atributos de qualidade em ameixas ‘Laetitia’ após o armazenamento e caracterizar o perfil de compostos aromáticos de ameixas ‘Laetitia’ após a colheita, aos 0, 4 e 8 dias de *shelf life* e após o armazenamento em diferentes condições de AC e AR. Foram conduzidos experimentos nas safras 2019/2020 e 2020/2021 com frutos oriundos de pomares orgânico e convencional, respectivamente. Na safra 2019/2020, as menores taxas de produção de etileno e maiores valores para ângulo *hue*, para as porções menos e mais vermelha da epiderme, foram observadas em ameixas armazenadas em AC, comparativamente àquelas armazenadas em AR. De forma geral, frutos armazenados na condição de 2 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂ (AC-LO) e nas condições 1 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂ (AC-ULO1) e 0,7 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂ (AC-ULO2) apresentaram maior firmeza de polpa. Os frutos armazenados em AC-ULO1 e AC-ULO2 apresentaram menor incidência de escurecimento de polpa (IEP) do que nos demais tratamentos, independentemente do período de *shelf life*. Entre os aldeídos identificados em frutos do pomar orgânico o E-2-hexenal e hexanal foram majoritários. A concentração de E-2-hexenal reduziu de 0 para 8 dias de *shelf life*. Entre os álcoois, a concentração do 2-etil-1-hexanol diminuiu e do 1-hexanol aumentou de 0 para 8 dias de *shelf life*. A concentração de 3-hexen-1-ol foi maior para o *shelf life* de 4 dias, comparado aos demais tratamentos. No pomar convencional o aldeído hexanal foi mais relevante e as suas concentrações foram similares entre os *shelf life*. Entre os álcoois a concentração do 3-hexen-1-ol reduziu de 0 para 8 dias de *shelf life*, enquanto as concentrações de 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e Z-3-hexen-1-ol permaneceram constantes. No pomar orgânico, o aldeído hexanal e os álcoois 1-hexanol, 3-hexen-1-ol e etanol foram os mais relevantes. A concentração de hexanal em AC-ULO2 foi maior em relação aos demais tratamentos. A concentração de 1-hexanol e 3-hexen-1-ol foram maiores nos tratamentos AC-ULO1 e AC-ULO2, em relação a AR e AC-LO e a concentração de etanol foi maior em AC-ELO, comparativamente aos demais tratamentos. No pomar convencional, o aldeído hexanal e os álcoois 1-hexanol e etanol foram os mais relevantes. A concentração de hexanal foi maior para a condição de 2 kPa de O₂ + 1 kPa de CO₂ (AC-LO) em relação a AR e 0,25 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂ (AC-ELO). A concentração de 1-hexanol foi menor em AC-ELO comparativamente a AR e AC-LO e a concentração de etanol foi maior em AC-ELO, comparativamente aos demais tratamentos. A concentração de ésteres foi menor em frutos de ambos os pomares. O armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ em AC-ULO (1 kPa O₂ ou 0,7 kPa

O₂, combinados com 1,2 kPa CO₂) mantém melhor qualidade organoléptica, especialmente por reduzir a incidência de escurecimento da polpa. Os aldeídos E-2-hexenal e hexanal e os álcoois 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol são os voláteis que têm maior concentração em ameixas 'Laetitia' cultivadas no sistema de produção orgânica, enquanto as ameixas 'Laetitia' cultivadas sob sistema convencional têm maiores concentrações hexanal, 3-hexen-1-ol, 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol, Z-3-hexen-1-ol. A redução da pressão parcial de oxigênio modifica o perfil aromático de ameixas 'Laetitia' produzidas sob sistemas orgânico ou convencional.

Palavras-chave: Escurecimento interno de polpa; Atividade antioxidante total; Metabolismo fermentativo; Etanol; Cultivo orgânico; Cultivo convencional.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of cold atmosphere (CA) and different controlled atmosphere (CTA) conditions on ripening and quality attributes in 'Laetitia' plums after storage and to characterize the profile of aromatic compounds of 'Laetitia' plums at 0, 4 and 8 days of shelf life, and after storage under different CTA and CA conditions. Experiments were conducted in the 2019/2020 and 2020/2021 harvests with fruits from organic and conventional orchards, respectively. In the 2019/2020 harvest, the lowest ethylene production rates and highest values for the hue angle, for the less and redder portions of the epidermis, were observed in plums stored in AC, compared to those stored in AR. In general, fruits stored at 2 kPa of O₂ + 1.2 kPa of CO₂ (AC-LO), 1 kPa of O₂ + 1.2 kPa of CO₂ (AC-ULO1) and 0.7 kPa of O₂ + 1.2 kPa of CO₂ (AC-ULO2) showed greater pulp firmness. The fruits stored in AC-ULO1 and AC-ULO2 showed a lower internal browning (IEP) than in the other treatments, regardless of the shelf life period. Among the aldehydes identified in organic orchard fruits, E-2-hexenal and hexanal were the majority. E-2-hexenal concentration reduced from 0 to 8 days of shelf life. Among alcohols, the concentration of 2-ethyl-1-hexanol decreased and 1-hexanol increased from 0 to 8 days of shelf life. The concentration of 3-hexen-1-ol was higher for a shelf life of 4 days compared to the other treatments. In the conventional orchard, hexanal aldehyde was more relevant and its concentrations were similar between shelf life. Among the alcohols, the concentration of 3-hexen-1-ol reduced from 0 to 8 days of shelf life, while the concentrations of 2-ethyl-1-hexanol, 1-hexanol and Z-3-hexen-1-ol remained constant. In the organic orchard, the hexanal aldehyde and the alcohols 1-hexanol, 3-hexen-1-ol and ethanol were the most relevant. The concentration of hexanal in AC-ULO2 was higher than in the other treatments. The concentration of 1-hexanol and 3-hexen-1-ol were higher in treatments AC-ULO1 and AC-ULO2, in relation to AR and AC-LO, and the concentration of ethanol was higher in AC-ELO, compared to the other treatments. In the conventional orchard, the hexanal aldehyde and the alcohols 1-hexanol and ethanol were the most relevant. Hexanal concentration was higher for the condition of 2 kPa of O₂ + 1 kPa of CO₂ (AC-LO) compared to AR and 0.25 kPa of O₂ + 1.2 kPa of CO₂ (AC-ELO). The 1-hexanol concentration was lower in AC-ELO compared to AR and AC-LO and the ethanol concentration was higher in AC-ELO compared to the other treatments. The concentration of esters was lower in fruits from both orchards. Storage of 'Laetitia' plums in AC-ULO (1 kPa O₂ or 0.7 kPa O₂, combined with 1.2 kPa CO₂) maintains better organoleptic quality, especially by reducing the incidence of pulp browning. The E-2-hexenal and hexanal aldehydes and the alcohols 2-ethyl-1-hexanol, 1-hexanol and 3-hexen-1-ol are the volatiles that have the highest concentration in 'Laetitia' plums cultivated in

the organic production system, while 'Laetitia' plums cultivated under conventional system have higher concentrations of hexanal, 3-hexen-1-ol, 2-ethyl-1-hexanol, 1-hexanol, Z-3-hexen-1-ol. The reduction of oxygen partial pressure modifies the aromatic profile of 'Laetitia' plums produced under organic or conventional systems.

Keywords: Internal browning; Total antioxidant activities; Fermentative metabolism; Ethanol; Conventional orchards; Organic orchards.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variação das pressões parciais de O ₂ e CO ₂ (em kPa) nas condições de atmosfera controlada durante 50 dias de armazenamento de ameixas 'Laetitia'	26
---	----

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Taxas respiratória (TaxR; nmol CO₂ kg⁻¹ s⁻¹) e de produção de etileno (TaxE; nmol kg⁻¹ s⁻¹), cor da epiderme (h°), índice de cor vermelha (ICV), força para compressão do fruto (FCF; N), firmeza de polpa (FP; N), acidez titulável (mEq 100 mL⁻¹ de ácido málico), sólidos solúveis (SS; °Brix), incidência de escurecimento de polpa (IEP; %), cor da polpa (L, Lightness) e podridão (%) em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO1/1 kPa de O₂; AC-ULO2/0,7 kPa de O₂; e AC-ELO/0,5 kPa de O₂) combinadas com 1,2 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂ + 0,03 kPa CO₂) por 50 dias de armazenamento (1,7 ± 0,9 °C/UR de 96 ± 2%) seguido por três e cinco dias de shelf life (20 ± 2 °C/UR de 65 ± 5%). 31
- Tabela 2 - Acetato de etila (μL L⁻¹), acetaldeído (μL L⁻¹) e etanol (μL L⁻¹) em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO1/1 kPa de O₂; AC-ULO2/0,7 kPa de O₂; e AC-ELO/0,5 kPa de O₂) combinadas com 1,2 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂ + 0,03 kPa CO₂) por 50 dias (1,5 ± 0,9 °C/ UR de 96 ± 2%) seguido por de três e cinco dias de shelf life (20 ± 2 °C/UR de 65 ± 5%). 32
- Tabela 3 - Compostos fenólicos totais (CFT; mg EAG 100 g⁻¹) e atividade antioxidante total quantificada pelos métodos ABTS e DPPH (expressa em μg de equivalente Trolox g⁻¹ de massa fresca) em polpa de ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em atmosfera controlada (AC) , com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO1/1 kPa de O₂; AC-ULO2/0,7 kPa de O₂; e AC-ELO/0,5 kPa de O₂) combinadas com 1,2 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂ + 0,03 kPa CO₂) por 50 dias (1,5 ± 0,9 °C/ UR de 96 ± 2%) seguido por cinco dias de shelf life (20 ± 2 °C/UR de 65 ± 5%). 34
- Tabela 4 - Perfil aromático e concentração de compostos (μg g⁻¹ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcanos C₇-C₄₀) produzidos em ameixas ‘Laetitia’ aos 0, 4 e 8 dias de *shelf life*, em frutos colhidos de pomar orgânico. 47
- Tabela 5 - Perfil aromático e concentração de compostos (μg g⁻¹ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcanos C₇-C₄₀) produzidos em ameixas ‘Laetitia’ aos 0, 4 e 8 dias de *shelf life*, em frutos colhidos de pomar convencional. 49
- Tabela 6 - Perfil aromático e concentração de compostos voláteis (μg g⁻¹ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcanos C₇-C₄₀) produzidos em ameixas ‘Laetitia’

cultivadas no sistema orgânico e armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO1/1 kPa de O₂; AC-ULO2/0,7 kPa de O₂; e AC-ELO/0,5 kPa de O₂) combinadas com 1,2 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂+0,03 kPa CO₂) por 50 dias de armazenamento (1,7 ± 0,9 °C/UR de 96 ± 2%) seguido por cinco dias de *shelf life* (20 ± 2 °C/UR de 65 ± 5%)..... 64

Tabela 7 - Perfil aromático e concentração de compostos voláteis (µg g⁻¹ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcenos C₇-C₄₀) produzidos em ameixas ‘Laetitia’ cultivadas no sistema convencional e armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO/1 kPa de O₂; AC-ELO1/0,5 kPa de O₂; e AC-ELO2/0,25 kPa de O₂) combinadas com 1 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂+0,03 kPa CO₂) por 47 dias de armazenamento (1,5 ± 0,9 °C/UR de 96 ± 2%) seguido por cinco dias de *shelf life* (20 ± 2 °C/UR de 65 ± 5%)..... 66

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

%	Porcentagem
AAT	Atividade antioxidante total
ABTS	2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)
AC	Atmosfera controlada
AR	Atmosfera refrigerada
AT	Acidez titulável
C	Concentração do composto identificado na amostra
AC-LO	Atmosfera controlada com baixo oxigênio
AC -ULO	Atmosfera controlada com ultrabaixo oxigênio
AC -ELO	Atmosfera controlada com extremamente baixo oxigênio
CFT	Compostos fenólicos totais
DPPH	1,1-difenil-2-picrilhidrazila
EROS	Espécies reativas de oxigênio
FCF	Força para compressão do fruto
FP	Firmeza de polpa
h°	Ângulo <i>hue</i>
I	Índice de aroma
ICV	Índice de cor vermelha
IEP	Incidência de escurecimento de polpa
kPa	Quilopascal
L	<i>Lightness</i>
LPS	Limite de percepção sensorial
SPME	Microextração em fase sólida
SS	Sólidos solúveis
TaxE	Taxa de produção de etileno
TaxR	Taxa respiratória

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
	REFERÊNCIAS	17
2	HIPÓTESES	20
3	OBJETIVO GERAL	21
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4	ARMAZENAMENTO DE AMEIXAS ‘LAETITIA’ EM CONDIÇÕES DE ATMOSFERA CONTROLADA COM BAIXO, ULTRABAIXO E EXTREMAMENTE BAIXO OXIGÊNIO PARA CONSERVAÇÃO DE QUALIDADE.....	22
4.1	INTRODUÇÃO.....	22
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.4	CONCLUSÃO.....	35
	REFERÊNCIAS	36
5	CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL AROMÁTICO DE AMEIXAS ‘LAETITIA’ CULTIVADAS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL	42
5.1	INTRODUÇÃO.....	43
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.4	CONCLUSÃO.....	50
	REFERÊNCIAS	52
6	AÇÃO DA ATMOSFERA CONTROLADA E REFRIGERADA NO PERFIL AROMÁTICO DE AMEIXAS ‘LAETITIA’ CULTIVADAS EM SISTEMAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL.....	57
6.1	INTRODUÇÃO.....	58
6.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	59
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
6.4	CONCLUSÕES.....	68
	REFERÊNCIAS	70
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76

1 INTRODUÇÃO

A ameixeira (*Prunus salicina* Lindl.) cultivar Laetitia originou-se da polinização aberta da ‘Golden King’ na África do Sul, em 1985 (GUERRA *et al.*, 2009). No Brasil, a ameixeira ‘Laetitia’ foi introduzida na década de 1990 e, atualmente, junto com a cultivar Fortune é responsável pela maior parte da produção de ameixas no Sul do país (DALBÓ, 2021). Na região do planalto sul catarinense, a ameixa ocupa a segunda área em produção entre as frutíferas e o valor bruto corresponde a 26,4% do total gerado pela produção de frutas do estado (GOULART JUNIOR *et al.*, 2017). Os municípios São Joaquim, Urubici e Lages estão entre os sete maiores produtores de ameixas do estado, produzindo anualmente cerca de 2300, 1500 e 540 toneladas, respectivamente (GOULART JUNIOR *et al.*, 2017).

Além da ameixeira cv. Laetitia ser reconhecida por apresentar elevada produção e qualidade de frutos (FIORAVANÇO *et al.*, 2015), as ameixas também contêm concentrações significativas de compostos bioativos que apresentam funções antioxidantes, anti-inflamatórios (HUANG *et al.*, 2017), anticarcinogênicos, antimicrobianos, antialérgicos e antimutagênicos (JURANIC *et al.*, 2005; DUTHIE, 2007; ALESIANI *et al.*, 2010). Nesse sentido, as ameixas podem ser consideradas como uma opção de alimento interessante para quem busca por melhorias na qualidade de vida por meio da introdução de hábitos mais saudáveis.

A colheita das ameixas ‘Laetitia’ na região sul do Brasil ocorre frequentemente em janeiro e concentra-se em um curto período, variando aproximadamente entre 3 e 8 dias (FIORAVANÇO *et al.*, 2015). Por se tratar de um cultivar que apresenta o padrão climatérico de respiração e de produção de etileno (ARGENTA *et al.*, 2003; STANGER *et al.*, 2014; STEFFENS *et al.*, 2014), os frutos amadurecem e senescem rapidamente em condições ambiente. Nesse sentido, grande parte da produção é armazenada em câmara fria, controlando a temperatura e umidade relativa do ar. Esta tecnologia é denominada de armazenamento refrigerado (AR) e tem como finalidade prolongar o período de comercialização. Dessa forma é possível estender a oferta de ameixas para o mercado consumidor, visando a obtenção de maior lucratividade com a sua venda.

Embora, o AR seja unanimemente utilizado pelos fruticultores para o armazenamento de ameixas, as baixas temperaturas utilizadas (temperaturas inferiores a 7 °C) danificam os frutos e podem promover o aparecimento de desordens fisiológicas como, por exemplo, a incidência de escurecimento interno de polpa (IEP), que é o principal distúrbio que acomete as ameixas ‘Laetitia’. A presença de desordens fisiológicas, além de prejudicar a aparência interna (WANG *et al.*, 2016), também diminui a qualidade (NIAZI, *et al.*, 2021) e o gosto dos frutos

(CRISOSTO; LABAVITCH, 2002). A IEP se manifesta durante o armazenamento, principalmente em períodos superiores a 28 dias (STEFFENS *et al.*, 2018) e os sintomas são intensificados durante o *shelf-life* (CANDAN *et al.*, 2011). O IEP está associado ao desequilíbrio entre o acúmulo excessivo de espécies reativas de oxigênio (EROs) e a perda de eficiência do sistema antioxidante (sistema de defesa) responsável pela sua eliminação (MISHRA *et al.*, 2011; SRIVASTAVA; DUBEY, 2011). Além disso, há evidência de que a produção de etileno dos frutos está sincronizada com o aparecimento do IEP, visto que o aumento do IEP é seguido por um incremento significativo da produção de etileno, principalmente durante o período de *shelf life* (CANDAN *et al.*, 2008; STEFFENS *et al.*, 2013).

Dentro deste contexto, o uso da atmosfera controlada (AC) pode servir como uma alternativa para a armazenagem de ameixas para atenuar a manifestação do escurecimento de polpa e prolongar a qualidade dos frutos. Este sistema, além de ser fundamentado no controle das pressões parciais dos gases O₂ e CO₂ que estão diretamente envolvidos na formação de EROs, o uso de condições de AC com menores pressões parciais também reduz a produção de etileno em frutos climatéricos (SERBAN *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2022). Experimentos em AC foram realizados para identificar condições que minimizassem a IEP (STEFFENS *et al.*, 2013; STEFFENS *et al.*, 2014) e, recentemente Steffens *et al.* (2018) observaram redução de 12% na IEP em ameixas ‘Laetitia’ na condição de 1 kPa de O₂+1 kPa de CO₂ em relação ao tratamento controle (AR-21 kPa O₂+ CO₂<0.03 kPa) após 55 dias de armazenamento. Embora a redução da pressão parcial de O₂ e o aumento da pressão parcial de CO₂ auxiliem na manutenção da qualidade dos frutos (HO *et al.*, 2021; BUTKEVICIUTE *et al.*, 2021), em condição de baixa pressão parcial de oxigênio, a via respiratória aeróbica pode ser deslocada para a via fermentativa, formando etanol e acetaldeído que são tóxicos para as células e tecidos vegetais (TAIZ *et al.*, 2017). Nesse sentido, é provável que um tempo de armazenamento inferior a 55 dias associado a pressões parciais de O₂ próximas ou menores do que 1 kPa de O₂ poderiam diminuir o escurecimento interno de polpa em ameixas “Laetitia”, desde que a pressão parcial de O₂ utilizada não seja limitante para deslocar a via respiratória aeróbia para a via fermentativa.

Além do aspecto visual, recentemente, o sabor dos frutos também passou a ser considerado como um parâmetro de qualidade (BRÜCKNER, 2008). O sabor é definido pela interação entre o gosto e o aroma (WYLLIE, 2008), mas o aroma, por ser um dos atributos mais apreciados pelos consumidores (EL HADI *et al.*, 2013) passou a ter um papel fundamental na determinação da preferência de frutos pelos consumidores. O aroma é formado a partir de combinações específicas entre o tipo do volátil, concentração e limite de percepção sensorial (TUCKER, 1993). O perfil aromático dos frutos, além de ser alterado com a evolução da

maturação e amadurecimento dos frutos (LOUW; THERON, 2012; GUO *et al.*, 2020), também pode ser modificado pelo clima, práticas culturais, manejo (CUEVAS *et al.*, 2016; LUCHT *et al.*, 2020) e operações de processamento em pré e pós-colheita (GONÇALVES *et al.*, 2018). Embora já se tenha informações referente ao perfil aromático durante o crescimento de ameixas ‘Laetitia’ (LOUW; THERON, 2012), ainda não há informações sobre a caracterização do perfil aromático durante o *shelf life* e após o armazenamento em AC com pressões ultrabaixas e extremamente baixas de O₂. O objetivo deste estudo foi avaliar efeito do armazenamento em atmosfera refrigerada (AR) e diferentes condições de atmosfera controlada (AC) sobre o amadurecimento e os atributos de qualidade em ameixas ‘Laetitia’ após o armazenamento e caracterizar o perfil de compostos aromáticos de ameixas ‘Laetitia’ após a colheita, aos 0, 4 e 8 dias de *shelf life*, e após o armazenamento em diferentes condições de AC e AR.

REFERÊNCIAS

- ALESIANI, D.; CANINI, A.; D'ABROSCA, B.; DELLAGRECA, M.; FIORENTINO, A.; MASTELLONE, C.; MONACO, P.; PACIFICO, S. Antioxidant and antiproliferative activities of phytochemicals from Quince (*Cydonia vulgaris*) peels. **Food Chemistry**, v. 118, p. 199–207, 2010.
- ARGENTA, L. C.; KRAMMES, J. G.; MEGGUER, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; MATTHEIS, J. Ripening and quality of 'Laetitia' plums following harvest and cold storage as affected by inhibition of ethylene action. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1139-1148, 2003.
- BRÜCKNER B. **Fruit and Vegetable Flavors: Recent Advances and Future Prospects**. Abington Hall, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2008. 317p.
- BUTKEVICIUTE, A.; VISKELIS, J.; VISKELIS, P.; LIAUDANSKAS, M. Changes in the biochemical composition and physicochemical properties of apples stored in controlled atmosphere conditions. **Applied Sciences**, v. 11, n. 13, p. 1-18, 2021.
- CANDAN, A.P.; GRAELL, J.; LARRIGAUDIÈRE, C. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 107-112, 2008.
- CANDAN, A. P.; GRAELL, J.; LARRIGAUDIÈRE, C. Postharvest quality and chilling injury of plums: benefits of 1-methylcyclopropene. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 2, p. 554-564, 2011.
- CRISOSTO, C. H.; LABAVITCH, J. M. Developing a quantitative method to evaluate peach (*Prunus persica*) flesh mealiness. **Postharvest Biology and Technology**, v. 25, n. 2, p. 151-158, 2002.
- CUEVAS, F. J.; MORENO-ROJAS, J. M.; ARROYO, F.; DAZA, A.; RUIZ-MORENO, M. J. Effect of management (organic vs conventional) on volatile profiles of six plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). A chemometric approach for varietal classification and determination of potential markers. **Food Chemistry**, n. 199, p. 479-484, 2016.
- DALBÓ, M. A. Mutação auto f ertil do cultivar Letícia   nova opção para produtores de ameixas do Sul do Brasil. **Epagri**, 2021. Disponível em <https://saojoaquimonline.com.br/noticias/2021/12/29/mutacao-autofertil-do-cultivar-leticia-e-nova-opcao-para-produtores-de-ameixas-do-sul-do-brasil/#:~:text=Buscar-,Muta%C3%A7%C3%A3o%20autof%C3%A9rtil%20do%20cultivar%20Let%C3%ADcia%20%C3%A9%20nova%20op%C3%A7%C3%A3o%20para,ameixas%20do%20Sul%20do%20Brasil&text=O%20fruticultor%20Hermes%20Coser%2C%20de,ao%20cultivar%20original%2C%20a%20Let%C3%ADcia..> Acesso em: 30 de mar. de 2022.
- DUTHIE, S.J. Berry phytochemicals, genomic stability and cancer: Evidence for chemoprotection at several stages in the carcinogenic process. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 51, p. 665- 674, 2007.

EL HADI, M.; ZHANG, F. J.; WU, F.F.; ZHOU, C. H.; TAO, J. Advances in fruit aroma volatile research. **Molecules**, v 18, n. 7, p. 8200–8229, 2013.

FIORAVANÇO, J. C.; NACHTIGALL, G. R.; ANDOLFATO, W. **Avaliação Agronômica da Ameixeira ‘Letícia’ em Vacaria, RS**. Circular Técnica n. 122, Embrapa, set. 2015.

GONÇALVES, B.; OLIVEIRA, I.; BACELAR, E.; MORAIS, M.C.; AIRES, A.; COSME, F.; VENTURA-CARDOSO, J.; ANJOS, R.; PINTO, T. **Aromas and Flavors of Fruits**. London, UK: Intech Open, 2018. 24p.

GOULART JUNIOR, R.; MONDARDO, M.; REITER, J. M. E. Relatório sobre a fruticultura catarinense: Fruticultura em números - Safra 2014/15. Florianópolis, 2017. 114 p. (Epagri. Documentos, 217).

GUERRA, M. E.; CORRALES, M. L.; WÜNSCH, A.; RODRIGO, J. Ciruelo japonés: descripción varietal y situación del cultivo. **Revista de Fruticultura**, v. 1, p. 3-12, 2009.

GUO, J.; YUE, T.; YUAN, Y.; SUN, N.; LIU, P. Characterization of volatile and sensory profiles of apple juices to trace fruit origins and investigation of the relationship between the aroma properties and volatile constituents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 124, n. 109203, p. 1-10, 2020.

HO, P. L.; TRAN, D. T.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; NICOLAI, B. M. Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 173, p. 1-12, 2021.

HUANG, S.; ZHANG, M. Y.; PANG, C. C. S. M. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolics in native and fermented *Prinsepia utilis* Royle seed during a simulated gastrointestinal digestion in vitro. **Journal of Functional Foods**, v. 37, p. 354–362, 2017.

JURANIC, Z.; ZIZAK, Z.; TASIC, Z.; PETROVIC, S.; NIDZOVIC, S.; LEPOSAVIC, A.; STANOJKOVIC, T. Antiproliferative action of water extracts of seeds or pulp of five different raspberry cultivars. **Food Chemistry**, v. 93, p. 39-45, 2005.

LIU, H.; HE, H.; LIU, C.; WANG, C.; QIAO, Y.; ZHANG, B. Changes of sensory quality, flavor-related metabolites and gene expression in peach fruit treated by controlled atmosphere (ca) under cold storage. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 7141, p. 1-18, 2022.

LOUW, E. D.; THERON, K. I. Volatile dynamics during maturation, ripening and cold storage of three Japanese plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). **Postharvest Biology and Technology**, n. 70, p. 13-24, 2012.

LUCHT, F.; RINKEN, M.; HABERLANDT, S. Differentiation of volatile aroma components in organically and conventionally produced apples by stir bar sorptive extraction combined with gas chromatography and EI/CI TOF mass spectrometry. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 1-25, 2020.

MISHRA, S.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S. Arsenite treatment induces oxidative stress, upregulates antioxidant system, and causes phytochelatin synthesis in rice seedlings. **Protoplasma**, v. 248, n. 3, p. 565–577, 2011.

- NIAZI, Z.; RAZAVI, F.; KHADEMI, O.; AGHDAM, M. S. Exogenous application of hydrogen sulfide and γ -aminobutyric acid alleviates chilling injury and preserves quality of persimmon fruit (*Diospyros kaki*, cv. Karaj) during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 285, n. 110198, p. 1-11, 2021.
- SERBAN, C.; KALKCITS, L.; DEELL, J.; MATTHEIS, J. P. Responses of 'honeycrisp' apples to short-term controlled atmosphere storage established during temperature conditioning. **HortScience**, v. 54, n. 9, p. 1532-1539, 2019.
- SRIVASTAVA, S.; DUBEY, R. S. Manganese-excess induces oxidative stress, lowers the pool of antioxidants, and elevates activities of key antioxidative enzymes in rice seedlings. **Plant Growth Regulation**, p. 1–16, 2011.
- STANGER, M. C.; STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; CORRÊA, T. R.; TANAKA, H. Qualidade pós-colheita de ameixas 'Camila' e 'Laetitia' colhidas em diferentes estádios de maturação. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 214-221, 2014.
- STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; ALVEZ, E. O.; BRACKMANN, A. Fruit quality preservation of 'Laetitia' plums under controlled atmosphere storage. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 86, n. 1, p. 485-494, 2014.
- STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; ESPINDOLA, B. P.; HEIZEN, A. S.; BRACKMANN, A.; BOTH, V. 'Laetitia' plums stored in controlled atmospheres combined with induction of mass loss and ethylene management. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 225-234, 2018.
- STEFFENS, C. A.; TANAKA, H.; AMARANTE, C. V. T.; BRACKMANN, A.; STANGER, M. C.; HENDGES, M V. Condições de atmosfera controlada para armazenamento de ameixas 'Laetitia' tratadas com 1-metilciclopropeno. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 750-756, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- TUCKER, G. A. Introduction. *In*: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of Fruit Ripening**. 1st edition. London, UK: Springer Science, 1993. p. 1–51.
- WANG, J.; PAN, H.; WANG, R.; HONG, K.; CAO, J. Patterns of flesh reddening, translucency, ethylene production and storability of 'Friar' plum fruit harvested at three maturity stages as affected by the storage temperature. **Postharvest Biology and Technology**, v. 121, p. 9-18, 2016.
- WYLLIE, S. G. Flavour quality of fruit and vegetables: Are we on the brink of major advances? *In*: BRÜCKNER B, WYLLIE SG. **Fruit and vegetable flavour: recent advances and future prospects**. New York, Washington DC, USA: Woodhead Publishing, 2008. p. 3-10.

2 HIPÓTESES

O armazenamento em atmosfera controlada com menores pressões parciais de O_2 reduzirá a incidência de escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia'.

Ameixas 'Laetitia' em estágios mais avançados de maturação apresentarão maior concentração e número de compostos voláteis.

O armazenamento em atmosfera controlada com menores pressões parciais de O_2 reduzirá a formação e a concentração de compostos aromáticos de ameixas 'Laetitia'.

3 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste estudo foi avaliar efeito do armazenamento em atmosfera refrigerada (AR) e diferentes condições de atmosfera controlada (AC) sobre o amadurecimento e os atributos de qualidade em ameixas ‘Laetitia’ após o armazenamento e caracterizar o perfil de compostos aromáticos de ameixas ‘Laetitia’ manejadas sob sistemas orgânico e convencional de cultivo após a colheita, aos 0, 4 e 8 dias de *shelf life*, e após o armazenamento em diferentes condições de AC e AR.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar diferentes condições de AC com baixas, ultrabaixas e extremamente baixas pressões parciais de O₂ na ocorrência de escurecimento de polpa, parâmetros de qualidade, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante em ameixas ‘Laetitia’ sob sistema orgânico de cultivo.

Avaliar o perfil aromático de ameixas ‘Laetitia’ manejadas sob sistemas orgânico e convencional de cultivo antes e após o armazenamento em diferentes condições de atmosfera controlada e refrigerada.

4 ARMAZENAMENTO DE AMEIXAS ‘LAETITIA’ EM CONDIÇÕES DE ATMOSFERA CONTROLADA COM BAIXO, ULTRABAIXO E EXTREMAMENTE BAIXO OXIGÊNIO PARA CONSERVAÇÃO DE QUALIDADE

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do armazenamento em atmosfera controlada (AC) com baixo, ultrabaixo e extremamente baixo oxigênio sobre o amadurecimento e qualidade de ameixas ‘Laetitia’, especialmente o escurecimento da polpa. Os tratamentos avaliados foram AR (21 kPa O₂ + 0,03 kPa CO₂), AC com baixo O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂); duas condições de AC com ultrabaixo O₂ (AC-ULO1/1 kPa de O₂; e AC-ULO2/0,7 kPa de O₂); e AC com extremamente baixo O₂ (AC-ELO/0,5 kPa de O₂), combinados com 1,2 kPa de CO₂. Os frutos foram armazenados durante 50 dias (1,7±0,1°C/UR de 94±2%) e avaliados após 3 e 5 dias de *shelf life*. As taxas respiratória e de produção de etileno foram menores em frutos armazenados em AC. Todas as condições de AC retardaram a evolução da cor da epiderme, com maior retardo, aos 5 dias de *shelf life*, em AC-ELO. De forma geral, frutos armazenados em AC-ELO e nas condições de AC-ULO apresentaram maior firmeza de polpa. Os teores de sólidos solúveis foram menores em AR e AC-LO aos 5 dias de *shelf life*. A incidência de podridões aos 3 dias de *shelf life*, foi menor em AC-ELO do que em AC-LO e AR, porém sem diferir das condições de AC-ULO. Aos 5 dias de *shelf life*, frutos armazenados em AC-ELO apresentaram maior concentração de etanol. Frutos armazenados em ambas as condições de AC-ULO apresentaram menor incidência de escurecimento da polpa. As condições de AC-ELO e AC-ULO proporcionam maior retardo do amadurecimento dos frutos. O armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ em AC-ULO (1 kPa O₂ ou 0,7 kPa O₂, combinados com 1,2 kPa CO₂) mantém a qualidade organoléptica, especialmente por reduzir a incidência de escurecimento da polpa.

Palavras-chave: *Prunus salicina* Lindl.; Distúrbios fisiológicos; Escurecimento da polpa; Etileno; Respiração anaeróbica.

4.1 INTRODUÇÃO

Ameixeiras *Prunus salicina* Lindl. cv. Laetitia são cultivadas em regiões frias do sul do Brasil e são reconhecidas por apresentar elevada produção e qualidade de frutos

(FIORAVANÇO *et al.*, 2015). As ameixas contêm concentrações significativas de compostos bioativos, que podem atuar como agentes antioxidantes, anti-inflamatórios (HUANG *et al.*, 2017), anticarcinogênicos, antimicrobianos, antialérgicos e antimutagênicos (JURANIC *et al.*, 2005; DUTHIE, 2007; ALESIANI *et al.*, 2010).

Apesar da elevada produtividade e qualidade, um dos principais entraves encontrados pelos produtores de ameixas ‘Laetitia’ é o período de pós-colheita, visto que, por serem climatéricos, os frutos amadurecem e senescem rapidamente em condições ambiente (AHMAD *et al.*, 2001). Para superar estas limitações e prolongar o período de comercialização, os frutos são armazenados em câmaras frias utilizando a refrigeração e o controle da umidade relativa, tecnologia denominada como armazenamento refrigerado (AR). Embora o AR reduza o metabolismo do fruto e desacelere o processo de senescência (LIU *et al.*, 2019; HUANGA *et al.*, 2020), as baixas temperaturas (abaixo de 5 °C) utilizadas no interior da câmara provocam danos por frio e podem promover o aparecimento de distúrbios fisiológicos que prejudicam a aparência interna e o sabor dos frutos (CRISOSTO *et al.*, 1999; ZHANG *et al.*, 2016).

Um dos principais distúrbios fisiológicos que acomete as ameixas ‘Laetitia’ durante o AR é o escurecimento de polpa. Os sintomas deste distúrbio fisiológicos são agravados em períodos prolongados de armazenamento (STEFFENS *et al.*, 2018) e se manifestam principalmente durante o *shelf life* (CANDAN *et al.*, 2011). A ocorrência deste distúrbio está associada ao desequilíbrio que ocorre entre a formação de radicais livres, denominados de espécies reativas de oxigênio (EROs) em detrimento à formação de compostos bioativos (compostos antioxidantes) responsáveis pela sua eliminação (MISHRA *et al.*, 2011; SRIVASTAVA; DUBEY, 2011). As EROs são derivadas do oxigênio molecular (KLOTZ, 2002), são formadas naturalmente durante a respiração celular (TRIPATHY; OELMÜLLER, 2012) e quando não anuladas pelo sistema de defesa do fruto (sistema antioxidante) degradam paredes e estruturas celulares, causando o escurecimento da polpa (VELTMAN; PEPPELENBOS, 2003). Vale ressaltar que a concentração de etileno produzida pelo fruto tem relação direta com a manifestação do escurecimento de polpa, uma vez que o aumento do escurecimento da polpa é seguido por um incremento significativo da produção de etileno (CANDAN *et al.*, 2008; STEFFENS *et al.*, 2013).

Dentro deste contexto, o uso da atmosfera controlada (AC) pode servir como uma alternativa para a armazenagem de ameixas para atenuar a manifestação do escurecimento de polpa e prolongar a qualidade dos frutos. Este sistema, além de ser fundamentado no controle das pressões parciais dos gases O₂ e CO₂ que estão diretamente envolvidos na formação de EROs, o uso de condições de AC com menores pressões parciais de O₂ também reduz a

produção de etileno em frutos climatéricos (SERBAN *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2022). Vale ressaltar que a condição de AC utilizada para o armazenamento de frutos é cultivar dependente (BODBODAK; MOSHFEGHIFAR, 2016), havendo, portanto, uma faixa de valores de O₂ e CO₂ exclusiva para cada tipo de fruto. Em um estudo realizado recentemente, Steffens *et al.* (2018) observaram redução de 12% no escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ nas condições de AC de 1 kPa de O₂ + 1 kPa de CO₂, em relação ao tratamento controle 21 kPa O₂ + CO₂<0.03 kPa, após 55 dias de armazenamento. Nesse sentido, o uso de condições de AC com pressões parciais de O₂ próximas ou menores que 1 kPa, associado ao período de armazenagem inferior a 55 dias, poderia atenuar a incidência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’. Contudo, vale ressaltar que o uso de pressões parciais ultrabaixas (0,7 a 1,0 kPa) e extremamente baixas de O₂ (<0,7 kPa) (FERNANDES *et al.*, 2021), combinadas com elevadas pressões parciais de CO₂, podem intensificar a manifestação de distúrbios fisiológicos, visto que nessas condições o fornecimento de ATP para o funcionamento do sistema antioxidante é comprometido (VELTMAN *et al.*, 2003; PAN *et al.*, 2017), além de ocorrer acúmulo de produtos do metabolismo anaeróbico (MELO *et al.*, 2021), que pode atingir níveis citotóxicos.

Outro ponto interessante a ser destacado é que a condição de armazenamento pode modificar a concentração de compostos bioativos presentes nos frutos (YANG *et al.*, 2012). De forma geral, tem-se observado que as condições de armazenamento que promovam maior estresse oxidativo estão vinculadas com a redução na concentração de compostos antioxidantes nos frutos, seguido por uma perda na qualidade, que pode ser visualizada por meio do aumento da incidência de escurecimento da polpa (DOLHAJI *et al.*, 2018).

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do armazenamento em AC com baixo, ultrabaixo e extremamente baixo oxigênio sobre o amadurecimento e qualidade de ameixas ‘Laetitia’, especialmente o escurecimento da polpa.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

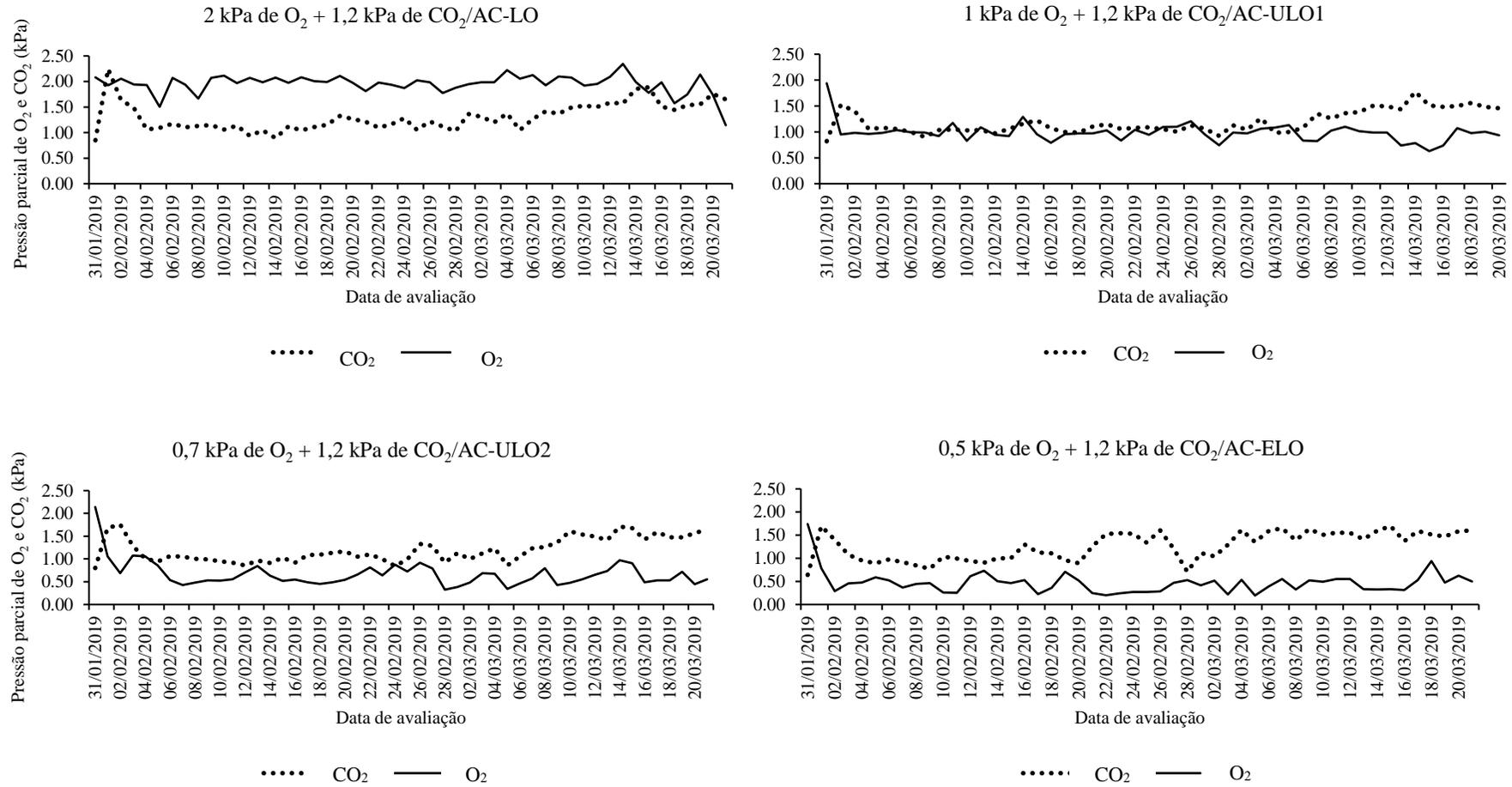
Ameixas ‘Laetitia’, na safra de 2018/2019, foram colhidas em um pomar comercial localizado no município de Lages-SC. As plantas tinham 18 anos de idade, cultivadas sobre porta-enxerto ‘Capdeboscq’, no espaçamento 5 × 1 m e conduzido no sistema em Y. Os frutos foram colocados em caixas plásticas, do tipo hortifruti, e posteriormente transportados para o laboratório para as análises iniciais e armazenamento. Os frutos com lesões, defeitos, ferimentos ou danos mecânicos foram descartados, enquanto os frutos sem danos aparentes

foram homogeneizados e agrupados para composição das amostras. Na colheita os frutos apresentaram firmeza de polpa de 74 N, AT de 1,7% de ácido málico, SS de 11°Brix e valores de ângulo *hue* da epiderme, nas regiões mais e menos vermelha do fruto, de 64,5 e 81,1, respectivamente.

O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições e unidade experimental de 25 frutos. Os tratamentos avaliados foram armazenamento refrigerado (AR; 21 kPa O₂+0,03 kPa CO₂), AC com baixo O₂ (AC-LO; 2 kPa de O₂); duas condições de AC com ultrabaixo O₂ (AC-ULO1; 1 kPa de O₂; e AC-ULO2; 0,7 kPa de O₂); e AC com extremamente baixo O₂ (AC-ELO; 0,5 kPa de O₂), combinados com 1,2 kPa de CO₂. A temperatura de armazenagem foi de $1,7 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar (UR) de $94 \pm 2\%$. Os frutos foram armazenados durante 50 dias. As variações das pressões parciais de O₂ e CO₂ durante o período de armazenagem no interior das minicâmaras são apresentadas na figura 1. Após o armazenagem, os frutos foram mantidos em sala climatizada ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}/60 \pm 5\%$ de UR) por três e cinco dias de *shelf life*, onde foi avaliado os parâmetros qualitativos.

A taxa respiratória (TaxR), foi quantificada por meio de um analisador eletrônico de gases (modelo GA7-II, Schele Eletronic CC, Alemanha). Para isso, os frutos de cada repetição foram inicialmente pesados e colocados em recipientes plásticos herméticos por 30 minutos para realização da determinação de CO₂ produzido pelos frutos. O peso de frutos, o volume dos recipientes e os valores de CO₂ foram utilizados para o cálculo da taxa respiratória ($\text{nmol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$). A taxa de produção de etileno (TaxE) foi quantificada por meio de um cromatógrafo a gás (Clarus 580, Perkin Elmer, USA). O peso dos frutos, juntamente com o volume dos recipientes e a concentração de etileno obtida nas amostras foram utilizados para o cálculo da taxa de produção de etileno ($\text{nmol kg}^{-1} \text{ s}^{-1}$).

Figura 1 - Variação das pressões parciais de O₂ e CO₂ (em kPa) nas condições de atmosfera controlada durante 50 dias de armazenamento de ameixas 'Laetitia'.



O índice de cor vermelha (ICV) foi determinado através da avaliação da superfície dos frutos recoberta com coloração vermelha, sendo atribuídas notas de 1 a 4 para os frutos com 0-25%, 26-50%, 51-75% e 76-100% da superfície pigmentada de vermelho, respectivamente. O índice foi calculado pela somatória dos produtos do número de frutas pela respectiva nota, dividido pelo total de frutas da amostra.

A cor da epiderme e da polpa dos frutos foi determinada com um colorímetro modelo CR 400 (Konica Minolta Inc., Japão), utilizando os parâmetros ângulo *hue* (h°) e luminosidade (*L*), respectivamente. A força para compressão do fruto (FCF) foi analisada por meio de um texturômetro eletrônico TAXT-plus[®] (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido), munido de uma ponteira, tipo plataforma, modelo P/75, com 75 mm de diâmetro, na qual exerceu uma força de compressão até uma deformação de 5 mm na superfície dos frutos. A firmeza de polpa (FP) foi determinada com um penetrômetro eletrônico (GÜSS Manufacturing Ltd., África do Sul) equipado com ponteira de 8 mm de diâmetro em dois pontos opostos na região equatorial dos frutos após a remoção de uma pequena porção da epiderme. Para a acidez titulável (AT), amostras de 5 mL de suco dos frutos foram obtidas a partir da trituração e centrifugação de fatias transversais da polpa retiradas da região equatorial dos frutos. Para isso, as amostras foram diluídas em 45 mL de água destilada e titulada com uma solução de hidróxido de sódio 0,1 N até pH 8,1 usando um titulador automático TitroLine Easy[®] (Schott Instruments GmbH, Mainz, Rheinland-Pfalz, Alemanha). Os teores de SS (°Brix) foram determinados por meio da leitura em refratômetro digital modelo PR201 α (Atago Ltd., Tóquio, Japão), utilizando o suco proveniente das fatias dos frutos triturados e centrifugados.

A podridão e a incidência de escurecimento da polpa (IEP) foram avaliadas por meio da contagem do número de frutos podres e que apresentaram regiões internas da polpa com qualquer tipo de escurecimento, respectivamente. Ambas as variáveis foram determinadas pela proporção de frutos afetados (%). Vale ressaltar que os frutos podres foram removidos das amostras e não foram utilizados em nenhum outro tipo de avaliação.

As concentrações de acetaldeído, etanol e acetato de etila ($\mu\text{L L}^{-1}$) foram quantificadas por cromatografia gasosa. Foram utilizados 20 mL do suco extraído dos frutos, acondicionados em vials de 40 mL (próprio para análise de “headspace”) e armazenados em freezer até o momento das análises. Na avaliação, as amostras foram descongeladas e colocadas em banho termostático a temperatura de 70 °C por 60 minutos. Após, amostras da atmosfera do espaço livre dos recipientes foram coletadas usando seringas plásticas de 1,0 μL e injetadas em um cromatógrafo a gás modelo Clarus 580 (PerkinElmer), usando uma coluna polar Elite-Wax (30 m \times 0,25 mm, 0,25 μm) e detector por ionização de chama (GC-FID). As análises foram

realizadas utilizando uma rampa de aquecimento com temperatura inicial de 30 °C com elevação da temperatura de 2,5 °C minuto⁻¹ até 35 °C, mantida por 2,20 minutos, depois 10 °C minutos⁻¹ até 45 °C, mantida por 1,30 minutos, seguido por 40 °C min⁻¹ até atingir 70 °C.

A quantificação dos compostos fenólicos totais (CFT) da polpa foi realizada a partir da solução obtida de 3 g de polpa com 10 mL de etanol (Synth, Diadema, Brasil) acidificado com 0,01% de HCl (Adaptado de ROESLER *et al.*, 2007). Após a homogeneização, a solução foi mantida em ambiente escuro por 60 minutos para reação. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm por 10 minutos usando uma centrífuga modelo 5810R (Eppendorf, Hamburgo, Alemanha), filtrada e colocadas em tubos Falcon de 50 mL. Em um ambiente escuro foi adicionado 1 mL do extrato, 1 mL do reagente Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich Co., St. Louis, USA) na concentração de 1:3, 2 mL do carbonato de sódio (Vetec Química Fina Ltda., Duque de Caxias, RJ, Brasil) na concentração de 20%, 2 mL de água destilada seguido por homogeneização. As leituras foram realizadas em uma leitora de microplacas, modelo EnSpire (PerkinElmer do Brasil Ltda., São Paulo, SP, Brasil) no comprimento de onda de 700 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por 100 g de massa fresca da amostra (mg EAG 100 g⁻¹).

A atividade antioxidante total (AAT) foi determinada conforme metodologias baseadas na capacidade do extrato de sequestrar os radicais 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (método ABTS) (RUFINO *et al.*, 2007a) e 1,1-difenil-2-picrilhidrazila (método DPPH) (RUFINO *et al.*, 2007b). Para o método ABTS, o radical foi gerado a partir da reação da solução estoque de ABTS (Sigma-Aldrich) 7 mM com o persulfato de potássio (140 mM), mantido no escuro à 20 °C por 16 horas. Antes da análise, o radical foi diluído com álcool etílico até obter uma absorvância de $0,70 \pm 0,05$, no comprimento de onda de 734 nm. A partir do extrato hidroalcolico (solução de álcool metílico 50% e solução de acetona 70%) foram transferidas alíquotas de 30 µL de cada diluição do extrato para tubos de ensaio com 3,0 mL do radical ABTS e homogeneizadas em agitador de tubos. As leituras foram realizadas após reação de 6 minutos em leitora de microplacas, modelo EnSpire (PerkinElmer) no comprimento de onda de 734 nm. A equação da reta foi calculada a partir da curva de calibração originada das diluições geradas a partir da solução padrão de Trolox e os resultados de AAT pelo método ABTS foram expressos em µg de equivalente Trolox g⁻¹ de massa fresca das amostras.

Para o método DPPH, o radical (0,06 mM) foi preparado no dia da avaliação, sendo diluído em metanol. Para isso, uma alíquota de 0,1 mL do extrato hidroalcolico foi transferida para tubos Falcon de 10 ml, contendo 3,9 mL do radical DPPH (Sigma Aldrich), em triplicata, com posterior homogeneização em agitador de tubos. A medida de absorvância foi realizada no

comprimento de onda de 515 nm, após 30 min de reação com adição das amostras. Curvas com soluções padrões de Trolox foram construídas, e os resultados expressos em μg de equivalente Trolox g^{-1} de massa fresca das amostras.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de Bartlett (BARTLETT, 1937) e de Shapiro-Wilk (SHAPIRO; WILK, 1965) para verificação da homogeneidade das variâncias e da normalidade dos resíduos, respectivamente. Uma vez atendida as pressuposições do modelo normal, os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Para os dados que não atenderam os pressupostos do modelo normal, estes foram submetidos ao teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (KRUSKAL; WALLIS, 1952) e as médias comparadas pelo teste de Dunn ($P < 0,05$).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de produção de etileno foi menor em frutos armazenados em AC do que em AR, no período de *shelf life*. Entre as condições de AC avaliadas, a condição de AC-ELO proporcionou os menores valores após três dias de *shelf life* (Tabela 1). O maior efeito da AC sobre a redução da taxa de produção de etileno, em relação ao AR, também foi observado em outros trabalhos com ameixas ‘Laetitia’ (STEFFENS *et al.*, 2014; STEFFENS *et al.*, 2018). A redução da pressão parcial de O_2 diminui a oxidação do ácido 1-carboxílico 1-aminociclopropano (ACC) em etileno pela enzima ACC oxidase (LUDWIG *et al.*, 2020). Isso implica em menor taxa de produção de etileno durante o *shelf life* e maior retardo no amadurecimento dos frutos durante o armazenamento.

De forma geral, a taxa respiratória foi menor em frutos armazenados em AC, comparativamente àqueles mantidos em AR, aos três e cinco dias de *shelf life* (Tabela 1). Este resultado corrobora aos observados por Ho *et al.* (2020), que verificaram redução nas taxas respiratórias dos frutos em condições hipóxicas, em função da diminuição da concentração de O_2 (THOMPSON, 2014). A redução do metabolismo dos frutos pelo uso de AC pode desacelerar a senescência (YAHIA *et al.*, 2019) e prolongar o tempo de comercialização dos frutos. Por outro lado, pressões parciais restritivas em O_2 podem deslocar a via respiratória aeróbica para a via fermentativa, levando a formação de acetaldeído, etanol (SAQUET; STREIF, 2006) e acetato de etila (VICTOR *et al.*, 2017), que são tóxicos para as células (TAIZ *et al.*, 2018). Neste estudo, a concentração de acetato de etila e acetaldeído foi similar entre os tratamentos, mas a concentração de etanol para o período de *shelf life* de 5 dias foi maior em frutos armazenados na condição mais restritiva de oxigênio (AC-ELO/0,5 kPa de O_2) (Tabela

2), indicando que houve metabolismo fermentativo nos frutos armazenados nesta condição de AC.

Embora o ICV tenha sido similar entre os tratamentos, os valores de h° para a porção menos vermelha da epiderme, no *shelf life* de cinco dias foi maior em ameixas armazenadas em AC-ELO em relação às aquelas armazenadas em AR e AC-ULO1 (Tabela 1). Para a porção mais vermelha da epiderme, o valor de h° também foi maior para a condição de AC-ELO, comparativamente aos tratamentos AR, e condições de AC-ULO1 e AC-ULO2, indicando que a menor pressão parcial de O_2 tem maior capacidade de retardar a mudança de cor dos frutos durante a sua comercialização. Maiores valores de h° indicam frutos com cor da epiderme menos vermelha. À medida que as ameixas ‘Laetitia’ amadurecem, a cor da epiderme muda de verde para vermelha, como resultado da degradação das moléculas de clorofilas e acúmulo de carotenoides e antocianinas (SALTVEIT, 2019; LIU *et al.*, 2020). A mudança de cor é regulada pelo etileno e, em condições de AC, a velocidade desse processo ocorreu de forma mais lenta, visto que nestas condições ocorreram menor taxa de produção de etileno.

Os frutos armazenados em AC-ELO, AC-ULO1 e AC-ULO2 apresentaram maiores valores de FCF do que às aqueles armazenados em AR. A FP em ameixas foi maior para as condições de AC-ULO2 e AC-ELO do que em AR. (Tabela 1). Estes resultados corroboram com aqueles reportados por Singh e Singh (2013), que observaram menor perda de firmeza em frutos armazenados em AC com menor pressão parcial de O_2 . Apesar de ter ocorrido redução dos valores de FCF e de FP de três para cinco dias de *shelf life*, o padrão de resposta foi similar para ambas as variáveis, indicando que as menores pressões parciais de O_2 são mais eficazes em retardar a perda de consistência dos frutos.

Tabela 1 - Taxas respiratória (TaxR; nmol CO₂ kg⁻¹ s⁻¹) e de produção de etileno (TaxE; nmol kg⁻¹ s⁻¹), cor da epiderme (h°), índice de cor vermelha (ICV), força para compressão do fruto (FCF; N), firmeza de polpa (FP; N), acidez titulável (mEq 100 mL⁻¹ de ácido málico), sólidos solúveis (SS; °Brix), incidência de escurecimento de polpa (IEP; %), cor da polpa (L, *Lightness*) e podridão (%) em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO1/1 kPa de O₂; AC-ULO2/0,7 kPa de O₂; e AC-ELO/0,5 kPa de O₂) combinadas com 1,2 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂ + 0,03 kPa CO₂) por 50 dias de armazenamento (1,7 ± 0,9 °C/UR de 96 ± 2%) seguido por três e cinco dias de *shelf life* (20 ± 2 °C/UR de 65 ± 5%).

Tratamento	TaxR	TaxE	Cor da epiderme (h°)		ICV	FCF	FP	AT	SS	IEP	Cor da polpa	Podridão
			Porção menos vermelha	Porção mais vermelha								
<i>Após três dias de shelf life</i>												
AC-LO	188,9 b	5,1 b	43,1 a	20,9 ab	3,8 a	27,7 BC	9,4 AB	0,79 AB	9,9 a	76,9 a	49,1 b	52,1 a
AC-ULO1	169,9 b	5,7 b	49,6 a	21,5 a	3,8 a	43,8 AB	17,3 AB	1,15 A	10,2 a	23,3 b	56,6 a	16,9 bc
AC-ULO2	190,2 b	5,8 b	46,5 a	21,6 a	3,8 a	49,4 A	18,5 A	1,14 A	10,4 a	34,5 b	56,7 a	14,3 bc
AC-ELO	206,2 b	0,7 c	51,8 a	23,4 a	3,8 a	45,8 AB	19,6 A	0,92 AB	9,9 a	80,4 a	49,8 b	10,2 c
AR	243,3 a	52,6 a	26,7 b	18,5 b	4,0 a	21,5 C	7,1 B	0,54 B	10,4 a	80,5 a	49,7 b	38,2 ab
CV (%)	8,5	23,4	11,8	6,4	3,1	6,1	5,1	8,8	3,6	19,3	2,5	46,4
Valor de P	0,0003	<0,0001	<0,0001	0,0025	0,1472	0,0021	0,0017	0,0019	0,24	<0,0001	0,0082	0,0008
<i>Após cinco dias de shelf life</i>												
AC-LO	359,5 ab	-	26,1 bc	22,1 ab	-	21,0 b	6,3 B	0,48 a	5,2 b	91,9 a	34,7 d	24,2 a
AC-ULO1	295,2 b	-	27,4 b	19,4 bc	-	29,4 a	11,1 AB	0,45 a	6,9 a	55,6 b	52,3 a	8,0 a
AC-ULO2	314,8 b	-	29,7 ab	19,9 bc	-	34,1 a	12,3 A	0,45 a	7,2 a	47,9 b	47,1 ab	12,2 a
AC-ELO	299,8 b	-	34,7 a	26,1 a	-	35,9 a	14,0 A	0,46 a	6,5 a	85,1 a	41,8 bc	12,8 a
AR	402,5 a	-	21,2 c	16,2 c	-	17,5 b	6,4 B	0,46 a	5,3 b	95,8 a	40,1 cd	22,2 a
CV (%)	9,8	-	8,8	12,3	-	12,2	8,8	6,8	8,9	11,3	5,9	61,7
Valor de P	0,0013	-	<0,0001	0,0007	-	<0,0001	0,0027	0,5752	0,0002	<0,0001	<0,0001	0,1417

Médias seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelos testes de Tukey ($P < 0,05$) ou de Dunn, respectivamente, a um nível de significância de 5% ($P > 0,05\%$).

CV: coeficiente de variação.

Tabela 2 - Acetato de etila ($\mu\text{L L}^{-1}$), acetaldeído ($\mu\text{L L}^{-1}$) e etanol ($\mu\text{L L}^{-1}$) em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O_2 (AC-LO/2 kPa de O_2 ; AC-ULO1/1 kPa de O_2 ; AC-ULO2/0,7 kPa de O_2 ; e AC-ELO/0,5 kPa de O_2) combinadas com 1,2 kPa de CO_2 , ou sob refrigeração (AR/21 kPa O_2 + 0,03 kPa CO_2) por 50 dias ($1,5 \pm 0,9$ °C/ UR de $96 \pm 2\%$) seguido por de três e cinco dias de *shelf life* (20 ± 2 °C/UR de $65 \pm 5\%$).

Tratamento	Acetato de etila	Acetaldeído	Etanol
	Após 3 dias de <i>shelf life</i>		
AC-LO	7,0 a	0,66 a	0,66 A
AC-ULO1	3,3 a	0,19 a	0,19 A
AC-ULO2	6,5 a	0,25 a	0,25 A
AC-ELO	6,9 a	0,37 a	0,37 A
AR	5,5 a	0,66 a	0,67 A
CV (%)	43,1	63,5	15,6
Valor de <i>P</i>	0,2663	0,3519	0,5074
	Após 5 dias de <i>shelf life</i>		
	Acetato de etila	Acetaldeído	Etanol
AC-LO	4,9 a	1,50 a	16,9 b
AC-ULO1	1,8 a	0,95 a	13,9 b
AC-ULO2	2,5 a	1,10 a	13,1 b
AC-ELO	5,5 a	0,93 a	22,4 a
AR	6,3 a	1,10 a	14,4 b
CV (%)	60,9	61,5	13,1
Valor de <i>P</i>	0,1002	0,7304	<0,0001

Médias seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelos testes de Tukey ($P < 0,05$) ou de Dunn, respectivamente, a um nível de significância de 5% ($P > 0,05\%$). CV: coeficiente de variação.

A menor perda de acidez em frutos durante o armazenamento em AC é atribuída a redução do consumo de ácidos orgânicos por meio da diminuição da atividade do ciclo de Krebs (AMPOFO-ASIAMA *et al.*, 2014), conforme observado em maçãs (JEZIOREK *et al.*, 2010), tomates (MAJIDI *et al.*, 2012) e pitaias (HO *et al.*, 2020). Apesar da AT ter sido maior em ameixas armazenadas em AC-ULO1 e AC-ULO2 do que em AR, as condições de AC-ELO e AC-LO foram similares às demais condições de armazenagem para o período de *shelf life* de três dias (Tabela 1). Contudo, é interessante frisar que à medida que o tempo de *shelf life* avançou de três para cinco dias, o efeito das pressões parciais de AC-ULO1 e AC-ULO2 tornou-se ineficiente para manter maiores concentrações de AT, visto que os valores foram similares entre os tratamentos avaliados (Tabela 1).

No presente estudo, apesar de não haver diferenças significativas entre os tratamentos para o período de *shelf life* de três dias, a concentração de SS dos frutos

armazenados em AC com AC-ULO1, AC-ULO2 e AC-ELO no período de *shelf life* de cinco dias foi similar entre si e foram maiores do que aqueles armazenados em AR e AC-LO (Tabela 1), sugerindo que as menores pressões parciais de O₂ podem retardar a degradação de açúcares em ameixas ‘Laetitia’ por um período de *shelf life* de até cinco dias. Victor *et al.* (2017) observaram que condições de AC de menor pressão parcial de O₂ retardou a degradação de açúcares em folhas de *Valerianella locusta*.

A IEP foi similar entre AR e as condições de AC-LO e AC-ELO, em ambos os períodos de *shelf life* (Tabela 1), sugerindo que a pressão parcial de AC-LO não foi suficientemente baixa para restringir a formação de radicais livres, embora tenha reduzido a produção de etileno. Por outro lado, a condição de AC-ELO provavelmente limitou a disponibilidade de energia destinada para a síntese de compostos antioxidantes e para a manutenção do metabolismo celular (LI *et al.*, 2016), mesmo podendo ter havido menor formação de EROs.

As EROs tendem a ser neutralizadas naturalmente pelo sistema de defesa do fruto (sistema antioxidante), constituído por processos enzimáticos e não enzimáticos (KARUPPANAPANDIAN *et al.*, 2011). No entanto, durante o armazenamento em baixas temperaturas, o sistema antioxidante pode perder a sua efetividade. Nesse sentido, as EROs podem causar danos irreversíveis as estruturas celulares (TOPALOVIC *et al.*, 2013) e promover o aparecimento de desordens fisiológicas (ANTONIOLLI *et al.*, 2016; WANG *et al.*, 2016; SOGVAR *et al.*, 2020). Ali *et al.* (2016) observaram menores concentrações de compostos fenólicos totais e de atividade antioxidante total quantificada pelo método DPPH em frutos de lichia, que apresentaram maior escurecimento interno de polpa. No presente estudo não foi observado relação entre a concentração de antioxidantes e a manifestação desse distúrbio fisiológico, uma vez que, de forma geral, os CFT e a atividade antioxidante total, quantificada pelos métodos ABTS e DPPH, foram similares entre os tratamentos que apresentaram maiores e menores IEP (Tabelas 1 e 3). Este resultado sugere que o sistema de defesa não enzimático em ameixas ‘Laetitia’ pode apresentar menor relevância para combater o escurecimento interno da polpa. Vale ressaltar também que, apesar do aumento observado da IEP de três para cinco dias de *shelf life* em todos os tratamentos, os frutos armazenados nas condições de AC-ULO1 e AC-ULO2 apresentaram, em média, 43% menos IEP, comparativamente com os demais tratamentos.

Tabela 3 - Compostos fenólicos totais (CFT; mg EAG 100 g⁻¹) e atividade antioxidante total quantificada pelos métodos ABTS e DPPH (expressa em µg de equivalente Trolox g⁻¹ de massa fresca) em polpa de ameixas ‘Laetitia’ armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO1/1 kPa de O₂; AC-ULO2/0,7 kPa de O₂; e AC-ELO/0,5 kPa de O₂) combinadas com 1,2 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂ + 0,03 kPa CO₂) por 50 dias (1,5 ± 0,9 °C/ UR de 96 ± 2%) seguido por cinco dias de *shelf life* (20 ± 2 °C/UR de 65 ± 5%).

Tratamento	CFT	ABTS	DPPH
AC-LO	76,2 B	2,6 ab	287,7 a
AC-ULO1	91,6 AB	2,8 ab	287,7 a
AC-ULO2	81,6 AB	2,1 b	282,8 ab
AC-ELO	113,8 A	2,8 ab	277,7 b
AR	91,9 AB	3,0 a	277,8 b
CV (%)	13,6	13,3	1,4
Valor de <i>P</i>	0,0215	0,0216	0,0027

Médias seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente pelos testes de Tukey ($P < 0,05$) ou de Dunn, respectivamente, a um nível de significância de 5% ($P > 0,05$). CV: coeficiente de variação.

Para o *shelf life* de três dias, a cor da polpa (valores de *L*) foi maior em AC-ULO1 e AC-ULO2, comparativamente aos demais tratamentos. Para o *shelf life* de cinco dias, a condição de AC-ULO1 foi maior em relação aos frutos armazenados em AC-LO, AC-ELO e AR (Tabela 1). Embora o escurecimento interno de polpa se manifeste principalmente após o armazenamento e evolua à medida que se estende o período de *shelf life* (LURIE *et al.*, 2011), os frutos ainda podem continuar sendo apreciados pelos consumidores, desde que o escurecimento interno de polpa esteja em níveis baixos, caracterizado por valores de *L* da polpa acima de 50,5 (CORRÊA *et al.*, 2011). Nesse sentido, ameixas armazenadas em AC-ULO1 e AC-ULO2 seriam preferidas pelos consumidores, uma vez que apresentaram, em média, valores de *L* de 47 e 50 para três e cinco dias de *shelf life*, respectivamente.

Rocha-Pimienta *et al.* (2020) observaram alta correlação entre o escurecimento interno de polpa em ameixas ‘Angeleno’ e ‘Larry Ann’ e o aparecimento de podridões fúngicas ocasionadas principalmente pela presença de *Alternaria* spp. e *Cladosporium* spp. Embora esses mesmos autores tenham reportado que os danos por frio facilitaram o crescimento de microrganismos oportunistas, no presente estudo o aparecimento de podridões possivelmente esteja associado a outras razões (causas desconhecidas), visto que a incidência de podridão observada foi menor em ameixas armazenadas em AC-ELO,

comparativamente àquelas armazenadas em AR e AC-LO para o período de *shelf life* de três dias, apesar do escurecimento interno de polpa ter sido similar entre estes tratamentos (Tabela 1). Além disso, não houve diferença significativa entre os tratamentos para podridões durante o período de *shelf life* de cinco dias, apesar do IEP ter sido menor para as condições de AC-ULO1 e AC-ULO2 em relação aos demais tratamentos.

4.4 CONCLUSÃO

As condições de atmosfera controlada com ultrabaixo O₂ (1 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂ e 0,7 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂) e com extremamente baixo O₂ (0,5 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂) apresentam melhor resultado em retardar o amadurecimento de ameixas ‘Laetitia’ armazenadas na temperatura de 1,7 °C. O armazenamento em atmosfera controlada com ultrabaixo O₂ (1 kPa de O₂ e 0,7 kPa de O₂), combinado com 1,2 kPa de CO₂ mantém a consistência, acidez e concentração de açúcares e principalmente reduz o escurecimento da polpa em ameixas ‘Laetitia’, após 50 dias de armazenamento seguidos por mais 5 dias de *shelf life*.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, S.; THOMPSON, A.K.; HAFIZ, I. A.; ASI, A. A. Effect of temperature on the ripening behavior and quality of banana fruit. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 3, n. 2, p. 224-227, 2001.
- ALESIANI, D.; CANINI, A.; D'ABROSCA, B.; DELLAGRECA, M.; FIORENTINO, A.; MASTELLONE, C.; MONACO, P.; PACIFICO, S. Antioxidant and antiproliferative activities of phytochemicals from Quince (*Cydonia vulgaris*) peels. **Food Chemistry**, v. 118, p. 199–207, 2010.
- ALI, S.; KHAN, A. S.; MALIK, A. U.; SHAHID, M. Effect of controlled atmosphere storage on pericarp browning, bioactive compounds, and antioxidant enzymes of litchi fruits. **Food Chemistry**, v. 206, p. 18-29, 2016.
- AMPOFO-ASIAMA, J.; BAIYE, V. M. M.; HERTOOG, M.; WAEKENS, E.; GEERAERD, A. H.; NICOLAI, B. M. The metabolic response of cultured tomato cells to low oxygen stress. **Plant Biology**, n. 16, p. 594–606, 2014.
- ANTONIOLLI, L. R.; CZERMAINSKI, A. B. C.; ZUCOLOTO, M.; SIQUEIRA, D. L. Postharvest treatments to mitigate the internal browning in 'Bartlett' pears. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 22, n. 1, p. 1-13, 2016.
- BARTLETT, M. S. The statistical conception of mental factors. **British Journal of Psychology**, v. 28, p. 97-104, 1937.
- BENDER, R. J.; BRECHT, J. B.; SARGENT, S. A. Reduced ethylene synthesis of mangoes under high CO₂ atmosphere storage. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, p. 1-10, 2021.
- BODBODAK, S.; MOSHFEGHIFAR, M. Advances in controlled atmosphere storage of fruits and vegetable. In: SIDDIQUI, M.W. **Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality**. Academic Press, New York, 2016, p. 39-76.
- CANDAN, A. P.; GRAELL, J.; LARRIGAUDIÈRE, C. Postharvest quality and chilling injury of plums: benefits of 1-methylcyclopropene. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 2, p. 554-564, 2011.
- CANDAN, A.P.; GRAELL, J.; LARRIGAUDIÈRE, C. Roles of climacteric ethylene in the development of chilling injury in plums. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 107-112, 2008.
- CORRÊA, T. R.; STEFFENS, C. A.; TANAKA, H.; AMARANTE, C. V. T.; BRACKMAN, A.; ANESE, R. O. Ameixas 'Laetitia' armazenadas em atmosferas controlada e modificada ativa com manejo do etileno. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 723-729, 2011.
- CRISOSTO, C.H; MITCHELL, F. G.; JU, Z. Susceptibility to Chilling Injury of Peach, Nectarine, and Plum Cultivars Grown in California. **Horticultural Science**, v. 34, p. 1116-1118, 1999.

DOLHAJI, N. H.; MUHAMAD, I. I.; YA'AKUB, H.; AZIZ, A. A. Evaluation of chilling injury and internal browning condition on quality attributes, phenolic content, and antioxidant capacity during sub-optimal cold storage of Malaysian cultivar pineapples. **Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences**, v. 14, n. 4, p. 456-461, 2018.

DUTHIE, S.J. Berry phytochemicals, genomic stability and cancer: Evidence for chemoprotection at several stages in the carcinogenic process. **Molecular Nutrition & Food Research**, v. 51, p. 665- 674, 2007.

FERNANDES, R. C.; STEFFENS, C. A.; ANAMI, J. M.; MOSQUERA, D. J. C.; AMARANTE, C. V. T.; BRACKMANN, A. Quality of Cripps Pink apples stored under controlled atmosphere with ultra-low and extremely low oxygen partial pressures or treated with 1-methylcyclopropene. **Bragantia**, v. 80, p. 1, 2021.

FIORAVANÇO, J. C.; NACHTIGALL, G. R.; ANDOLFATO, W. **Avaliação Agrônômica da Ameixeira 'Letícia' em Vacaria, RS**. Circular técnica n. 122, Embrapa, set. 2015.

HO, P. L.; TRAN, D. T.; HERTOOG, M.; NICOLAÏ, B. Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 173, n. 111406, p. 1-12, 2020.

HUANG, S.; ZHANG, M. Y.; PANG, C. C. S. M. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolics in native and fermented *Prinsepia utilis* Royle seed during a simulated gastrointestinal digestion in vitro. **Journal of Functional Foods**, v. 37, p. 354–362, 2017.

HUANGA, D.; TIANAB, W.; FENG, J.; ZHUA, S. Interaction between nitric oxide and storage temperature on sphingolipid metabolism of postharvest peach fruit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 151, p. 60-68, 2020.

JEZIOREK, K.; WOZNIAK, M.; TOMALA, K. Response of 'Golden Delicious' apples to postharvest application of methylcyclopropene (1-MCP) in conditions of normal and controlled atmosphere. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, n. 18, p. 223-237, 2010.

JURANIC, Z.; ZIZAK, Z.; TASIC, Z.; PETROVIC, S.; NIDZOVIC, S.; LEPOSAVIC, A.; STANOJKOVIC, T. Antiproliferative action of water extracts of seeds or pulp of five different raspberry cultivars. **Food Chemistry**, v. 93, p. 39-45, 2005.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON J. C.; KIM C.; MANOHARAN K.; KIM W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, n. 5, p. 709–725, 2011.

KLOTZ, L. O. Oxidant-induced signaling effects of peroxyxynitrite and singlet oxygen. **Biological Chemistry**, v. 383, p. 443–56, 2002.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583–621, 1952.

- LI, L.; LV, F.; GUO, Y.; WANG, Z. Respiratory pathway metabolism and energy metabolism associated with senescence in postharvest Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. Italica) florets in response to O₂/CO₂ controlled atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, n. 111, p. 330-336, 2016.
- LIU, H.; HE, H.; LIU, C.; WANG, C.; QIAO, Y.; ZHANG, B. Changes of sensory quality, flavor-related metabolites and gene expression in peach fruit treated by controlled atmosphere (ca) under cold storage. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 7141, p. 1-18, 2022.
- LIU, H.; JIANG, W.; CAO, J.; LI, Y. Effect of chilling temperatures on physiological properties, phenolic metabolism and antioxidant level accompanying pulp browning of peach during cold storage. **Scientia Horticulturae**, n. 255, p. 175-182, 2019.
- LIU, Y.; TANG, M.; LIU, M.; SU, D.; CHEN, J.; GAO, Y.; BOUZAYEN, M.; LI, Z.. The molecular regulation of ethylene in fruit ripening. **Small Methods**, v. 4, p. 1-13, 2020.
- LUDWIG, V.; THEWES, F. R.; WENDT, L. M.; BERGHETTI, M. R. P.; SCHULTZ, E. E.; SCHMIDT, S. F. P.; BRACKMANN, A. Extremely low-oxygen storage: aerobic, anaerobic metabolism and overall quality of apples at two temperatures. **Post Harvest Technology**, v. 79, n. 3, p. 458-471, 2020.
- LURIE, S.; VANOLI, M.; DAGAR, A.; WEKSLER, A.; LOVATI, F.; ZERBINI, P. E.; SPINELLI, L.; TORRICELLI, A.; FENG, J.; RIZZOLO, A. Chilling injury in stored nectarines and its detection by time-resolved reflectance spectroscopy. **Postharvest Biology and Technology**, n. 59, p. 211-218, 2011.
- MAJIDI, H.; MINAEE, S.; ALMASSI, M.; MOSTOFI, Y. Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 2155-2161, 2012.
- MELO, J. C.; AMARANTE, C. V. T.; MIQUELOTO, T.; HEINZEN, A. S. Internal browning control in Laetitia plums by modified atmosphere, management of ethylene and storage temperature. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, p. 126-134, 2021.
- MISHRA, S.; JHA, A. B.; DUBEY, R. S. Arsenite treatment induces oxidative stress, upregulates antioxidant system, and causes phytochelatin synthesis in rice seedlings. **Protoplasma**, v. 248, n. 3, p. 565-577, 2011.
- PAN, Y.; YUAN, M.; ZHANG, W.; ZHANG, Z. Effect of low temperatures on chilling injury in relation to energy status in papaya fruit during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 125, p. 181-187, 2017.
- ROCHA-PIMENTA, J.; LIERA-OYOLA, J.; BOTE, M. E.; AYUSO-YUSTE, M. C.; BERNALTE, M. J.; VELARDO, B. Influence of storage period and shelf-life on the incidence of chilling injury and microbial load in “Angeleno” and “Larry Ann” plums. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 32, n. 5, p. 376-383, 2020.
- ROESLER, R.; MALTA, L. G.; CARRASCO, L. C.; HOLANDA, R. B.; SOUSA, C. A. S.; PASTORE, G. M. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.27, n.1, p.53-60, 2007.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M., SAMPAIO, C. G. PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS**. Embrapa Agroindústria Tropical: Fortaleza, CE, 2007a. 4p. (COMUNICADO TÉCNICO, 128).

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M., SAMPAIO, C. G. PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Embrapa Agroindústria Tropical: Fortaleza, CE, 2007b. 4p. (COMUNICADO TÉCNICO, 127)

SALTVEIT, M. E. Respiratory metabolism. In: YAHIA, E.M., AND CARRILLO-LÓPEZ, A. **Postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables**. 1st ed. Kidlington, UK: Elsevier, 2019. p. 228-237.

SAQUET, A. A.; STREIF, J. Respiration rate and ethylene metabolism of ‘jonagold’ apple and ‘conference’ pear under regular air and controlled atmosphere. **Post Harvest Technology**, v. 76, n. 2, p. 335-344, 2017.

SAQUET, A.A.; STREIF, J. Fermentative metabolism in ‘Conference’ pears under various storage conditions. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v.81, n.5, p.910-914, 2006.

SERBAN, C.; KALKCITS, L.; DEELL, J.; MATTHEIS, J. P. Responses of ‘honeycrisp’ apples to short-term controlled atmosphere storage established during temperature conditioning. **HortScience**, v. 54, n. 9, p. 1532-1539, 2019.

SINGH, S. P.; SINGH, Z. Controlled and modified atmospheres influence chilling injury, fruit quality and antioxidative system of Japanese plums (*Prunus salicina* Lindell). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 48, p. 363-374, 2013.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, 1965.

SOGVAR, O. B.; RAZAVI, F.; RABIEI, V.; GOHARI, G. Postharvest application of L-cysteine to prevent enzymatic browning of ‘Stanley’ plum fruit during cold storage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 44, n. 3, 14788, 2020.

SRIVASTAVA, S.; DUBEY, R. S. Manganese-excess induces oxidative stress, lowers the pool of antioxidants and elevates activities of key antioxidative enzymes in rice seedlings. **Plant Growth Regulation**, p. 1–16, 2011.

STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; ALVEZ, E. O.; BRACKMANN, A. Fruit quality preservation of ‘Laetitia’ plums under controlled atmosphere storage. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 86, n. 1, p. 485-494, 2014.

STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; ESPINDOLA, B. P.; HEIZEN, A. S.; BRACKMANN, A.; BOTH, V. ‘Laetitia’ plums stored in controlled atmospheres combined with induction of mass loss and ethylene management. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 225-234, 2018.

- STEFFENS, C. A.; TANAKA, H.; AMARANTE, C. V. T.; BRACKMANN, A.; STANGER, M. C.; HENDGES, M. V. Condições de atmosfera controlada para armazenamento de ameixas 'Laetitia' tratadas com 1-metilciclopropeno. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 750-756, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p.
- THOMPSON, A.K. **Fruits and vegetables: harvesting, handling and storage**. 3rd edition. Wiley Blackwell, 2014. 445p.
- TOPALOVIĆ, A.; KNEŽEVIĆ, M.; VLATKA, V. V. The total phenolics and antioxidants from fruit and vegetables: An evaluation of daily intake. **Agricultural and Forest Meteorology** v. 59, p. 143–154, 2013.
- TRIPATHY, B. C.; OELMÜLLER, R. Reactive oxygen species generation and signaling in plants. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, n. 12, p. 1621-1633, 2012.
- VELTMAN, R. H.; PEPPELENBOS, W. A Proposed mechanism behind the development of internal browning in pears (*Pyrus communis* cv Conference). **Acta Horticulturae**, 8th International Conference, 2003.
- VELTMAN, R.H.; LENTHÉRIC, I.; VAN DER PLAS, L.H.W.; PEPPELENBOS, H.W. Internal browning in pear fruit (*Pyrus communis* L. cv Conference) may be a result of a limited availability of energy and antioxidants. **Postharvest Biology and Technology**, v. 28, p. 295-302, 2003.
- VICTOR, B. M. M.; AMPOFO-ASIAMA, J.; HERTOOG, M.; GEERAERD, A. H.; NICOLAI, B. M. Metabolic profiling reveals a coordinated response of isolated lamb's (*Valerianella locusta*, L.) lettuce cells to sugar starvation and low oxygen stress. **Postharvest Biology and Technology**, v. 126, p. 23-33, 2017.
- WANG, J.; PAN, H.; WANG, R.; HONG, K.; CAO, J. Patterns of flesh reddening, translucency, ethylene production and storability of 'Friar' plum fruit harvested at three maturity stages as affected by the storage temperature. **Postharvest Biology and Technology**, n. 121, p. 9-18, 2016.
- YAHIA, E. M.; GARDEA-BÉJAR, A.; ORNELAS-PAZ, J. J.; MAYA-MERAZ, I. O.; RODRÍGUEZ-ROQUE, M. J.; RIOS-VELASCO, C.; ORNELAS-PAZ, J.; SALAS-MARINA, M. A. Preharvest factors affecting postharvest quality. In: YAHIA, E. M. **Postharvest Technology of Perishable Horticultural Commodities**. Woodhead Publishing, 2019. p. 99-128.
- YANG, Q.; RAO, J.; YI, S.; MENG, K.; WU, J.; HOU, Y. Antioxidant enzyme activity and chilling injury during low-temperature storage of kiwifruit cv. Hongyang exposed to gradual postharvest cooling. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 53, n. 6, p. 505-512, 2012.
- YANG, Q.; RAO, J.; YI, S.; MENG, K.; WU, J.; HOU, Y. Antioxidant Enzyme Activity and Chilling Injury during Low-temperature Storage of Kiwifruit cv. Hongyang Exposed to Gradual Postharvest Cooling. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 53, n. 6, p. 505-512, 2012.

ZHANG, BO.; TIEMAN, D. M.; JIAO, C.; XU, Y.; CHEN, K.; FEI, Z.; GIOVANNONI J. J.; KLEE, H. J. Chilling-induced tomato flavor loss is associated with altered volatile synthesis and transient changes in DNA methylation. **PNAS**, v. 113, n. 44, p. 12580-12585, 2016.

5 CARACTERIZAÇÃO DO PERFIL AROMÁTICO DE AMEIXAS ‘LAETITIA’ CULTIVADAS EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar o perfil aromático de ameixas ‘Laetitia’ após 0 (colheita), 4 e 8 dias de *shelf life* e identificar os compostos voláteis mais importantes para a definição do aroma de frutos produzidos sob sistemas de produção orgânico e convencional. Os compostos voláteis foram determinados em cada um dos períodos citados anteriormente. Nos frutos do pomar orgânico foram identificados sete aldeídos, sendo E-2-hexenal e hexanal os majoritários. A concentração de E-2-hexenal reduziu de 0 para 8 dias de *shelf life*. Os álcoois representaram 31% dos compostos voláteis. As concentrações do 2-etil-1-hexanol e 2,6-dimetil-7-octen-2-ol diminuíram e as de 1-butanol e 1-hexanol aumentaram de 0 para 8 dias de *shelf life*. No pomar convencional foram encontrados cinco aldeídos, destaque para E-2-hexenal, hexanal e nonanal, sem variação em suas concentrações no *shelf life*. Os álcoois representaram 26% dos voláteis identificados. Porém, a concentração do 3-hexen-1-ol reduziu de 0 para 8 dias de *shelf life*, enquanto as concentrações de 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol, Z-2-hexen-1-ol e Z-3-hexen-1-ol permaneceram constantes. A concentração de ésteres foi menor em frutos de ambos os pomares. Os aldeídos E-2-hexenal e hexanal e os álcoois 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol são os principais compostos que definem o aroma de ameixas ‘Laetitia’ no sistema de produção orgânico. Após a colheita, o aroma dos frutos é caracterizado por apresentar notas verdes, picante, fresco e floral. Com o avanço do *shelf life*, o aroma passa a ser caracterizado principalmente por notas doces, alcoólico, flores e maçã. No sistema de produção convencional, os álcoois 1-hexanol, 3-hexen-1-ol e o Z-3-hexen-1-ol são os principais constituintes do aroma de ameixas ‘Laetitia’. Basicamente o aroma dos frutos é caracterizado por apresentar características aromáticas do tipo alcoólico, doce, verde e refrescante durante todo o *shelf life*.

Palavras-chave: Aldeídos; Álcoois; Ésteres; Compostos voláteis; *Shelf life*.

5.1 INTRODUÇÃO

Nas décadas de 1990 e 2000, grandes avanços foram realizados na área de melhoramento genético de frutíferas voltados para melhorias das características produtivas, resistência as doenças, consistência e aparência externa dos frutos (WYLLIE, 2008). No entanto, a partir dos anos 2000 houve uma intensificação nos estudos voltados para a composição química e na caracterização do sabor de frutos (GONÇALVES *et al.*, 2018), que atualmente é considerado um conceito moderno de qualidade (BRÜCKNER, 2008). Embora o sabor dos frutos seja definido por meio de interações entre o gosto e o aroma (WYLLIE, 2008), é o aroma que possui maior relevância na aceção do sabor (SANZ; OLIAZ, 2010). O aroma, por ser um dos atributos mais apreciados pelos consumidores (EL HADI *et al.*, 2013), passou a ter um papel fundamental na determinação da preferência por aquisições específicas e frequentes de frutas.

O aroma é formado por um conjunto de compostos voláteis (SCHWAB *et al.*, 2008) e apesar de alguns frutos compartilharem características aromáticas similares, cada um possui um aroma característico formado a partir de arranjos específicos entre o tipo do volátil, concentração e limite de percepção sensorial (TUCKER, 1993). Os principais compostos voláteis observados em frutos pertencem aos grupos químicos dos aldeídos, álcoois, ésteres e terpenoides (POTT *et al.*, 2019). O número de compostos e a respectiva concentração variam de acordo com o tipo de fruto (DENG *et al.*, 2021). Por exemplo, em maçãs ‘Orin’, os ésteres butirato de etila, propanoato de hexila, acetato de hexila e acetato de butila foram os principais voláteis responsáveis pelo aroma dos frutos (YANG *et al.*, 2021). Em maçãs ‘Fuji’, os ésteres butanoato de etila e etil-2-metil butanoato e os aldeídos hexanal e E-2-hexanal foram os compostos mais relevantes na composição do aroma dos frutos (GUO *et al.*, 2020). Da mesma forma, Taiti *et al.* (2019) verificaram que E-2-hexanal, 2-hexenal, 3-hexenol foram os compostos mais importantes na composição do aroma de ameixas ‘Dofi Giudy’ e ‘Black Diamond’.

Apesar de alguns polifenóis também participarem na composição do aroma de alguns frutos considerados economicamente importantes como, por exemplo, tomates, morangos e uvas, o seu verdadeiro valor está interligado à manutenção da saúde humana (RODRIGUEZ-MATEOS *et al.*, 2014). Em função de suas propriedades antioxidantes, alguns estudos sugerem que a ingestão diária de alimentos ricos em compostos fenólicos reduz o risco da ocorrência de doenças cardiovasculares, câncer (GIAMPIERI *et al.*, 2015) diabetes e Alzheimer (FIEDOR; BURDA, 2014; NUUTINEN, 2018). Dentro deste

contexto, a introdução de ameixas na composição da dieta tornou-se uma opção interessante para aqueles que buscam por melhorias na qualidade de vida por meio da introdução de hábitos alimentares mais saudáveis.

O perfil aromático, além de variar em função da espécie de fruto e cultivar, também é modificado com a evolução na maturação dos frutos (LOUW; THERON, 2012; GUO *et al.*, 2020) e pelas práticas culturais de manejo do pomar (CUEVAS *et al.*, 2016; GONÇALVES *et al.*, 2018; LUCHT *et al.*, 2020). Embora a caracterização do aroma de ameixas ‘Laetitia’ colhidas em diferentes estádios de maturação já tenha sido caracterizada (LOUW; THERON, 2012), não foram encontradas informações sobre o perfil aromático de ameixas ‘Laetitia’ cultivadas em sistemas de produção orgânico e convencional durante o período de *shelf life*. Dessa forma, este estudo pode contribuir para aumentar a aquisição e consumo de ameixas ‘Laetitia’, uma vez que possibilitará identificar o período de exposição em que os frutos estarão mais atrativos para os consumidores.

O objetivo deste estudo foi caracterizar o perfil aromático de ameixas ‘Laetitia’ produzidas sob sistemas de produção orgânico e convencional, após 0 (colheita), 4 e 8 dias de *shelf life* e identificar os compostos voláteis mais importantes para a definição do aroma dos frutos.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

Ameixas ‘Laetitia’ foram colhidas em pomares comerciais de 18 e 20 anos de idade cultivados sobre porta-enxerto ‘Capdeboscq’, nos espaçamentos 5×1 m e 6×3 m, conduzidos em “Y” e “Taça” e manejados nos sistemas orgânico e convencional nos municípios de Lages ($27^{\circ} 49' 0''$ S, $50^{\circ} 19' 35''$ W, Alt. 884 m) e Urubici ($28^{\circ} 00' 54''$ S, $49^{\circ} 35' 30''$ W, Alt. 915 m) Santa Catarina, respectivamente. Os frutos foram colhidos no início da maturação (25 - 40% de cor vermelha da epiderme), colocados em caixas plásticas e transportados ao laboratório para as análises. No laboratório, as ameixas sem lesões, defeitos, ferimentos ou danos mecânicos foram homogeneizadas e aleatoriamente selecionadas para composição das amostras.

Na colheita, ameixas colhidas no pomar orgânico apresentaram firmeza de polpa de 74,0 N, acidez titulável (AT) de 1,70% de ácido málico, sólido solúveis (SS) de 11,0 °Brix e ângulo *hue* (h°) da epiderme de 64,5 e 81,1 nas regiões mais e menos vermelha dos frutos, respectivamente. Os frutos colhidos no pomar convencional apresentaram

firmeza de polpa de 77,1 N, AT de 1,62% de ácido málico, SS de 10,8 °Brix e h° da epiderme de 66,3 e 83,4 nas regiões mais e menos vermelha dos frutos, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições e unidade experimental de 15 frutos. Os frutos foram mantidos em sala climatizada sob temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa do ar de $60 \pm 5\%$ por 0, 4 e 8 dias de shelf life. O perfil aromático foi avaliado para cada tempo de *shelf life* (0, 4 e 8 dias), retirando-se uma amostra de cada fruto, seccionado no sentido longitudinal em forma de cunha, a qual foi triturada em um mixer RI1364 (Philips Walita, S.A., Varginha, Minas Gerais, Brasil) e armazenada em ultrafreezer.

Para coleta dos voláteis emitidos pelos extratos dos frutos foi utilizado uma fibra de microextração em fase sólida (SPME, Sigma-Aldrich Co., Missouri, EUA) contendo divinilbenzeno/carboxeno/polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) (50/30, Supelco, Sigma-Aldrich Co.). Para isso, amostras de extratos de frutos de 2 g foram pesadas em balança analítica e adicionado 3 g de NaCl + 2 mL de água Mili-Q em um tubo tipo vial de 40 mL. Os tubos foram mantidos a 40 °C sob agitação magnética por 30 minutos (10 minutos de incubação + 20 minutos de extração). A dessorção térmica dos voláteis ocorreu imediatamente após a adsorção. Para isso, a fibra foi exposta ao injetor cromatográfico gasoso Claus 680 (PerkinElmer Inc., Massachusetts, EUA), equipado com coluna capilar apolar Elite 5MS (30 m de comprimento \times 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 μ m de espessura do filme) acoplado a um espectrômetro de massas Clarus SQ8S (PerkinElmer Inc.). As análises foram realizadas utilizando uma rampa de aquecimento com temperatura inicial de 30 °C com elevação da temperatura de 1 °C min^{-1} até 49 °C, depois 10 °C min^{-1} até 180 °C, mantendo-se por 2 minutos. A identificação dos compostos foi realizada por meio da probabilidade da similaridade com os dados disponíveis na biblioteca (software NIST) do equipamento.

A concentração dos voláteis identificados foi estimada por semiquantificação (RUIZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2018) utilizando 2 μ L do padrão de n-alcenos C7-C40, lidos nas mesmas configurações da análise das amostras.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos frutos colhidos em pomar orgânico foram identificados sete aldeídos durante o *shelf life*. Ao zero dia de *shelf life* foi identificado acetaldeído, E-2-hexenal, hexanal e nonanal. Aos 4 dias de *shelf life* foram identificados, além dos compostos citados

anteriormente, decanal e pentanal, enquanto aos 8 dias de *shelf life* identificou-se apenas E-2-hexenal, hexanal e pentanal. Os compostos E-2-hexenal e hexanal apresentaram maiores valores absolutos, em relação aos demais aldeídos (Tabela 4). A concentração de E-2-hexenal foi maior nos frutos analisados ao 0 dia de *shelf life* e foi reduzindo com o avanço do *shelf life*. A concentração de hexanal não variou com o *shelf life* dos frutos (Tabela 4). Em ameixas ‘Laetitia’ oriundas do pomar convencional foram identificados cinco aldeídos, com destaque para E-2-hexenal e hexanal que foram os aldeídos majoritários (Tabela 5). No entanto, não houve variações significativas para a concentração destes compostos ao longo do *shelf life*. Louw e Theron (2012) observaram grandes concentrações de hexanal e 2-hexenal em frutos maduros (ponto de colheita comercial) de ameixas ‘Pioneer’, ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’. Cuevas *et al.* (2016) relataram que o hexanal foi o principal composto identificado em ameixas ‘Showtime’, ‘Sapphire’, ‘Souvenir’, ‘Primetime’, ‘Laetitia’ e ‘Songold’. De modo geral, frutos no início do processo de amadurecimento apresentam altas concentrações de aldeídos (GÓMEZ; LEDBETTER, 1997) e expressam características aromáticas similares a de folhas verdes (UL HASSAM *et al.*, 2015; VIVALDO *et al.*, 2017).

Em frutos de pomar orgânico foram identificados 7 álcoois e as suas concentrações variaram em função do *shelf life*. Os compostos 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol foram produzidos em maiores concentrações em valores absoluto, quando comparados aos demais álcoois. A concentração do 2-etil-1-hexanol diminuiu e a do 1-hexanol aumentou de 0 para 8 dias de *shelf life*. Por outro lado, as concentrações do 3-hexen-1-ol e Z-2-hexen-1-ol foram maiores aos 4 dias do que aos 0 e 8 dias de *shelf life* (Tabela 4). Em frutos de pomar convencional foram identificados 6 álcoois, onde o 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol, 3-hexen-1-ol e Z-3-hexen-1-ol apresentaram as maiores concentrações, quando comparado aos demais álcoois identificados (Tabela 5). Com exceção do 3-hexen-1-ol, que apresentou maior concentração aos 0 dias em relação aos 4 dias de *shelf life*, as concentrações dos demais álcoois não variaram significativamente em função do *shelf life*. Wang *et al.* (2018) e Lozano *et al.* (2008) observaram que os compostos 22,23-di-hidro-estigmasterol e 3-hexen-1-ol foram os mais abundantes entre os álcoois presentes em ameixas ‘Friar’ e ‘Songold’, respectivamente. Contudo, variações no perfil e na concentração de compostos tem sido comum entre as cultivares de ameixas. Essas variações no perfil de compostos voláteis estão associadas, entre outros fatores, às características genotípicas, grau de maturação e manejo do pomar (LOUW; THERON,

Tabela 4 - Perfil aromático e concentração de compostos ($\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcenos $\text{C}_7\text{-C}_{40}$) produzidos em ameixas ‘Laetitia’ aos 0, 4 e 8 dias de *shelf life*, em frutos colhidos de pomar orgânico.

Composto	<i>Shel life</i> (dias) ¹			Valor de <i>P</i>	DP	Descritor de aroma
	0	4	8			
Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$)						
<i>Aldeídos</i>						
2-metil butanal	ND	ND	0,017	-	0,004	-
Acetaldeído	0,009 a	0,009 a	ND	0,9517	0,001	-
Decanal	ND	0,0007	ND	-	0,0001	-
E-2-hexenal	1,258 a	0,892 ab	0,318 b	0,0110	0,508	Folha verde
Hexanal	1,156 a	0,831 a	0,812 a	0,1928	0,297	Maçã, verde
Nonanal	0,002 a	0,002 a	ND	0,4506	0,0003	-
Pentanal	ND	0,015 a	0,007 b	0,0215	0,005	-
<i>Álcoois</i>						
2-etil-1-hexanol	0,529 a	0,531 a	0,260 b	0,0184	0,135	Verde, floral
2-metil-1-butanol	ND	ND	0,028	-	0,017	-
1-butanol	ND	0,011 b	0,089 a	0,0003	0,043	-
1-hexanol	0,351 b	1,342 a	1,225 a	<0,0001	0,472	Alcoólico, doce
4-metil-1-pentanol	ND	ND	0,720	-	0,293	-
2,6-dimetil-7-octen-2-ol	0,012 a	0,005 b	ND	0,0091	0,005	-
3-hexen-1-ol	0,446 b	1,891 a	0,776 b	0,0003	0,708	Flores, maçã
Z-2-hexen-1-ol	0,043 b	0,191 a	0,024 b	0,0002	0,084	-
<i>Ésteres</i>						
Acetato de 2-etilhexila	0,005 a	0,005 a	ND	<0,8285	0,0009	-
Butanoato de butila	ND	ND	0,018	-	0,003	-
Z-3-hexenil acetato	0,011 a	0,005 b	0,000 c	<0,0001	0,00002	-
E-3-hexenil butirato	0,002 b	ND	0,005 a	0,0259	0,002	-
Hexanoato de etila	0,0006 b	ND	0,006 a	0,0002	0,003	-
<i>Cetonas</i>						
2,3-butanediona	ND	ND	0,013	-	0,003	-
6-metil-5-hepten-2-ona	0,013 a	0,009 b	ND	0,0132	0,002	-
6,10-dimetil-5,9-undecadien-2-ona	0,013 a	0,009 b	ND	<0,0001	0,001	-
β -ionona	0,001	ND	ND	-	0,0001	-
<i>Lactonas</i>						
δ -decalactona	0,010 a	0,003 b	ND	0,0039	0,004	-
<i>Terpenos</i>						
Linalol	0,002 a	0,002 a	0,002 a	0,3855	0,001	-

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

DP: Desvio padrão.

ND: Não detectado.

2012; LESTER, 2006; LOZANO *et al.*, 2008; CUEVAS *et al.*, 2016; LUCHT *et al.*, 2020).

Os álcoois de seis carbonos são importantes contribuintes para o aroma de ameixas (WILLIAMS *et al.*, 1981; CROUZET *et al.*, 1990) e caracterizam-se por fornecerem notas aromáticas herbáceas aos frutos (BELITZ *et al.*, 2009; YU *et al.*, 2012). Os frutos com o aroma formado por álcoois de seis carbonos, juntamente com os aldeídos hexanal, heptanal, nonanal e decanal são preferidos pelos consumidores (MWENDA; MATSUI, 2014; UL-HASSAN *et al.*, 2015), o que indica que os frutos de ambos os pomares, mas especialmente do pomar convencional, atenderiam as exigências dos consumidores em relação ao aroma.

Os ésteres representam os principais compostos formadores de aroma de muitos frutos e conferem, de forma geral, aromas florais e frutados (BELITZ *et al.*, 2009; EL HADI *et al.*, 2013). Em maçãs ‘Golden Delicious’ e ‘Golden Reinders’, os ésteres representaram cerca de 80% dos compostos do aroma (LÓPEZ *et al.*, 1998; ALTISENT *et al.*, 2011) e, em ‘Starking Delicious’, representaram 98% dos voláteis responsáveis pelo aroma (LÓPEZ *et al.*, 1998). Os acetatos de butila, hexila e de 2-metilbutila, hexil 2-metilbutanoato de hexila e 2-metil butanoato de etila são considerados os ésteres mais relevantes na percepção aromática de maçãs (ESPINO-DÍAZ *et al.*, 2016; YAN *et al.*, 2020). Em ameixas europeias cv. Horvin, Pino e Quijano (2012) relataram que os ésteres também são os principais voláteis, representando 58,8% dos compostos voláteis produzidos, sendo o acetato de hexila o composto mais abundante dentro do grupo dos ésteres. Em ameixas ‘Laetitia’, entretanto, a participação dos ésteres na composição do aroma dos frutos parece ser menos representativa. No presente estudo, em ameixas de pomar orgânico, os ésteres representaram cerca de 19% dos compostos aromáticos e as suas concentrações foram, de forma geral, numericamente inferiores as concentrações dos aldeídos e álcoois. A concentração de acetato de Z-3-hexenila reduziu e as concentrações de E-3-hexenil butirato e hexanoato de etila aumentaram com o avanço do *shelf life* (Tabela 4). Em ameixas de pomar convencional, os ésteres compuseram 26% dos compostos aromáticos, com destaque para o acetato de Z-3-hexenila, que apresentou maior concentração do que os demais ésteres durante todo *shelf life*. Com exceção do Z-3-hexenil butirato que aumentou a concentração de 4 para 8 dias de *shelf life*, a concentração dos demais ésteres foi invariável durante o *shelf life* avaliado (Tabela 5).

Tabela 5 - Perfil aromático e concentração de compostos ($\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcenos $\text{C}_7\text{-C}_{40}$) produzidos em ameixas 'Laetitia' aos 0, 4 e 8 dias de *shelf life*, em frutos colhidos de pomar convencional.

Composto	<i>Shel life</i> (dias) ¹			Valor de <i>P</i>	DP	Descritor de aroma
	0	4	8			
	Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$)					
<i>Aldeídos</i>						
2-metil-butanal	0,006	ND	ND	-	0,003	-
Acetaldeído	0,024	ND	ND	-	0,011	-
E-2-hexenal	0,095 a	0,054 a	0,042 a	0,1124	0,038	Folha verde, picante
Hexanal	0,109 a	0,086 a	0,083 a	0,7213	0,047	Maçã, fresco, verde
Nonanal	0,003 a	0,003 a	0,001 a	0,2317	0,001	-
<i>Álcoois</i>						
2-etil-1-hexanol	0,455 a	0,406 a	0,603 a	0,5113	0,234	Verde, rosa, floral
1-butanol	ND	ND	0,016	-	0,002	-
1-hexanol	0,298 a	0,317 a	0,499 a	0,3015	0,196	Alcoólico, doce
3-hexen-1-ol	0,364 a	0,127 b	ND	0,0386	0,164	Flores, maçã
Z-2-hexen-1-ol	0,071 a	0,076 a	0,034 a	0,065	0,029	-
Z-3-hexen-1-ol	0,339 a	0,335 a	0,390 a	0,2638	0,051	Verde, refrescante
<i>Ésteres</i>						
Acetato de 2-etilhexila	0,008 a	0,004 a	0,003 a	0,0535	0,003	-
Acetato de hexila	0,008 a	0,006 a	0,008 a	0,2952	0,002	-
Butanoato de butila	ND	ND	0,016	-	0,002	-
Butanoato de hexila	ND	ND	0,009	-	0,003	-
Z-3-hexenil acetato	0,026 a	0,022 a	0,014 a	0,1405	0,001	Frutado
Z-3-hexenil butirato	ND	0,0006 b	0,008 a	0,0343	0,005	-
<i>Cetona</i>						
β -ionona	ND	ND	0,001	-	0,0003	-
<i>Hidrocarboneto</i>						
O-cimeno	0,010 a	0,010 a	ND	0,7421	0,001	-
<i>Terpenos</i>						
4-terpineol	0,020 a	0,015 a	0,011 a	0,1652	0,006	-
α -terpineol	0,002 a	0,002 a	0,003 a	0,6904	0,001	-
β -ciclocitral	0,002 a	0,001 a	0,001 a	0,0559	0,001	-

¹Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

DP: Desvio padrão.

ND: Não detectado.

Em ameixas de pomar orgânico foram identificadas quatro cetonas. Os compostos 6-metil-5-hepten-2-ona e 6,10-dimetil-5,9-undecadien-2-ona foram os mais relevantes e

as suas concentrações diminuíram da colheita para 4 dias de *shelf life* (Tabela 4). Todavia, em ameixas ‘Laetitia’ de pomar convencional a β -ionona foi o único composto cetônico identificado, independentemente do *shelf life* (Tabela 2). Pino e Quijano (2012) identificaram 10 cetonas em *P. domestica* cv. Horvin, que contribuíram com menos de 4% da concentração total de voláteis identificados nos frutos. Chai *et al.* (2012) relataram que 6-metil-5-hepten-2-ona foi o composto mais abundante entre todas as cetonas observadas em frutos de 75 cultivares de ameixas pertencentes as espécies de *Prunus salicina*, *Prunus domestica*, híbridos de *P. salicina*, *Prunus cerasifera*, *Prunus ussuriensis* e *Prunus spinosa*.

Em ameixas do pomar orgânico foi identificada a lactona δ -decalactona e sua concentração foi maior no dia 0, comparativamente aos demais dias de *shelf life* (Tabela 4). Em ameixas de pomar convencional foi detectado a emissão de concentrações similares do hidrocarboneto o-cimeno em ameixas ‘Laetitia’ aos 0 e 4 dias de *shelf life* (Tabela 5). Vale ressaltar que a δ -lactona é um volátil interessante na definição do aroma em frutos, pois confere características frutadas (ZHANG; CHEN, 2007).

Embora tenha sido identificado um terpeno em ameixas colhidas em pomar orgânico (linalol) (Tabela 4) e três em frutos de pomar convencional (4-terpineol, α -terpineol e β -ciclocitral) (Tabela 5), as suas concentrações foram baixas e sem alteração ao longo do *shelf life*. Os terpenos são os principais constituintes dos óleos essenciais (ASADOLLAHI-BABOLI, 2015) e são reconhecidos por seus efeitos benéficos na saúde humana (ALI *et al.*, 2015). Isso inclui ação bactericida, propriedades antimicrobianas e virais (JIMBO *et al.*, 2009; SMITH *et al.*, 2011). Os terpenos também podem intensificar o sabor de frutos como, por exemplo o S-linalol em morangos (YAN *et al.*, 2018) e o R-limoneno em citros (FENG *et al.*, 2018). Vale destacar também que os terpenos desempenham um importante papel na fisiologia de plantas, visto que podem atuar como moléculas sinalizadoras, atraindo polinizadores ou repelindo pragas e outros organismos que causam danos aos tecidos vegetais (LORETO *et al.*, 2014; ABBAS *et al.*, 2017).

5.4 CONCLUSÃO

Os aldeídos E-2-hexenal e hexanal e os álcoois 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol são os principais compostos que definem o aroma de ameixas ‘Laetitia’ no sistema de produção orgânico. Após a colheita, o aroma dos frutos é caracterizado por apresentar notas verdes, picante, fresco e floral. Com o avanço do *shelf life*, o aroma passa

a ser caracterizado principalmente por notas doces, alcoólico, flores e maçã. No sistema de produção convencional, os álcoois 1-hexanol, 3-hexen-1-ol e o Z-3-hexen-1-ol são os principais constituintes do aroma de ameixas 'Laetitia'. Basicamente o aroma dos frutos é caracterizado por apresentar notas alcoólico, doce, verde e refrescante durante todo o *shelf life*.

REFERÊNCIAS

ABBAS, F.; KE, Y.; YU, R.; YUE, Y.; AMANULLAH, S.; JAHANGIR, M. M.; FAN, Y. Volatile terpenoids: multiple functions, biosynthesis, modulation, and manipulation by genetic engineering. **Planta**, v. 246, n. 5, p. 803–816, 2017.

ALI, B.; AL-WABEL, N. A.; SHAMS, S.; AHAMAD, A.; KHAN, S.A.; ANWAR, F. Essential oils used in aromatherapy: A systemic review. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v.5, p. 601–611, 2015.

ALTISENT, R.; GRAELL, J.; LARA, I.; LÓPEZ, L.; ECHEVERRÍA, G. Increased straight-chain esters content after ultralow oxygen storage and its relation to the lipoxygenase system in ‘Golden Reinders®’ apples. **European Food Research and Technology**, n. 232, p. 51–61, 2011.

ASADOLLAHI-BABOLI, M. Comprehensive analysis of *Valeriana officinalis* l. essential oil using GC-MS coupled with integrated chemometric resolution techniques. **International Journal of Food Properties**, n. 18, p. 597–607, 2015.

BELITZ, H.-D.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. **Food Chemistry**. 4th edition. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2009. 1114p.

BRÜCKNER B. **Fruit and Vegetable Flavors: Recent Advances and Future Prospects**. Abington Hall, Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2008. 317p.

CHAI, Q.; WU, B.; LIU, W.; WANG, L.; YANG, C.; WANG, Y.; FANG, J.; LIU, Y.; LI, S. Volatiles of plums evaluated by HS-SPME with GC-MS at the germplasm level. **Food Chemistry**, n. 130, p. 432-440, 2012.

CROUZET, J.; ETIEVANT, P.; BAYONOVE, C. Stoned fruit: apricot, plum, peach, cherry. In: MORTON, I. D., MACLEOD, A. J. **Food flavours: Part C. The flavour of fruits**. 1st ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science, May 7, 1990. p. 43-91.

CUEVAS, F. J.; MORENO-ROJAS, J. M.; ARROYO, F.; DAZA, A.; RUIZ-MORENO, M. J. Effect of management (organic vs conventional) on volatile profiles of six plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). A chemometric approach for varietal classification and determination of potential markers. **Food Chemistry**, n. 199, p. 479-484, 2016.

DENG, H.; HE, R.; LONG, M.; LI, Y.; ZHENG, Y.; LIN, L.; LIANG, D.; ZHANG, X.; LIAO, M.; LV, X.; DENG, Q.; XIA, H. Comparison of the fruit volatile profiles of five muscadine grape cultivars (*Vitis rotundifolia* Michx.) using HS-SPME-GC/MS combined with multivariate statistical analysis. **Plant Science**, v. 12, p. 1-14, 2021.

EL HADI, M.; ZHANG, F. J.; WU, F.F.; ZHOU, C. H.; TAO, J. Advances in fruit aroma volatile research. **Molecules**, v 18, n. 7, p. 8200–8229, 2013.

ESPINO-DIAZ, D.R.S.; GONZALEZ-AGUILAR, G.; OLIVAS, G.I. Biochemistry of apple aroma: A review. **Food Technology and Biotechnology**, n. 54, p. 375–394, 2016.

- FENG, S.; NIU, L.; SUH, J. H.; HUNG, W. L.; WANG, Y. Comprehensive metabolomics analysis of mandarins (*Citrus reticulata*) as a tool for variety, rootstock, and grove discrimination. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, v. 66, n.39, p. 10317–10326, 2018.
- FIEDOR, J.; BURDA, K. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. **Nutrients**, n. 6, p. 466-488, 2014.
- GIAMPIERI, F.; FORBES-HERNANDEZ, T. Y.; GASPARRINI, M.; AVAREZ-SUAREZ, J. M.; AFRIN, S.; BOMPADRE, S.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. Strawberry as a health: an evidence-based review. **Food and Function**, n. 6, p. 1386–1398, 2015.
- GÓMEZ, E.; LEDBETTER, C. A. Development of volatile compounds during fruit maturation: characterization of apricot and plum × apricot hybrids. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n. 74, p. 541-546, 1997.
- GONÇALVES, B.; OLIVEIRA, I.; BACELAR, E.; MORAIS, M.C.; AIRES, A.; COSME, F.; VENTURA-CARDOSO, J.; ANJOS, R.; PINTO, T. **Aromas and Flavors of Fruits**. London, UK: Intech Open, 2018. 24p.
- GUO, J.; YUE, T.; YUAN, Y.; SUN, N.; LIU, P. Characterization of volatile and sensory profiles of apple juices to trace fruit origins and investigation of the relationship between the aroma properties and volatile constituents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 124, n. 109203, p. 1-10.
- JIMBO D, KIMURA Y, TANIGUCHI M, INOUE M, URAKAMI K. Effect of aromatherapy on patients with Alzheimer's disease. **Psychogeriatrics**, v.9, n. 4, p. 173-179, 2009.
- LEFFINGWELL, J.C.; LEFFINGWELL, D. GRAS Flavor chemicals: detection thresholds. **Perfumer & Flavoristpp**, v. 16, p. 2-19, 1991.
- LESTER, G. Consumer preference quality attributes of melon fruits. **Acta Horticulture**, v. 1, p. 175-182, 2006.
- LÓPEZ, M. L.; LAVILLA, M. T.; RIBA, M.; VENDRELL, M. Comparison of volatile compounds in two seasons in apples: Golden Delicious and Granny Smith. **Journal of Food Quality**, v. 21, n. 2, p. 155-166, 1998.
- LORETO, F.; DICKE, M.; SCHNITZLER, J.; TURLINGS, T. C. J. Plant volatiles and the environment. **Plant, Cell and Environment**, n. 37, p. 1905-1908, 2014.
- LOUW, E. D.; THERON, K. I. Volatile dynamics during maturation, ripening and cold storage of three Japanese plum cultivars (*Prunus salicina* Lindl.). **Postharvest Biology and Technology**, n. 70, p. 13-24, 2012.
- LOZANO, M.; VIDAL-ARAGÓN, M. C.; HERNÁNDEZ, M. T.; AYUSO, M. C.; BERNALTE, M. J.; GARCÍA, J.; VELARDO, B. Physicochemical and nutritional

properties and volatile constituents of six Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) cultivars. **European Food Research and Technology**, v. 228, n. 3, p. 403-410, 2008.

LUCHT, F.; RINKEN, M.; HABERLANDT, S. Differentiation of volatile aroma components in organically and conventionally produced apples by stir bar sorptive extraction combined with gas chromatography and EI/CI TOF mass spectrometry. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 56, p. 1-25, 2020.

MWENDA, C. M.; MATSUI, K. The importance of lipoxygenase control in the production of green leaf volatiles by lipase-dependent and independent pathways. **Plant Biotechnology**, n. 31, p. 445-452, 2014.

NUNES, C.; COIMBRA, M. A.; SARAIVA, J.; ROCHA, S. M. Study of the volatile components of a candied plum and estimation of their contribution to the aroma. **Food Chemistry**, n. 111, p. 897-905, 2008.

NUUTINEN, T. Medicinal properties of terpenes found in *Cannabis sativa* and *Humulus lupulus*. **European Journal of Medicinal Chemistry**, n. 157, p. 198-228, 2018.

PINO, J. A.; QUIJANO, C. E. Study of the volatile compounds from plum (*Prunus domestica* L. cv. Horvin) and estimation of their contribution to the fruit aroma. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 32, n. 1, p. 76-83, 2012.

POTT, D.M.; OSORIO, S.; VALLARINO, J.G. From central to specialized metabolism: an overview of some secondary compounds derived from the primary metabolism for their role in conferring nutritional and organoleptic characteristics to fruit. **Frontiers Plant Science**, v. 10, n. 835, n. 1-19, 2019.

RODRIGUEZ-MATEOS, A.; VAUZOUR, D.; KRUEGER, C. G.; SHANMUGANAYAGAM, D.; REED, J.; CALANI, L.; MENA, P.; DEL RIO, D.; CROZIER, A. Bioavailability, bioactivity and impact on health of dietary flavonoids and related compounds: an update. **Archives of Toxicology**, n. 88, p. 1083-1853, 2014.

RUIZ-HERNÁNDEZ, V.; ROCA, M. J.; EGEA-CORTINES, M.; WEISS, J. A comparison of semi-quantitative methods suitable for establishing volatile profiles. **Plant Methods**, v.14, n. 67, p. 1-15, 2018.

SANZ C.; OLIAS, P. A. Aroma biochemistry of fruits and vegetables. In: TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ROBINS, R. J. **Phytochemistry of Fruit and Vegetables**. 1st edition. New York, NY, USA: Oxford University Press Inc., 1997. p. 125-155.

SCHWAB, W.; DAVIDOVICH-RIKANATI, R.; LEWINSOHN, E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. **The Plant Journal**, n. 54, p. 712-732, 2008.

SMITH, C.A.; COLLINS, C.T.; CROWTHER, C.A. Aromatherapy for pain management in labor. **Cochrane Database of Systematic Reviews**, n. 7, p. 1-36, 2011.

SOSA-MOGUEL, O.; PINO, J. A.; SAURI-DUCH, E.; CUEVAS-GLORY, L. Characterization of odor-active compounds in three varieties of ciruela (*Spondias*

purpurea L.) fruit. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n.1, p. 1008-1016, 2018.

TAITI, C.; PANDOLF, C.; CAPARROTTA, S.; DEI, M.; GIORDANI, E.; MANCUSO, S.; NENCETTI, V. Fruit aroma and sensorial characteristics of traditional and innovative Japanese plum (*Prunus salicina* lindl.) cultivars grown in Italy. **European Food Research and Technology**, n. 245, p. 2655-2668, 2019.

TIAN, C. P.; WEI, J. L.; LIU, X. J.; WANG, N.; WANG, H. B.; SUN, J. Z.; LI, D. T.; CHEN, X. S. GC-MS analysis of fruit aromatic components of pear cultivars originated from different species of *Pyrus*. **Journal of Fruit Science**, n.26, p. 294–299, 2009.

TUCKER, G. A. Introduction. *In*: SEYMOUR, G. B.; TAYLOR, J. E.; TUCKER, G. A. **Biochemistry of Fruit Ripening**. 1st edition. London, UK: Springer Science, 1993. p. 1–51.

UL HASSAN, M. N.; ZAINAL, Z.; ISMAIL, I. Green leaf volatiles: biosynthesis, biological functions and their applications in biotechnology. **Plant Biotechnology Journal**, n. 13, p. 727-739, 2015.

VIVALDO, G.; MASI, E.; TAITI, C.; CALDARELLI, G.; MANCUSO, S. The network of plants volatile organic compounds. **Scientific Reports**, v. 7, n. 11050, p. 1-18, 2017.

WANG, H.; MA, Y.; LI, M.; SHI, L.; ZHANG, S.; WANG, W.; ZHANG, L.; REN, Y.; YANG, Z. Volatiles of ripe fruit *Prunus salicina* L. cv. Friar as determined by gas chromatography-mass spectrophotometry as developed during cold storage. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 2622-2631, 2018.

WILLIAMS, A. A.; ISMAIL, H. M. M. The volatile flavour components of plums and their sensory evaluation. *In*: SOLMS, J., HALL, R. **Criteria of food acceptance: How Man Chooses what He Eats**. 6 ed. Zurich, Swiss: Foster Publishing, 1981. p 333–354.

WYLLIE, S. G. Flavour quality of fruit and vegetables: Are we on the brink of major advances? *In*: BRÜCKNER B, WYLLIE SG. **Fruit and vegetable flavour: recent advances and future prospects**. New York, Washington DC, USA: Woodhead Publishing, 2008. p. 3-10.

YAN, D.; SHI, J.; REN, X.; TAO, Y.; MA, F.; LI, R.; LIU, X.; LIU, C. Insights into the aroma profiles and characteristic aroma of ‘Honeycrisp’ apple (*Malus x domestica*). **Food Chemistry**, v. 327, n. 127074, p. 1-9, 2020.

YAN, J. W.; BAN, Z. J.; LU, H. Y.; LI, D.; POVERENOV, E.; LUO, Z. S.; LI, L. The aroma volatile repertoire in strawberry fruit: a review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 12, p. 4395-4402, 2018.

YANG, S.; HAO, N.; MENG, Z.; LI, Y.; ZHAO, Z. Identification, comparison and classification of volatile compounds in peels of 40 apple cultivars by HS–SPME with GC–MS. **Foods**, v. 10, n. 1051, p. 1-14, 2021.

YU, H.; YANG, L. H.; ZHAO, F.; YANG, L. Study on aroma components of six kinds of plum fruits. **Journal of Anhui Agricultural Sciences**, n. 40, p. 13601–13604, 2012.

ZHANG, S. L.; CHEN, K. S. Molecular physiology of fruit quality development and regulation. **China Agriculture Press**, p. 184–202, 2007.

6 AÇÃO DA ATMOSFERA CONTROLADA E REFRIGERADA NO PERFIL AROMÁTICO DE AMEIXAS ‘LAETITIA’ CULTIVADAS EM SISTEMAS ORGÂNICO E CONVENCIONAL

RESUMO

O objetivo deste estudo foi identificar os compostos voláteis que contribuem para a definição do aroma de ameixas ‘Laetitia’ cultivadas em sistema orgânico e convencional de produção, após o armazenamento refrigerado (AR) e em diferentes condições de atmosfera controlada (AC-LO, AC-ULO1, AC-ULO2, AC-ELO no sistema orgânico e AC-LO, AC-ULO, AC-ELO1 e AC-ELO no sistema convencional). No sistema de produção orgânico, os aldeídos E-2-hexenal e hexanal foram mais relevantes e as concentrações variaram em função do tratamento. A concentração de E-2-hexenal aumentou com a redução da pressão parcial de O₂ e a concentração de hexanal foi maior em AC-ULO2, comparativamente aos demais tratamentos. Entre os álcoois, o 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol, 3-hexen-1-ol e etanol apresentaram as maiores concentrações. A concentração de 1-hexanol e 3-hexen-1-ol foram maiores em AC-ULO1 e AC-ULO2, comparativamente a AR e AC-LO. A concentração de etanol foi maior em AC-ELO comparativamente aos demais tratamentos. No sistema de produção convencional, entre os aldeídos, o E-2-hexenal e hexanal foram os mais relevantes. A concentração de hexanal foi maior em AC-LO, comparativamente àquelas registradas em AR e AC-ELO2. Entre os álcoois as maiores concentrações foram registradas para o 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e etanol. A concentração de 1-hexanol observada em AC-ELO2 foi maior comparativamente aos tratamentos AR e AC-LO e a concentração de etanol foi maior em AC-ELO2 comparativamente aos demais tratamentos. Os compostos ésteres apresentaram baixas concentrações independente do sistema de manejo e das condições de tratamentos. Os aldeídos E-2-hexenal e hexanal e os álcoois 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol são os compostos voláteis com maior participação na definição do aroma de ameixas ‘Laetitia’ manejadas sob o sistema orgânico e convencional de produção. O armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ em AC-ELO (0,5 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂) no sistema de manejo orgânico e AC-ELO2 (0,25 kPa de O₂ + 1 kPa de CO₂) no sistema de manejo convencional aumenta significativamente a participação do etanol na composição do aroma dos frutos.

Palavras-chave: *Prunus salicina*; Etanol; Armazenamento; *Shelf life*; Via fermentativa.

6.1 INTRODUÇÃO

A ameixeira *Prunus salicina* Lindl. cultivar Laetitia originou-se da polinização aberta da ‘Golden King’ na África do Sul em 1985 (GUERRA *et al.*, 2009). No Brasil, a ameixeira ‘Laetitia’ foi introduzida na década de 1990 e, atualmente, as cultivares ‘Laetitia’ e ‘Fortune’ são responsáveis pela maior parte da produção de ameixas no Sul do país (DALBÓ, 2021).

A colheita das ameixas ‘Laetitia’ na região sul do Brasil ocorre frequentemente em janeiro e concentra-se em um curto período, variando aproximadamente entre 3 e 8 dias (FIORAVANÇO *et al.*, 2015). Por se tratar de um cultivar que apresenta o padrão climatérico de respiração e de produção de etileno (ARGENTA *et al.*, 2003; STANGER *et al.*, 2014; STEFFENS *et al.*, 2014a), os frutos amadurecem e senescem rapidamente em condições ambiente, havendo, portanto, a necessidade de se armazenar grande parte da produção com a finalidade de estender o período de comercialização, proporcionando maior lucratividade e menor instabilidade de oferta do produto no mercado.

Tradicionalmente, o armazenamento de ameixas em atmosfera refrigerada (AR) sob baixas temperaturas tem sido a tecnologia pós-colheita mais utilizada pelos fruticultores brasileiros. Apesar do armazenamento em AR retardar o processo de amadurecimento (STEFFENS *et al.*, 2013), a manutenção dos frutos por mais de 28 dias neste sistema pode reduzir a aceitabilidade das ameixas pelos consumidores em função da redução dos atributos físico-químicos (EMONGOR; RAMAGONONO, 2019) que, frequentemente, estão associados aos danos causados pelo frio (PRANGE; DELONG, 2006). Por outro lado, o armazenamento dos frutos em atmosfera controlada (AC) é uma importante alternativa para minimizar os danos causados pelo frio (STEFFENS *et al.*, 2014b) e tem contribuído para a manutenção da qualidade físico-química dos frutos, como previamente demonstrado em tomates (MAJIDI *et al.*, 2012), maçãs (GWANPUA *et al.*, 2012), peras (LUM *et al.*, 2017), kiwis (PAULAUSKIENE *et al.*, 2020) e pêssegos (ZHOU *et al.*, 2022).

Apesar dos benefícios relatados anteriormente, o armazenamento em AC pode modificar a aceitabilidade dos frutos por parte dos consumidores devido às alterações no gosto e sabor (POTT *et al.*, 2020). O gosto expressa a relação entre açúcares e ácidos, no entanto, é o aroma (perfil de voláteis) que define o sabor [interação entre o gosto e as

percepções do olfato ortosanal e retrosanal (DIETRICH, 2009)] exclusivo dos frutos (POTT *et al.*, 2020). Embora seja formado naturalmente à medida que o fruto amadurece como consequência da ativação de rotas metabólicas (POTT *et al.*, 2020), o aroma pode ser modificado pelas variações de pressões parciais de O₂ e CO₂ (LUMPKIN *et al.*, 2014; MA *et al.*, 2019; HO *et al.*, 2021) e temperatura utilizadas durante o armazenamento em AC (GOMES *et al.*, 2016; YAN *et al.*, 2020).

Embora já se tenha informações sobre a caracterização do perfil aromático em maçãs (YANG *et al.*, 2021), peras (WANG *et al.*, 2019), mangas (MESQUITA *et al.*, 2020), pêssegos (MIHAYLOVA *et al.*, 2021), abacates (GALVAO *et al.*, 2016) e ameixas (WANG *et al.*, 2018), ainda não há informações referentes a dinâmica de formação do aroma em ameixas ‘Laetitia’ após o período de armazenamento em diferentes condições de AC. O objetivo deste estudo foi caracterizar o perfil aromático de ameixas ‘Laetitia’ cultivadas em sistema orgânico e convencional, após o armazenamento refrigerado (AR) e em diferentes condições de atmosfera controlada (AC-LO, AC-ULO1, AC-ULO2, AC-ELO no sistema orgânico e AC-LO, AC-ULO, AC-ELO1 e AC-ELO no sistema convencional).

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

Ameixas ‘Laetitia’ foram colhidas em pomares comerciais de 18 e 20 anos de idade cultivados sobre porta-enxerto ‘Capdeboscq’ nos espaçamentos 5 × 1 m e 6 × 3 m, conduzidos no sistema em “Y” e “Taça” e manejados nos sistemas orgânico e convencional nas safras de 2018/2019 e 2019/2020 nos municípios de Lages (27° 49' 0" S, 50° 19' 35" W, Alt. 884 m) e Urubici (28° 00' 54" S, 49° 35' 30" W, Alt. 915 m), Santa Catarina, respectivamente. Os frutos foram colhidos no início da maturação (25 - 40% de cor vermelha da epiderme), colocados em caixas plásticas e transportados ao laboratório para as análises. No laboratório, as ameixas sem lesões, defeitos, ferimentos ou danos mecânicos foram homogeneizadas e aleatoriamente selecionadas para composição das amostras.

Na colheita, ameixas colhidas no pomar orgânico apresentavam firmeza de polpa de 74,0 N, acidez titulável (AT) de 1,70% de ácido málico, sólido solúveis (SS) de 11,0 °Brix e ângulo *hue* (°*h*) da epiderme de 64,5 e 81,1 nas regiões mais e menos vermelha dos frutos, respectivamente. Os frutos colhidos no pomar convencional apresentaram

firmeza de polpa de 77,1 N, AT de 1,62% de ácido málico, SS de 10,8 °Brix e °h da epiderme de 66,3 e 83,4 nas regiões mais e menos vermelha dos frutos, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com quatro repetições e unidade experimental de 25 frutos. Os tratamentos avaliados no sistema de produção orgânico foram armazenamento refrigerado (AR; 21 kPa O₂ + 0,03 kPa CO₂), atmosfera controlada com baixo O₂ (AC-LO; 2 kPa de O₂); duas condições de AC com ultrabaixo O₂ (AC-ULO1; 1 kPa de O₂; e AC-ULO2; 0,7 kPa de O₂); e AC com extremamente baixo O₂ (AC-ELO; 0,5 kPa de O₂), combinados com 1,2 kPa de CO₂. No sistema de produção convencional foram armazenamento refrigerado (AR; 21 kPa O₂ + 0,03 kPa CO₂), AC com baixo O₂ (AC-LO; 2 kPa de O₂); AC com ultrabaixo O₂ (AC-ULO; 1 kPa de O₂); e duas AC com extremamente baixo O₂ (AC-ELO1; 0,5 kPa de O₂; e AC-ELO2; 0,25 kPa de O₂), combinados com 1 kPa de CO₂. No sistema de produção orgânico e convencional, os frutos ficaram armazenados por 50 dias em temperatura de 1,7 ± 0,1°C e umidade relativa do ar (UR) de 96 ± 2% e 47 dias em temperatura de 1,5 ± 0,1°C e UR de 96 ± 2%, respectivamente.

Após o armazenamento, os frutos foram mantidos em sala climatizada sob temperatura de 20 ± 2 °C e umidade relativa do ar de 60 ± 5% por 5 dias de *shelf life*. O perfil aromático foi avaliado aos 5 dias de *shelf life* retirando-se uma amostra de cada fruto, seccionado no sentido longitudinal em forma de cunha, a qual foi triturada em um mixer RI1364 (Philips Walita, S.A., Varginha, Minas Gerais, Brasil) e armazenada em ultrafreezer.

Para avaliação dos voláteis emitidos pelos extratos dos frutos foi utilizado uma fibra de microextração em fase sólida (SPME, em inglês Solid Phase Micro Extration, Sigma-Aldrich Co., Missouri, EUA) contendo divinilbenzeno/carboxeno/polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) (50/30, Supelco, Sigma-Aldrich Co.). Para isso, amostras de extratos de frutos de 2 g foram pesadas em balança analítica e adicionado 3 g de NaCl + 2 mL de água Mili-Q em um tubo tipo vial de 40 mL. Os tubos foram mantidos a 40 °C sob agitação magnética por 30 minutos (10 minutos de incubação + 20 minutos de extração). A dessorção térmica dos voláteis ocorreu imediatamente após a adsorção. Para isso, a fibra foi exposta ao injetor cromatográfico gasoso Claus 680 (PerkinElmer Inc., Massachusetts, EUA), equipado com coluna capilar apolar Elite 5MS (30 m de comprimento × 0,25 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura do filme) acoplado a um espectrômetro de massas Clarus SQ8S (PerkinElmer Inc.). As análises foram realizadas utilizando uma rampa de

aquecimento com temperatura inicial de 30 °C com elevação da temperatura de 1 °C min⁻¹ até 49 °C, depois 10 °C min⁻¹ até 180 °C, mantendo-se por 2 minutos. A identificação dos compostos foi realizada por meio da probabilidade da similaridade com os dados disponíveis na biblioteca (software NIST) do equipamento.

A concentração dos voláteis identificados foi estimada por semiquantificação (RUIZ-HERNÁNDEZ *et al.*, 2018) utilizando 2 µL do padrão de n-alcenos C7-C40, lidos nas mesmas configurações da análise das amostras.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas ameixas produzidas no sistema orgânico foram identificados sete aldeídos e suas concentrações variaram em função das condições de armazenamento (Tabela 6). Enquanto as concentrações do decanal e nonanal foram maiores nos frutos armazenados em AC-LO, a concentração de E-2-hexenal foi maior em AC-ULO1, AC-ULO2 e AC-ELO do que em AR. As concentrações de 3-metil-butanal e E-2-octenal foram menores em AC-ULO2, comparativamente aos demais tratamentos e a concentração de acetaldeído aumentou à medida que se reduziu a pressão parcial de O₂ (Tabela 6). Resultados similares foram reportados por Both *et al.* (2014), onde observaram que a redução da pressão parcial de O₂ aumentou significativamente a concentração dos aldeídos E-2-hexenal e benzaldeído, enquanto o butanal e 3-metilbutanal permaneceram em maiores concentrações com O₂ mais elevado, no armazenamento de maçãs ‘Royal Gala’.

Em ameixas cultivadas no sistema convencional, a concentração de decanal nos frutos foi similar entre AR e AC-ULO e as concentrações de nonanal e E-2-hexenal foram similares entre as diferentes condições de armazenamento. A concentração de hexenal foi menor em AC-ELO2 e AR, comparativamente a AC-LO (Tabela 7). Os aldeídos de seis carbonos derivam dos ácidos graxos insaturados (linoleico e linolênico) (BATE; ROTHSTEIN, 1998) por meio da ação da enzima lipoxigenase (LOX) que os converte à hidroperóxido (KLEE; TIEMAN, 2018). Posteriormente, o hidroperóxido é metabolizado à aldeídos por meio da ação da hidroperóxido liase (CHEN *et al.*, 2004). No entanto, as condições de atmosfera controlada podem modificar a dinâmica de produção de aldeídos de seis carbonos (LARA *et al.*, 2007). Por exemplo, SALAS *et al.* (2016) observaram uma redução da produção de aldeídos em maçãs ‘Golden Delicious’ após cinco meses de armazenamento em AC com 2 kPa de O₂ + 3 kPa de CO₂, visto que a baixa pressão parcial

de O₂ reduziu a atividade da LOX, limitando a síntese de aldeídos. No presente trabalho, a redução da pressão parcial de O₂ impactou de forma diferente na concentração dos aldeídos de seis carbonos. Enquanto a concentração de E-2-hexenal foi similar nos frutos armazenados em AC, a concentração de hexanal foi menor em frutos armazenados em AC com menor pressão parcial de O₂. Provavelmente, isso sugere que o armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ sob condições de AC com extremamente baixas pressões parciais de O₂ atue, em algum grau, na regulação da enzima hidroperóxido liase, podendo redirecionar a rota metabólica para a manutenção da produção do E-2-hexenal à hexanal, visto que o hidroperóxido é o substrato comum para a síntese destes aldeídos (CHEN *et al.*, 2004).

Em ambos os sistemas de produção de ameixas ‘Laetitia’, os álcoois 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol, 3-hexen-1-ol e etanol foram os mais relevantes (exceto para 2-etil-1-hexanol) e as suas concentrações variaram em função das condições de armazenamentos dos frutos (Tabelas 6 e 7). Em ameixas ‘Laetitia’ colhidas em pomar orgânico, as condições AC-ULO1 e AC-ULO2 proporcionaram maiores concentrações de 3-hexen-1-ol e 1-hexanol quando comparadas com frutos armazenados em AR e AC-LO. Não foi observada diferença significativa entre os tratamentos para a concentração de 1-octen-3-ol. Porém, a concentração de Z-2-hexen-1-ol foi maior em AC-ELO, comparativamente aos demais tratamentos.

No sistema convencional, a concentração de 1-hexanol em ameixas ‘Laetitia’ foi maior em AR e em AC-LO do que nos frutos armazenados em AC-ELO2 (Tabela 7). Por sua vez, a concentração de 3-hexen-1-ol foi maior em frutos armazenados em AC-LO e AC-ULO, comparativamente aqueles mantidos sob AC-ELO1. Porém, as concentrações de 1-octanol e Z-2-hexen-1-ol nos frutos foram similares entre AR e as diferentes condições de AC utilizadas nos testes. Tanto no sistema orgânico quanto no convencional, a maior concentração de etanol foi registrada em ameixas armazenadas em AC-ELO e AC-ELO2, respectivamente. As baixas concentrações de O₂ podem induzir mudanças na concentração dos compostos e ativar o metabolismo fermentativo (BIAS *et al.*, 2009), aumentando a concentração de etanol (BUI *et al.*, 2019). Apesar do etanol servir como substrato para formação de etil ésteres (LIU *et al.*, 2012; WANG *et al.*, 2019), em concentrações elevadas, pode inibir competitivamente a formação de outros ésteres (DIXSON; HEWETT, 2000), sintetizados a partir de outros álcoois como, por exemplo, aqueles originados a partir do 1-hexanol (TIES; BARRINGER, 2012; QIN *et al.*, 2014; TANG *et al.*, 2015), 1-butanol e 2-metil-1-butanol (THEWES *et al.*, 2017). Vale destacar

que a concentração do substrato alcoólico presente no tecido dos frutos apresenta relevância na composição do perfil dos ésteres formados (THEWES *et al.*, 2017), visto que a atividade da álcool acil transferase (AAT-enzima que converte álcool à éster) é modulada, dentre outros fatores, pela concentração do seu precursor (SOULEYRE *et al.*, 2005) e pelo estágio de maturação dos frutos (HOLLAND *et al.*, 2005).

Durante o armazenamento dos frutos em AC, a dinâmica de formação de ésteres pode ser comprometida pela concentração de O₂ (THEWES *et al.*, 2017). A baixa pressão parcial de O₂ pode restringir a disponibilidade de precursores para a síntese de ésteres, uma vez que limita a β -oxidação dos ácidos graxos (ECHEVERRÍA *et al.*, 2003). Por outro lado, há cenários que apesar de haver a disponibilidade de substrato, a síntese de ésteres pode ser limitada por meio da redução da atividade da AAT (ZHU *et al.*, 2015; YANG *et al.*, 2016). No presente estudo, as menores pressões parciais de O₂ (AC-ULO2 e AC-ELO para ameixas ‘Laetitia’ cultivadas nos sistemas orgânico e AC-ELO1 e AC-ELO2 no sistema e convencional) não reduziram o número de ésteres formados, visto que os ésteres foram igualmente identificados e apresentaram concentrações similares ou superiores do que nos demais tratamentos (Tabelas 6 e 7).

Os aldeídos contendo cadeia principal entre três e cinco carbonos tendem a fornecer características aromáticas frutadas (LEE *et al.*, 2013; CULLERÉ *et al.*, 2004). À medida que a cadeia carbônica aumenta para mais de seis carbonos, os compostos passam a fornecer características aromáticas florais e gordurosas (PÉREZ *et al.*, 2003). Os aldeídos de cadeias carbônicas pequenas e insaturadas, apresentando conformação de isomeria E e Z tendem a ter maior limite de percepção sensorial (MAHAJAN *et al.*, 2004). Por outro lado, à medida que se aumenta a cadeia carbônica de aldeídos alifáticos e insaturados, há uma redução progressiva no limite de percepção sensorial do aroma dos frutos (GUADAGNI *et al.*, 1963).

Tabela 6 - Perfil aromático e concentração de compostos voláteis ($\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcenos C7-C40) produzidos em ameixas 'Laetitia' cultivadas no sistema orgânico e armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O_2 (AC-LO/2 kPa de O_2 ; AC-ULO1/1 kPa de O_2 ; AC-ULO2/0,7 kPa de O_2 ; e AC-ELO/0,5 kPa de O_2) combinadas com 1,2 kPa de CO_2 , ou sob refrigeração (AR/21 kPa O_2 +0,03 kPa CO_2) por 50 dias de armazenamento ($1,7 \pm 0,9$ °C/UR de $96 \pm 2\%$) seguido por cinco dias de shelf life (20 ± 2 °C/UR de $65 \pm 5\%$). (continua)

Composto	Condição de armazenamento ¹					Valor de <i>P</i>	DP
	AR	AC-LO	AC-ULO1	AC-ULO2	AC-ELO		
Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$)							
<i>Aldeídos</i>							
3-metil butanal	0,005 a	0,018 a	ND	0,003 b	ND	0,0005	0,007
Acetaldeído	0,012 b	ND	0,010 b	0,015 ab	0,025 a	0,0021	0,004
Decanal	0,0008 b	0,002 a	0,0007 b	0,0008 b	0,0007 b	0,0001	0,001
E-2-hexenal	0,048 b	0,086 ab	0,093 a	0,121 a	0,105 a	0,0007	0,02
E-2-octenal	0,008 b	0,016 a	ND	0,003 c	ND	0,0001	0,006
Hexanal	0,103 b	0,129 b	0,140 b	0,188 a	0,060 c	0,0001	0,04
Nonanal	0,0011 b	0,0029 a	0,0010 b	0,0014 b	0,0013 b	0,0001	0,001
<i>Álcoois</i>							
2-etil-1-hexanol	0,208 a	0,209 a	0,247 a	0,204 a	0,175 a	0,1014	0,04
1-butanol	0,045 a	0,016 b	0,033 a	0,033 a	0,008 b	0,0001	0,01
1-hexanol	0,239 b	0,221 b	0,382 a	0,405 a	0,278 ab	0,0029	0,09
1-octen-3-ol	0,056 a	0,069 a	0,049 a	0,052 a	0,055 a	0,7235	0,02
2-metil-1-propanol	0,010 b	0,020 a	0,007 b	ND	0,010 b	0,0001	0,005
2-metil-2-buten-1-ol	0,006 a	ND	0,009 a	0,01 a	ND	0,6501	0,01
3-hexen-1-ol	0,145 b	0,139 b	0,273 a	0,251 a	0,196 ab	0,0027	0,07
3-metil-1-butanol	0,029 a	0,018 b	0,018 b	ND	0,017 b	0,0206	0,007
4,7-dimetil-4-octanol	0,003 b	0,008 a	ND	ND	0,004 b	0,0052	0,002
4-amino-1-butanol	0,004 ab	0,005 a	0,003 b	ND	ND	0,0360	0,001
Etanol	0,824 bc	0,519 d	0,620 cd	1,150 b	3,137 a	0,0001	0,29
Z-2-hexen-1-ol	0,048 b	0,040 b	0,034 b	0,037 b	0,092 a	0,0014	0,03

Tabela 6 – Perfil aromático e concentração de compostos voláteis ($\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcenos C₇-C₄₀) produzidos em ameixas ‘Laetitia’ cultivadas no sistema orgânico e armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO1/1 kPa de O₂; AC-ULO2/0,7 kPa de O₂; e AC-ELO/0,5 kPa de O₂) combinadas com 1,2 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂+0,03 kPa CO₂) por 50 dias de armazenamento ($1,7 \pm 0,9$ °C/UR de $96 \pm 2\%$) seguido por cinco dias de *shelf life* (20 ± 2 °C/UR de $65 \pm 5\%$). (conclusão)

Composto	Condição de armazenamento ¹					Valor de P	DP
	AR	AC-LO	AC-ULO1	AC-ULO2	AC-ELO		
Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$)							
<i>Ésteres</i>							
Acetato de 2-etilhexila	0,002 b	0,007 a	0,002 b	ND	0,001 b	0,0001	0,002
Acetato de etila	0,038 b	0,089 a	0,047 ab	0,023 b	0,090 a	0,0015	0,034
Acetato de hexila	0,0041 ab	ND	0,0022 b	0,0027 b	0,0050 a	0,0039	0,001
Butanoato de butila	0,0015 b	ND	0,0021 a	0,0019 ab	ND	0,0318	0,0003
Butanoato de etila	0,052 ab	0,056 a	0,052 ab	0,046 ab	0,034 b	0,0138	0,010
Butanoato de hexila	0,002 a	ND	0,001 a	0,001 a	ND	0,0699	0,0004
E-3-hexenil acetato	0,011 ab	0,018 a	0,007 b	0,005 b	0,012 ab	0,0047	0,005
Hexanoato de etila	0,008 c	0,018 a	0,008 c	0,013 b	0,012 b	0,0001	0,00413
Octanoato de etila	0,0017 ab	ND	0,0014 b	0,0021 a	0,0019 ab	0,0156	0,0004
Z-2-etil butenoato	0,019 a	0,019 a	0,022 a	0,015 a	0,026 a	0,1097	0,006
Z-3-hexenil acetato	0,003 b	ND	0,002 b	ND	0,008 a	0,0021	0,003
<i>Cetona</i>							
6-metil-5-hepten-2-ona	0,015 a	0,005 c	ND	0,007 bc	0,010 b	0,0003	0,004
<i>Terpenos</i>							
Eucaliptol	0,001	ND	ND	ND	ND	-	-
Linalool	0,0009 a	ND	0,0007 a	0,0007 a	ND	0,1913	0,0001

¹Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

DP: Desvio padrão.

Tabela 7 - Perfil aromático e concentração de compostos voláteis ($\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcenos C7-C40) produzidos em ameixas 'Laetitia' cultivadas no sistema convencional e armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O_2 (AC-LO/2 kPa de O_2 ; AC-ULO/1 kPa de O_2 ; AC-ELO1/0,5 kPa de O_2 ; e AC-ELO2/0,25 kPa de O_2) combinadas com 1 kPa de CO_2 , ou sob refrigeração (AR/21 kPa O_2 +0,03 kPa CO_2) por 47 dias de armazenamento ($1,5 \pm 0,9$ °C/UR de $96 \pm 2\%$) seguido por cinco dias de *shelf life* (20 ± 2 °C/UR de $65 \pm 5\%$). (continua)

Composto	Condição de armazenamento ¹					Valor de <i>P</i>	DP
	AR	AC-LO	AC-ULO	AC-ELO1	AC-ELO2		
Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$)							
<i>Aldeídos</i>							
Decanal	0,001 a	ND	0,001 a	ND	ND	0,5420	0,0002
E-2-hexenal	0,081 a	0,131 a	0,092 a	0,101 a	0,089 a	0,4445	0,038
Hexanal	0,073 b	0,297 a	0,154 ab	0,158 ab	0,064 b	0,0209	0,110
Nonanal	0,006 a	0,005 a	0,007 a	0,004 a	0,004 a	0,6754	0,246
<i>Álcoois</i>							
2-etil-1-hexanol	0,397 a	0,757 a	0,523 a	0,553 a	0,535 a	0,2735	0,226
1-butanol	0,030 ab	0,042 a	0,012 bc	0,008 c	ND	0,0008	0,015
1-hexanol	0,774 a	0,840 a	0,609 ab	0,636 ab	0,451 b	0,0070	0,182
1-octanol	0,004 a	0,005 a	0,003 a	0,003 a	ND	0,1281	0,001
3-hexen-1-ol	ND	0,450 a	0,356 a	0,010 b	0,230 ab	0,0024	0,205
Etanol	0,142 b	0,125 b	0,097 b	0,190 b	1,703 a	0,0001	0,655
Z-2-hexen-1-ol	0,087 a	0,041 a	0,045 a	0,052 a	0,055 a	0,1105	0,025
<i>Ésteres</i>							
4Z-4-hexenil acetato	0,009 b	0,014 b	0,016 b	0,019 ab	0,077 a	0,0172	0,035
Acetato de 2-etilhexila	0,006 a	0,007 a	0,005 a	0,005 a	0,005 a	0,0790	0,001
Acetato de etila	ND	ND	ND	ND	0,037	-	-
Acetato de hexila	0,003 b	0,008 ab	0,008 ab	0,008 ab	0,025 a	0,0419	0,011
Butanoato de butila	0,027 bc	0,046 b	ND	0,011 c	0,102 a	0,0001	0,036
Butanoato de etila	0,011 b	ND	ND	0,020 ab	0,063 a	0,0352	0,032
Butanoato de hexila	0,008 a	0,007 a	0,005 a	0,004 a	0,002 a	0,1681	0,003
Z-3 hexenil butirato	0,004 b	0,008 a	0,004 b	0,005 b	0,003 b	0,0006	0,002

Tabela 7 – Perfil aromático e concentração de compostos voláteis ($\mu\text{g g}^{-1}$ de massa fresca expresso em equivalente de n-alcenos C₇-C₄₀) produzidos em ameixas ‘Laetitia’ cultivadas no sistema convencional e armazenadas em atmosfera controlada (AC), com diferentes pressões parciais de O₂ (AC-LO/2 kPa de O₂; AC-ULO/1 kPa de O₂; AC-ELO1/0,5 kPa de O₂; e AC-ELO2/0,25 kPa de O₂) combinadas com 1 kPa de CO₂, ou sob refrigeração (AR/21 kPa O₂+0,03 kPa CO₂) por 47 dias de armazenamento ($1,5 \pm 0,9$ °C/UR de $96 \pm 2\%$) seguido por cinco dias de *shelf life* (20 ± 2 °C/UR de $65 \pm 5\%$). (conclusão)

Composto	Condição de armazenamento ¹					Valor de <i>P</i>	DP
	AR	AC-LO	AC-ULO	AC-ELO1	AC-ELO2		
Concentração ($\mu\text{g g}^{-1}$)							
Z-3-hexenil acetato	ND	ND	ND	0,002 b	0,016 a	0,0297	0,009
Hexanoato de etila	0,004 b	0,003 b	0,003 b	0,015 b	0,067 a	0,0015	0,029
<i>Hidrocarboneto</i>							
O-cimeno	ND	0,006 a	0,006 a	0,005 a	0,007 a	0,9819	0,004
<i>Terpenos</i>							
4-terpineol	0,016 a	0,026 a	0,018 a	0,022 a	0,016 a	0,6006	0,009
Linalool	0,002 a	0,005 a	0,002 a	0,003 a	0,001 a	0,0949	0,002
α -terpineol	0,003 a	0,004 ab	0,003 b	0,004 b	0,012 a	0,0136	0,334
β -ciclocitral	0,001 b	0,002 a	0,001 b	0,001 b	0,001 b	0,0030	0,0003

¹Médias seguidas por letras diferentes na linha, diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

DP: Desvio padrão.

Em ambientes com restrições de O₂ pode haver um aumento acentuado na expressão de isoformas específicas da enzima álcool desidrogenase, levando a formação e o acúmulo de compostos indesejados, como acetaldeído, etanol em concentrações elevadas e acetato de etila (MAOZ *et al.*, 2019), que provocam a redução da qualidade dos frutos (PÉREZ; SANZ, 2001) e a formação de *off-aroma* (FORNEY; KALT; JORDAN, 2000; ALMENAR *et al.*, 2006). Por outro lado, vale ressaltar que em bebidas elaboradas a partir do processo fermentativo (por exemplo: vinhos), o etanol é utilizado como um modulador da percepção do aroma, visto que em baixas concentrações fornece características frutadas, enquanto em altas concentrações fornece características herbáceas (GOLDNER *et al.*, 2009).

A formação de ésteres também está associada à produção de etileno, uma vez que, este hormônio regula a atividade da enzima AAT (DEFILIPPI *et al.*, 2005). Em condições de AC, a baixa pressão parcial de O₂ pode inibir a produção de etileno tanto pela redução da atividade da enzima ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano oxidase (ACC oxidase) (THEWES *et al.*, 2017), quanto pelo incremento de etanol na polpa dos frutos (ASODA *et al.*, 2009; JIN *et al.*, 2013; WEBER *et al.*, 2016). Nesse sentido, em ambos os cenários a formação de ésteres pode ser limitada por meio da redução da atividade da AAT. Apesar da redução na produção de etileno (informações contidas no capítulo 1 desta tese) e do aumento na concentração de etanol em ameixas armazenadas em AC com menor pressão parcial de O₂, houve aumento da concentração de acetato de etila (Tabela 6) e 4Z-4-hexenil acetato, butanoato de butila, butanoato de etila e hexanoato de etila (Tabela 7) em ameixas produzidas nos sistemas orgânico e convencional, respectivamente, sugerindo que não houve redução da atividade da AAT e que o etanol serviu como substrato para a síntese de ésteres.

Embora, no presente estudo tenha sido identificado uma cetona (6-metil-5-hepten-2-ona) e dois terpenos (eucaliptol e linalool) em ameixas ‘Laetitia’ produzidas no sistema orgânico (Tabela 6) e um hidrocarboneto (O-cimeno) e quatro terpenos (4-terpineol, linalool, α -terpineol e β -ciclocitral) em frutos produzidos no sistema convencional (Tabela 7), as suas concentrações foram extremamente baixas. Dessa forma, tiveram menor contribuição na definição do aroma dos frutos.

6.4 CONCLUSÕES

Os aldeídos E-2-hexenal e hexanal e os álcoois 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol são os compostos voláteis com maior participação na definição do aroma de ameixas ‘Laetitia’ manejadas sob o sistema orgânico e convencional de produção.

No sistema orgânico de produção, a redução da pressão parcial de O₂ aumenta a participação de E-2-hexenal, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol na composição do aroma de ameixas 'Laetitia'. No sistema convencional, a redução da pressão parcial de O₂ diminuí a participação de 1-hexanol na composição do perfil aromático de ameixas 'Laetitia'.

Os compostos ésteres apresentam baixa relevância na composição do perfil aromático de ameixas 'Laetitia' manejadas sob sistema orgânico e convencional de produção.

O armazenamento de ameixas 'Laetitia' em AC-ELO (0,5 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂) no sistema de manejo orgânico e AC-ELO2 (0,25 kPa de O₂ + 1 kPa de CO₂) no sistema de manejo convencional aumenta significativamente a participação do etanol na composição do aroma dos frutos.

REFERÊNCIAS

- ALMENAR, E.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; LAGARÓN, J.M.; CATALÁ, R.; GAVARA, R. Controlled atmosphere storage of wild strawberry fruit (*Fragaria vesca* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 86–91, 2006.
- ARGENTA, L. C.; KRAMMES, J. G.; MEGGUER, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; MATTHEIS, J. Ripening and quality of ‘Laetitia’ plums following harvest and cold storage as affected by inhibition of ethylene action. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1139-1148, 2003.
- ASODA, T.; TERAJ, H.; KATO, M.; SUZUKI, Y. Effects of postharvest ethanol vapor treatment on ethylene responsiveness in broccoli. **Postharvest Biology and Technology**, n. 52, p. 216–220, 2009.
- BATE, N.; ROTHSTEIN, S. C6-volatiles derived from the lipoxygenase pathway induce a subset of defense-related genes. **The Plant Journal**, v. 16, n. 5, p. 561-569, 1998.
- BIAIS, B.; ALLWOOD, J.W.; DEBORDE, C.; XU, Y.; MAUCOURT, M.; BEAUVOIT, B.; DUNN, W.B.; JACOB, D.; GOODACRE, R.; ROLIN, D.; MOING, A. 1H NMR, GC-EI-TOFMS, and data set correlation for fruit metabolomics: Application to spatial metabolite analysis in melon. **Analytical Chemistry**, v. 81, n. 8, p. 2884–2894, 2009.
- BOTH, V.; BRACKMANN, A.; THEWES, F. R.; FERREIRA, D. F.; WAGNER, R. Effect of storage under extremely low oxygen on the volatile composition of ‘Royal Gala’ apples. **Food Chemistry**, n. 156, p. 50-57, 2014.
- BUI, L. T.; NOVI, G.; LOMBARDI, L.; IANNUZZI, C.; ROSSI, J.; SANTANIELLO, A.; MENSUALI, A.; CORBINEAU, F.; GIUNTOLI, B.; PERATA, P.; ZAFFAGNINI, M.; LICAUSI, F. Conservation of ethanol fermentation and its regulation in land plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 70, n. 6, p. 1815-1827, 2019.
- CHEN, G.; HACKETT, R.; WALKER, D.; TAYLOR, A.; LIN, Z.; GRIERSON, D. Identification of a specific isoform of tomato lipoxygenase (TomloxC) involved in the generation of fatty acid-derived flavor compounds. **Plant Physiology**, v. 136, n. 1, p. 2641–2651, 2004.
- CULLERÉ, L.; CACHO, J.; FERREIRA, V. Analysis for wine C5-C8 aldehydes through the determination of their O-(2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl) oximes formed directly in the solid phase extraction cartridge. **Analytical Chimica Acta**, v. 524, p. 201–206, 2004.
- DALBÓ, M. A. Mutação auto fértil do cultivar Letícia é nova opção para produtores de ameixas do Sul do Brasil. **Epagri**, 2021. Disponível em <https://saojoaquimonline.com.br/noticias/2021/12/29/mutacao-autofertil-do-cultivar-leticia-e-nova-opcao-para-produtores-de-ameixas-do-sul-do-brasil/#:~:text=Buscar-,Muta%C3%A7%C3%A3o%20autof%C3%A9rtil%20do%20cultivar%20Let%C3%ADcia%20%C3%A9%20nova%20op%C3%A7%C3%A3o%20para,ameixas%20do%20Sul%20do%20Brasil&text=O%20fruticultor%20Hermes%20Coser%2C%20de,ao%20cultivar%20original%2C%20a%20Let%C3%ADcia..> Acesso em: 30 de mar. de 2022.

DEFILIPPI, B.G.; KADER, A.A.; DANDEKAR, A.M. Apple aroma: alcohol acyltransferase, a rate limiting step for ester biosynthesis, is regulated by ethylene. **Plant Science**, n. 168, p. 1199–1210, 2005.

DIETRICH, A. The sense of smell: contributions of orthonasal and retronasal perception applied to metallic flavor of drinking water. **Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA**, n. 58, p. 562-570, 2009.

DIXON, J.; HEWETT, E.W. Exposure to hypoxia conditions alters volatile concentrations of apple cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 1, p. 22–29, 2001.

ECHEVERRÍA, G.; FUENTES, T.; GRAELL, J.; LÓPEZ, M.L. Relationships between volatile production, fruit quality and sensory evaluations of Fuji apples store in different atmospheres by means of multivariate analysis. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, p. 5–20, 2003.

EMONGOR, V.E.; RAMAGONONO, G. Storage temperature influences postharvest quality of wild plum (*Ximmenia americana* L.) fruit. **Ghana Journal of Science**, v. 60, n. 2, p. 1-10, 2019.

FIORAVANÇO, J. C.; NACHTIGALL, G. R.; ANDOLFATO, W. **Avaliação Agronômica da Ameixeira ‘Letícia’ em Vacaria, RS**. Circular Técnica n. 122, Embrapa, set. 2015.

FORNEY, C. F.; KALT, W.; JORDAN, M. A. The composition of strawberry aroma is influenced by cultivar, maturity and storage. **Horticultural Science**, v. 35, n. 6, p. 1022–1026, 2000.

GALVAO, M. S.; NUNES, M. L.; CONSTANT, P. B. L.; NARAIN, N. Identification of volatile compounds in cultivars Barker, Collinson, Fortuna and Geada of avocado (*Persea americana* Mill.) fruit. **Food Science and Technology**, v. 36, n. 3, p. 439-447, 2016.

GOLDNER, M. C.; ZAMORA, M. C.; LIRA, P. Di L.; GIANNINOTO, H.; BANDONI, A. Effect of ethanol level in the perception of aroma attributes and the detection of volatile compounds in red wine. **Journal of Sensory Studies**, n. 24, p. 243-257, 2009.

GOMES, B. L.; FABÍ, J. P.; PURGATTO, E. Cold storage affects the volatile profile and expression of a putative linalool synthase of papaya fruit. **Food Research International**, v. 89, p. 654-660, 2016.

GUADAGNI, D. G.; BUTTERY, R. G.; OKANO, S. Odour thresholds of some organic compounds associated with food flavours. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 14, p. 761–765, 1963.

GUERRA, M. E.; CORRALES, M. L.; WÜNSCH, A.; RODRIGO, J. Ciruelo japonés: descripción varietal y situación del cultivo. **Revista de Fruticultura**, v. 1, p. 3-12, 2009.

GWANPUA, S. G.; VERLINDEN, B. E.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; BULENS, I.; VAN DE POEL, B.; VAN IMPE, J.; NICOLAÏ, B.M.; GEERAERD, A. H. Kinetic modeling of firmness breakdown in ‘Braeburn’ apples stored under different controlled atmosphere conditions. **Postharvest Biology and Technology**, n. 67, p. 68-74, 2012.

HO, P. L.; TRAN, D. T.; HERTOOG, M. L. A. T. M.; NICOLAÏ, B. M. Effect of controlled atmosphere storage on the quality attributes and volatile organic compounds profile of dragon fruit (*Hylocereus undatus*). **Postharvest Biology and Technology**, n. 111406, p. 1-12, 2020.

HOLLAND, D.; LARKOV, O.; BAR-YA'AKOV, I.; BAR, E.; ZAX, A.; BRANDEIS, E.; RAVID, U.; LEWINSOHN, E. Developmental and varietal differences in volatile ester formation and acetyl-CoA: alcohol acetyl transferase activities in apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 53, p. 7198–7203, 2005.

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

KLEE, H. J.; TIEMAN, D. M. The genetics of fruit flavour preferences. **Nature Reviews Genetics**, n. 19, p. 347–356, 2018

LARA I.; ECHEVERRÍA, G.; GRAELL, J.; LÓPEZ, M. L. Volatile emission after controlled atmosphere storage of Mondial Gala apples (*Malus domestica*): Relationship to some involved enzyme activities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 55, p. 6087-6095, 2007.

LEE, J.; CHAMBERS, D.; CHAMBERS, E.; ADHIKARI, K.; YOON, Y. Volatile aroma compounds in various brewed green teas. **Molecules**, v. 18, n. 8, p. 10024–10041, 2013.

LIU, W. W.; QI, H. Y.; XU, B. H.; LI, Y.; TIAN, X. B.; JIANG, Y. Y.; XU, X. F.; LV, D. Q. 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.

LUM, G. B.; DEELL, J. R.; HOOVER, G. J.; SUBEDI, S.; SHELP, B. J.; BOZZO, G. G. 1-Methylcyclopropene and controlled atmosphere modulate oxidative stress metabolism and reduce senescence-related disorders in stored pear fruit. **Postharvest Biology and Technology**, n. 129, p. 52-63, 2017.

LUMPKIN, C.; FELLMAN, J. K.; RUDELL, D. R.; MATTHEIS, J. P. 'Fuji' apple (*Malus domestica* Borkh.) volatile production during high CO₂ controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, n. 100, p. 234-243, 2014.

MA, Y.; LI, S.; YIN, X.; XING, Y.; LIN, H. Effects of controlled atmosphere on the storage quality and aroma compounds of lemon fruits using the designed automatic control apparatus. **BioMed Research International**, p. 1-17, 2019.

MAHAJAN, S. S.; GODDIK, L.; QIAN, M. C. Aroma compounds in sweet whey powder. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 12, p. 4057–4063, 2004.

MAJIDI, H.; MINAEI, S.; ALMASSI, M.; MOSTOFI, Y. Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 2155-2161, 2012.

- MAOZ, I.; DE ROSSO, M.; KAPLUNOV, T.; VEDOVA, A.D.; SELA, N.; FLAMINI, R.; LEWINSOHN, E.; LICHTER, A. Metabolomic and transcriptomic changes underlying cold and anaerobic stresses after storage of table grapes. **Scientific Report**, v. 9, n. 2917, p. 1–14, 2019.
- MESQUITA, P. R. R.; PENA, L. C.; DOS SANTOS, F. N.; OLIVEIRA, C. C.; MAGALHÃES-JUNIOR, J. T.; NASCIMENTO, A. S.; RODRIGUES, F. M. Mango (*Mangifera indica*) aroma discriminate cultivars and ripeness stages. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 31, n. 7, p. 1424-1433, 2020.
- MIHAYLOVA, D.; POPOVA, A.; VRANCHEVA, R.; DINCHEVA, I. HS-SPME-GC–MS volatile profile characterization of peach (*Prunus persica* L. Batsch) varieties grown in the Eastern Balkan Peninsula. **Plants**, v. 11, n. 166, p. 1-16, 2021.
- PAULAUSKIENE, A.; TARASEVICIENE, Z.; ŽEBRAUSKIENE, A.; PRANCKIETIENE, I. Effect of controlled atmosphere storage conditions on the chemical composition of super hardy kiwifruit. **Agronomy**, v. 10, n. 822, p. 1-9, 2020.
- PÉREZ, A. G.; LUACES, P.; RÍOS, J. J.; GARCÍA, J. M.; SANZ, C. Modification of volatile compound profile of virgin olive oil due to hot-water treatment of olive fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 22, p. 6544–6549, 2003.
- PÉREZ, A.G.; SANZ, C. Effect of high-oxygen and high-carbon-dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 5, p. 2370–2375, 2001.
- POTT, D. M.; VALLARINO, J. G.; OSORIO, S. Metabolite Changes during postharvest storage: Effects on fruit quality traits. **Metabolites**, v. 10, n. 187, p. 1-24, 2020.
- PRANGE, R. K.; DELONG, J. M. Controlled–atmosphere related disorders of fruits and vegetables. **Stewart Postharvest Review**, n. 5, p. 1–10, 2006.
- QIN, G.; TAO, S.; ZHANG, H.; HUANG, W.; WU, J.; XU, Y.; ZHANG, S. Evolution of the aroma volatiles of pear fruits supplemented with fatty acid metabolic precursors. **Molecules**, v. 19, p. 20183–20196, 2014.
- RUIZ-HERNÁNDEZ, V.; ROCA, M. J.; EGEA-CORTINES, M.; WEISS, J. comparison of semi-quantitative methods suitable for establishing volatile profiles. **Plant Methods**, v. 14, n. 67, p. 1-15, 2018.
- SALAS, N. A.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; JACOBO-CUÉLLAR, J. L.; ESPINO, M.; SEPÚLVEDA, D.; GUERRERO, V.; OLIVAS, G. I. Volatile compounds in golden delicious apple fruit (*Malus domestica*) during cold storage. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 39, n. 2, p. 159-173, 2016.
- SOULEYRE, E. J. F.; GREENWOOD, D. R.; FRIEL, E. N.; KARUNAIRETNAM, S.; NEWCOMB, R. D. An alcohol acyl transferase from apple (cv. Royal Gala) MpAAT1, produces esters involved in apple fruit flavor. **The FEBS Journal**, n. 272, p. 3132–3144, 2005.

STANGER, M. C.; STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; CORRÊA, T. R.; TANAKA, H. Qualidade pós-colheita de ameixas ‘Camila’ e ‘Laetitia’ colhidas em diferentes estádios de maturação. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 214-221, 2014.

STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T.; ALVEZ, E. O.; BRACKMANN, A. Fruit quality preservation of ‘Laetitia’ plums under controlled atmosphere storage. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 86, n. 1, p. 485-494, 2014a.

STEFFENS, C. A.; TANAKA, H.; AMARANTE, C. V. T.; BRACKMANN, A.; STANGER, M. C.; HENDGES, M. V. Condições de atmosfera controlada para armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ tratadas com 1-metilciclopropano. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 750-756, 2013.

STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T.; ALVES, E. O.; BRACKMAN, A.; CORRÊA, T. R.; ESPINDOLA, B. P. Storage of ‘Laetitia’ plums (*Prunus salicina*) under controlled atmosphere conditions. **African Journal Biotechnology**, v. 13, n. 32, p. 3239-3243, 2014b.

TANG, Y.; ZHANG, C.; CAO, S.; WANG, X.; AND QI, H. The effect of CmLOXs on the production of volatile organic compounds in four aroma types of melon (*Cucumis melo*). **PLOS ONE**, v. 10, n. 11, p. 1–18, 2015.

THEWES, F. R.; BRACKMANN, A.; BOTH, V.; WEBER, A.; ANESE, R. O.; FERRÃO, T. S.; WAGNER, R. The different impacts of dynamic controlled atmosphere and controlled atmosphere storage in the quality attributes of ‘Fuji Suprema’ apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 130, p. 7-20, 2017.

TIES, P.; BARRINGER, S. Influence of lipid content and lipoxygenase on flavor volatiles in the tomato peel and flesh. **Journal of Food Science**, v. 77, n. 7, p. 830–837, 2012.

WANG, C.; ZHANG, W.; LI, H.; MAO, J.; GUO, C.; DING, R.; WANG, Y.; FANG, L.; CHEN, Z.; YANG, G. Analysis of Volatile Compounds in Pears by HS-SPME-GCxGC-TOFMS. **Molecules**, v. 24, n.1795, p. 1-10, 2019.

WANG, H.; MA, Y.; LI, M.; SHI, L.; ZHANG, S.; WANG, W.; ZHANG, L.; REN, Y.; YANG, Z. Volatiles of ripe fruit *Prunus salicina* L. cv. Friar as determined by gas chromatography-mass spectrophotometry as developed during cold storage. **International Journal of Food Properties**, v. 21, n. 1, p. 2622-2631, 2018.

WANG, L.; LUO, Z.; LI, J.; YANG, M.; YAN, J.; LU, H.; LI, D.; CHEN, C.; AGHDAM, M.S.; WU, B.; LI, L. Morphological and quality characterization of grape berry and rachis in response to postharvest 1-methylcyclopropane and elevated oxygen and carbon dioxide atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 153, p. 107–117, 2019.

WEBER, A.; BRACKMANN, A.; BOTH, V.; PAVANELLO, E. P.; ANESE, R. O.; SCHORR, M. R. W. Ethanol reduces ripening of ‘Royal Gala’ apples stored in controlled atmosphere. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 1, p. 403–410, 2016.

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**, n. 9, p. 1-13, 2020.

YANG, S.; HAO, N.; MENG, Z.; LI, Y.; ZHAO, Z. Identification, Comparison and Classification of Volatile Compounds in Peels of 40 Apple Cultivars by HS–SPME with GC–MS. **Foods**, v. 10, n.1051, p. 1-14, 2021.

YANG, X.; SONG, J.; DU, L.; FORNEY, C.; CAMPBELL-PALMER, L.; FILLMORE, S.; WISMER, P.; ZHANG, Z. Ethylene and 1-MCP regulate major volatile biosynthetic pathways in apple fruit. **Food Chemistry**, v. 194, p. 325-336, 2016.

ZHOU, H.; ZHANG, X.; SU, M.; DU, J.; LI, X.; ZHANG, M.; HU, Y.; HUAN, C.; YE, Z. Controlled atmosphere storage alleviates internal browning in flat peach fruit by regulating energy and sugar metabolisms. **Plant Physiology and Biochemistry**, n. 186, p. 107-120, 2022.

ZHU, X.; SHEN, L.; FU, D.; SI, Z.; WU, B.; CHEN, W.; LI, X. Effects of the combination treatment of 1-MCP and ethylene on the ripening of harvested banana fruit. **Postharvest Biology and Technology**, n. 107, p. 23–32, 2015.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese partiu das hipóteses de que 1) O armazenamento em atmosfera controlada com menores pressões parciais de O₂ reduzirá a incidência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’.; 2) Ameixas ‘Laetitia’ em estágios mais avançados de maturação apresentarão maior concentração e número de compostos voláteis; 3) O armazenamento em atmosfera controlada com menores pressões parciais de O₂ reduzirá a formação e a concentração de compostos aromáticos de ameixas ‘Laetitia’.

De acordo com os resultados observados, a hipótese 1 foi rejeitada, visto que a IEP foi similar entre AR e as condições de AC de 2 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂ e 0,5 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂. No entanto, as condições de AC de 1 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂ e 0,7 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂ reduziram significativamente o escurecimento interno de polpa dos frutos após 50 dias de armazenamento, seguidos por *shelf life* de até cinco dias.

Em relação a hipótese 2, apesar de não se observar aumento linear do número e da concentração dos compostos voláteis, o aroma das ameixas ‘Laetitia’ foi modificado significativamente do dia 0 para os 8 dias de *shelf life*. Os aldeídos E-2-hexenal e hexanal e os álcoois 2-etil-1-hexanol, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol são os principais compostos que definem o aroma de ameixas ‘Laetitia’ no sistema de produção orgânico. Após a colheita, o aroma dos frutos é caracterizado por apresentar notas verdes, picante, fresco e floral. Com o avanço do *shelf life*, o aroma passa a ser caracterizado principalmente por notas doces, alcoólico, flores e maçã. No sistema de produção convencional, os álcoois 1-hexanol, 3-hexen-1-ol e o Z-3-hexen-1-ol são os principais constituintes do aroma de ameixas ‘Laetitia’. Basicamente o aroma dos frutos é caracterizado por apresentar notas alcoólico, doce, verde e refrescante durante todo o *shelf life*.

A hipótese 3 deste trabalho não foi confirmada, uma vez que a redução da pressão parcial de oxigênio não reduziu sistematicamente a concentração e o número de compostos aromáticos de ameixas ‘Laetitia’. No sistema orgânico de produção, a redução da pressão parcial de O₂ aumenta a participação de E-2-hexenal, 1-hexanol e 3-hexen-1-ol na composição do aroma de ameixas ‘Laetitia’ e no sistema convencional, a redução da pressão parcial de O₂ diminuí a participação de 1-hexanol na composição do perfil aromático de ameixas ‘Laetitia’. Além disso, o armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ em AC-ELO (0,5 kPa de O₂ + 1,2 kPa de CO₂) no sistema de manejo orgânico e AC-ELO2 (0,25 kPa de O₂ + 1 kPa de CO₂) no sistema de manejo convencional aumenta significativamente a participação do etanol na composição do aroma dos frutos.

Por meio destes resultados espera-se fornecer alternativas de armazenamento de ameixas ‘Laetitia’ para os fruticultores, de modo a prolongar a qualidade dos frutos durante o *shelf life* e estimular o consumo de ameixas ‘Laetitia’ pelos consumidores devido a maior qualidade sensorial apresentada pelos frutos.