

MARCOS VINÍCIUS HENDGES

**FATORES PRÉ E PÓS-COLHEITA QUE AFETAM A
QUALIDADE DO FRUTO DURANTE O ARMAZENAMENTO
DE PERAS ‘CONFERENCE’ E ‘ALEXANDER LUCAS’**

Tese apresentada ao Centro de Ciências
Agroveterinárias da Universidade do
Estado de Santa Catarina, como requisito
parcial para obtenção do título de Doutor
em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano André
Steffens

**LAGES, SC
2015**

H497f Hendges, Marcos Vinicius
Fatores pré e pós-colheita que afetam a
qualidade do fruto durante o armazenamento de
peras 'Conference' e 'Alexander Lucas' / Marcos
Vinicius Hendges. - Lages, 2015.
232 p.: il.; 21 cm

Orientador: Cristiano André Steffens

Bibliografia: 167-183p.

Tese (doutorado) - Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal, Lages, 2015.

1. *Pyrus communis*. 2. Compostos aromáticos. 3.
Ultra baixo oxigênio. 4. Escaldadura. 5.
Escurecimento interno. I. Hendges, Marcos
Vinicius. II. Steffens, Cristiano André. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa
de Pós-Graduação em Produção Vegetal. IV. Título

CDD: 634.13 - 20.ed.

MARCOS VINÍCIUS HENDGES

**FATORES PRÉ E PÓS-COLHEITA QUE AFETAM A
QUALIDADE DO FRUTO DURANTE O ARMAZENAMENTO
DE PERAS 'CONFERENCE' E 'ALEXANDER LUCAS'**

Tese apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da
Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para
obtenção de grau de Doutor em Produção Vegetal.

Banca Examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Cristiano André Steffens (CAV/UDESC)

Membros:



Dr. Daniel Alexandre Neuwald (KOB/Ravensburg)

Prof. PhD. Cassandro Vidal Talamini do Amarante (CAV/UDESC)



Dra. Lucimara Rogéria Antonioli (EMBRAPA - Uva e Vinho)

Dra. Aquidauana Miqueloto (CAV/UDESC)

Lages-SC, 30 de abril de 2015

A minha mãe pelo apoio, por
viver, acreditar e incentivar
meus sonhos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho, em especial à:

Cristiano André Steffens pela orientação, confiança e amizade.

Ao Doutor Daniel Alexandre Neuwald pela orientação e a Berenice Vollmar e, desta forma estendo meu agradecimento aos demais funcionários do Kompetenzzentrum Obstau Bodensee (KOB) que auxiliaram nas análises realizadas neste trabalho

Ao Doutor Dominikus Kittermann por sua disponibilidade e esclarecimento de dúvidas quando necessário.

Bruno Pansera Espindola pela amizade e auxílio em atividades durante a realização do doutorado, e assim estendo meus agradecimentos aos colegas do laboratório de Pesquisa em Fisiologia Vegetal e Pós-colheita do CAV/ UDESC

Ao professor Cassandro V. T. do Amarante e assim estendo meu agradecimento aos professores do CAV/UDESC

Ao Doutor Emil e equipe do professor Hribar ambos do departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos na Faculdade Biotécnica de Lubiana, Eslovênia, que possibilitaram a realização das análises de compostos aromáticos.

Ao professor Treutter e sua equipe da Universidade Técnica de Munique que possibilitou a realização das análises de compostos fenólicos.

À Capes pela concessão da bolsa de doutorado no Brasil e de doutorado sanduíche na Alemanha.

ACKNOWLEDGEMENTS

For all of those that somehow contributed in this work, particularly to:

Cristiano André Steffens for the guidance, trust and friendship.

Doctor Daniel Alexandre Neuwald for the guidance and Berenice Vollmar and this way I extend my thanks too all of the workers of the Kompetenzzentrum Obstau Bodensee (KOB) those wich helped on the analyses of carried out this work

Doctor Dominikus Kittermann for your availability and clarification of doubts when necessary.

Professor Cassandro Amarante and this way I extend my thanks to all of professors of CAV / UDESC

Doctor Emil and professor Hribar and his team of the department of Food Science and Technology at Biotechnical Faculty of Ljubljana, Slovenia, that made possible the realization of analyzes of aromatic compounds.

Professor Treutter and his team of the Technical University of Munich that enabled the realization of analysis of phenolic compounds.

At Capes for the concession doctoral fellowship in Brazil and sandwich doctorate in Germany.

RESUMO

Foram conduzidos quatro experimentos com o objetivo de avaliar o efeito do 1-MCP, em AR e AC, e do ULO sobre a qualidade sensorial e incidência de distúrbios fisiológicos, em função do estágio de maturação em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em três locais de produção. A colheita dos frutos foi realizada nos municípios de Ravensburg (pomar 1), para ambas as cultivares e Langenargen (pomar 2) e Öhringen (pomar 3) somente para ‘Alexander Lucas’. Todos os municípios localizam-se no estado de Baden-Württemberg, sudoeste da Alemanha. Para os experimentos 1, 2 e 3 o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema bifatorial cinco (condições de armazenamento) por dois (pontos de maturação). Os tratamentos foram: atmosfera refrigerada (AR-21,0 kPa O₂+0,03 kPa CO₂), atmosfera controlada (AC-2 kPa O₂<0,7 kPa CO₂), AR com aplicação de 1-MCP (AR*-300 nL L⁻¹), AC com aplicação de 1-MCP (AC*) e ultra baixo oxigênio (ULO-0,7 kPa O₂<0,7 kPa CO₂) combinados com colheita 1 (05/09/2012; índice de Streif (IS) de 0,15; 0,12; 0,09 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente) e colheita 2 (18/09/2012; IS de 0,08; 0,06; 0,08 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente). Todos os tratamentos foram armazenados a 0±0,1°C e 94±2% de umidade relativa. Ao experimento 4 foi acrescida a condição de armazenamento ‘alto CO₂’ (2 kPa O₂/3 kPa CO₂). Após sete meses de armazenamento mais sete dias em condições ambiente (20±2°C / 60±5% de UR) os frutos foram avaliados no experimento 1 e 2 quanto às taxas de produção de etileno e taxa respiratória, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), firmeza de polpa,

cor da epiderme (h°) e compostos aromáticos. No experimento 3 foi avaliado o índice de frutos com escaldadura superficial, produção de α -farneseno e 6-metil-5-hepteno-2-ona, compostos fenólicos, vitamina C da epiderme e no experimento 4 o índice de escurecimento da polpa, porcentagem de frutos com cavidades e com podridão e teor de minerais. De maneira geral, apesar da perda na eficácia do 1-MCP no retardo do amadurecimento para ambas cultivares com o atraso na colheita a melhor condição de armazenamento para cultivar 'Conference' seria em AC* em frutos colhidos com IS 0,08 (colheita 2). Esta condição proporciona frutos maiores, com menor índice de escaldadura, ausência de distúrbios internos e com desenvolvimento de compostos aromáticos. O armazenamento dos frutos de 'Alexander Lucas' por sete meses mais sete dias em temperatura ambiente é muito longo, pois todas as condições de armazenamento causaram distúrbios internos. Apesar disso, há indícios de que a melhor condição para o armazenamento desta cultivar é AR* em frutos colhidos com IS 0,08 (colheita 2), já que, ocorre retorno na produção de aroma, redução na escaldadura superficial e do escurecimento da polpa, sem o aparecimento de cavidades.

Palavras-chave: *Pyrus communis*. Compostos Aromáticos. Ultra Baixo Oxigênio. Escaldadura. Escurecimento Interno.

ABSTRACT

Four experiments were conducted to evaluate the effect of 1-MCP in CS and CA, and the ULO storage on the sensory quality and incidence of physiological disorders in function of the maturation at harvest in pears 'Conference' and 'Alexander Lucas' harvested at three production location. The fruit harvest was carried out in the cities of Ravensburg (orchard 1) for both cultivars and Langenargen (Orchard 2) and Öhringen (orchard 3) only for 'Alexander Lucas'. All locations are in the state of Baden-Württemberg, southwestern Germany. For the experiments 1, 2 and 3 the design was completely randomized in a factorial scheme five (storage conditions) for two (harvest maturity). Treatments were: cold storage (CS-21.0 kPa O₂+0.03 kPa CO₂), controlled atmosphere (CA-2 kPa O₂ / <0.7 kPa CO₂), CS with 1-MCP application (CS+1-MCP-300 nL L⁻¹), CA with application of 1-MCP (CA+1-MCP) and ultra low oxygen (ULO, 0.7 kPa O₂ /<0.7 kPa CO₂) versus harvest 1 (05/09/2012; Streif index of 0.15, 0.12, 0.09 to 1, 2 and 3 orchards, respectively) and harvest 2 (18/09/2012; Streif index of 0.08; 0.06, 0.08 for orchard 1, 2 and 3, respectively). All treatments were stored at 0±0.1°C and 94±2% relative humidity. In the experiment 4 was added high CO₂ treatment (CO₂-2 kPa O₂/CO₂ 3 kPa). After seven months of storage plus seven days at ambient conditions (20±2°C/60±5% RH) fruits were evaluated for sensory attributes of firmness, color of skin (h°), soluble solids (SS), titratable acidity (TA) and aromatic compounds aldehydes, alcohols and esters. In addition, it were measured production of ethylene, α-farnesene, 6-methyl-5-

heptene-2-one and respiratory rate, phenolics, vitamin C of epidermis, scald and internal browning, percentage of fruit with cavities and rot, and mineral content. In general the best storage condition to 'Conference' would be in CA+1-MCP in fruit picked with IS 0.08. This condition provides larger fruits with reduced scald index without internal browning, besides development of aromatic compounds. The storage of the fruits of 'Alexander Lucas' for seven months plus seven days at room temperature is too long. All the storage conditions caused internal disorder. Nevertheless, there are indications of the best storage condition in CS+1-MCP in fruits picked with IS 0.08. In this condition beyond the larger return occurs in the production of volatile reduction in surface escaudura and browning occurs and no appearance of cavities.

Keywords: *Pyrus communis*. Aromatic Compounds. Ultra Low Oxygen. Scald. Internal Browning.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Cromatógrafo a gás (6890N, Agilent Technologies, EUA), equipado com um amostrador automático (MPS2, Multipurpose Sampler, Gerstel, Alemanha) e detector de íons-massa seletiva (Hewlett - Packard 5971A, Palo Alto, CA, EUA) (1). Amostragem por meio de microextração em fase sólida (SPME) (2); Injeção da fibra da SPME no cromatógrafo gasoso (3).....66
- Figura 2 - Peras ‘Conference’ (A e B) e ‘Alexander Lucas’ (C e D) colhidas em duas épocas (colheita 1(A e C) e 2 (B e D), tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)71
- Figura 3 - Modelo simplificado da biossíntese de alguns compostos aromáticos (aldeídos, álcoois e ésteres) e sua relação com as diferentes tecnologias de armazenamento empregadas (1-MCP, AC e ULO)84
- Figura 4 - Localização dos pomares de peras ‘Alexander Lucas’. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen e Pomar 3: Öhringen. Distâncias aproximadas entre os pomares considerando

rodovias são de 24 km entre o pomar 1 e 2, de 260 km entre os pomares 2 e 3, e de 236 km entre os pomares 1 e 3.....95

Figura 5 - Peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em 05/09/2012 (1, 3, 5) e 18/09/2012 (2, 4, 6) colhidas no pomar 1 (1, 2), pomar 2 (3, 4) e pomar 3 (5, 6) e armazenadas por sete meses em armazenamento refrigerado (AR), atmosfera controlada (AC) e ultrabaixo oxigênio (ULO) e tratadas com 1-MCP (AR* e AC*) mais período de sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....105

Figura 6 - Modelo simplificado da biossíntese de alguns compostos aromáticos (aldeídos, álcoois e ésteres) e sua relação com as diferentes tecnologias de armazenamento empregadas (1-MCP, AC e ULO)122

Figura 7 - Localização dos pomares de peras ‘Alexander Lucas’. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen e Pomar 3: Öhringen. Distâncias aproximadas entre os pomares considerando rodovias são de 24 km entre o pomar 1 e 2, de 260 km entre os pomares 2 e 3, e de 236 km entre os pomares 1 e 3.....128

Figura 8 - Severidade de escaldadura superficial (0-3) para peras ‘Alexander Lucas’134

Figura 9 - Localização dos pomares de peras ‘Alexander Lucas’. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen e Pomar 3: Öhringen. Distâncias aproximadas entre os pomares considerando rodovias são de 24 km entre o pomar 1 e 2, de 260 km entre os pomares 2 e 3, e de 236 km entre os pomares 1 e 3.....164

Figura 10 - Escala de severidade de escurecimento interno (0–5) em peras ‘Alexander Lucas’ (A) e fruto de ‘Alexander Lucas’ com formação de cavidade na polpa (B).....167

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Atributos de maturação de peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas (05/09/2012 e 18/09/2012)63
- Tabela 2 - Produção de etileno e taxa respiratória de peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ UR)67
- Tabela 3 - Acidez titulável e sólidos solúveis de peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)69
- Tabela 4 - Firmeza de polpa e cor de epiderme de peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)70

- Tabela 5 - Compostos aromáticos aldeídos (hexanal e 2-hexenal) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{ de UR}$).....72
- Tabela 6 - Compostos aromáticos álcoois (1-butanol e 1-hexanol) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{ de UR}$).....74
- Tabela 7 - Compostos aromáticos ésteres (acetato de etila e butila) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{ de UR}$).....76
- Tabela 8 - Compostos aromáticos ésteres (acetato de pentila e hexila) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$)

seguido por mais sete dias em condições ambiente
($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....77

Tabela 9 - Composto aromático éster (2,4-decadienoato de etila) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....78

Tabela 10 - Atributos de maturação de peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas (05/09/2012 e 18/09/2012) e três locais.....96

Tabela 11- Produção de etileno e taxa respiratória em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....100

Tabela 12 - Acidez titulável e sólidos solúveis em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....102

- Tabela 13 - Firmeza de polpa e cor da epiderme ($^{\circ}$ hue) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....103
- Tabela 14 - Compostos aromáticos aldeídos (hexanal, 2-hexenal) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)106
- Tabela 15 - Compostos aromáticos álcoois (1-butanol e 1-hexanol) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....108
- Tabela 16 - Compostos aromáticos ésteres (acetato de etila e butila) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR)

seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....110

Tabela 17 - Compostos aromáticos ésteres (acetato de pentila e hexila) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....112

Tabela 18 - Composto aromático éster (2,4-decadienoato de etila) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....113

Tabela 19 - Atributos de maturação de peras europeias cultivares Conference e Alexander Lucas colhidas em duas épocas de colheita e em diferentes pomares129

Tabela 20 - Índice de frutos com escaldadura superficial, taxa de produção de etileno, α -farneseno, 6-metil-5-hepteno-2-ona, fenóis (procianidinas, flavonóis) em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses

(0°C±0,1°C/94±2%UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente (20±2°C/60±5% de UR)135

Tabela 21 - Ácidos Hidroxicinâmicos (HCA), ácido clorogênico e vitamina C em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses (0°C±0,1°C/94±2%UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente (20±2°C/60±5% de UR).....137

Tabela 22 - Índice de frutos com escaldadura superficial em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses (0°C±0,1°C/94±2%UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente (20±2°C/60±5% de UR).....139

Tabela 23 - Taxa de produção de etileno em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses (0°C±0,1°C/94±2%UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente(20±2°C/60±5% de UR)140

Tabela 24 - Produção de α-farneseno em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares,

tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)142

Tabela 25 - Produção de 6-metil-5-hepteno-2-ona (MHO) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)143

Tabela 26 - Composto fenólico procianidina em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)145

Tabela 27 - Composto fenólico flavonol em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).147

- Tabela 28 - Ácidos Hidroxicinâmicos (HCA) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)148
- Tabela 29 - Ácido clorogênico em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)149
- Tabela 30 - Vitamina C em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR)151
- Tabela 31 - Atributos de maturação de peras europeias cultivares Conference e Alexander Lucas colhidas em duas épocas de colheita e em diferentes pomares165
- Tabela 32 - Índice de escurecimento de polpa, porcentagem de frutos com cavidade e com podridão em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas

ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR)169

Tabela 33 - Índice de escurecimento de polpa em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR).....171

Tabela 34 - Porcentagem de frutos com cavidade em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR)173

Tabela 35 - Porcentagem de frutos com podridão em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições

de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).....174

Tabela 36 - Composição mineral de peras ‘Alexander Lucas’ de três pomares no momento da colheita176

Tabela 37 - Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice de escurecimento interno (IEP), porcentagem de frutos com cavidade e teor mineral de frutos de peras ‘Alexander Lucas’ .176

Tabela 38 - Média das temperaturas mínimas, máximas e médias durante o desenvolvimento de peras ‘Alexander Lucas’ em três pomares.....178

Tabela 39 - Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice de escurecimento interno (IEP), porcentagem de frutos com cavidade e com as médias das temperaturas máximas, mínimas e médias durante o desenvolvimento de peras ‘Alexander Lucas’179

LISTA DE ABREVIATURAS

1-MCP	1-metilciclopropeno
AC	atmosfera controlada
ACC	ácido aminociclopropano sintase
ACO	ácido aminociclopropano carboxilase
ADH	álcool desidrogenase
AFS1	alfa farneseno sintase
AR	armazenamento refrigerado
ATP	adenosina trifosfato
°Brix	graus Brix
°C	graus Celsius
Ca	cálcio
CaCl ₂	cloreto de cálcio
CLAE	cromatografia líquida de alta eficiência
cm	centímetros
DAPF	dias após plena floração
EROs	espécies reativas de oxigênio
g	grama
h	hora
h°	ângulo 'hue'
HPO ₃	ácido metafosfórico
IS Streif	índice de streif
kg	quilograma
kPa	quilo Pascal
L	litro
LOX	lipoxigenase
HCl	ácido clorídrico
m	metro
Mg	magnésio

MHO	6-metil-5hepteno-2ona
N	Newton
nL L-1	nanolitro por litro
O2	oxigênio
P	fósforo
PDC	piruvato descarboxilase
rpm	rotações por minuto
SS	sólidos solúveis
SPME	microextração em fase sólida
TCs	trienóis conjugados
TF	tecido fresco
ULO	ultra baixo oxigênio
UR	umidade relativa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	52
2	AMADURECIMENTO E COMPOSTOS AROMÁTICOS DE PERAS EUROPEIAS EM FUNÇÃO DO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO, TRATAMENTO COM 1-MCP E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO.....	58
2.1	RESUMO	58
2.2	INTRODUÇÃO	59
2.3	MATERIAL E MÉTODOS	62
2.4	RESULTADOS	66
2.4.1	Amadurecimento	66
2.4.2	Compostos aromáticos	72
2.5	DISCUSSÃO	79
2.5.1	Amadurecimento	79
2.5.2	Compostos aromáticos	84
2.6	CONCLUSÕES	90
3	AMADURECIMENTO E AROMA DE PERAS ‘ALEXANDER LUCAS’ COLHIDAS EM ÉPOCAS E REGIÕES DE PRODUÇÃO DISTINTAS, TRATADAS COM 1-MCP E ARMAZENADAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES	91
3.1	RESUMO	91
3.2	INTRODUÇÃO	92

3.3	MATERIAL E MÉTODOS	94
3.4	RESULTADOS	99
3.4.1	Amadurecimento	99
3.4.2	Compostos aromáticos	106
3.5	DISCUSSÃO	114
3.5.1	Amadurecimento	114
3.5.2	Compostos aromáticos	118
3.6	CONCLUSÕES	123
4	ESCALDADURA SUPERFICIAL EM PERAS EUROPEIAS COLHIDAS EM DUAS ÉPOCAS, TRATADAS COM 1-MCP E ARMAZENADAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES	124
4.1	RESUMO	124
4.2	INTRODUÇÃO	125
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	127
4.4	RESULTADOS	134
4.5	DISCUSSÃO	152
4.6	CONCLUSÃO	158
5	DISTÚRBIOS INTERNOS DA POLPA EM PERAS 'CONFERENCE' E 'ALEXANDER LUCAS' COLHIDAS EM DUAS ÉPOCAS, TRATADAS COM 1-MCP E ARMAZENADAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES	160
5.1	RESUMO	160
5.2	INTRODUÇÃO	161
5.3	MATERIAL E MÉTODOS	164
5.4	RESULTADOS	169
5.5	DISCUSSÃO	180
5.6	CONCLUSÃO	185

6	CONCLUSÕES GERAIS	187
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	190
	APÊNDICE	207
	1-MCP TREATMENT INCREASES INTERNAL BROWNING DISORDERS IN ‘ALEXANDER LUCAS’ PEARS STORED UNDER CONTROLLED ATMOSPHERE.....	207
	RIPENING OF ‘ALEXANDER LUCAS’ PEARS IN REGULAR ATMOSPHERE WITHOUT OR WITH 1- MCP TREATMENT, AND IN CONTROLLED ATMOSPHERE	219

1 INTRODUÇÃO GERAL

Peras europeias são frutos climatéricos de importância no cenário mundial. Sua produção está concentrada basicamente na Europa, América do Norte e do Sul, África do Sul e Oceania, sendo a Europa o produtor mais expressivo (DECKERS; SCHOOFS, 2002). Peras ‘Conference’ são as mais plantadas na Europa (CHIRIBOGA et al., 2013) e estão entre as mais cultivadas ao redor do mundo. Seu cultivo tem apresentado crescimento, e nos anos de 2004-2006 representou aproximadamente 25% e 31% da produção europeia (DECKERS; SCHOOFS, 2008). Apresentam polpa suculenta e gosto doce, ligeiramente aromático. Na Europa, podem ser colhidas a partir de setembro e armazenadas sob refrigeração (-0,5° C a 0°C) até fevereiro e em atmosfera controlada (2 a 3% de O₂ e 2% de CO₂) até final de abril (SILBEREISEN et al., 2015)

Outra importante cultivar com significativa produção em países como Alemanha, Holanda, República Tcheca e Polônia é a ‘Alexander Lucas’. Apesar de em alguns locais ser representada somente por plantas dispersas tem aumentado a produção em países como Holanda e Polônia (GROOT et al., 2000; WAWRZYŃCZAK et al., 2006). Peras ‘Alexander Lucas’ são frutos grandes, com coloração da epiderme inicialmente verde, e quando completamente maduras amarela e, em alguns casos com manchas avermelhadas. A polpa é suculenta com sabor doce e frutado (SILBEREISEN et al., 2015). Na Polônia ‘Alexander Lucas’ e ‘Conference’ representam respectivamente 23% e 20% do total da produção (BRANISTE, 2002).

Para que ambas cultivares apresentem características ideais de consumo e qualidade sensorial satisfatória precisam desenvolver textura da polpa amanteigada, amarelecimento da casca e teores adequados de açúcares e ácidos (KAPPEL et al., 1995; PLOCHARSKI; KONOPACKA, 1999; MITCHAM et

al., 2003), além de aroma característico e ausência de distúrbios fisiológicos. Textura, suculência, sabor, frescor e aroma adequados são fundamentais para qualidade e importantes para o consumo de peras europeias (ECCHER ZERBINI, 2002).

O odor é um dos fatores mais importantes na qualidade de peras e está fortemente envolvido com a percepção de aromas. Os principais compostos aromáticos emitidos por peras são aldeídos, álcoois e ésteres (SUWANAGUL, 1998). Os ésteres se destacam no aroma de peras europeias maduras e compreendem uma vasta variedade de compostos como decadienoatos, acetatos de hexila, butila, pentila, hexanoatos de etila dentre outros (RAPPARINI; PREDIERI, 2002). De acordo com estes autores os álcoois constituem a segunda categoria mais importante de voláteis em peras. Acetato de etila, hexila e butanol são importantes compostos aromáticos em peras ‘Conference’ (RIZZOLO et al., 2005).

Os distúrbios fisiológicos comprometem a qualidade dos frutos e são responsáveis por grandes perdas quantitativas, que consequentemente causam prejuízos econômicos aos produtores. Em peras a escaldadura superficial é um dos distúrbios fisiológicas mais importantes durante armazenamento refrigerado (ISIDORO; ALMEIDA, 2006; GUERRA et al., 2012). Os sintomas ocorrem após longos períodos de armazenamento (LURIE; WATKINS, 2012), e incluem manchas marrons ou escuras na epiderme que frequentemente são ampliadas após remoção do armazenamento (WHITAKER et al., 2009). Além da escaldadura superficial, o escurecimento da polpa, que pode ser acompanhado pela formação de cavidades na polpa, compromete a qualidade dos frutos e prejudica a comercialização (FRANCK et al., 2007). Este distúrbio

fisiológico inicia com uma coloração acastanhada nos tecidos da polpa, em geral a partir do centro do fruto, entre as sementes, podendo evoluir para toda a polpa (D'AQUINO et al., 2010).

Fatores como estágio de maturação na colheita, condições ambientais, práticas de cultivo, manejo pós-colheita e condições de armazenamento podem influenciar significativamente no amadurecimento, produção de aroma e no surgimento e desenvolvimento de distúrbios fisiológicos (WHITAKER et al., 2009; EL HADI et al., 2013; LI et al., 2013). O estágio de maturação na colheita tem um papel central no desenvolvimento de sabor, particularmente em frutos climatéricos onde o amadurecimento é regulado pelo etileno (MATTHEIS; FELLMAN, 1999). O atraso na colheita proporciona frutos maiores e com melhor desenvolvimento de atributos sensoriais (GAMRASNI et al., 2010), contudo, frutos mais maduros frequentemente apresentam maior susceptibilidade ao dano de distúrbio interno em peras 'Conference' (ECCHER ZERBINI et al., 2002), o qual também podem ser afetado pelo teor de minerais e tamanho dos frutos (LAMMERTYN et al., 2000; ECCHER ZERBINI et al., 2002; VERLINDEN et al., 2002; BRAMLAGE; WEIS, 2004; YAN et al., 2013; NEUWALD et al., 2014). Para escaldadura superficial a relação entre maturação na colheita e o distúrbio ainda não está bem clara em peras (WHITAKER et al., 2009).

Dentro deste contexto, prolongar a oferta de peras ao consumidor com manutenção das características de qualidade sensorial e ausência de distúrbios fisiológicos em pós-colheita é um desafio, porém, indispensável. O armazenamento sob refrigeração e uma tecnologia consagrada e a mais utilizada para o armazenamento de peras europeias. Como complemento a refrigeração a atmosfera controlada (AC) é uma importante técnica para prolongar o período de armazenamento de peras. Para as cultivares de pera europeia as concentrações utilizadas variam entre 1 a 3 kPa de oxigênio (O₂) e 0 a 5 kPa de gás

carbônico (CO₂) (VILLALOBOS-ACUÑA; MITCHAM, 2008).

Peras ‘Conference’ são normalmente armazenadas em AC para prolongar o seu período de oferta ao consumidor (RIZZOLO et al., 2005). Quando colhidas com firmeza de polpa entre 65 e 57 N pode-se utilizar condições de AC entre 1,5 e 3 kPa de O₂ e 0 até 3 kPa de CO₂ (RICHARDSON; GIRASOPOULOS, 1994). Além destas pressões parciais de O₂, tem-se o ultra baixo oxigênio (ULO) (<1,0 kPa de O₂), que é uma tecnologia possível de ser explorada para o armazenamento de peras. O armazenamento em AC tem como vantagem a redução do amarelecimento dos frutos e de algumas desordens fisiológicas (VILLALOBOS-ACUÑA; MITCHAM, 2008). Shang Ma e Chen (2003) verificaram que frutos de pera ‘Doyenne du Comice’ armazenadas por seis meses em AC não apresentaram escaldadura superficial independentemente da condição de armazenamento (0,5 kPa O₂ /0,1 kPa CO₂), (1 kPa O₂/0,1 kPa CO₂), (1,5 kPa O₂/0,5 kPa CO₂), (2 kPa O₂/1 kPa de CO₂). Entretanto, em determinadas condições, a AC pode diminuir a produção de compostos aromáticos (CHERVIN et al., 2000; LARA et al., 2003) e provocar alta incidência de distúrbios internos (RIZZOLO et al., 2005). Bertolini et al. (1997) reportaram que condições de AC de 1,5 kPa de O₂ e 0,8 kPa de CO₂ propiciam melhor qualidade para consumo e incidência muito reduzida de distúrbios, comparado a 0,5 kPa de O₂, o qual resulta no aparecimento de distúrbios e na redução do sabor.

Para peras ‘Alexander Lucas’ pouco se conhece a respeito do armazenamento em atmosfera controlada (WAWREZYKCZAK et al., 2006). Richardson e Girasopoulos (1994) indicaram condições de 3 kPa de O₂ e <1 kPa de CO₂ como adequadas. Nesta cultivar, Wawrezykczak et al. (2006),

armazenando frutos em condições de 2 kPa de O₂ e 0,8 kPa de CO₂ não observaram distúrbios internos em peras ‘Alexander Lucas’ após sete meses de armazenamento em AC. Todavia, Hendges et al. (2015) verificaram, dependendo da localização do pomar e do estágio de maturação na colheita, o aparecimento de sintomas de escurecimento na polpa já ao terceiro mês de armazenamento.

Outra alternativa para o armazenamento refrigerado de frutos é o 1-metilciclopropeno (1-MCP). Esta molécula atua ligando-se irreversivelmente ao sítio de ligação do etileno, impedindo que o mesmo ligue-se a seu receptor (DE MARTINO et al., 2006). Em peras europeias tem eficiência no atraso do amadurecimento e na redução de alguns distúrbios fisiológicos (ARGENTA et al., 2003; CALVO; SOZZI, 2004; EKMAN et al., 2004). Vários trabalhos observam a redução da escaldadura superficial em peras tratadas com 1-MCP (ARGENTA et al., 2003; ISIDORO; ALMEIDA, 2006; VANOLI et al., 2007). Contudo, a relação entre o 1-MCP e distúrbios internos ainda não está bem entendida (WATKINS, 2008). Em alguns casos, dependendo da espécie, cultivar e condição de armazenamento pode ocorrer o aumento destes distúrbios internos pelo tratamento com 1-MCP (DEELL et al., 2007; HENDGES et al., 2015).

Além disso, há um inconveniente observado em peras tratadas com 1-MCP. Dependendo da sensibilidade da cultivar, a aplicação do inibidor de ação do etileno inibe o amolecimento do frutos à níveis adequados para o consumo (CHIRIBOGA et al., 2013) e reduz a produção de compostos aromáticos (RIZZOLO et al., 2005; MOYA-LEÓN et al., 2006). Ainda não são bem conhecidos os melhores métodos de aplicação, nem as concentrações a serem utilizadas para que não ocorra a inibição completa do amadurecimento em peras europeias (VILLALOBOS-ACUÑA; MITCHAM, 2008). Fatores como concentração de produto, data e local de colheita

e atmosfera de armazenamento afetam o efeito da aplicação do 1-MCP (RIZZOLO et al., 2005; CHIRIBOGA et al., 2013).

Segundo Chiriboga et al. (2014), a eficácia do tratamento com 1-MCP é dependente da maturação dos frutos no momento do tratamento e, esta, pode ser uma maneira de superação dos possíveis efeitos inibitórios do 1-MCP no amadurecimento. Na cultivar Conference, devido a complexidade das respostas ao tratamento com 1-MCP, continua-se realizando diversos ensaios (CHIRIBOGA et al., 2014) e para cultivar Alexander Lucas há escassez de trabalhos avaliando o efeito do 1-MCP e AC no amadurecimento e qualidade dos frutos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do 1-MCP, em AR e AC, e do ULO sobre a qualidade sensorial e incidência de distúrbios fisiológicos, em função do estágio de maturação em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em três locais de produção.

2 AMADURECIMENTO E COMPOSTOS AROMÁTICOS DE PERAS EUROPEIAS EM FUNÇÃO DO ESTÁDIO DE MATURAÇÃO, TRATAMENTO COM 1-MCP E CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO

2.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estágio de maturação sobre a superação de possíveis efeitos inibitórios do 1-MCP, aplicado em frutos conservados sob armazenamento refrigerado (AR) e atmosfera controlada (AC), e do armazenamento em ultra baixo oxigênio (ULO) sobre o amadurecimento e produção de compostos aromáticos em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial cinco (condições de armazenamento) por dois (estádios de maturação). Os tratamentos avaliados foram: AR, AC, AR com aplicação de 1-MCP (300 nL L⁻¹) (AR*), AC com aplicação de 1-MCP (AC*) e ultra baixo oxigênio (ULO) combinados com dois pontos de maturação {colheita 1 [05/09/2012 – índice de Streif (IS) de 0,13 para cultivar Conference e 0,15 para Alexander Lucas] e colheita 2 (18/09/2012 - IS de 0,08 para ambas cultivares)}. Após sete meses de armazenamento mais sete dias em condições ambiente (20±2°C/60±5% de UR) os frutos foram avaliados quanto a produção de etileno, taxa respiratória, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), firmeza de polpa, cor da epiderme (h°) e compostos aromáticos aldeídos (hexanal, 2-hexenal), álcoois (1-butanol, 1-hexanol) e ésteres (acetatos de etila, butila, pentila, hexila, 2,4 decadienoato de etila). Nos frutos da colheita 1, o tratamento com 1-MCP inibiu o desenvolvimento de textura amanteigada e o amarelecimento, além de causar forte redução na produção de álcoois e ésteres. Houve maior supressão da biossíntese de compostos aromáticos em AC*, especialmente na cultivar Conference. Em frutos colhidos com IS de 0,08 houve perda da

eficácia do tratamento com 1-MCP no atraso do amadurecimento em ambas as cultivares, independente da condição de armazenamento. Com o retardo na colheita, ocorreu um aumento na produção de compostos aromáticos em frutos tratados com 1-MCP, sendo que frutos do tratamento AR* produziram compostos aromáticos de maneira similar ao AR. Em frutos da primeira colheita, a condição ULO reduziu o amarelecimento, a taxa respiratória e a produção de etileno e manteve maior acidez titulável em ambas colheitas. O armazenamento em ULO reduziu a produção de compostos aromáticos, porém de maneira menos acentuada do que o 1-MCP. O retardo da colheita não apresentou efeito sobre os compostos aromáticos em frutos armazenados sob ULO.

Palavras-chave: *Pyrus communis*. Etileno. Maturação. Atmosfera Controlada.

2.2 INTRODUÇÃO

Peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ para que tenham qualidade sensorial satisfatória, precisam apresentar polpa com textura amanteigada, amarelecimento da casca e teores adequados de açúcares e ácidos (KAPPEL et al., 1995; PLOCHARSKI; KONOPACKA, 1999; MITCHAM et al., 2003). Além destes, o odor é um dos fatores mais importantes na qualidade dos frutos e está fortemente envolvido com a percepção de aromas. Em peras o aroma é dependente da concentração de cada composto aromático e a combinação destes (MOYA-LEÓN et al., 2006).

Os compostos aromáticos mais encontrados em peras europeias são aldeídos, álcoois e ésteres (SUWANAGUL, 1998). Os aldeídos hexanal e 2-hexenal estão relacionados a frutos menos maduros apresentando característica de aromas herbáceos (PLOTTO et al., 1999; CHEN et al., 2006). Dentre os álcoois, importantes formadores de aromas, encontram-se o 1-hexanol, verificado em grande quantidade em peras ‘Packham’s Triumph’ (MOYA-LEÓN et al., 2006), e o 1-butanol, constituinte de aromas de peras ‘d’Anjou’, ‘Conference’ e ‘Packham’s Triumph’ (ARGENTA et al., 2003; RIZZOLO et al., 2005; MOYA-LEÓN et al., 2006). Além destes dois álcoois contribuírem para o aroma dos frutos, também são precursores de ésteres acetato de butila e hexila (LARA et al. 2003; ECHEVERRÍA et al., 2004), sendo os ésteres os principais compostos voláteis que colaboram para formação de aroma em peras europeias (SUWANAGUL, 1998; RAPPARRINI; PREDIERI, 2002; MOYA-LEÓN et al., 2006).

Com o objetivo de manter a qualidade de peras, e dentre estes, características aromáticas apropriadas durante e após o armazenamento, diferentes tecnologias pós-colheita podem ser utilizadas. O armazenamento refrigerado (AR) e a atmosfera controlada (AC) destacam-se como as principais tecnologias para o armazenamento de frutos, que podem ser associadas à aplicação do 1-metilciclopropeno (1-MCP). O 1-MCP é uma molécula que possibilita a manutenção da firmeza de polpa (CALVO; SOZZI, 2004; CHIRIBOGA et al., 2011; RIZZOLO et al., 2014), retarda a evolução da cor da casca do verde para o amarelo (CALVO; SOZZI, 2004; TRINCHERO et al., 2004) e reduz a manifestação de distúrbios fisiológicos após o armazenamento (ARGENTA et al., 2003; RIZZOLO et al., 2005)

Todavia, em determinadas condições, frutos tratados com 1-MCP jamais amadurecem, mantendo-se firmes, verdes (CHIRIBOGA et al., 2013) e menos aromáticos (ARGENTA et al., 2003; RIZZOLO et al., 2005; MOYA-LEÓN et al., 2006).

Argenta et al. (2003) observaram redução na produção de aldeídos, álcoois e ésteres como consequência da inibição do etileno pelo 1-MCP. Na produção de ésteres o 1-MCP influencia indiretamente devido ao seu efeito inibitório na ação do etileno, que reduz a atividade da enzima álcool acetil transferase (ATT) (DEFILIPINI et al., 2005). Adicionalmente a redução do aroma, em algumas condições de armazenamento, o 1-MCP também pode induzir a manifestação de distúrbios internos da polpa em peras (HENDGES et al., 2015).

Segundo Villa-Lobos et al. (2011), o amadurecimento de frutos tratados com 1-MCP pode ser modulado por uma série de condições. As diferentes respostas ao 1-MCP entre cultivares, datas de colheita e condições de armazenamento podem estar associadas à concentração interna de etileno nos frutos (ZHANG et al., 2009), e sua eficácia dependerá do estágio de maturação dos frutos quando tratados (ALPALHÃO et al., 2006).

O armazenamento em AC, apesar das evidentes contribuições no retardo do amadurecimento e manutenção da qualidade dos frutos (MOYA-LEÓN et al., 2006), pode causar diminuição significativa de compostos aromáticos em peras europeias (CHERVIN et al., 2000; LARA et al., 2003). O efeito do baixo O₂ no decréscimo da produção de ésteres, especialmente em condições de ULO, parece estar associado com a redução na atividade da enzima lipoxigenase (LOX) (LARA et al., 2003), além da menor síntese de ácidos graxos (BRACKMANN et al., 1993) e diminuição na oxidação de lipídeos, causando consequente falta de precursores (BRACKMANN et al., 1993; LARA et al., 2003). Entretanto, este efeito pode ser influenciado pelo estágio de maturação dos frutos. Brackmann et al. (1993) verificaram que frutos armazenados sob ULO, colhidos na fase do climatério,

sintetizaram mais ácidos graxos e produziram mais voláteis comparados com a colheita no estádio de pré-climatérico.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estádio de maturação sobre a superação de possíveis efeitos inibitórios do 1-MCP, aplicado em frutos conservados sob AR e em AC, e do armazenamento em ULO sobre o amadurecimento e produção de compostos aromáticos em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

A colheita dos frutos das duas cultivares (Conference e Alexander Lucas) foi realizada na safra de 2012, em duas épocas, no Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee, localizado no município de Ravensburg, estado de Baden-Württemberg, sudoeste da Alemanha. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial cinco (condições de armazenamento) por dois (pontos de maturação). Os tratamentos, compostos por três repetições e unidade experimental de oito frutos para análise de atributos de qualidade e dez frutos para compostos aromáticos foram: armazenamento refrigerado (AR-21,0 kPa O_2 +<0,03 kPa CO_2), atmosfera controlada (AC-2 kPa O_2 +<0,7 kPa CO_2), AR com aplicação de 1-MCP (AR*), AC com aplicação de 1-MCP (AC*) e ultra baixo oxigênio (ULO-0,7 kPa O_2 +<0,7 kPa CO_2), combinados com dois pontos de maturação [colheita 1 (05/09/2012 – índice de Streif de 0,13, para cultivar Conference, e 0,15, para Alexander Lucas) e colheita 2 (18/09/2012 - índice de Streif de 0,08 para ambas cultivares)]. A dose de 1-MCP utilizada foi 300 nL L⁻¹ e todos os tratamentos foram armazenados a 0±0,1°C e 94±2% de umidade relativa. Os atributos de maturação em ambas as colheitas e cultivares estão apresentados na tabela 1. O índice de Streif (IS) foi medido através da seguinte fórmula: [Firmeza

de polpa (kg)/[Sólidos solúveis (°Brix) x Índice iodo-amido (1-10)]

Tabela 1. Atributos de maturação de peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas (05/09/2012 e 18/09/2012).

	Circunf. do fruto (mm)	Peso (g)	Firmeza de polpa (N)	Íodo-Amido (1-10)
Conference –KOB				
Colheita 1	60,70	160,53	56,54	3,33
Colheita 2	61,13	189,55	55,37	5,13
Alexander Lucas – KOB				
Colheita 1	72,73	232,53	54,97	2,90
Colheita 2	79,90	312,06	46,74	4,53
	SS (°Brix)	(h°)	Acidez titulável (%)	Índice de Streif
Conference –KOB				
Colheita 1	13,43	114,43	0,090	0,13
Colheita 2	14,03	114,00	0,130	0,08
Alexander Lucas – KOB				
Colheita 1	12,70	116,71	0,423	0,15
Colheita 2	12,27	115,66	0,337	0,08

Circunf.: Circunferência; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012

Fonte: produção do próprio autor.

Após sete meses de armazenamento mais sete dias em condição ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) os frutos foram avaliados quanto aos atributos de firmeza de polpa, cor da epiderme (h°), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), taxas respiratória e de produção de etileno e compostos aromáticos aldeídos (hexanal, 2-hexenal), álcoois (1-butanol, 1-hexanol) e ésteres (acetatos de etila, butila, pentila, hexila, 2,4 decadienoato de etila).

Para a determinação de firmeza de polpa (N) foi utilizado um penetrômetro com ponta de 0,5 cm², sendo realizada leitura no maior diâmetro do fruto, que teve a epiderme previamente removida.

A cor da epiderme (h°) foi determinada utilizando um colorímetro eletrônico (Minolta CR 300C), em que 180° corresponde ao verde e 90° ao amarelo. As leituras foram realizadas na porção central dos frutos.

A avaliação de sólidos solúveis (SS) foi realizada com refratômetro digital, com correção automática de temperatura, utilizando-se uma amostra homogênea de suco filtrado e os valores expressos em °Brix.

Para acidez titulável (AT) titulou-se 10 mL de suco, diluído em 50 mL de água destilada, com NaOH (0,1 N) até pH 8,1. Esse procedimento foi realizado por um titulador automatizado da marca Metrohm com capacidade para 52 amostras e os valores foram expressos em porcentagem de ácido málico.

Para taxa respiratória foram usados recipientes hermeticamente fechados com capacidade de 4 L. A taxa respiratória foi monitorada pela concentração de CO₂ em três repetições de três frutos, com o auxílio de analisadores de gás por fluxo contínuo e os resultados expressos como mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

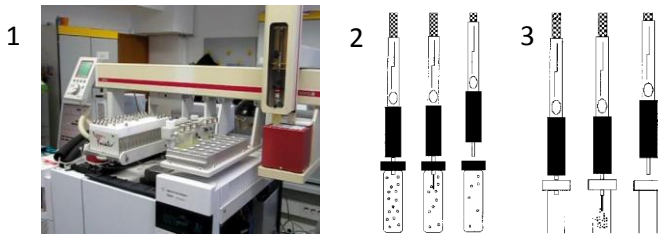
Para a medição da taxa de produção de etileno os frascos herméticos foram fechados por duas horas e com uma seringa retirou-se amostra de ar de 10 mL. O conteúdo de 1 mL do ar contido nas seringas foi injetado em um cromatógrafo à gás (Varian 2700 Series), sob as condições de temperatura de 220°C, 240°C e 110°C para injetor, detector e coluna, respectivamente. Os resultados foram expressos µL de C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹.

Para realizar as avaliações de compostos aromáticos (hexanal, 2-hexenal, 1-hexanol, 1-butanol, acetato de etila, butila, hexila, pentila e 2,4 decadienoato de etila), trinta frutos

foram separados em três repetições e cortados longitudinalmente em forma de cunha (30 g), permanecendo casca e polpa. Nesta amostra adicionou-se 30 g de uma solução saturada de cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 - 700 \text{ g L}^{-1}$). O CaCl_2 foi mantido a 250°C durante 6 horas para evitar que houvesse contaminação e absorção de água, e a solução foi mantida refrigerada a 1°C para reduzir a volatilização dos compostos aromáticos durante o preparo das amostras. A mistura (polpa com casca e solução saturada de CaCl_2) foi homogeneizada num misturador (Turrax – 13500 rpm) e congeladas a -28°C . As análises foram realizadas no departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos na Faculdade Biotécnica de Lubiana, localizada na Eslovênia. Para as análises foi utilizado um cromatógrafo a gás (6890N, Agilent Technologies, EUA), equipado com um amostrador automático (MPS2, Multipurpose Sampler, Gerstel, Alemanha) e detector de íons-massa seletiva (Hewlett - Packard 5971A, Palo Alto, CA, EUA) (Figura 1). O cromatógrafo à gás foi equipado com coluna capilar ZB - CERA, 60 m x 0,32 mm x 0,5 μm (Phenomenex , EUA). Os compostos voláteis foram amostrados por meio de microextração em fase sólida (SPME), com fibra de microextração com 85 μm de espessura. Uma alíquota da amostra de 10 mL (mistura casca+polpa+solução saturada de CaCl_2) foi colocada em frascos de vidro de 20 mL ao qual adicionou-se nitrogênio líquido a fim de provocar um meio inerte no interior do frasco. Após evaporação do nitrogênio líquido os frascos foram lacrados e uma fibra do SPME foi introduzida e exposta ao interior destes frascos. Após recolhida a fibra, para a dessorção térmica, esta permaneceu no injetor durante cinco minutos na temperatura de 270°C . A temperatura do forno foi de 40°C por cinco minutos, e em seguida, aumentou-se de 40°C a 230°C a uma taxa de 4°C

min⁻¹, mantendo-se durante cinco minutos a 230°C. Os picos foram identificados por comparação dos espectros experimentais com o National Institute of Standards and Technology (EUA). As concentrações relativas dos produtos voláteis foram calculadas por comparação das áreas dos picos dos produtos voláteis com a do padrão externo, 6-metil-5-hepteno-2-ona.

Figura 1. Cromatógrafo a gás (6890N, Agilent Technologies, EUA), equipado com um amostrador automático (MPS2, Multipurpose Sampler, Gerstel, Alemanha) e detector de íons-massa seletiva (Hewlett - Packard 5971A, Palo Alto, CA, EUA) (1). Amostragem por meio de microextração em fase sólida (SPME) (2); Injeção da fibra da SPME no cromatógrafo gasoso (3) (VALENTE e AUGUSTO, 2000).



Fonte: produção do próprio autor.

Os dados de compostos aromáticos sofreram transformação logarítmica e os dados de todos os tratamentos foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

2.4 RESULTADOS

2.4.1 Amadurecimento

A produção de etileno, na primeira colheita, em ambas as cultivares, foi menor nos frutos tratados com 1-MCP, independente da condição de armazenamento. Para

‘Conference’ também verificou-se efeito de AC sem 1-MCP e ULO os quais também apresentaram menor taxa respiratória do que AR. Todavia, na segunda colheita, não houve diferença entre tratamentos, ocorrendo incremento significativo na taxa de produção de etileno com o retardo da colheita nos frutos tratados com 1-MCP, em ambas as cultivares (Tabela 2).

Tabela 2. Produção de etileno e taxa respiratória de peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^\circ\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^\circ\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

Tratamento	Taxa de produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)			Taxa respiratória ($\text{mL kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Méd.
Conference – KOB						
AR	34,7Aa	31,1Aa	32,9	19,2Aa	18,6Aa	18,9
AC	24,0Ab	20,3Aa	22,2	14,4Ab	13,6Abc	14,0
AR*	4,1Bc	29,9Aa	17,0	6,3Bc	16,1Aab	11,2
AC*	2,2Bc	23,0Aa	12,6	4,6Bc	11,1Ac	7,9
ULO	17,0Ab	23,5Aa	20,2	12,3Bb	13,8Abc	13,0
Média	16,4	25,6		11,4	14,6	
CV%	15,0	22,4		5,0	6,4	
Alexander Lucas – KOB						
AR	44,7Aa	45,2Aa	44,9	15,3Aa	17,7Aa	15,2
AC	40,2Aa	35,1Aa	37,6	14,0Aa	12,9Ab	13,4
AR*	0,7Bb	41,3Aa	21,0	5,6Bb	13,5Aab	9,6
AC*	0,8Bb	41,6Aa	21,2	2,8Bc	12,8Ab	8,6
ULO	37,0Aa	32,5Aa	34,8	13,0Aa	11,7Bb	12,4
Média	24,7	37,8		10,2	13,7	
CV%	27,9	25,6		6,6	8,0	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Em comparação ao AR, todas as demais condições de armazenamento reduziram a taxa respiratória de peras ‘Conference’, sendo os menores valores observados nos tratamentos com 1-MCP, na primeira colheita. Na segunda colheita a menor taxa respiratória foi observada no tratamento AC*, que não diferiu dos tratamentos AC sem 1-MCP e ULO. Já para ‘Alexander Lucas’ foi verificado menores taxas respiratórias somente nos tratamentos com 1-MCP, na primeira colheita, havendo uma maior supressão no tratamento AC*. Na segunda colheita, os tratamentos AC, AC* e ULO apresentaram menores valores de taxa respiratória, em comparação com AR, sem, contudo, diferir de AR* (Tabela 2).

Em peras ‘Conference’ foi identificado, na primeira colheita, maior valor de AT nos tratamentos com 1-MCP, em ambas as condições de armazenamento, e no ULO, porém, este sem diferir de AC sem 1-MCP. Frutos da segunda colheita apresentaram maior valor de AT em ULO que diferiu apenas de frutos em AR sem 1-MCP. Na cultivar Alexander Lucas, independente da data de colheita, os maiores valores de AT foram observados nos frutos armazenados em AC* e ULO (Tabela 3).

O teor de SS na primeira colheita, em ambas as cultivares, foi maior no tratamento AR*, diferindo dos demais tratamentos para ‘Conference’ e de ULO para ‘Alexander Lucas’. Na segunda colheita, peras ‘Conference’ em AR* apresentaram maiores teores de SS comparado a AC e ULO. Em peras ‘Alexander Lucas’ não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Acidez titulável e sólidos solúveis de peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

Trat.	Acidez titulável (% ácido málico)			Sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$)		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
Conference – KOB						
AR	0,066Ab	0,060Ab	0,063	15,7Ab	15,9Aab	15,8
AC	0,086Aab	0,063Bab	0,075	14,8Ab	15,0Ab	14,9
AR*	0,103Aa	0,070Bab	0,086	17,1Aa	16,1Aa	16,6
AC*	0,106Aa	0,070Bab	0,088	15,5Ab	5,3Aab	15,4
ULO	0,093Aa	0,076Ba	0,085	15,4Ab	15,2Ab	15,3
Média	0,091	0,068		15,7	15,5	
CV%	9,37	8,49		2,1	2,0	
Alexander Lucas – KOB						
AR	0,163	0,100	0,131b	13,7Aab	11,7Ba	12,7
AC	0,163	0,133	0,148b	13,1Aab	12,5Ba	12,8
AR*	0,146	0,120	0,133b	13,8Aa	12,2Ba	13,0
AC*	0,206	0,140	0,173a	13,5Aab	12,2Ba	12,8
ULO	0,196	0,156	0,176a	13,0Ab	12,4Ba	12,7
Média	0,175A	0,130B				
CV%	8,86					

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

A firmeza de polpa na primeira colheita, em ambas as cultivares, foi maior nos frutos tratados com 1-MCP, especialmente naqueles armazenados em AC (AC*). O armazenamento em ULO e AC não tiveram efeito sobre a

manutenção da firmeza de polpa para ambas cultivares comparativamente ao AR. Com o retardo da colheita houve uma redução significativa na firmeza de polpa em frutos tratados com 1-MCP. Na segunda data de colheita, na cultivar Conference, os frutos do tratamento AR apresentaram maior firmeza de polpa e para ‘Alexander Lucas’ não foi verificada diferença entre os tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Firmeza de polpa e cor de epiderme de peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

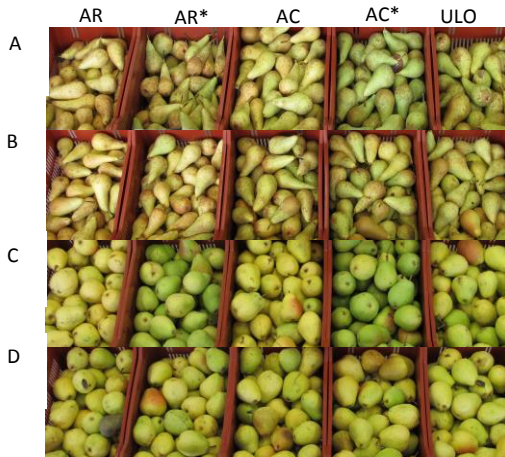
Trat.	Firmeza de Polpa (N)			Cor da epiderme (h°)		
	---- Colheita ----			---- Colheita ----		
	1	2	Média	1	2	Média
Conference – KOB						
AR	18,4Ac	19,7Aa	19,1	94,1Ad	92,4Ab	93,3
AC	15,4Ac	14,5Ab	14,9	100,3Ac	100,1Aa	100,2
AR*	34,3Ab	14,3Bb	24,3	105,2Aab	97,9Ba	101,6
AC*	55,1Aa	13,6Bb	34,4	108,6Aa	102,6Ba	105,6
ULO	15,8Ac	15,3Ab	15,5	102,5Abc	101,8Aa	102,1
Média	27,8	15,5		102,1	99,0	
CV%	7,8	8,5		1,6	1,8	
Alexander Lucas – KOB						
AR	14,2Bc	17,8Aa	16,1	96,8Bc	100,7Aa	98,8
AC	17,0Ac	15,3Aa	16,2	99,6Abc	101,0Aa	100,2
AR*	38,6Ab	16,1Ba	27,3	109,3Aa	102,8Ba	106,0
AC*	43,8Aa	15,7Ba	29,7	112,6Aa	103,8Ba	108,2
ULO	17,4Ac	17,7Aa	17,5	102,8Ab	103,8Aa	103,7
Média	26,2	16,5		104,2	102,4	
CV%	6,4	9,5		1,4	2,3	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Em peras ‘Conference’, comparativamente ao AR, todos os demais tratamentos proporcionaram frutos com epiderme mais verde nas duas datas de colheita. Este efeito foi mais pronunciado nos tratamentos com 1-MCP (AC* e AR*) na primeira colheita. Em peras ‘Alexander Lucas’, na primeira colheita, o 1-MCP, independente da condição de armazenamento, proporcionou frutos mais verdes, seguido pelo armazenamento em ULO. Já na segunda colheita, não houve diferença entre tratamentos. O atraso na colheita causou um amarelecimento significativo nos frutos tratados com 1-MCP, em ambas as condições de armazenamento e cultivares (Tabela 4 e Figura 2).

Figura 2. Peras ‘Conference’ (A e B) e ‘Alexander Lucas’ (C e D) colhidas em duas épocas (colheita 1(A e C) e 2 (B e D), tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C} / 94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C} / 60\pm 5\%\text{ de UR}$).



Fonte: produção do próprio autor.

2.4.2 Compostos aromáticos

Para a produção de hexanal não ocorreu efeito das condições de armazenamento e aplicação de 1-MCP em peras da cultivar Conference. Com relação a data de colheita, houve redução na produção de hexanal com o retardo da colheita (Tabela 5).

Tabela 5. Compostos aromáticos aldeídos (hexanal e 2-hexenal) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

Tratamento	Hexanal (mg L^{-1})			2-Hexenal (mg L^{-1})		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
Conference – KOB						
AR	0,10	0,14	0,13a	0,0Ab	0,0Ab	0,0
AC	0,26	0,13	0,20a	0,06Aab	0,0Ab	0,03
AR*	0,49	0,16	0,33a	0,5Aab	0,03Ab	0,3
AC*	0,25	0,17	0,21a	0,2Aab	0,5Aa	0,3
ULO	0,38	0,23	0,31a	0,6Aa	0,1Bb	0,3
Média	0,30A	0,17B		0,3	0,1	
CV%	44,0			78,9	58,9	
Alexander Lucas – KOB						
AR	0,48Ab	0,27Bb	0,37	0,0b	0,0a	0,0
AC	0,62Ab	0,70Aa	0,66	0,0b	0,0a	0,0
AR*	1,61Aa	0,50Ba	1,05	0,0b	0,0a	0,0
AC*	0,83Aab	0,59Ba	0,71	0,0b	0,0a	0,0
ULO	0,67Ab	0,51Aa	0,59	0,2a	0,0a	0,1
Média	0,84	0,51		3,3	0,0	
CV%	25,3	14,5		5,5	0,0	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Em peras ‘Alexander Lucas’ foi verificada interação entre estágio de maturação e condições de armazenamento para a produção de hexanal. Na primeira colheita, maiores valores foram encontrados em frutos do tratamento AR*, que não diferiram dos frutos do tratamento AC*. Na segunda colheita, comparado ao AR, os frutos das demais condições de armazenamento apresentaram maior produção de hexanal. Verificou-se redução nos valores de hexanal com o retardo da colheita nos frutos tratados com 1-MCP, em ambas as condições de armazenamento, e no AR sem 1-MCP (Tabela 4).

Não foi detectada produção de 2-hexenal em ‘Conference’ no tratamento AR, em ambas as datas de colheita e, em AC, na segunda colheita. Os frutos armazenados em ULO, em comparação aos frutos do AR, apresentaram maiores valores de 2-hexenal na primeira colheita. Com o retardo na colheita houve maior produção nos frutos do tratamento AC* do que nas demais condições de armazenamento. Para ‘Alexander Lucas’ verificou-se produção de 2-hexenal somente em frutos da primeira colheita no armazenamento em ULO (Tabela 5).

Houve maior produção de 1-butanol em peras ‘Conference’ mantidas em AR e AC, ambas sem 1-MCP. Frutos tratados com 1-MCP apresentaram menores valores de 1-butanol na primeira colheita, especialmente naqueles armazenados em AC (AC*), onde não foi detectada a produção de 1-butanol (Tabela 6).

Tabela 6. Compostos aromáticos álcoois (1-butanol e 1-hexanol) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{de UR}$).

Tratamento	1-Butanol (mg L^{-1})			1-Hexanol (mg L^{-1})		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
Conference – KOB						
AR	8,2Aa	6,0Aab	7,1	0,37Aa	0,41Aa	0,13
AC	6,1Aab	7,6Aa	6,8	0,31Bab	0,39Aa	0,20
AR*	3,5Bc	5,3Abc	4,4	0,25Bab	0,39Aa	0,33
AC*	0,0Bd	3,8Ac	1,9	0,00Bc	0,36Aa	0,21
ULO	3,9Abc	4,3Ac	4,1	0,25Ab	0,26Aa	0,31
Média	4,4	5,4		0,24	0,36	
CV%	10,8	5,6		17,4	20,57	
Alexander Lucas – KOB						
AR	55,9Aa	44,2Ba	50,1	4,59Aa	3,82Aa	4,20
AC	41,6Aa	28,8Bb	35,2	4,15Aa	2,76Bab	3,45
AR*	16,8Bb	30,9Ab	23,8	0,71Bc	2,27Ab	1,49
AC*	7,0Bc	23,9Ab	15,4	0,51Bc	2,14Ab	1,33
ULO	24,4Ab	21,9Ab	23,2	2,62Ab	2,42Ab	2,52
Média	29,1	30,0		2,51	2,68	
CV%	5,2	4,1		11,96	7,59	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Com o retardo da colheita ocorreu um aumento na produção de 1-butanol nos frutos tratados com 1-MCP, e nesta avaliação somente frutos de AC* e ULO mantiveram menores valores de 1-butanol que os em AR. Embora com valor menor que os frutos em AR, os armazenados sob ULO não diferiram de AR*, em ambas as colheitas, e de AC*, na segunda colheita.

Para cultivar Alexander Lucas, comportamento similar a 'Conference' foi observado na primeira colheita. Com o retardo da colheita verificou-se um incremento de 1-butanol nos frutos tratados com 1-MCP e uma redução nos frutos armazenados em AR e AC, ambos sem 1-MCP, enquanto que nos frutos armazenados em ULO os valores maniveram-se praticamente constantes entre as duas colheitas (Tabela 6).

Em frutos da primeira colheita os tratamentos AC*, nas cultivares Conference e Alexander Lucas, e AR*, em Alexander Lucas, reduziram a produção de 1-hexanol. Nesta avaliação, o armazenamento sob ULO também proporcionou redução de 1-hexanol, porém, de forma menos intensa que os tratamentos supracitados. Com o retardo na colheita não houve diferença entre tratamentos na cultivar Conference. Para a 'Alexander Lucas' os frutos do AR sem 1-MCP apresentaram maior produção de 1-hexanol, porém sem diferir daqueles em AC sem 1-MCP (Tabela 6).

A produção de acetato de etila para a cultivar Conference, na primeira colheita, foi menor em AC*, seguido de AR* e ULO (Tabela 7).

Tabela 7. Compostos aromáticos ésteres (acetato de etila e butila) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{de UR}$).

Tratamento	Acetato de etila (mg L^{-1})			Acetato de butila (mg L^{-1})		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
Conference – KOB						
AR	39,5Aa	28,8Bab	34,2	11,2Aa	9,7Aa	10,4
AC	35,9Aa	44,1Aa	40,0	8,6Bab	10,9Aa	9,5
AR*	2,4Bc	25,7Aab	14,0	4,9Bb	10,9Aa	7,9
AC*	0,0Bd	17,9Ab	8,9	0,5Bc	6,0Ab	3,3
ULO	21,0Ab	35,0Aab	28,0	6,0Aab	7,2Aab	6,6
Média	19,7	30,3		6,2	8,9	
CV%	8,3	7,9		12,4	6,1	
Alexander Lucas – KOB						
AR	0,9Aab	0,6Aab	0,8	1,8Aa	1,7Aa	1,7
AC	1,3Aa	0,9Ba	1,0	1,5Aab	1,3Aa	1,4
AR*	0,0Bc	0,4Ab	0,2	0,2Bc	1,3Aa	0,8
AC*	0,3Abc	0,8Aa	0,5	0,09Bc	1,1Aa	0,6
ULO	1,0Aa	0,8Aab	0,9	1,2Ab	0,9Aa	1,1
Média	0,7	0,7		0,9	1,3	
CV%	34,6	18,3		14,4	14,3	

AR: Atmosfera refrigerada; AC: Atmosfera controlada; AR*: Atmosfera refrigerada com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Com o retardo na colheita houve um aumento na produção de acetato de etila em frutos dos tratamentos com 1-MCP. Nesta avaliação foi observada diferença entre os tratamentos AC e AC*, sendo encontrado maiores valores na condição de AC sem a aplicação do 1-MCP. Para a ‘Alexander Lucas’, na primeira colheita, verificou-se redução na produção de acetato de etila em frutos tratados com 1-MCP, havendo maior produção nos frutos armazenados em AC e ULO, os quais não diferiram daqueles em AR. Na segunda colheita, os

frutos armazenados em AC (com ou sem 1-MCP) apresentaram a maior produção de acetato de etila, diferindo de AR*.

Em peras ‘Conference’, o 1-MCP, aplicado em frutos que foram armazenados em AC, reduziu a produção de ésteres acetatos de butila (Tabela 7), pentila, hexila (Tabela 8) e 2,4 decadienoato de etila, independente da data de colheita.

Tabela 8. Compostos aromáticos ésteres (acetato de pentila e hexila) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%\text{ de UR}$).

Trat.	Acetato de pentila ($\mu\text{g L}^{-1}$)			Acetato de hexila ($\mu\text{g L}^{-1}$)		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
Conference – KOB						
AR	200,0Aa	206,0Aa	200,0	1180,0Aa	1020,0Aa	1100,0
AC	163,0Aa	173,0Aab	170,0	836,0Aab	950,0Aab	890,0
AR*	80,0Bab	200,0Aa	140,0	190,0Bbc	1100,0Aa	640,0
AC*	10,0Bb	103,0Ac	60,0	26,0Bc	470,0Ac	240,0
ULO	130,0Aa	140,0Abc	130,0	470,0Aabc	530,0Abc	500,0
Méd.	116,0	164,0		542,0	816,0	
CV%	39,3	12,7		47,6	16,0	
Alexander Lucas – KOB						
AR	70,0Aa	61,3Aa	66,0	630,0Aa	430,0Aa	530,0
AC	64,5Aa	55,10Aa	59,8	520,0Aa	340,0Aab	430,0
AR*	0,0Bb	45,5Aa	22,7	10,0Bb	220,0Ab	120,0
AC*	0,0Bb	48,7Aa	24,3	13,0Bb	300,0Aab	160,0
ULO	58,1Aa	42,4Aa	50,2	360,0Aa	320,0Aab	340,0
Méd.	38,6	50,6		308,0	324,0	
CV%	23,5	19,3		28,0	16,9	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Já, em AR, o 1-MCP diminui a produção de 2,4-decadienoato de etila (Tabela 9), em ambas as colheitas, e a produção de acetato de butila e acetato de hexila, na primeira colheita (Tabelas 7 e 8).

Tabela 9. Composto aromático éster (2,4-decadienoato de etila) em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}/94 \pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}/60 \pm 5\%$ de UR).

Trat.	2,4-decadienoato de etila ($\mu\text{g L}^{-1}$)					
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Méd.
	----- Conference – KOB -----			--- Alexander Lucas – KOB ---		
AR	366,0Aa	266,0Aa	316,0	270,0Aa	120,0Bab	200,0
AC	173,0Ab	233,0Aa	203,0	280,0Aa	160,0Ba	221,0
AR*	16,0Bc	126,0Ab	71,0	10,0Bc	66,0Ac	38,0
AC*	3,3Bc	50,0Ac	26,0	10,0Bc	100,0Abc	58,0
ULO	93,3Abc	96,0Abc	95,0	150,0Ab	86,0Abc	118,0
Méd.	130,0	154,0		145,0	109,0	
CV%	44,2	17,4		23,6	17,6	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

O acetato de pentila não foi influenciado pelo 1-MCP quando os frutos foram armazenados em AR. Embora o 1-MCP tenha prejudicado a biossíntese dos compostos aromáticos, o retardo da colheita proporcionou um incremento na produção

destes compostos. O armazenamento em ULO, em comparação ao AR, reduziu a produção de acetato de pentila, acetato de hexila, na segunda colheita, e de 2,4-decadienoato de etila, em ambas as colheitas. Diferentemente de frutos tratados com 1-MCP, a produção de ésteres não é incrementada com o retardo da colheita em frutos armazenados em ULO.

A aplicação de 1-MCP em peras ‘Alexander Lucas’ reduziu a produção de ésteres na primeira data de colheita, entretanto, o retardo da colheita proporcionou o retorno da produção de acetatos de butila, pentila, hexila em valores similares ao dos frutos do AR (Tabelas 7 e 8)

Somente na cultivar Alexander Lucas foram detectados, em concentração abaixo do limiar de odor, os compostos hexanoato de butila ($700 \mu\text{g L}^{-1}$) e butanoato de hexila ($250 \mu\text{g L}^{-1}$) além de decanoato de etila e hexanoato de hexila. Para hexanoato de butila não houve efeito dos tratamentos. Já para decanoato de etila foi verificada produção somente em frutos do tratamento AR. Não foi detectado butanoato de hexila e hexanoato de hexila em frutos da primeira colheita e que foram tratados com 1-MCP e armazenados em AR (AR*). Na segunda colheita não foi observado produção de hexanoato de hexila nos frutos do tratamento somente em AC (dados não apresentados).

2.5 DISCUSSÃO

2.5.1 Amadurecimento

Como já verificado em inúmeros trabalhos, observou-se efeito do 1-MCP na redução da taxa respiratória e produção de etileno (ARGENTA et al., 2003;. EKMANN et al., 2004; TRINCHERO et al., 2004). O 1-MCP sendo uma potente

molécula inibidora da ação do etileno age de forma indireta na taxa respiratória. De forma geral, a AC e o ULO reduziram a taxa respiratória em relação ao AR, o que ocorre em função do O₂ atuar como aceptor final de elétrons na cadeia transportadora de elétrons da respiração.

O 1-MCP manteve taxas reduzidas de produção de etileno até o final do armazenamento em frutos da primeira colheita, todavia, isto não ocorreu nos frutos da segunda colheita, em ambas as cultivares. A atividade da ácido 1-aminociclopropano 1-carboxílico sintase (ACCs) é diminuída pelo 1-MCP (VILLALOBOS-ACUÑA et al., 2010), e a expressão de genes de enzimas envolvidas na rota de biossíntese de etileno (*PcACS1*) e (*PcACO1*) é inibida. Acompanhando esta redução, há diminuição de malonil ACC e inibição pronunciada da atividade da enzima ácido 1-aminociclopropano 1-carboxílico oxidase (ACCo) (CHIRIBOGA, 2013). A transcrição de *PcACO*, *PcACS4* e *PcACS5* são mais baixas em frutos tratados com 1-MCP após 105 dias de armazenamento, mas não aos 180 dias, quando frutos recuperaram a capacidade de amolecimento e de produção de etileno (VILLALOBOS-ACUÑA et al., 2010). Este comportamento indica o incremento das reações guiadas pelo etileno e perda da eficiência do 1-MCP com o amadurecimento dos frutos. Segundo Alpalhão et al. (2006), a eficácia do tratamento com 1-MCP depende do estágio de maturação dos frutos no momento da aplicação do inibidor. Já o efeito da AC e do ULO sobre a redução da taxa de produção de etileno em peras ‘Conference’ da primeira colheita possivelmente deve-se à redução da produção de ATP devido a diminuição da atividade respiratória.

Na cultivar Conference, de maneira geral, houve efeito do 1-MCP, em AR e AC, e do ULO na manutenção da acidez titulável, e na cultivar Alexander Lucas em AC* e ULO. Alpalhão et al. (2006) verificaram retenção nos valores de AT em peras ‘Rocha’ tratadas com 300 nL L⁻¹ de 1-MCP e Shang

Ma e Chen (2003) observam maior AT em peras ‘Comice’ armazenadas em ULO (1,0 kPa O₂/0,1 kPa CO₂) comparado com AC convencional (2,0 kPa O₂/0,8 kPa CO₂). Este efeito do 1-MCP e ULO na AT possivelmente está associado a redução do metabolismo dos frutos, uma vez que estes tratamentos também reduziram a respiração e a produção de etileno.

Observou-se, de maneira geral, maior teor de SS nos frutos do tratamento AR* do que aqueles armazenados em ULO. Todavia, não se verificou um comportamento consistente para SS entre as condições de armazenamento. Moya-Leon et al. (2006) também não observaram, em peras ‘Pachkams Triumph’, diferenças entre AR e AC para os teores de SS. Calvo e Sozzi (2004) e Trinchero et al. (2004) não verificaram efeito do 1-MCP sobre os teores de SS em peras ‘Red clapps’ e ‘Bartlett’. Com relação ao ULO, Ke et al. (1990) e Shang Ma e Chen (2003) não observaram efeito do armazenamento em ULO nos teores de SS de peras ‘Bartlett’ e ‘Comice’ comparados ao armazenamento em AR e AC, respectivamente. De acordo com Kappel et al. (1995), o teor ideal de SS em peras deve ser superior a 14 °Brix. No presente trabalho os frutos de todos os tratamentos alcançaram valores superiores a 14 °Brix na cultivar Conference. Entretanto, na cultivar Alexander Lucas nenhum dos tratamentos proporcionou teores médios de SS considerados adequados por Kappel et al. (1995), o que pode ser característico da cultivar. Wawrzyńczak et al. (2006) verificaram conteúdo de SS de 13,1° em peras ‘Alexander Lucas’ armazenadas por sete meses em AC, valores similares aos encontrados no presente trabalho.

A ação do 1-MCP em peras europeias é dependente da sua concentração e da duração do armazenamento (ARGENTA et al., 2003; CALVO; SOZZI, 2004; ECKMAN et al., 2004) e, em alguns casos, pode representar um efeito negativo para

algumas cultivares, uma vez que os frutos não desenvolvem textura amanteigada e se mantêm verdes (CHIRIBOGA, 2011). O desenvolvimento de textura amanteigada e de coloração amarela da casca são importantes para a aceitabilidade dos frutos de algumas cultivares pelos consumidores (KAPPEL, 1995; PLACHARSKI; KANOPALCA, 1999). Contudo, há indícios de que em alguns mercados podem existir consumidores que desejam peras firmes, o que acarretaria na maior resistência ao manuseio e transporte, além do aproveitamento para o consumo de peras tratadas com 1-MCP e consideradas muito firmes para o consumo.

De acordo com Kappel (1995), valores de firmeza de polpa e coloração da epiderme considerados como ideais para peras europeias variam entre 18 e 22 N e entre 60 e 90 de h°. Todavia, Placharski e Kanopalca (1999) observam firmeza de polpa admissível para consumo entre 7,4 e 24,5 N, sendo que para peras ‘Alexander Lucas’ e ‘Conference’ a maior aceitabilidade está entre 11 e 13 N, respectivamente. Os frutos da primeira colheita e armazenados em AR e AC, ambos sem 1-MCP, e em ULO apresentaram valores de firmeza de polpa considerados ideais para o consumo. Todavia, os frutos tratados com 1-MCP mantiveram valores de firmeza de polpa acima dos considerados ideais para o consumo, 34,3 N e 55,1 N para ‘Conference’ em AR* e AC*, respectivamente, e 38,6 N e 43,8 N para ‘Alexander Lucas’ em AR* e AC*, respectivamente. Rizzolo et al. (2014) verificaram forte efeito do tratamento com 1-MCP na manutenção da firmeza de polpa de peras ‘Abaté Fetel’ mantidas em AR e em AC. Estes autores observaram valores por volta de 50 N para frutos tratados com 1-MCP, contrastando com 20 N em frutos não tratados. No presente trabalho com o retardo da colheita, o tratamento com 1-MCP não inibiu a redução da firmeza de polpa e ocorreu o desenvolvimento de textura amanteigada nos frutos.

Segundo Villalobos-Acuña et al. (2011), o amadurecimento de frutos tratados com 1-MCP pode ser

modulado por uma série de condições, sendo que o efeito diferenciado do tratamento com 1-MCP na mesma concentração é dependente do estágio de maturação dos frutos. Apesar do efeito desejado de frutos destas cultivares com textura amanteigada e coloração amarela da epiderme no tratamento com 1-MCP, em frutos colhidos com índice de Streif (IS) de 0,08, não se verificou diferença entre a aplicação do 1-MCP em comparação aos demais tratamentos, o que descartaria a necessidade da utilização deste produto considerando-se somente estas variáveis.

O armazenamento em AR proporcionou frutos com coloração da epiderme mais amarela. Nesta condição, frutos da cultivar Conference apresentaram valor médio de ângulo hue de 93,3 e na cultivar Alexander Lucas de 98,7. Já em AC o valor médio de ângulo hue obtido foi de aproximadamente 100, em ambas as cultivares. Ekmann et al. (2004) indicaram valores de ângulo hue igual ou abaixo de 102 para considerar o fruto com epiderme amarela. Em frutos da primeira colheita, todos os tratamentos com 1-MCP, independente da condição de armazenamento (AR ou AC), proporcionaram frutos com valor de ângulo hue maior que 102. Todavia, com o retardo da colheita, os frutos tratados com 1-MCP apresentaram valores inferiores (cultivar Conference em AR) ou levemente superiores a 102. Conforme Chiriboga et al. (2011), frutos tratados com 1-MCP em AR ou AC apresentam coloração mais verde da epiderme comparado aos frutos não tratados.

No presente trabalho o tratamento ULO manteve valores de ângulo hue maiores comparados ao AR, porém próximos aos 102, em ambas as colheitas, sendo menor na cultivar Conference, na segunda data de colheita (101,8). Estes resultados concordam com Ke et al. (1990), os quais

verificaram retardo no amarelecimento da epiderme de frutos de pera ‘Bartlett’ armazenados sob ULO.

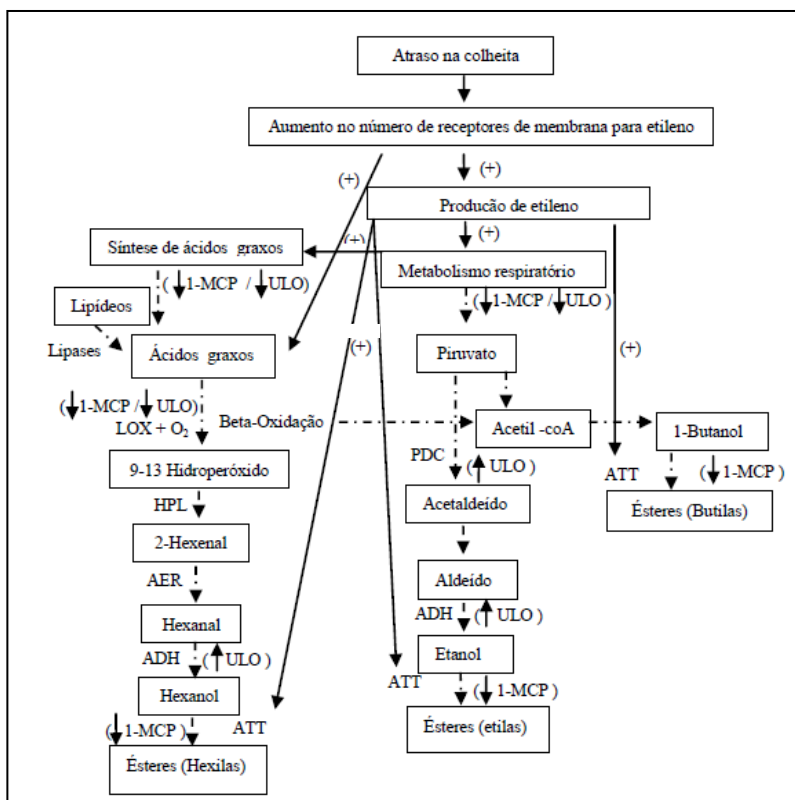
2.5.2 *Compostos aromáticos*

A redução dos valores de hexanal com o retardo da colheita e os menores valores encontrados nos frutos de ‘Alexander Lucas’ em AR e de 2-hexenal em ‘Conference’ indicam que estes compostos são reduzidos com o amadurecimento. Chen et al. (2006) observaram maior conteúdo de hexanal na epiderme de peras ‘Yali’ após a colheita, com decréscimo durante o armazenamento, resultado do amadurecimento dos frutos.

De acordo com Plotto et al. (1999), altas quantidades de hexanal e trans-2-hexenal estão presentes em maçãs ‘Gala’ armazenadas em AC. Estes autores evidenciam a redução da utilização das reservas pela respiração como causa para estes valores elevados. Desta forma, os maiores valores de aldeídos observados em frutos tratados com 1-MCP, independente da condição de armazenamento, e nos frutos armazenados em ULO podem estar associados a redução no metabolismo. Além disso, o maior conteúdo de aldeídos, encontrado nestes tratamentos, também pode estar relacionado à redução na produção de álcoois e ésteres. De acordo com Schwab et al. (2008), aldeídos C₆ e C₉ são substratos que são transformados em álcoois pela álcool desidrogenase (ADH) (Figura 3).

Figura 3. Modelo simplificado da biossíntese de alguns compostos aromáticos (aldeídos, álcoois e ésteres) e sua relação com as diferentes tecnologias de armazenamento empregadas (1-MCP e ULO). De acordo com o esquema proposto, o retardo na data de colheita provoca um aumento na produção de etileno. Este aumento causa uma aceleração nos processos envolvidos na biossíntese de compostos aromáticos e redução do efeito inibidor do 1-MCP e ULO (BRACKMANN et al., 1993; LARA et al., 2003; DEFILLIPI et al., 2005. SCHWAB et al., 2008). LOX, lipoxigenase; HPL, hidroperóxido liase; PDC, piruvato

descarboxilase; ADH, álcool desidrogenase; AAT, álcool aciltransferase. (+) = aumento na produção do composto, atividade enzimática ou reação subsequente; ↑, ↓ dentro de parênteses = Aumento e redução, respectivamente, na produção do composto, atividade enzimática, ou reação subsequente causada pela tecnologia de armazenamento.



Fonte: produção do próprio autor.

Peras ‘Alexander Lucas’ tem fortes características aromáticas envolvidas com álcoois, produzindo estes

compostos em quantidade bastante superior a ‘Conference’. Exceto para peras ‘Conference’ do tratamento AC*, na primeira colheita, os demais tratamentos superaram o limiar de odor para 1-butanol ($250 \mu\text{g L}^{-1}$). Frutos tratados com 50 nL L⁻¹ de 1-MCP apresentam aroma fresco (fresh), os quais são atribuídos a valores de butanol e butanoato de etila abaixo do limiar do odor (RIZZOLO et al., 2005). Como verificado por Rizzolo et al. (2005), peras ‘Conference’ não atingiram o limiar de odor para produção de 1-hexanol ($2500 \mu\text{g L}^{-1}$). Todavia, em ‘Alexander Lucas’ somente os frutos tratados com 1-MCP, na primeira colheita, não alcançaram estes valores. Segundo Moya-Leon et al. (2006), peras tratadas com 1-MCP têm menor produção de álcoois durante o armazenamento. Verificou-se forte supressão de álcoois em frutos da primeira colheita que foram tratados com 1-MCP e armazenados em AC, resultados que concordam com Rizzolo et al. (2005) os quais observaram que o armazenamento em AC prolongou os efeitos do 1-MCP no retardo do amadurecimento e redução na produção de aromas.

No presente trabalho, o armazenamento em AC sem aplicação de 1-MCP não apresentou efeito significativo na redução da produção de álcoois nos frutos. Segundo Moya-Leon et al. (2006), peras ‘Pachkams Thriumph’ armazenadas em AC por dois meses tiveram menores valores de álcoois que em AR, contudo com a extensão do armazenamento houve recuperação na produção, e após quatro e seis meses não foi detectado diferença entre AC e AR. O armazenamento em ULO demonstrou efeito na redução de álcoois. Lara et al. (2003) verificaram redução na atividade da LOX em frutos expostos ao armazenamento com 2 kPa de O₂. LOX requer O₂ e sua atividade é reduzida pela atmosfera com baixo O₂. Níveis baixos de O₂ causam diminuição na biossíntese de ácidos graxos, que são os precursores de álcoois e de ésteres de cadeia linear (BRACKMANN et al., 1993) (Figura 3).

A biossíntese de compostos aromáticos álcoois e ésteres está realcionada com a ação do etileno e a atividade de algumas enzimas como a LOX, ADH e ATT. A redução tanto na produção de etileno quanto da atividade destas enzimas levaria a menor produção dos compostos aromáticos (Figura 3). Moya-Leon et al. (2006) observaram correlação entre a taxa de produção de etileno e produção de álcoois, apesar que Defillipi et al. (2005) não verificaram efeito direto do etileno na enzima ADH. Segundo estes autores, a redução nos compostos álcoois ocorre pela inibição da produção de precursores, tais como ácidos graxos e aldeídos.

Na produção de compostos voláteis ésteres a enzima álcool acetil transferase (ATT) é chave na transformação de álcoois a seus respectivos ésteres (LARA et al., 2003). O 1 MCP age indiretamente na produção de ésteres devido seu efeito inibitório sobre a ação do etileno. A expressão gênica da ATT é fortemente regulada pelo etileno, o que sugere o envolvimento deste hormônio na biossíntese de ésteres via regulação da ATT (DEFILLIPI et al., 2005) (Figura 3).

Os acetatos de etila e butila foram os compostos ésteres encontrados em maior quantidade. O acetato de etila foi estimulado pela AC com produção similar em AR e ULO. Lara et al. (2003) observaram que a atividade das enzimas piruvato descarboxilase (PDC) e álcool desidrogenase (ADH) são elevadas pela AC, causando acúmulo de etanol, que pode ser utilizado na biossíntese de ésteres etila (Figura 3).

Ocorreu um efeito acentuado na redução de compostos aromáticos ésteres nos frutos da primeira colheita, tratados com 1-MCP e armazenados em AC (AC*), principalmente na cultivar Conference. Nesta condição, mesmo com o retardo da colheita, não houve o retorno da produção de compostos aromáticos (acetatos de butila, pentila e hexila) em valores

similares ao AR. Peras 'Packham's Triumph' tratadas com 1-MCP e colhidas 'tardiamente' foram capazes de produzir maiores quantidades de compostos voláteis durante o armazenamento do que aquelas colhidas na colheita comercial (MOYA-LEÓN et al., 2006). De acordo com Rizzolo et al. (2005), vários contribuintes de aromas em peras 'Conference' foram detectados em frutos tratados com 1-MCP (25 ou 50 nL L⁻¹) e armazenados por cinco meses e meio em AR. Todavia, os frutos armazenados em AC e tratados com 50 nL L⁻¹ apresentaram valores de acetato de etila, butila, hexila, butanoato de etila e butanol abaixo dos valores de limiar de odor. Este efeito pode estar associado ao sinergismo entre o 1-MCP e a composição atmosférica da AC na redução do metabolismo dos frutos e conseqüentemente produção de compostos aromáticos. Já em AR* os frutos retomaram a produção de ésteres, atingindo valores similares ao tratamento somente em AR. Para a cultivar Alexander Lucas houve retorno na produção de ésteres em frutos tratados com 1-MCP, independente da condição de armazenamento.

Em ULO verificou-se, de maneira geral, uma redução na produção de ésteres, não ocorrendo um incremento significativo com o retardo da colheita. A atmosfera com baixo O₂, mesmo em condições de pressões parciais maiores que ULO (2 ou 3 kPa) tem sido associada ao decréscimo na produção de alguns voláteis ésteres importantes para o aroma de peras (CHERVIN et al., 2000; LARA et al., 2003). Segundo Lara et al. (2003), apesar de redução na atividade da lipoxigenase (LOX), a hipoxia não reduziu a atividade da AAT. Brackmann et al. (1993) e Lara et al. (2003) sugerem que o efeito do O₂ está associado a redução na oxidação de lípidos, e conseqüente falta de precursores para formação de ésteres. A disponibilidade de substrato é fator relevante na produção de compostos ésteres (LARA et al., 2006) (Figura 3).

Houve redução do composto de 2,4-decadienoato de etila em todas as condições de armazenamento comparado ao

armazenamento em AR, ocorrendo retorno da produção somente em AC na segunda colheita. Moya-León et al. (2006) observaram redução de 2,4-decadienoato de etila em peras ‘Packham’s Triumph’ tratadas com 1-MCP. Estes autores verificaram valores, na primeira data de colheita, maiores em AC do que em AR e AR*. Na segunda data de colheita somente 1-MCP inibiu a produção do 2,4-decadienoato de etila (MOYA-LEÓN et al., 2006). Este composto possui características voláteis de impacto em cultivares de pera com aromas similares a peras ‘Bartlett’ sendo observados também em ‘Packham’s Triumph’ (CHERVIN et al., 2000; MOYA-LEÓN et al., 2006). Moya-León et al. (2006) verificaram incremento de decadienoatos com o armazenamento, contudo, com grande supressão pelo tratamento com 1-MCP, como verificado no presente trabalho.

Chervin et al. (2000) observaram redução de decadienoatos de etila durante armazenamento de ‘Packham’s Triumph’ sob baixo O₂ (3 kPa). Eles sugerem que as diferenças observadas são devido a baixa síntese de substratos de decadienoatos. As reações geradoras destes substratos (atividades da dioxigenase e ácido graxos liase) e os passos posteriores para formação de ésteres via derivados de acetilCoA são processos oxidativos que são reduzidos pelo baixo O₂.

Argenta et al. (2003) verificaram efeito pronunciado do 1-MCP na produção de compostos de cadeia ramificada em peras ‘d'Anjou’, tais como ésteres butanoatos e hexanoatos. No presente trabalho somente na cultivar Alexander Lucas estes compostos foram detectados.

Neste trabalho foi observado a influência da maturação na colheita sobre o efeito do 1-MCP, desta forma, novos trabalhos devem ser realizados, nestas condições, avaliando

diferentes períodos de armazenamento e de prateleira no amadurecimento e produção de aromáticos.

2.6 CONCLUSÃO

O 1-MCP (300 nL L⁻¹) inibe o amadurecimento e a produção de aromas em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas com índice de Streif (IS) de 0,13 e 0,15, respectivamente.

Há um aumento na produção de compostos aromáticos com o retardo da colheita em peras tratadas com 1-MCP. Em armazenamento refrigerado os frutos colhidos com IS de 0,08 e tratados com 1-MCP produzem compostos aromáticos de maneira similar aos frutos sem 1-MCP, especialmente em peras ‘Alexander Lucas’. Em peras ‘Conference’ o tratamento com 1-MCP em atmosfera controlada reduz a produção de compostos aromáticos, especialmente na primeira colheita.

O armazenamento sob ULO reduz o amarelecimento dos frutos colhidos com IS 0,13 e 0,15, além de comprometer a produção de aromas em ambas as datas de colheita.

3 AMADURECIMENTO E AROMA DE PERAS ‘ALEXANDER LUCAS’ COLHIDAS EM ÉPOCAS E REGIÕES DE PRODUÇÃO DISTINTAS, TRATADAS COM 1-MCP E ARMAZENADAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES

3.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes condições de armazenamento e do 1-MCP sobre a qualidade e produção de compostos aromáticos de peras ‘Alexander Lucas’, bem como o efeito da data de colheita na superação de possíveis efeitos inibitórios do 1-metilciclopropeno (1-MCP), em frutos armazenados sob refrigeração (AR) e em atmosfera controlada (AC), e do ultra baixo oxigênio (ULO). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial, combinando cinco condições de armazenamento [AR (21,0 kPa O₂+0,03 kPa CO₂), AC (2 kPa O₂/ $<0,7$ kPa CO₂), AR com aplicação de 1-MCP (AR*-300 nL L⁻¹), AC com aplicação de 1-MCP (AC*) e ULO (0,7 kPa O₂/ $<0,7$ kPa CO₂)] com dois pontos de maturação [colheita 1 (05/09/2012; índice de Streif de 0,15; 0,12; 0,09 para pomares 1-Ravensburg, 2- Langenargen e 3- Öhringen, respectivamente) e colheita 2 (18/09/2012; índice de Streif de 0,08; 0,06; 0,08 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente)]. Todos os tratamentos foram mantidos a 0±0,1°C e 94±2% de umidade relativa. O 1-MCP inibiu o amadurecimento e a produção de aromas em peras ‘Alexander Lucas’ da primeira colheita, independentemente da região de produção. Em frutos tratados com 1-MCP, em AR ou AC, o retardo na colheita possibilitou o desenvolvimento de textura amanteigada e aumentou a produção de compostos aromáticos

ésteres a níveis similares ao de frutos armazenados em AR sem 1-MCP. O armazenamento em ULO também reduziu a produção de compostos aromáticos, porém de maneira menos intensa que o 1-MCP. A condição de ULO manteve a acidez dos frutos e apresentou efeito variável entre as regiões de produção quanto à manutenção da cor verde e incremento na produção de álcoois e ésteres com o retardo na colheita. A AC não apresentou efeito consistente no retardo do amadurecimento dos frutos, em comparação ao AR, contudo estimulou a produção álcoois e ésteres.

Palavras-chave: *Pyrus communis*. Etileno. Maturação. Atmosfera controlada.

3.2 INTRODUÇÃO

O prolongamento do armazenamento de frutos com manutenção da qualidade é um desafio, contudo, imprescindível para a oferta de produtos em mercados distantes e durante a maior parte do período de entressafra. Vários são os fatores associados à qualidade dos frutos, e dentre estes, atributos sensoriais como textura, coloração e aroma são determinantes na decisão de compra pelo consumidor. Em se tratando de compostos aromáticos, estes são afetados pelo estágio de maturação dos frutos no momento da colheita, pelos fatores ambientais, pelas práticas de cultivo, além do manejo pós-colheita e das condições de armazenamento (EL HADI et al., 2013, LI et al., 2013).

No caso de fatores pré-colheita, a luz solar, a disponibilidade de água, a adubação e as aplicações químicas afetam o crescimento das plantas, e assim as características de qualidade pós-colheita, incluindo o sabor (EL HADI et al., 2013). Assim, frutos de distintas regiões de produção podem apresentar maturação distinta e conseqüentemente diferença na

firmeza de polpa (GALVIS-SÁNCHEZ, et al., 2004), taxas respiratória e de produção de etileno (WHITAKER et al., 2009).

A respeito de condições de armazenamento, vários trabalhos vêm sendo realizados com a utilização do 1-MCP em peras europeias, demonstrando resultados promissores na manutenção da firmeza de polpa e amarelecimento da epiderme (CALVO; SOZZI, 2004; TRINCHERO et al., 2004; CHIRIBOGA et al., 2011; RIZZOLO et al., 2014). No entanto, esses resultados são dependentes de fatores como a concentração e o momento da aplicação do 1-MCP nos frutos, afetando diretamente o desenvolvimento das características ideais para consumo (CHIRIBOGA et al., 2013) e a produção de compostos aromáticos (RIZZOLO et al., 2005; MOYA-LEÓN et al., 2006). Além disso, há escassa literatura a respeito do efeito do 1-MCP em peras ‘Alexander Lucas’.

O potencial de armazenamento e a qualidade dos frutos podem ser fortemente influenciados pela data de colheita. O estágio de maturação na colheita desempenha um papel central no desenvolvimento de sabor, particularmente em frutos climatéricos onde o amadurecimento é regulado pelo etileno (MATTHEIS; FELLMAN, 1999). A colheita tardia, apesar da dificuldade no armazenamento e transporte (MATTHEIS; FELLMAN, 1999), proporciona frutos maiores e com melhor desenvolvimento de atributos sensoriais (GAMRASNI et al., 2010). Enquanto o amadurecimento progride, a produção de compostos voláteis que contribuem para o aroma e sabor avançam significativamente (MATTHEIS; FELLMAN, 1999). Estudos evidenciam a influência do estágio da maturação na colheita sobre o efeito do 1-MCP (CALVO, 2004; MOYA-LEÓN et al., 2006; CHIRIBOGA et al., 2013). Segundo Chiriboga et al. (2013), o efeito da maturação no tratamento

com 1-MCP possivelmente se relaciona com a abundância de receptores de etileno no momento do tratamento ou na capacidade de síntese de novos receptores de etileno durante o armazenamento.

O armazenamento de peras em AC é uma tecnologia consagrada e uma prática comum (GAMRASNI et al., 2010). Todavia, há evidências da diminuição significativa de compostos aromáticos em peras europeias (CHERVIN et al., 2000; LARA et al., 2003).

De acordo com Song e Bangerth (2003), a produção reduzida de aromas em frutos no período pré-climatérico e no armazenamento em atmosfera controlada estaria associado com a menor produção de ATP e ácidos graxos. Brackmann et al. (1993) verificaram, após o armazenamento em ULO, que frutos colhidos na fase do climatérico sintetizaram mais ácidos graxos e produziram mais compostos aromáticos do que frutos colhidos em estágio pré-climatérico. Dessa forma, a maturação pode ser um fator importante na formação de voláteis aromáticos em condições de AC, especialmente em frutos tratados com 1-MCP.

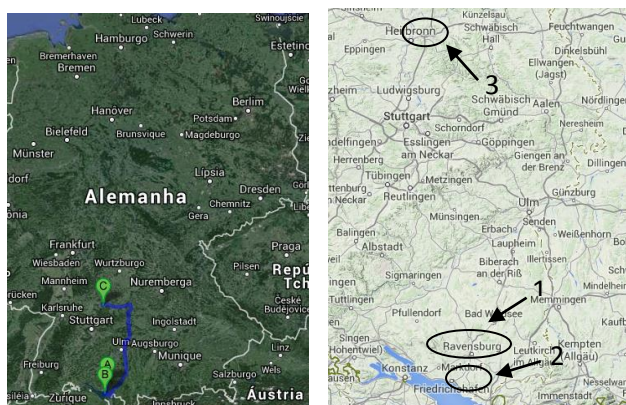
O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes condições de armazenamento e do 1-MCP sobre a qualidade e produção de compostos aromáticos de peras 'Alexander Lucas', bem como o efeito da data de colheita na superação de possíveis efeitos inibitórios do 1-metilciclopropeno (1-MCP), em AR e em AC, e do ULO.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com frutos colhidos em duas datas (05/09/2012 e 18/09/2012), na safra de 2012, em três pomares localizados no estado de Baden-Württemberg, no sudoeste da Alemanha. A primeira (Pomar 1), segunda (Pomar 2), e terceira (Pomar 3) regiões de colheita estão localizadas,

respectivamente, nos municípios de Ravensburg, Langenargen e Öhringen (Figura 4).

Figura 4. Localização dos pomares de peras ‘Alexander Lucas’. Pomar (A-1): Ravensburg; Pomar (B-2): Langenargen e Pomar (C-3): Öhringen. Distâncias aproximadas entre os pomares considerando rodovias são de 24 km entre o pomar 1 e 2, de 260 km entre os pomares 2 e 3, e de 236 km entre os pomares 1 e 3.



Fonte: produção do próprio autor.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial, combinando cinco condições de armazenamento com dois pontos de maturação. Os tratamentos, compostos por três repetições e unidade experimental de oito frutos para análise de atributos de qualidade e dez frutos para compostos aromáticos foram: AR (21,0 kPa O₂+0,03 kPa CO₂), AC (2 kPa O₂<0,7 kPa CO₂), AR com aplicação de 1-MCP (AR*-300 nL L⁻¹), AC com aplicação de 1-MCP (AC*) e ULO (0,7 kPa O₂<0,7 kPa CO₂) versus colheita 1 (05/09/2012; índice de Streif de 0,15; 0,12; 0,09 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente) e colheita 2

(18/09/2012; índice de Streif de 0,08; 0,06; 0,08 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente). Todos os tratamentos foram mantidos a $0\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e $94\pm 2\%$ de umidade relativa (Tabela 10). Os atributos de maturação dos frutos de ambas colheitas e pomares estão apresentados na tabela 10. O índice de Streif foi medido através da seguinte fórmula: (Firmeza de polpa (kg)) / Sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) x Índice iodo-amido (1-10).

Tabela 10. Atributos de maturação de peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas (05/09/2012 e 18/09/2012) e três locais.

	Circunferência do fruto (mm)	Peso (g)	Firmeza de polpa (N)	Íodo-Amido (1-10)
Pomar 1				
Colheita 1	72,73	232,53	54,97	2,90
Colheita 2	79,90	312,06	46,74	4,53
Pomar 2				
Colheita 1	78,10	283,97	53,70	3,94
Colheita 2	78,69	297,45	45,47	5,87
Pomar 3				
Colheita 1	71,83	227,77	58,80	4,57
Colheita 2	79,00	248,00	52,33	4,71
	Sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$)	Cor da epiderme ($^{\circ}\text{hue}$)	Acidez titulável (%)	Índice de Streif
Pomar 1				
Colheita 1	12,70	116,71	0,423	0,15
Colheita 2	12,27	115,66	0,337	0,08
Pomar 2				
Colheita 1	11,10	116,97	0,283	0,12
Colheita 2	11,80	116,74	0,267	0,06
Pomar 3				
Colheita 1	13,80	117,21	0,450	0,09
Colheita 2	13,20	115,96	0,347	0,08

Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen

Fonte: produção do próprio autor.

Após sete meses de armazenamento e mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR), os frutos foram avaliados quanto aos atributos de firmeza de polpa, cor da

epiderme [ângulo hue (h°)], sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e compostos aromáticos aldeídos (hexanal, 2-hexenal), álcoois (1-butanol, 1-hexanol) e ésteres (acetatos de etila, butila, pentila, hexila, 2,4 decadienoato de etila).

Para a determinação de firmeza de polpa (N) foi utilizado um penetrômetro com ponta de $0,5 \text{ cm}^2$, sendo realizada leitura no maior diâmetro do fruto, que teve a epiderme previamente removida.

A cor da epiderme (h°) foi determinada utilizando um colorímetro eletrônico (Minolta CR 300C), em que 180° corresponde ao verde e 90° ao amarelo. As leituras foram realizadas na porção central dos frutos.

A avaliação de sólidos solúveis (SS) foi realizada com refratômetro digital, com correção automática de temperatura, utilizando-se uma amostra homogênea de suco filtrado e os valores expressos em $^\circ\text{Brix}$.

Para acidez titulável (AT) titulou-se 10 mL de suco, diluído em 50 mL de água destilada, com NaOH (0,1 N) até pH 8,1. Esse procedimento foi realizado por um titulador automatizado da marca Metrohm com capacidade para 52 amostras e os valores foram expressos em porcentagem de ácido málico.

Para taxa respiratória foram usados recipientes hermeticamente fechados com capacidade de 4 L. A taxa respiratória foi monitorada pela concentração de CO_2 em três repetições de três frutos, com o auxílio de analisadores de gás por fluxo contínuo e os resultados expressos como $\text{mL de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Para a medição da taxa de produção de etileno os frascos herméticos foram fechados por duas horas e com uma seringa retirou-se amostra de ar de 10 mL. O conteúdo de 1 mL do ar contido nas seringas foi injetado em um cromatógrafo à

gás (Varian 2700 Series), sob as condições de temperatura de 220°C, 240°C e 110°C para injetor, detector e coluna, respectivamente. Os resultados foram expressos μL de C_2H_4 $\text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$.

Para realizar as avaliações de compostos aromáticos (hexanal, 2-hexenal, 1-hexanol, 1-butanol, acetato de etila, butila, hexila, pentila e 2,4 decadienoato de etila), trinta frutos foram separados em três repetições e cortados longitudinalmente em forma de cunha (30 g), permanecendo casca e polpa. Nesta amostra adicionou-se 30 g de uma solução saturada de cloreto de cálcio (CaCl_2 - 700 g L^{-1}). O CaCl_2 foi mantido a 250°C durante 6 horas para evitar que houvesse contaminação e absorção de água, e a solução foi mantida refrigerada a 1°C para reduzir a volatilização dos compostos aromáticos durante o preparo das amostras. A mistura (polpa com casca e solução saturada de CaCl_2) foi homogeneizada num misturador (Turrax - 13500 rpm) e congeladas a -28°C. As análises foram realizadas no departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos na Faculdade Biotécnica de Lubiana, localizada na Eslovénia. Para as análises foi utilizado um cromatógrafo a gás (6890N, Agilent Technologies, EUA), equipado com um amostrador automático (MPS2, Multipurpose Sampler, Gerstel, Alemanha) e detector de íons-massa seletiva (Hewlett - Packard 5971A, Palo Alto, CA, EUA). O cromatógrafo à gás foi equipado com coluna capilar ZB - CERA, 60 m x 0,32 mm x 0,5 μm (Phenomenex, EUA). Os compostos voláteis foram amostrados por meio de microextração em fase sólida (SPME), com fibra de microextração com 85 μm de espessura. Uma alíquota da amostra de 10 mL (mistura casca+polpa+solução saturada de CaCl_2) foi colocada em frascos de vidro de 20 mL ao qual adicionou-se nitrogênio líquido a fim de provocar um meio inerte no interior do frasco. Após evaporação do nitrogênio líquido os frascos foram lacrados e uma fibra do SPME foi introduzida e exposta ao interior destes frascos. Após recolhida

a fibra, para a dessorção térmica, esta permaneceu no injetor durante cinco minutos na temperatura de 270°C. A temperatura do forno foi de 40°C por cinco minutos, e em seguida, aumentou-se de 40°C a 230°C a uma taxa de 4°C min⁻¹, mantendo-se durante cinco minutos a 230°C. Os picos foram identificados por comparação dos espectros experimentais com o National Institute of Standards and Technology (EUA). As concentrações relativas dos produtos voláteis foram calculadas por comparação das áreas dos picos dos produtos voláteis com a do padrão externo, 6-metil-5-hepteno-2-ona.

Os valores das concentrações dos compostos aromáticos sofreram transformação logarítmica e todos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

3.4 RESULTADOS

3.4.1 Amadurecimento

Frutos colhidos em mesma data apresentaram diferença no índice de Streif (IS) em função do local de produção (Tabela 10). Essa diferença foi maior no pomar 3 em comparação aos demais, onde verificou-se IS de 0,09 na primeira colheita. Este baixo IS é resultado do alto valor na escala de íodo-amido e dos teores de SS, uma vez que os frutos deste pomar tiveram os maiores valores de firmeza de polpa.

Em todos os pomares o tratamento com 1-MCP, independente da atmosfera de armazenamento, reduziu a produção de etileno e taxa respiratória nos frutos da primeira colheita (Tabela 11).

Tabela 11. Produção de etileno e taxa respiratória em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

Trat.	Taxa de produção de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)			Taxa respiratória ($\text{mL de CO}_2 \text{kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	média	1	2	média
Pomar 1						
AR	44,7Aa	45,2Aa	44,9	15,3Aa	17,7Aa	15,2
AC	40,2Aa	35,1Aa	37,6	14,0Aa	12,9Ab	13,4
AR*	0,7Bb	41,3Aa	21,0	5,6Bb	13,5Aab	9,6
AC*	0,8Bb	41,6Aa	21,2	2,8Bc	12,8Ab	8,6
ULO	37,0Aa	32,5Aa	34,8	13,0Aa	11,7Bb	12,4
Média	24,7	37,8		10,2	13,7	
CV%	27,9	25,6		6,6	8,0	
Pomar 2						
AR	75,6Aa	38,9Aa	57,2	20,8Aa	13,7Ba	17,2
AC	41,6Ab	35,7Aa	38,6	13,0Ab	12,8Aa	12,9
AR*	4,4Bc	48,0Aa	26,2	6,3Bc	12,4Aa	9,4
AC*	13,6Bc	49,0Aa	31,3	7,0Ac	11,5Aa	9,2
ULO	42,5Ab	43,8Aa	43,1	12,5Ab	11,9Aa	12,2
Média	35,5	43,0		11,9	12,5	
CV%	13,0	19,5		11,5	5,0	
Pomar 3						
AR	68,0Aa	56,4Aa	62,2	12,0Aa	13,6Aa	12,8
AC	60,0Aa	46,9Aa	53,4	10,3Aa	9,7Ab	10,0
AR*	10,4Bb	50,0Aa	30,2	4,7Bb	9,9Ab	7,3
AC*	7,0Bb	45,0Aa	26,0	4,7Bb	9,5Ab	7,1
ULO	55,9Aa	53,4Aa	54,6	10,0Aa	10,1Ab	10,1
Média	40,2	50,4		8,3	10,0	
CV%	13,3	13,8		10,4	6,7	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: produção do próprio autor.

No pomar 1, a redução mais significativa na taxa respiratória pelo 1-MCP ocorreu em frutos armazenados em AC. No pomar 2, além da diminuição observada para taxas respiratória e de produção de etileno nos frutos tratados com 1-MCP, também houve decréscimo nos tratamentos AC sem 1-MCP e ULO, porém de maneira menos expressiva. Na segunda colheita, AC, AC* e ULO proporcionaram a menor taxa respiratória em frutos do pomar 1. No pomar 2 não houve diferença significativa entre os tratamentos, e, no pomar 3, comparado aos frutos em AR, todos os tratamentos reduziram a taxa respiratória. Observou-se um incremento significativo nas taxas respiratórias e de produção de etileno nos frutos tratados com 1-MCP em todos os pomares com o retardo na colheita, exceto a taxa respiratória no pomar 2 e armazenados em AC*. Pode-se observar equivalência entre os tratamentos na produção de etileno com o retardo na colheita.

Verificou-se maiores valores de AT nos frutos armazenados em ULO, todavia, sem diferir para AC*, no pomar 1; AR e tratamentos com 1-MCP no pomar 2, e AR* pomar 3. Nos pomares 2 e 3, as peras armazenadas em AR sem 1-MCP apresentaram menor AT do que os demais tratamentos. Em todos os pomares e condições de armazenamento o retardo na colheita reduziu a AT (Tabela 12).

Tabela 12. Acidez titulável e sólidos solúveis em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

Trat.	Acidez titulável (% ácido málico)			Sólidos Sólúveis ($^{\circ}\text{Brix}$)		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	média	1	2	média
Pomar 1						
AR	0,163	0,100	0,131b	13,7Aab	11,7Ba	12,7
AC	0,163	0,133	0,148b	13,1Aab	12,5Ba	12,8
AR*	0,146	0,120	0,133b	13,8Aa	12,2Ba	13,0
AC*	0,206	0,140	0,173a	13,5Aab	12,2Ba	12,8
ULO	0,196	0,156	0,176a	13,0Ab	12,4Ba	12,7
Média	0,175A	0,130B		13,4	12,2	
CV%	8,86			2,1	3,1	
Pomar 2						
AR	0,123	0,103	0,113b	11,5	12,0	11,7b
AC	0,156	0,143	0,150a	11,8	11,8	11,8ab
AR*	0,160	0,136	0,148a	12,2	12,2	12,2a
AC*	0,166	0,140	0,153a	11,8	11,6	11,7b
ULO	0,173	0,136	0,155a	11,9	11,8	11,9ab
Média	0,156A	0,132B		11,8A	11,9A	
CV%	6,08			1,9		
Pomar 3						
AR	0,156	0,100	0,128c	13,9	12,8	13,3b
AC	0,173	0,130	0,151b	13,2	12,7	12,9c
AR*	0,113	0,136	0,160ab	14,4	13,1	13,8a
AC*	0,180	0,120	0,150b	13,8	13,0	13,4ab
ULO	0,200	0,140	0,170a	13,8	13,7	13,4ab
Média	0,164A	0,125B		13,8A	13,0A	
CV%	4,80			1,6		

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Fonte: produção do próprio autor.

No pomar 1, na primeira colheita, os frutos do tratamento AR* tiveram os maiores teores de SS, sendo diferentes de ULO, enquanto que na segunda colheita não foi observado diferença entre os tratamentos (Tabela 13).

Nos pomares 2 e 3 o maior teor de SS foi encontrado em AR* que diferiu de AC* e AR, no pomar 2, e de AR e AC, no pomar 3. O retardo da colheita reduziu o SS somente no pomar 1 (Tabela 12).

Na primeira colheita, os frutos tratados com 1-MCP, de todos os pomares, apresentaram maior firmeza de polpa, independente da atmosfera, embora colhidos com diferentes IS. Peras do pomar 1 e 3 armazenadas em AC com aplicação do 1-MCP apresentaram maior firmeza de polpa do que os tratados com 1-MCP e armazenados em AR. Já no pomar 2, apesar do maior valor de firmeza de polpa no tratamento AC* não houve diferença comparado à frutos do tratamento AR* (Tabela 13).

Tabela 13. Firmeza de polpa e cor da epiderme ($^{\circ}$ hue) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR). (Continua)

Trat.	Firmeza de Polpa (N)			Cor da epiderme ($^{\circ}$ hue)		
	----- Colheita -----		Média	----- Colheita -----		Média
	1	2		1	2	
Pomar 1						
AR	14,2Bc	17,8Aa	16,1	96,8Bc	100,7Aa	98,8
AC	17,0Ac	15,3Aa	16,2	99,6Abc	101,0Aa	100,2
AR*	38,7Ab	16,1Ba	27,3	109,3Aa	102,8Ba	106,0
AC*	43,8Aa	15,7Ba	29,7	112,6Aa	103,8Ba	108,2
ULO	17,4Ac	17,7Aa	17,5	102,8Ab	103,8Aa	103,7
Média	26,3	16,5		104,2	102,4	
CV%	6,4	9,5		1,4	2,3	

Tabela 13. Firmeza de polpa e cor da epiderme (°hue) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR). (Conclusão)

Trat.	Firmeza de Polpa (N)			Cor da epiderme (°hue)		
	----- Colheita -----		Média	----- Colheita -----		Média
	1	2		1	2	
Pomar 2						
AR	17,9Ab	16,1Ab	16,9	106,2Ab	104,0,Ab	105,1
AC	14,9Ab	14,8Ab	14,8	106,5Ab	107,9Aa	107,2
AR*	36,1Aa	16,8Bab	26,5	112,5Aa	108,8Ba	110,6
AC*	38,8Aa	19,2Ba	29,0	115,1Aa	109,1Ba	112,1
ULO	15,4Ab	15,1Ab	15,3	105,4Ab	104,8Ab	105,1
Média	24,6	16,4		109,1	106,9	
CV%	8,0	6,8		1,3	0,7	
Pomar 3						
AR	14,8Ac	15,9Aab	15,3	99,0Ac	96,0Bc	97,5
AC	13,9Ac	14,7Aab	14,3	101,5Ac	99,8Ab	100,7
AR*	34,7Ab	15,0Bab	29,4	111,6Aa	103,7Ba	107,7
AC*	43,9Aa	17,0Ba	25,9	109,2Aa	101,1Bab	105,2
ULO	15,2Ac	13,8Bb	14,5	102,9Ab	100,4Bb	101,6
Média	24,5	15,3		104,8	100,2	
CV%	7,6	5,8		1,0	0,8	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Na segunda data de colheita não houve diferença entre as condições de armazenamento para firmeza de polpa dos frutos do pomar 1. No pomar 2 foi observada maior firmeza de polpa nos frutos do tratamento AC*, sem diferir do AR* (Tabela 13).

No pomar 3, os frutos em AC* apresentaram firmeza de polpa maior que ULO, porém sem diferir das demais condições de armazenamento. Houve uma redução significativa na

firmeza de polpa com o retardo da colheita em frutos tratados com 1-MCP, independente do local de produção, e em ULO nos frutos do pomar 3 (Tabela 13).

Na primeira colheita observou-se frutos mais verdes com a aplicação do 1-MCP, em todas as regiões de produção, seguido por ULO nos pomares 1 e 3. Na segunda data de colheita, nos pomares 2 e 3, a aplicação do 1-MCP manteve os frutos mais verdes, porém, no pomar 2, não ocorreu diferença para peras armazenadas em AC sem 1-MCP. O retardo na colheita provocou amarelecimento significativo nos frutos tratados com 1-MCP. Peras dos tratamentos AC sem 1-MCP, em todos os pomares, e do ULO, nos pomares 1 e 2, não apresentaram redução significativa do ângulo hue com o retardo na colheita (Tabela 13) (Figura 5).

Figura 5. Peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em 05/09/2012 (1, 3, 5) e 18/09/2012 (2, 4, 6) colhidas no pomar 1 (1, 2), pomar 2 (3, 4) e pomar 3 (5, 6) e armazenadas por sete meses em armazenamento refrigerado (AR), atmosfera controlada (AC) e ultrabaixo oxigênio (ULO) e tratadas com 1-MCP (AR* e AC*) mais período de sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).



Fonte: produção do próprio autor.

3.4.2 Compostos aromáticos

Verificou-se interação entre as condições de armazenamento e as datas de colheita para a produção de hexanal no pomar 1. Peras da primeira colheita armazenadas em AR* apresentaram maiores valores de hexanal, porém sem diferença estatística para aqueles armazenados em AC*. Na segunda data de colheita, em comparação aos frutos em AR, as peras dos demais tratamentos produziram mais hexanal. Os frutos dos pomares 2 e 3 apresentaram, respectivamente, maior produção de hexanal em AR* e 1-MCP em ambas atmosferas de armazenamento. Somente peras armazenadas sob ULO produziram 2-hexenal no pomar 1. No pomar 2 foi detectada a produção desse composto, em ambas colheitas, nos frutos dos tratamentos AC* e ULO, e, no pomar 3, nos frutos da primeira colheita e tratados com 1-MCP, independente da atmosfera de armazenamento (Tabela 14).

Tabela 14. Compostos aromáticos aldeídos (hexanal, 2-hexenal) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Continua)

Tratamentos	Hexanal (mg L ⁻¹)			2-Hexenal (mg L ⁻¹)		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
Pomar 1						
AR	0,48Ab	0,27Bb	0,37	0,0b	0,0a	0,0
AC	0,62Ab	0,70Aa	0,66	0,0b	0,0a	0,0
AR*	1,61Aa	0,50Ba	1,05	0,0b	0,0a	0,0
AC*	0,83Aab	0,59Ba	0,71	0,0b	0,0a	0,0
ULO	0,67Ab	0,51Aa	0,59	0,2a	0,0a	0,1
Média	0,84	0,51		0,05	0,0	
CV%	25,35	14,46		5,5	0,0	

Tabela 14. Compostos aromáticos aldeídos (hexanal, 2-hexenal) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^\circ\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^\circ\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Conclusão)

Tratamentos	Hexanal (mg L^{-1})			2-Hexenal (mg L^{-1})		
	----- Colheita -----		Média	----- Colheita -----		Média
	1	2		1	2	
Pomar 2						
AR	0,49	0,42	0,46ab	0,0	0,0	0,0b
AC	0,43	0,50	0,46ab	0,0	0,0	0,0b
AR*	0,66	0,45	0,55a	0,0	0,0	0,0b
AC*	0,54	0,49	0,51ab	0,2	0,2	0,2a
ULO	0,30	0,38	0,34b	0,1	0,06	0,08ab
Média	0,48	0,45		0,06	0,05	
CV%	23,73			120,4		
Pomar 3						
AR	0,47	0,35	0,41ab	0,0	0,0	0,0a
AC	0,51	0,38	0,44ab	0,0	0,0	0,0a
AR*	0,64	0,47	0,55a	0,03	0,0	0,01a
AC*	0,71	0,51	0,61a	0,15	0,0	0,07a
ULO	0,24	0,38	0,31b	0,0	0,0	0,0a
Média	0,51	0,42		0,03	0,0	
CV%	26,54			280,2		

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

O tratamento com 1-MCP, em ambas as atmosferas de armazenamento, reduziu a quantidade de 1-butanol em peras da primeira colheita. Nos pomares 1 e 3, o armazenamento sob ULO também reduziu a produção de 1-butanol, porém de

maneira menos significativa. Nestes pomares a maior supressão de 1-butanol foi verificada em AC*. No pomar 2, se verificou maior conteúdo de 1-butanol em AC sem 1-MCP, contudo, sem diferença para ULO nos frutos da primeira colheita, e de AR* na segunda colheita. Na segunda colheita do pomar 1, em comparação ao AR, todos os demais tratamentos reduziram a produção de 1-butanol. Nos pomares 2 e 3 houve maior produção de 1-butanol em peras armazenadas em AC, os quais não diferiram de AR*. Independente do pomar, o retardo na colheita aumentou a produção de 1-butanol nos frutos tratados com 1-MCP e mantidos em AR e AC. No pomar 3 verificou-se redução na produção de 1-butanol nos tratamentos AC* e ULO comparado ao AR (Tabela 15).

Tabela 15. Compostos aromáticos álcoois (1-butanol e 1-hexanol) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Continua)

Tratamentos	1-Butanol (mg L^{-1})			1-Hexanol (mg L^{-1})		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
Pomar 1						
AR	55,9Aa	44,2Ba	50,1	4,59Aa	3,82Aa	4,20
AC	41,6Aa	28,8Bb	35,2	4,15Aa	2,76Bab	3,45
AR*	16,8Bb	30,9Ab	23,8	0,71Bc	2,27Ab	1,49
AC*	7,0Bc	23,9Ab	15,4	0,51Bc	2,14Ab	1,33
ULO	24,4Ab	21,9Ab	23,2	2,62Ab	2,42Ab	2,52
Média	29,1	30,0		2,51	2,68	
CV%	5,2	4,1		11,96	7,59	
Pomar 2						
AR	17,1Ab	16,7Ab	16,9	1,96Aa	2,08Ab	2,02
AC	24,9Ba	31,7Aa	28,3	2,16Ba	2,84Aa	2,50
AR*	7,6Bc	22,4Aab	15,0	0,67Bb	1,88Ab	1,27
AC*	3,2Bc	13,8Ab	8,5	0,52Bb	1,57Ab	1,04
ULO	19,8Aab	18,7Ab	19,2	2,05Aa	2,05Ab	2,05
Média	14,5	20,7		1,47	2,08	
CV%	15,3	17,4		14,28	13,55	

Tabela 15. Compostos aromáticos álcoois (1-butanol e 1-hexanol) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Conclusão)

Tratamentos	1-Butanol (mg L^{-1})			1-Hexanol (mg L^{-1})		
	----- Colheita -----		Média	----- Colheita -----		Média
	1	2		1	2	
Pomar 3						
AR	45,5Aa	37,1Ab	41,3	2,74Aa	2,54Ab	2,64
AC	45,2Aa	44,9Aa	45,0	3,36Aa	3,83Aa	3,59
AR*	20,0Bb	42,4Aab	31,2	0,91Bb	3,33Aa	2,12
AC*	9,0Bc	23,0Ac	16,0	0,89Bb	1,94Ac	1,41
ULO	26,0Ab	28,6Ac	27,3	2,39Aa	2,71Ab	2,55
Média	29,1	35,2		2,06	2,87	
CV%	13,63	6,6		17,98	6,78	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Peras tratadas com 1-MCP e armazenados em ambas as atmosferas, de todos os pomares, em comparação aos frutos mantidos em AR sem 1-MCP, apresentaram menor conteúdo de 1-hexanol. No pomar 1, além do efeito do 1-MCP, o armazenamento em ULO, em frutos da primeira colheita, também reduziu a produção de 1-hexanol. Neste pomar, na segunda colheita, peras não tratadas com 1-MCP e armazenados em AR apresentaram maior produção deste composto aromático, porém sem diferir dos frutos armazenados em AC sem 1-MCP. Não houve diferença entre os frutos dos tratamentos AR*, AC*, AC e ULO. No pomar 2, na segunda

colheita, foi observado maior produção de 1-hexanol em peras sem 1-MCP e armazenadas em AC. No pomar 3 verificou-se forte efeito do tratamento AC* na redução da produção de 1-hexanol, e maiores valores em AC e AR* (Tabela 15). Com o retardo da colheita, houve aumento na produção de álcoois (1-butanol e 1-hexanol) nos frutos tratados com 1-MCP (Tabela 15).

Para os frutos da primeira colheita, verificou-se, nos três pomares, atenuação na produção de acetatos de etila, butila (Tabela 16), pentila, hexila e 2,4 decadienoato de etila com aplicação do 1-MCP, independente da atmosfera de armazenamento, quando comparado ao tratamento AR sem 1-MCP.

Tabela 16. Compostos aromáticos ésteres (acetato de etila e butila) em peras 'Alexander Lucas' colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Continua)

Trat.	Acetato de etila (mg L^{-1})			Acetato de butila (mg L^{-1})		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
Pomar 1						
AR	0,88Aab	0,64Aab	0,76	1,78Aa	1,67Aa	1,72
AC	1,27Aa	0,90Ba	1,09	1,51Aab	1,26Aa	1,38
AR*	0,00Bc	0,42Ab	0,21	0,17Bc	1,35Aa	0,76
AC*	0,27Abc	0,83Aa	0,55	0,09Bc	1,14Aa	0,62
ULO	1,03Aa	0,76Aab	0,89	1,19Ab	0,95Aa	1,07
Média	0,69	0,71		0,95	1,27	
CV%	34,61	18,31		14,39	14,33	
Pomar 2						
AR	0,25Ab	0,30Ab	0,27	0,79Aa	0,67Aab	0,73
AC	1,51Aa	1,44Aa	1,47	1,03Aa	1,20Aa	1,11
AR*	0,00Ab	0,11Ab	0,05	0,20Bb	1,02Aab	0,61
AC*	0,00Bb	0,75Aab	0,39	0,07Bb	0,64Ab	0,36
ULO	1,22Aa	0,62Aab	0,92	0,79Aa	0,77Aab	0,78
Média	0,60	0,64		0,58	0,86	
CV%	44,06	48,71		23,69	22,71	

Tabela 16. Compostos aromáticos ésteres (acetato de etila e butila) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Conclusão)

Trat.	Acetato de etila (mg L^{-1})			Acetato de butila (mg L^{-1})		
	----- Colheita -----		Média	----- Colheita -----		Média
	1	2		1	2	
Pomar 3						
AR	2,13Ab	0,93Ab	1,53	1,57Aa	1,48Aab	1,52
AC	3,20Aa	2,60Aa	2,90	1,54Aa	1,79Aab	1,66
AR*	0,00Bc	0,91Ab	0,45	0,46Bb	1,99Aa	1,22
AC*	0,00Bc	2,26Aa	1,13	0,27Bb	1,38Ab	0,82
ULO	1,70Bb	2,21Aa	1,95	0,76Bb	1,38Ab	1,07
Média	1,40	1,78		0,92	1,60	
CV%	26,29	26,20		21,39	11,86	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Esta redução na produção de compostos aromáticos foi seguida pelo armazenamento em ULO, no pomar 1, para acetato de butila e 2,4 decadienoato de etila, e, no pomar 3, para acetato de pentila (Tabela 17).

Tabela 17. Compostos aromáticos ésteres (acetato de pentila e hexila) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

Trat.	Acetato de pentila ($\mu\text{g L}^{-1}$)			Acetato de hexila ($\mu\text{g L}^{-1}$)		
	----- Colheita -----		Média	----- Colheita -----		Média
	1	2		1	2	
Pomar 1						
AR	70,0Aa	61,3Aa	66,0	630,0Aa	430,0Aa	530,0
AC	64,5Aa	55,1Aa	59,8	520,0Aa	340,0Aab	430,0
AR*	0,0Bb	45,5Aa	22,7	10,0Bb	220,0Ab	120,0
AC*	0,0Bb	48,7Aa	24,3	13,0Bb	300,0Aab	160,0
ULO	58,1Aa	42,4Aa	50,2	360,0Aa	320,0Aab	340,0
Média	38,6	50,6		308,0	324,0	
CV%	23,5	19,3		28,0	16,9	
Pomar 2						
AR	36,0Ab	30,0Ab	33,0	200,0	250,0	220,0a
AC	56,0Aa	60,0Aa	58,0	263,0	320,0	291,0a
AR*	3,0Bc	40,0Aab	21,0	23,0	180,0	103,0b
AC*	0,0Bc	23,0Ab	11,0	20,0	156,0	88,0b
ULO	40,0Aab	30,0Ab	35,0	216,0	220,0	218,0a
Média	27,0	36,6		144,4B	225,2A	
CV%	23,1	22,3		28,90		
Pomar 3						
AR	56,0Aa	53,0Ab	54,0	270,0Aab	280,0Ac	275,0
AC	70,0Aa	80,0Aa	75,0	410,0Ba	570,0Aa	490,0
AR*	10,0Bc	60,0Ab	35,0	30,0Bc	400,0Abc	210,0
AC*	3,3Bc	50,0Ab	26,0	50,0Bc	330,0Abc	190,0
ULO	30,0Bb	56,0Ab	43,0	250,0Bb	440,0Ab	340,0
Média	33,9	59,8		202,0	332,0	
CV%	17,0	12,2		26,4	11,2	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: produção do próprio autor.

Na segunda colheita observou-se em frutos tratados com 1-MCP a produção de ésteres em quantidade similar ao

AR sem 1-MCP. Entretanto, peras do pomar 1, tratadas com 1-MCP e armazenadas em AR (AR*) apresentaram redução na produção de acetato de hexila e de 2,4 decadienoato de etila (Tabela 17 e 18).

Tabela 18. Composto aromático éster (2,4-decadienoato de etila) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas em três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0\pm 0,1^\circ\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^\circ\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

2,4-decadienoato de etila ($\mu\text{g L}^{-1}$)						
Tratamentos	---- Colheita ----			---- Colheita ----		
	1	2	Média	1	2	Média
----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----			
AR	270,0Aa	120,0Bab	200,0	96,0Ab	80,0Ab	83,0
AC	280,0Aa	160,0Ba	221,0	150,0Aa	150,0Aa	150,0
AR*	10,0Bc	66,0Ac	38,0	16,0Bc	63,0Ab	40,0
AC*	10,0Bc	100,0Abc	58,0	16,0Bc	66,0Ab	41,0
ULO	150,0Ab	86,0Abc	118,0	110,0Aab	80,0Ab	95,0
Média	145,0	109,0		77,6	87,8	
CV%	23,6	17,6		21,4	24,7	
----- Colheita -----						
	1	2	Média			
----- Pomar 3 -----						
AR	120,0Aa	120,0Ab	120,0			
AC	160,0Ba	250,0Aa	205,0			
AR*	23,0Bb	100,0Ab	61,0			
AC*	26,0Bb	120,0Ab	73,0			
ULO	156,0Aa	140,0Ab	148,0			
Média	97,0	146,0				
CV%	16,6	12,0				

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen.

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Nos pomares 1 e 2, o tratamento com 1-MCP, em AR ou AC, reduziu a produção de acetato de hexila em frutos da segunda colheita (Tabela 17).

O tratamento AC proporcionou maior produção de acetato de etila peras da primeira colheita dos três pomares, porém, nos pomares 1 e 2, sem diferir do tratamento ULO. Com o retardo da colheita os frutos dos tratamentos AC (com ou sem aplicação de 1-MCP) tiveram a maior produção de acetato de etila, sem diferir do ULO, nos três pomares, e do tratamento em AR sem 1-MCP, no pomar 1.

No pomar 2, em peras da primeira colheita e armazenadas em AC houve maior produção dos ésteres acetato de pentila e 2,4 decadienoato de etila, porém sem diferir do tratamento ULO; e, em frutos da segunda colheita, maior produção de acetato de pentila, porém sem diferir do AR*. Na segunda data de colheita, no pomar 1, foi verificado um incremento na produção de 2,4 decadienoato de etila em peras sob AC, sem diferir de AR. Já no pomar 3, nos frutos da segunda colheita, o armazenamento em AC proporcionou incremento na produção de acetatos de pentila, hexila e 2,4 decadienoato de etila (Tabela 17 e 18).

3.5 DISCUSSÃO

3.5.1 Amadurecimento

Na primeira colheita o tratamento com 1-MCP reduziu as taxas respiratória e de produção de etileno. O 1-MCP é inibidor da ação do etileno e conseqüentemente das reações bioquímicas (SISLER; SEREK 1997). Esta molécula atua indiretamente na regulação de genes envolvidos com expressão

de enzimas da síntese de etileno (*PcACSI*, *PcACS4* e *PcACO1*) e de receptores de membrana (*PcETR1* e *PcETR5*), levando a uma inibição da atividade da enzima ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano oxidase (ACCo) e manutenção dos níveis de transcritos *PcCTR1* (CHIRIBOGA et al., 2013). Apesar disso, o retardo na data de colheita proporcionou a produção de etileno semelhante em todos os tratamentos. A recuperação do amadurecimento induzida por armazenamento a frio em frutos tratados com 1-MCP é dependente do estágio de maturação na colheita, e está associado com o estímulo na produção de etileno, incluindo as enzimas ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano sintase e oxidase e os níveis de genes transcritos associados a essas enzimas (VILLALOBOS-ACUÑA et al., 2010).

Observou-se manutenção dos teores de SS em AR*. Embora as enzimas que desdobram o amido não sejam reguladas pelo etileno, Alpalhão et al. (2006) verificaram que peras ‘Rocha’ tratadas com 300 nL L⁻¹ de 1-MCP apresentaram, em geral, maior SS em comparação com frutos não tratados. No pomar 1 os tratamentos AC e AR* não apresentaram diferenças para AT comparado ao AR sem 1-MCP. Nos demais pomares todos os tratamentos possibilitaram frutos com maior AT que o AR. Rizzolo et al. (2014) observaram maior AT em peras ‘Abbé Fetél’ armazenadas em AC que em AR, e em frutos tratados com 1-MCP do que em frutos não tratados. Shang Ma e Chen (2003) identificaram maior AT em peras ‘Comice’ armazenadas em ULO (1,0 kPa O₂/0,1 kPa CO₂) do que em AC (2,0 kPa O₂/0,8 kPa CO₂), o que também foi observado no presente trabalho em frutos dos pomares 1 e 3.

Apesar do diferente IS nos frutos das distintas regiões, o tratamento com 1-MCP impediu o desenvolvimento de textura

amanteigada em frutos de todos os pomares na primeira colheita, independentemente da atmosfera de armazenamento. Calvo (2003) verificou bloqueio no amadurecimento de peras ‘Beurré D’Anjou’ e ‘Packham’s Triumph’ quando armazenadas em período menor do que sete meses e tratadas com 400 e 600 nL L⁻¹ de 1-MCP. Com o atraso na colheita houve o decréscimo nos valores de firmeza de polpa e consequente desenvolvimento de textura amanteigada nos frutos tratados com 1-MCP. Villalobos-Acuña et al. (2010) observaram que frutos colhidos com menor firmeza de polpa (69 N) e tratados com 300 nL L⁻¹ de 1-MCP amoleceram normalmente após 180 dias a -1°C comparados aos frutos colhidos mais firmes (acima de 76 N). A eficácia do 1-MCP é afetada por sua concentração, estágio de maturação do fruto antes da aplicação e pela duração do armazenamento (VILLALOBOS-ACUÑA et al., 2011; RIZZOLO et al., 2014). Gamrasni et al. (2010) verificaram que frutos de pera ‘Spadona’, colhidos após 14 dias do início da colheita comercial, tratados com 200 nL L⁻¹ de 1-MCP e armazenados por seis meses em AC foram menos firmes, mais doces e mais aromáticos quando comparados aos frutos da colheita comercial. A diferença no amadurecimento de frutos tratados com 1-MCP possivelmente se relaciona com a abundância de receptores de etileno no momento do tratamento ou na capacidade de síntese de novos receptores de etileno durante o armazenamento (CHIRIBOGA et al., 2013).

Os frutos tratados com 1-MCP e provenientes da segunda colheita apresentaram maior produção de etileno comparado à primeira colheita, o que possivelmente deve-se à maturação mais adiantada e consequentemente menor eficácia ao tratamento com 1-MCP. Segundo Gamrasni et al. (2010), à medida que a produção autocatalítica de etileno aumenta, ocorre uma diminuição da capacidade do 1-MCP em inibir a atividade das enzimas hidrolíticas da parede celular envolvidas no amaciamento do fruto. De maneira geral, foi observado o

efeito do 1-MCP na manutenção da firmeza de polpa com o retardo na colheita somente no pomar 2, quando os frutos foram armazenados em AC. Já, o armazenamento somente em AC, assim como em ULO, não apresentou efeito consistente na manutenção da firmeza de polpa. De acordo com Rizzolo et al. (2005), o armazenamento em AC prolonga o efeito do tratamento com 1-MCP e, neste caso, o atraso no amolecimento dos frutos depende da interação entre a dose do 1-MCP e a atmosfera de armazenamento. Galvis-Sánchez et al. (2004) não verificaram efeito das condições de AC sobre a firmeza de polpa de peras ‘Rocha’ após nove meses seguido por oito dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

No presente trabalho, mesmo com o atraso na colheita os frutos tratados com 1-MCP apresentaram epiderme mais verde comparado aos frutos armazenados em AR. Contudo, em comparação a primeira colheita, ocorreu um amarelecimento significativo nos frutos da segunda colheita e tratados com 1-MCP. Villalobos-Acuña et al. (2011) observaram que, em geral, frutos tratados com 1-MCP apresentaram epiderme mais verde. Calvo (2004) verificou que peras ‘Bartlett’ colhidas com retardo de 10 dias em relação à colheita comercial necessitaram menos dias para ocorrer o amarelecimento da epiderme em uma mesma dose de 1-MCP, indicando que o estágio de maturação é determinante para a pera retomar a capacidade de amadurecer quando tratada com 1-MCP. Quanto às atmosferas de armazenamento, nos pomares 1, na primeira colheita, e 3, em ambas colheitas, o armazenamento em ULO manteve os frutos mais verdes, comparado ao AR. Ke et al. (1990) também verificaram retardo no amarelecimento da epiderme em peras ‘Bartlett’ armazenadas sob ULO.

3.5.2 Compostos Aromáticos

Importantes precursores de aromas voláteis, como o ácido linoléico e o ácido linolênico, acumulam durante o amadurecimento e estão associados ao aumento de compostos aldeídos (DEFILIPPI et al., 2005b), os quais posteriormente são metabolizados a álcoois e ésteres. Chen et al. (2006) observaram maior conteúdo de hexanal na epiderme de peras ‘Yali’ após a colheita com decréscimo durante o armazenamento, resultado do amadurecimento dos frutos. De forma geral, observou-se nesse trabalho a influência do tratamento com 1-MCP na manutenção da quantidade de aldeídos o que pode estar relacionado à redução do metabolismo dos frutos.

O tratamento ULO apresentou comportamento variável, ocasionou redução na quantidade de hexanal, contudo, proporcionou a produção de 2-hexenal nos pomares 1 e 2, onde este composto não foi detectado em condições de AR ou AC. Este efeito do ULO pode estar associado com a redução da degradação de ácidos graxos através da diminuição da atividade da lipoxigenase (LOX) e assim, menor formação de hexanal, e/ou pela redução no metabolismo de aldeídos dos frutos, o que causaria o acúmulo de 2-hexenal.

Os tratamentos AR*, AC* e ULO foram os que mais impactaram na produção de compostos aromáticos e que apresentaram a maior quantidade de aldeídos, especialmente nos frutos tratados com 1-MCP. Compostos aldeídos são substratos para formação de álcoois e a redução no metabolismo destes aldeídos, em frutos tratados com 1-MCP e sob ULO, pode ser a razão da menor produção de álcoois e consequentemente ésteres.

A disponibilidade de substratos aldeídos e álcoois é fator determinante durante o amadurecimento para a formação de ésteres. A produção de álcoois foi reduzida pelo 1-MCP, em ambas as atmosferas de armazenamento, e pelo ULO, sendo

mais frequente nos frutos tratados com 1-MCP, principalmente no tratamento AC*. No processo de transformação de aldeídos para álcoois, e destes a ésteres, várias enzimas estão envolvidas, dentre as quais, a lipoxigenase (LOX), a álcool desidrogenase (ADH) e a álcool acetiltransferase (ATT). De acordo com Defilippi et al. (2005 a, b) a LOX não é dependente do etileno e a ADH não seria um passo limitante, todavia, a atividade da enzima AAT é fortemente regulada pelo etileno. O efeito do 1-MCP na redução de compostos aromáticos, especialmente ésteres, está relacionado com a redução na produção de etileno, e assim indiretamente na regulação da biossíntese destes compostos. A redução no metabolismo de frutos tratados com 1-MCP pode influenciar na redução da degradação de membranas celulares e conseqüentemente na menor disponibilidade de substratos para a formação de compostos aromáticos. Segundo Gamrasni et al. (2010), o tratamento de peras com 1-MCP numa fase inicial de amadurecimento pode resultar no bloqueio do amadurecimento e na restrição do sabor.

Com o retardo da colheita houve incremento na produção de ésteres nos frutos tratados com 1-MCP, alcançando valores similares aos frutos armazenados em AR e sem aplicação de 1-MCP. Possivelmente o retardo da colheita permitiu que as peras produzissem precursores para compostos aromáticos que contribuem para o sabor. Desta forma, o tratamento com 1-MCP, nessa condição, pode proporcionar propriedades sensoriais satisfatórias (GAMRASNI et al., 2010). Peras 'Packham Triumph' colhidas “tardamente” e tratadas com 1-MCP são capazes de produzir maiores quantidades de compostos voláteis durante o armazenamento, do que aquelas colhidas na colheita comercial (MOYA-LEÓN et al., 2006).

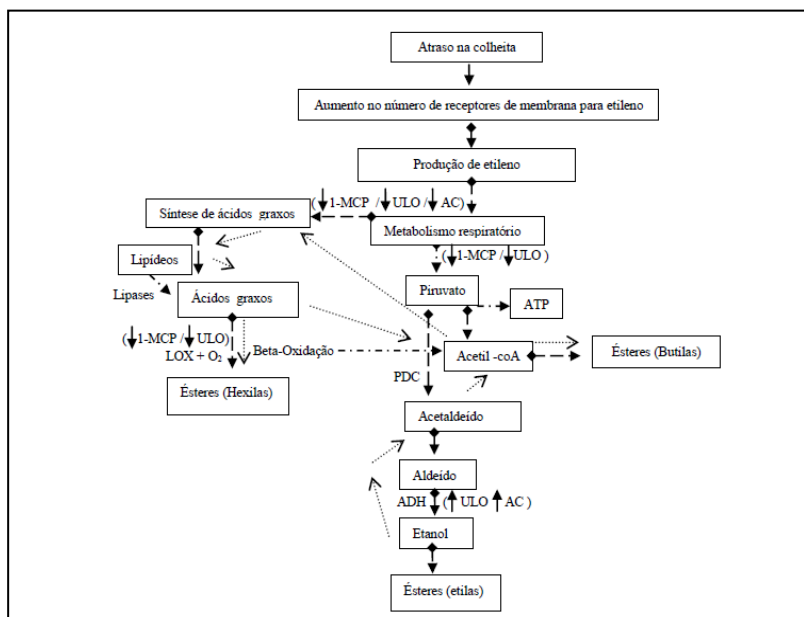
Possivelmente, o estágio fisiológico adiantado que leva a maior produção de etileno em frutos colhidos tardiamente é o que possibilita a resposta diferenciada ao tratamento com 1-MCP. Segundo Argenta et al. (2003), a produção de voláteis por peras 'd'Anjou' tratadas com 1-MCP retorna quando os frutos começam a produzir etileno. De acordo com Moya-León et al. (2006), quando frutos tratados com 1-MCP iniciam o processo de amadurecimento a produção de compostos voláteis torna-se similar aos frutos não tratados. Gamrasni et al. (2010) observaram, através de avaliação sensorial de peras 'Spadona', que o retardo da colheita proporcionou, em frutos tratados com 1-MCP, maior suculência, doçura, gosto geral e baixo nível de 'off-flavor'.

O armazenamento em ULO, apesar de ser menos restritivo que o 1-MCP, também apresentou redução na produção de compostos aromáticos. Com o retardo da colheita houve incremento significativo na produção de ésteres nos frutos do pomar 3 e armazenados sob ULO. Brackmann et al. (1993) verificaram que a produção de álcoois e ésteres com cadeias lineares em maçã foi fortemente reprimida por longo período de armazenamento em ULO. Sob atmosfera com baixo O_2 (3 kPa de O_2) a atividade da ATT envolvida no metabolismo de produção de ésteres acetatos pode ser reduzida (CHERVIN et al., 2000). De acordo com Song e Bangerth (2003), a menor produção de aromas em frutos colhidos no pré-climatérico e armazenados em AC estaria associado com a menor produção de ATP e de ácidos graxos. A inibição da biossíntese e/ou degradação de ácidos graxos e a influência do ULO no metabolismo de lípidos pode ser a razão para a falta de precursores álcoois e da baixa produção de voláteis após o armazenamento (BRACKMANN et al., 1993). A síntese de ácidos graxos teria maior importância na produção de aromas comparado à degradação dos mesmos (SONG; BANGERTH, 2003).

Apesar de ULO reduzir a produção de alguns compostos aromáticos, verificou-se estímulo na produção de alguns álcoois e ésteres no armazenamento em AC, especialmente na segunda data de colheita. Conforme Brackmann et al. (1993), a supressão de compostos aromáticos depende da composição dos gases e do período de armazenamento em AC. López et al. (2001) observaram maior produção de aroma em peras ‘Doyenne du Comice’ após três meses de armazenamento em AR para frutos colhidos precocemente, quando comparados às peras armazenadas em AC. Todavia, quando colhidas tardiamente e armazenados por sete meses verificaram maior produção de aromas nas condições de AC (2 kPa O₂/0,7 kPa CO₂). Lara et al. (2003) verificaram, na mesma cultivar, produção mais elevada de acetato de etila, butila e hexila em frutos armazenados em AC (2 kPa CO₂/0,7 kPa CO₂) do que em AR.

O armazenamento em AC poderia estar associado com o aumento na produção de etanol pelos frutos. MacDonald e Kimmerer (1993) e Kreuzwieser et al. (1999) verificaram que o etanol pode ser convertido em acetato e, este, utilizado para a síntese de acetyl-CoA, o qual pode ser aproveitado na via metabólica do ácido cítrico e na síntese de lipídeos (Figura 6). Assim, a fermentação alcoólica dos frutos seria induzida sob condições de baixo oxigênio e, ao retornar para as condições normais de atmosfera, os compostos aldeídos seriam sintetizados por oxidação enzimática do etanol (LARA et al., 2003). A diferença de comportamento entre AC e ULO estaria no fato de frutos armazenados em ultra baixo O₂ (0,7 kPa de O₂) reduzirem demasiadamente a utilização dos substratos pela redução na atividade enzimática, principalmente da LOX.

Figura 6. Modelo simplificado da biossíntese de alguns compostos aromáticos (aldeídos, álcoois e ésteres) e sua relação com as diferentes tecnologias de armazenamento empregadas. De acordo com o esquema proposto, o retardo na data de colheita provoca um aumento na produção de etileno, e este aumento causa uma aceleração nos processos envolvidos na biossíntese de compostos aromáticos e redução do efeito inibidor do 1-MCP e ULO. O armazenamento em AC estimula a produção de etanol. O etanol seria oxidado enzimaticamente produzindo acetil-coA e a síntese de lipídeos o que causaria um incremento na produção de ésteres (MACDONALD; KIMMERER, 1993); BRACKMANN et al., 1993; KREUZWIESER et al., 1999; LARA et al., 2003; DEFILLIPI et al., 2005). LOX, lipoxigenase; ADH, álcool desidrogenase. () Rota de oxidação do etanol e conseqüente formação de ésteres; ↑, ↓ dentro de parênteses = Aumento e redução, respectivamente, na produção do composto, atividade enzimática, ou reação causada pela tecnologia de armazenamento.



3.6 CONCLUSÃO

O 1-MCP inibe o amadurecimento e a produção de aroma em peras 'Alexander Lucas' nas três regiões de produção, quando colhidas na primeira data e armazenadas por sete meses em AR ou em AC (2 kPa O₂/ $<0,7$ kPa CO₂) seguido por mais sete dias em condições ambiente. O retardo na colheita provoca redução da firmeza de polpa e alteração da cor verde para amarela, contudo, o amarelecimento da epiderme é dependente do pomar.

Com o atraso na colheita ocorre aumento na produção de compostos aromáticos ésteres nos frutos tratados com 1-MCP, em ambas as atmosferas de armazenamento, em níveis similares aos dos frutos mantidos em AR e sem tratamento com 1-MCP.

O armazenamento em ULO (0,7 kPa O₂/ $<0,7$ kPa CO₂) mantém a acidez dos frutos e apresenta efeito variável entre as regiões na manutenção da cor verde e incremento na produção de álcoois e ésteres com o retardo na colheita. De maneira geral, com o atraso na colheita somente frutos do pomar 3 têm redução na firmeza de polpa, amarelecimento da epiderme e retorno à produção de ésteres. Em ULO há redução da produção de compostos aromáticos, porém de maneira menos significativa do que o 1-MCP, na primeira colheita.

O armazenamento em AC não apresenta efeito consistente no amadurecimento dos frutos, contudo, estimula a produção álcoois e ésteres.

4 ESCALDADURA SUPERFICIAL EM PERAS EUROPEIAS COLHIDAS EM DUAS ÉPOCAS, TRATADAS COM 1-MCP E ARMAZENADAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES

4.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estágio de maturação, do 1-MCP, em armazenamento refrigerado (AR) e em atmosfera controlada (AC), e do armazenamento em ultra baixo oxigênio (ULO) sobre a escaldadura superficial em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em diferentes locais de produção, e sua relação com a síntese de compostos voláteis e fenólicos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial, combinando cinco condições de armazenamento [AR (21,0 kPa O₂+0,03 kPa CO₂), AC (2 kPa O₂/ $<0,7$ kPa CO₂), AR com aplicação de 1-MCP (AR*-300 nL L⁻¹), AC com aplicação de 1-MCP (AC*) e ULO (0,7 kPa O₂/ $<0,7$ kPa CO₂)] com dois pontos de maturação [colheita 1 (05/09/2012; índice de Streif de 0,15; 0,12; 0,09 para pomares 1-Ravensburg, 2-Langenargen e 3-Öhringen, respectivamente) e colheita 2 (18/09/2012; índice de Streif de 0,08; 0,06; 0,08 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente)]. Todos os tratamentos foram mantidos a 0±0,1°C e 94±2% de umidade relativa. Após sete meses de armazenamento mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR) os frutos foram avaliados quanto ao índice de escaldadura superficial, taxa de produção de etileno, produção de α -farneseno e 6-metil-5-hepteno-2-ona (MHO), compostos fenólicos (procianidinas, flavonóis, ácidos hidroxicinâmicos (HCA) e ácido clorogênico) e vitamina C da casca. O tratamento com 1-MCP, em ambas as atmosferas de armazenamento e cultivares, reduziu a síntese de α -farneseno e de MHO. Em AC o tratamento com 1-MCP (AC*) foi mais efetivo na redução da escaldadura do que em AR. O efeito do

1-MCP em AR e do ULO sobre a redução da escaldadura superficial de peras ‘Alexander Lucas’ foi dependente do local de produção. A AC, sem 1-MCP, reduziu o índice de escaldadura superficial nos frutos de peras ‘Conference’ na primeira colheita, entretanto, não apresentou efeito em peras ‘Alexander Lucas’. Houve relação entre a redução dos compostos α -farneseno e 6-metil-5-hepteno-2-ona com a diminuição do índice de escaldadura superficial. Não houve relação entre a concentração de compostos fenólicos com escaldadura superficial em peras.

Palavras-chave: *Pyrus communis*. Distúrbios fisiológicos. α -farneseno. Etileno. Pós-colheita.

4.2 INTRODUÇÃO

A escaldadura superficial é um dos mais importantes distúrbios fisiológicos que ocorre durante o armazenamento, causando, sem tratamentos preventivos, perdas econômicas e de qualidade (ISIDORO; ALMEIDA, 2006; GUERRA et al., 2012). Os sintomas ocorrem após longos períodos em armazenamento refrigerado (LURIE; WATKINS, 2012) e incluem manchas marrons ou escuras na epiderme que frequentemente são ampliadas após remoção do armazenamento (WHITAKER et al., 2009).

Apesar dos vários trabalhos abordando a escaldadura superficial em peras (ISIDORO; ALMEIDA, 2006; GUERRA et al., 2012; LURIE; WATKINS, 2012; XIE et al., 2014), os mecanismos bioquímicos envolvidos no desenvolvimento deste distúrbio ainda não estão totalmente entendidos. Considera-se que o estresse provocado pelos produtos da auto-oxidação do

α -farneseno conduz a formação de trienóis conjugados (TCs) (GAPPER et al., 2006) e 6-metil-5-hepteno-2-ona (MHO), os quais estão associados aos danos celulares que levam ao aparecimento da escaldadura superficial (MIR et al., 1999; PESIS et al., 2010). Durante o armazenamento refrigerado ocorre um pico de produção de α -farneseno na epiderme dos frutos com posterior decréscimo, enquanto os TCs são acumulados durante todo o armazenamento (XIE et al., 2014).

A síntese de α -farneseno é regulada pelo etileno (GAPPER et al., 2006), sendo assim, este hormônio está indiretamente associado com o surgimento da escaldadura superficial. Desta forma, ações mitigadoras que reduzam a síntese e ou ação do etileno, além da utilização de mecanismos que diminuam a oxidação do α -farneseno podem ser utilizadas a fim de reduzir este distúrbio.

Alguns trabalhos verificaram diminuição na síntese de α -farneseno ou TCs com consequentemente redução na escaldadura superficial em peras tratadas com 1-metilciclopropeno (1-MCP) (GAPPER et al., 2006; XIE et al., 2014) ou armazenadas em AC (SHANG MA; CHEN, 2003; ISIODORO; ALMEIDA, 2006). O 1-MCP bloqueia a ação do etileno e assim é eficaz contra escaldadura superficial (PESIS et al., 2010). Sabban-Amin et al. (2011) verificaram que o tratamento com ultra baixo oxigênio (<0,5 kPa) e com 1-MCP, antecedendo o armazenamento atrasam o desenvolvimento da escaldadura superficial, além de causar redução no acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs) em maçãs. O aumento de EROs pode ser resultado de várias condições ambientais estressantes (SILVA et al., 2010) e metabólitos antioxidantes desempenham importante papel na destoxificação das células dos frutos (LURIE, 2003), podendo proteger contra distúrbios relacionados ao armazenamento.

Segundo Whitaker et al. (2009), além de condições em pós-colheita, alguns fatores como temperaturas pré-colheita, localização do pomar e índice de maturação são preponderantes

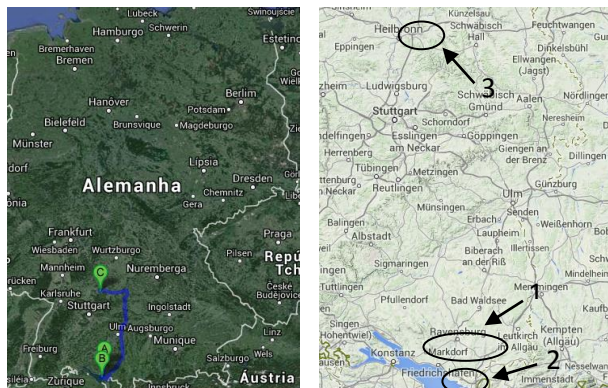
no desenvolvimento de escaldadura superficial. De acordo com Giné Bordonaba et al. (2013), a maturação dos frutos desempenha um papel chave no desenvolvimento de escaldadura superficial. Entretanto, a relação entre maturação e escaldadura superficial ainda não está bem clara em peras (WHITAKER et al., 2009)

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estágio de maturação, do 1-MCP, em armazenamento refrigerado (AR) e em atmosfera controlada (AC), e do armazenamento em ultra baixo oxigênio (ULO) sobre a escaldadura superficial em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ colhidas em diferentes locais de produção, e sua relação com a síntese de compostos voláteis e fenólicos.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com frutos colhidos em duas datas (05/09/2012 e 18/09/2012), na safra de 2012, em três pomares localizados no estado de Baden-Württemberg, no sudoeste da Alemanha. A primeira (Pomar 1), segunda (Pomar 2), e terceira (Pomar 3) regiões de colheita estão localizadas, respectivamente, nos municípios de Ravensburg, Langenargen e Öhringen (Figura 7).

Figura 7. Localização dos pomares de peras ‘Alexander Lucas’. Pomar (A-1): Ravensburg; Pomar (B-2): Langenargen e Pomar (C-3): Öhringen. Distâncias aproximadas entre os pomares considerando rodovias são de 24 km entre o pomar 1 e 2, de 260 km entre os pomares 2 e 3, e de 236 km entre os pomares 1 e 3.



Fonte: produção do próprio autor.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial, combinando cinco condições de armazenamento com dois pontos de maturação. Os tratamentos, compostos por três repetições e unidade experimental de dez frutos para compostos voláteis (α -farneseno e 6-metil-5-hepteno-2-ona) e cinco frutos para análises de compostos fenólicos e vitamina C foram: AR (21,0 kPa O₂+0,03 kPa CO₂), AC (2 kPa O₂<0,7 kPa CO₂), AR com aplicação de 1-MCP (AR*- 300 nL L⁻¹), AC com aplicação de 1-MCP (AC*) e ULO (0,7 kPa O₂<0,7 kPa CO₂) versus colheita 1 (05/09/2012; índice de Streif de 0,15; 0,12; 0,09 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente) e colheita 2 (18/09/2012; índice de Streif de 0,08; 0,06; 0,08 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente). Todos os tratamentos foram mantidos a 0±0,1°C e 94±2% de umidade relativa. Os atributos de maturação dos frutos de ambas colheitas e pomares estão apresentados na tabela 19.

Tabela 19. Atributos de maturação de peras europeias cultivares Conference e Alexander Lucas colhidas em duas épocas de colheita e em diferentes pomares.

	Circunf. do fruto (mm)	Peso (g)	Firmeza de polpa (N)	Íodo-Amido (1-10)
Conference - Pomar 1				
Colheita 1	60,70	160,53	56,54	3,33
Colheita 2	61,13	189,55	55,37	5,13
Alexander Lucas - Pomar 1				
Colheita 1	72,73	232,53	54,97	2,90
Colheita 2	79,90	312,06	46,74	4,53
Alexander Lucas - Pomar 2				
Colheita 1	78,10	283,97	53,70	3,94
Colheita 2	78,69	297,45	45,47	5,87
Alexander Lucas - Pomar 3				
Colheita 1	71,83	227,77	58,80	4,57
Colheita 2	79,00	248,00	52,33	4,71
	SS (°Brix)	(°hue)	Acidez titulável (%)	Índice de Streif
Conference - Pomar 1				
Colheita 1	13,43	114,43	0,093	0,13*
Colheita 2	14,03	114,00	0,130	0,08
Alexander Lucas - Pomar 1				
Colheita 1	12,70	116,71	0,423	0,15*
Colheita 2	12,27	115,66	0,337	0,08
Alexander Lucas - Pomar 2				
Colheita 1	11,10	116,97	0,283	0,12*
Colheita 2	11,80	116,74	0,267	0,06
Alexander Lucas - Pomar 3				
Colheita 1	13,80	117,21	0,450	0,09*
Colheita 2	13,20	115,96	0,347	0,08

Circunf.:Circunferência; Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen.
Fonte: produção do próprio autor.

O índice de Streif foi medido através da seguinte fórmula: (Firmeza de polpa (kg)) / Sólidos solúveis (°Brix) x Índice iodo-amido (1-10).

Após sete meses de armazenamento mais sete dias em condição ambiente os frutos foram avaliados quanto ao índice de frutos com escaldadura superficial, taxa de produção de etileno, produção de α -farneseno e 6-metil-5-hepteno-2-ona, compostos fenólicos (procianidinas, flavonóis, ácidos hidroxicinâmicos (HCA), ácido clorogênico) e vitamina C da casca.

Para análise de α -farneseno e 6-metil-5-hepteno-2-ona trinta frutos foram separados em três repetições e cortados longitudinalmente em forma de cunha (30 g), permanecendo casca e polpa. Nesta amostra adicionou-se 30 g de uma solução saturada de cloreto de cálcio (CaCl_2 - 700 g L^{-1}). O CaCl_2 foi mantido a 250°C durante 6 horas para evitar que houvesse contaminação e absorção de água, e a solução foi acondicionada sob refrigeração a 1°C para reduzir a volatilização dos compostos aromáticos durante o preparo das amostras. A mistura (polpa com casca e solução saturada de CaCl_2) foi homogeneizada num misturador (Turrax - 13500 rpm) e congeladas a -28°C. As análises foram realizadas no Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos na Faculdade Biotécnica de Lubiana, localizada na Eslovénia. Para as análises foi utilizado um cromatógrafo a gás (6890N, Agilent Technologies, EUA), equipado com um amostrador automático (MPS2, Multipurpose Sampler, Gerstel, Alemanha) e detector de íons-massa seletiva (Hewlett - Packard 5971A, Palo Alto, CA, EUA). O cromatógrafo à gás foi equipado com coluna capilar ZB - CERA, 60 m x 0,32 mm x 0,5 μm (Phenomenex, EUA). Os compostos voláteis foram amostrados por meio de microextração em fase sólida (SPME),

com fibra de microextração com 85 μm de espessura. Uma alíquota da amostra de 10 mL (mistura casca+polpa+solução saturada de CaCl_2) foi colocada em frascos de vidro de 20 mL ao qual adicionou-se nitrogênio líquido a fim de provocar um meio inerte no interior do frasco. Após evaporação do nitrogênio líquido os frascos foram lacrados e uma fibra do SPME foi introduzida e exposta ao interior destes frascos. Após recolhida a fibra, para a dessorção térmica, esta permaneceu no injetor durante cinco minutos na temperatura de 270°C . A temperatura do forno foi de 40°C por cinco minutos, e em seguida, aumentou-se de 40°C a 230°C a uma taxa de 4°C min^{-1} , mantendo-se durante cinco minutos a 230°C . Os picos foram identificados por comparação dos espectros experimentais com o National Institute of Standards and Technology (EUA). As concentrações relativas dos produtos voláteis foram calculadas por comparação das áreas dos picos dos produtos voláteis com a do padrão externo, 6-metil-5-hepteno-2-ona.

Para a medição da produção de etileno os frascos herméticos foram fechados por duas horas e com uma seringa retirou-se amostra de 10 mL de ar. O conteúdo de 1 mL do ar contido nas seringas foi injetado em um cromatógrafo à gás (Varian 2700 Series), sob as condições de temperatura de 220°C , 240°C e 110°C para injetor, detector e coluna, respectivamente. Os resultados foram expressos $\mu\text{L de C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

Para determinação da vitamina C a epiderme dos frutos foi removida na região de maior diâmetro dos frutos. Após remoção, a epiderme foi fragmentada, congelada em nitrogênio líquido e envolvida em folha metálica para posterior armazenamento a -28°C . Buscando evitar a degradação da vitamina C procurou-se trabalhar em condições de baixa

temperatura e com proteção da luz. Antes da análise as amostras da epiderme foram moídas em um moinho de café pré-resfriado com nitrogênio líquido (até formação de um pó homogêneo). Em seis gramas de pó da casca do fruto foram adicionados 15 mL de uma solução de ácido meta fosfórico 3% (HPO_3 - 65% de pureza e concentração de 30 g L^{-1}). A mistura foi homogeneizada com turrax (60 segundos - 13500 rpm) e após, para extração da vitamina C do tecido, as amostras permaneceram protegidas da luz em banho maria (4°C durante 20 minutos). Depois disso, as amostras foram centrifugadas (14000 g durante 20 minutos) e o sobrenadante foi filtrado com um filtro acoplado a uma seringa, sendo o filtro de náilon de $45\mu\text{m}$ com 13 mm de diâmetro para evitar que partículas fossem injetadas em cromatógrafo líquido de alta eficiência. Injetou-se manualmente $40 \mu\text{L}$ dos quais $20 \mu\text{L}$ entravam em uma câmara e posteriormente foram transferidos para coluna de um cromatógrafo líquido de alta eficiência com fluxo do eluente constituído de $2,5\text{g}$ de tetra-n-butilamônio hidrogenosulfato ($\text{C}_{16}\text{H}_{36}\text{N} \cdot \text{HSO}_4$) de $0,8 \text{ mL min}^{-1}$. A coluna permaneceu na temperatura de 30°C . O resultado do cromatograma da amostra (concentração de vitamina C) foi calculado através da injeção de um padrão na concentração de 5 mg de ácido ascórbico em 100 mL^{-1} de ácido metafosfórico (HPO_3).

A quantificação de compostos fenólicos foi realizada através de cromatografia líquida de eficiência (CLAE). Amostra das cascas dos frutos foram retiradas conforme já descrito para determinação de vitamina C e posteriormente armazenadas à -80°C até serem liofilizadas. Depois de liofilizadas as amostras foram armazenadas a -28°C até o momento da análise quando foram transportados para o Instituto de Ciências da Fruticultura (Institute of Fruit Science) do Centro de Ciências da Vida (Center of Life Science) da Universidade Técnica de Munique (Technische Universität München) em Weihestephan, Alemanha. As amostras

liofilizadas foram moídas com moinho de esferas e acondicionadas em frasco de vidro (10 mL), sendo mantidas em dessecadores para evitar a reidratação. A extração das amostras da casca (400 mg) foi realizada com padrão interno de 200 μL do solvente 3-metoxiflavona ($0,1 \text{ mg mL}^{-1}$) e 1 mL de metanol. As extrações foram realizadas em banho de ultra-som em temperatura menor que 4°C durante 30 minutos. O sobrenadante foi colocado em tubo eppendorf e centrifugado em uma centrífuga a vácuo (4500 a 5000 rpm, 10 min, 4°C) para evaporação do metanol e formação de pélete. Ao pélete restante foi adicionado 200 μL de metanol e deixou-se em banho de ultra-som nas condições anteriores, e posteriormente a amostra foi armazenada (-28°C) até o momento da análise. Antes da análise as amostras foram novamente centrifugadas (1000 rpm, 10 min, 4°C), e 70 μL do sobrenadante foi utilizado para análise em CLAE. O sistema de CLAE de fase reversa consistiu de duas bombas (modelo 422; Kontron Instruments, Alemanha) e um injetor automático de amostras (Modelo 231; Gilson Abimed Systems, Alemanha). Os compostos fenólicos foram separados em uma coluna analítica 120-3 RP-C18 Nucleosil, com eluição com ácido fórmico a 5% (solvente A) e metanol de grau para CLAE (solvente B) a uma taxa de fluxo de $0,5 \text{ mL min}^{-1}$. O perfil do gradiente foi o seguinte: 0-5 min, isocrática, 5% de B em A; 5-10 min, 5-10% de B em A; 10-15 min, isocrática, 10% de B em A; 15-35 min, 10-15% de B em A; 35-55 min, isocrática, 15% de B em A; 55-70 min, 15-20% de B em A; 70-80 min, isocrática, 20% de B em A; 80-95 min, 20-25% de B em A; 95-125 min, 25-30% de B em A; 125-145 min, 30-40% de B em A; 145-160 min, 40-50% de B em A; 160-175 min, 50-90% de B em A; 175-195 min, isocrática, 90% de B em A; 195-210 min, 90-5% de B em A; 210-235 min, isocrática, 5% de B em A. O software Geminix-III foi

utilizado para a quantificação do compostos fenólicos. A quantificação dos compostos fenólicos foi realizada usando o método do padrão interno (200µl de 3-Metoxilflavona (0,1mg/ml), sendo a área do pico do constituinte dividido pela área do padrão.

Para a análise de incidência de escaldadura superficial foi utilizado três repetições e unidade experimental de 30 frutos sendo quantificados com e sem a presença do distúrbio e os resultados expressos em porcentagem do total de frutos. O índice de escaldadura superficial foi determinado de acordo com a seguinte fórmula: Índice de escaldadura= $\{[(1 \times \text{número de frutos com severidade } 1)+(2 \times \text{número de frutos com severidade } 2)+(3 \times \text{número de frutos com severidade } 3)]/[(\text{Maior valor da escala de escaldadura } (3) \times \text{número total de frutos avaliados})] \} \times 100$ (Figura 8).

Figura 8. Severidade de escaldadura superficial (0-3) para peras ‘Alexander Lucas’



Fonte: Kompetenzzentrum Obstau Bodensee (KOB)

Os valores em porcentagem foram transformados pela fórmula arco-seno $[(x+0,5)/100]^{1/2}$ antes de serem submetidos à análise da variância (ANOVA). Para a comparação das médias, adotou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$).

4.4 RESULTADOS

Observou-se na primeira data de colheita o menor índice de escaldadura superficial na cultivar ‘Conference’ sob

armazenamento em AC, AC* e ULO. Já, na segunda colheita os frutos armazenados em AC tratados com 1-MCP (AC*) não desenvolveram escaldadura superficial. O armazenamento sob ULO reduziu o índice de escaldadura, contudo, foi menos efetivo que AC*. Nesta avaliação, frutos do tratamento AR apresentaram o maior índice de escaldadura, porém, sem diferir de AC e AR*. Com o atraso na colheita houve aumento no índice de escaldadura em frutos armazenados em AC, sem aplicação do 1-MCP, e em ULO. Nas demais condições de armazenamento, não houve efeito de data de colheita (Tabela 20).

Tabela 20. Índice de frutos com escaldadura superficial, 6-metil-5-hepteno-2-ona, taxa de produção de etileno, procianidinas, α -farneseno e flavonóis em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{de UR}$) (Continua)

	Índice de frutos com escaldadura (%)			6-metil-5-hepteno-2-ona ($\mu\text{g/L}$)		
	Colheita		Média	Colheita		Média
	-- 1 --	-- 2 --		-- 1 --	-- 2 --	
AR	8,4Aa	18,0Aa	13,2	126,0	133,0	130,0ab
AR*	10,7Aa	11,3Aab	10,7	63,0	96,0	80,0c
AC	0,5Bb	11,0Aab	5,7	160,0	146,0	153,0a
AC*	0,4Ab	0,0Ac	0,2	50,0	73,0	61,0c
ULO	0,0Bb	4,8Ab	2,4	116,0	90,0	103,0bc
Média	4,0	9,0		103,0A	108,0A	
CV%	29,56	25,77		27,3		

Tabela 20. Índice de frutos com escaldadura superficial, 6-metil-5-hepteno-2-ona, taxa de produção de etileno, procianidinas, α -farneseno e flavonóis em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Conclusão)

	Taxa de produção de etileno ($\mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)			Procianidinas (área da amostra /área do padrão)		
	Colheita			Colheita		
	-- 1 --	-- 2 --	Média	-- 1 --	-- 2 --	Média
AR	34,7Aa	31,1Aa	32,9	80,7	125,8	103,2b
AR*	4,1Bc	29,9Aa	17,0	95,9	131,0	113,5ab
AC	24,0Ab	20,3Aa	22,2	110,2	129,4	119,8ab
AC*	2,2Bc	23,0Aa	12,6	103,5	110,6	107,1b
ULO	17,0Ab	23,5Aa	20,2	126,9	161,0	147,4a
Média	16,4	25,6		102,2B	131,6A	
CV%	15,0	22,4		18,1		

	α -farnesene ($\mu\text{g/L}$)			Flavonóis (área da amostra /área do padrão)		
	1	2	Média	1	2	Média
AR	695,1Aa	487,8Aa	591,4	13,6	25,6	19,6a
AR*	41,7Bb	339,0Aabc	190,3	23,5	32,1	27,8a
AC	369,6Aab	393,8Aab	381,7	25,3	27,0	26,1a
AC*	187,8Ab	141,7Ac	164,7	19,2	24,4	23,1a
ULO	171,4Ab	185,1Abc	178,2	18,4	25,5	22,7a
Méd.	293,1	309,5		20,3B	26,5A	
CV%	51,3	28,9		29,8		

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Em peras ‘Conference’ na primeira colheita houve redução na produção de etileno com aplicação do 1-MCP, independente da atmosfera de armazenamento. Nesta data de colheita, em relação ao AR, o armazenamento nas condições de AC sem 1-MCP e ULO também apresentaram efeito na diminuição da produção de etileno, porém, de maneira menos significativa que os tratamentos com 1-MCP. Na segunda

colheita não houve diferença entre os tratamentos, e o retardo na colheita provocou aumento na produção de etileno nos frutos tratados com 1-MCP.

Verificou-se maior produção de α -farneseno no armazenamento em AR, em ambas as colheitas. Contudo, não houve diferença quando comparado ao tratamento AC, em peras das duas colheitas, e em AR*, em frutos da segunda data de colheita (Tabela 20). O atraso na colheita provocou um incremento na produção de α -farneseno em frutos do AR*.

Observou-se os menores valores de 6-metil-5-hepteno-2-ona (MHO) em peras tratadas com 1-MCP, porém este sem diferir dos frutos armazenados em ULO (Tabela 20). Frutos armazenados em AR* tiveram o maior valor de vitamina C, porém sem diferir dos frutos do tratamento AC* (Tabela 21).

Tabela 21. Ácidos Hidroxicinâmicos (HCA), ácido clorogênico e vitamina C em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{de UR}$) (Continua)

	(Ácidos Hidroxicinâmicos (HCA) (área da amostra /aréa do padrão)			Ácido clorogênico (área da amostra /aréa do padrão)		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
AR	695,1Aa	487,8Aa	591,4	13,6	25,6	19,6a
AR*	41,7Bb	339,0Aabc	190,3	23,5	32,1	27,8a
AC	369,6Aab	393,8Aab	381,7	25,3	27,0	26,1a
AC*	187,8Ab	141,7Ac	164,7	19,2	24,4	23,1a
ULO	171,4Ab	185,1Abc	178,2	18,4	25,5	22,7a
Média	293,1	309,5		20,3B	26,5A	
CV%	51,3	28,9		29,8		

Tabela 21. Ácidos Hidroxicinâmicos (HCA), ácido clorogênico e vitamina C em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Conclusão)

	Vitamina C (mg /100g ⁻¹)		
	----- Colheita -----		
	1	2	Média
AR	3,5	2,7	3,1b
AR*	7,5	5,0	6,3a
AC	2,5	3,3	2,9b
AC*	4,7	5,3	5,0ab
ULO	3,4	4,6	4,0b
Média	4,3A	4,2A	
CV%	30,10		

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Encontrou-se maior concentração de procianidinas em peras ‘Conference’ armazenadas sob ULO, sendo superiores aos de peras dos tratamentos AR e AC*. Os frutos desta cultivar não apresentaram diferença entre as condições de armazenamento para conteúdo de flavonóis, ácidos hidroxicinâmicos e ácido clorogênico (Tabela 20 e 21).

Para cultivar ‘Alexander Lucas’, no pomar 1, houve interação entre condições de armazenamento e datas de colheita para o índice de escaldadura superficial (Tabela 22).

Tabela 22. Índice de frutos com escaldadura superficial em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

Índice de frutos com escaldadura superficial (%)						
----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----			
---- Colheita ----			---- Colheita ----			
	1	2	Média	1	2	Média
AR	4,8Bab	23,1Aa	13,9	33,8	37,5	35,6a
AR*	3,9Aab	9,9Aab	6,9	0,7	7,1	3,9b
AC	6,6Aab	2,6Aab	9,6	39,5	47,3	43,3a
AC*	0,0Ab	1,3Ac	0,7	0,0	0,0	0,0b
ULO	16,4Aa	7,2Bbc	11,8	7,4	0,7	4,1b
Média	6,3	10,8		16,3A	18,5A	
CV%	41,1	22,2		39,0		
----- Pomar 3 -----						
----- Colheita -----						
	1	2	Média			
AR	7,3	10,3	8,8bc			
AR*	0,0	4,1	2,1d			
AC	27,6	37,8	32,7a			
AC*	2,5	3,0	2,8cd			
ULO	23,8	12,7	18,3ab			
Média	12,3A	13,6A				
CV%	36,6					

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$). Fonte: produção do próprio autor.

Na primeira data de colheita não ocorreu diferença substancial entre as condições de armazenamento. Todavia, na

segunda data de colheita o índice de escaldadura superficial foi menor nos frutos em AC*, porém sem diferir dos frutos mantidos em ULO. O retardo na colheita reduziu o índice de escaldadura superficial em peras armazenadas sob ULO no pomar 1 e aumentou em AR. No pomar 2, o tratamento com 1-MCP, independentemente da atmosfera de armazenamento, e o armazenamento sob ULO apresentaram efeito na redução do índice de escaldadura superficial. Já no pomar 3, comparado ao armazenamento somente em AR houve maior redução no índice de escaldadura superficial nos frutos tratados com 1-MCP e armazenados em AR, porém sem diferir de AC* (Tabela 22).

Em peras ‘Alexander Lucas’ do pomar 1 e 3 somente os tratamentos com 1-MCP reduziram a produção de etileno. No pomar 2, na primeira colheita, o 1-MCP, nas duas atmosferas, e as condições de AC, sem 1-MCP, e ULO apresentaram efeito na diminuição da produção de etileno. O atraso na colheita provocou aumento significativo na produção de etileno dos frutos tratados com 1-MCP (Tabela 23).

Tabela 23. Taxa de produção de etileno em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR).

	Taxa de produção de etileno ($\mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)					
	----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----		
	---- Colheita ----			---- Colheita ----		
	1	2	Média	1	2	Média
AR	44,7Aa	45,2Aa	44,9	75,6Aa	38,9Aa	57,2
AR*	0,7Bb	41,3Aa	21,0	4,4Bc	48,0Aa	26,2
AC	40,2Aa	35,1Aa	37,6	41,6Ab	35,7Aa	38,6
AC*	0,8Bb	41,6Aa	21,2	13,6Bc	49,0Aa	31,3
ULO	37,0Aa	32,5Aa	34,8	42,5Ab	44,8Aa	43,1
Média	24,7	37,8		35,5	43,0	
CV%	27,9	25,6		13,0		

Tabela 23. Taxa de produção de etileno em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{de UR}$).

Taxa de produção de etileno ($\mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$)			
----- Pomar 3 -----			
----- Colheita -----			
	1	2	Média
AR	68,0Aa	56,4Aa	62,2
AR*	10,4Bb	50,0Aa	30,2
AC	60,0Aa	46,9Aa	53,4
AC*	7,0Bb	45,0Aa	26,0
ULO	55,9Aa	53,4Aa	54,6
Média	40,2	0,4	
CV%	13,3	13,8	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Os frutos do pomar 1 e armazenados em AR sem 1-MCP apresentaram maior quantidade de α -farneseno, sem diferir dos frutos do tratamentos AC (Tabela 24).

Tabela 24. Produção de α -farneseno em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%\text{ de UR}$)

α -farneseno ($\mu\text{g/L}$)						
----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----			
---- Colheita ----			---- Colheita ----			
	1	2	Média	1	2	Média
AR	645,4	386,4	515,9a	245,5	275,41	260,5a
AR*	77,2	179,5	128,4c	168,2	185,68	177,0a
AC	462,1	279,4	370,7ab	333,3	309,09	321,2a
AC*	322,6	230,7	276,7bc	306,9	197,74	252,3a
ULO	270,2	322,9	296,5bc	317,9	204,63	261,3a
Méd.	355,5A	279,8A		274,4A	234,4A	
CV%	38,5			42,1		
----- Pomar 3 -----						
---- Colheita ----						
	1	2	Média			
AR	148,0Bb	339,3Aab	243,7			
AR*	192,8Aab	124,0Ac	158,7			
AC	158,1Bb	503,9Aa	331,0			
AC*	216,9Aab	361,0Aab	289,0			
ULO	385,9Aa	281,1Bbc	333,5			
Média	220,3	321,8				
CV%	34,2	20,1				

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

No pomar 2 não ocorreu diferença entre os tratamentos, e no pomar 3 houve interação entre as condições de

armazenamento e datas de colheita. Neste pomar, nos frutos da primeira colheita, foi verificado os maiores valores de α -farneseno em ULO sem diferir dos tratamentos com 1-MCP. Entretanto, nos frutos da segunda data de colheita, tratados com 1-MCP e armazenados em AR a produção de α -farneseno foi reduzida comparado aos frutos dos tratamentos AR, AC e AC*. Com o atraso na data da colheita ocorreu um incremento significativo na quantidade de α -farneseno em frutos não tratados com 1-MCP e mantidos em AR e AC, e redução nos frutos armazenados em ULO. Observou-se interação entre condições de armazenamento e datas de colheita nos três pomares para valores de MHO (Tabela 25).

Tabela 25. Produção de 6-metil-5-hepteno-2-ona (MHO) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%$ UR) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Continua)

6-metil-5-hepteno-2-ona - MHO ($\mu\text{g/L}$)						
----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----			
---- Colheita ----			---- Colheita ----			
	1	2	Média	1	2	Média
AR	136,0Aab	113,0Aab	120,0	286,0Aa	220,0Aa	250,0
AR*	93,0Abc	106,0Ab	100,0	143,0Ab	163,0Aab	150,0
AC	170,0Aa	170,0Aa	170,0	160,0Ab	170,0Aa	160,0
AC*	56,0Ac	100,0Ab	80,0	63,0Bc	110,0Ab	70,0
ULO	146,0Aab	113,0Aab	130,0	116,0Abc	123,0Ab	120,0
Méd.	120,2	120,4		153,6	157,2	
CV%	16,7	18,5		18,6	14,4	

Tabela 25. Produção de 6-metil-5-hepteno-2-ona (MHO) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Conclusão)

6-metil-5-hepteno-2-ona - MHO ($\mu\text{g/L}$)			
----- Pomar 3 -----			
----- Colheita -----			
	1	2	Média
AR	186,0Aa	90,0Bab	130,0
AR*	103,0Ab	66,0Ab	80,0
AC	183,0Aa	153,0Aa	170,0
AC*	80,0Ab	103,0Aab	90,0
ULO	110,0Ab	143,0Aa	130,0
Média	132,4	111,0	
CV%			

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

No pomar 1, na primeira colheita, verificou-se redução na produção de MHO nos frutos do tratamento AC*, porém sem diferir de AR*. Em frutos da segunda colheita, o tratamento apenas AC apresentou maior quantidade de MHO, porém sem diferir de AR e ULO (Tabela 25). No pomar 2 observou-se maior quantidade de MHO em frutos armazenados em AR sem tratamento prévio com 1-MCP, apresentando maiores valores que os demais tratamentos na primeira colheita, e maiores que AC* e ULO em frutos da segunda colheita. No pomar 3, na primeira colheita, AR e AC, ambos sem 1-MCP, propiciaram maior produção de MHO que os demais tratamentos. Contudo, em frutos da segunda colheita

encontrou-se maiores valores em AC e ULO, sem diferirem de AR e AC*. O atraso na colheita não influenciou significativamente nos valores de MHO dos frutos do pomar 1, mas proporcionou aumento na produção de MHO no tratamento AC*, no pomar 2, e redução em AR, no pomar 3 (Tabela 25).

Verificou-se no pomar 1 maior conteúdo de procianidinas em frutos sem tratamento com 1-MCP e mantidos sob AR, sem contudo diferirem dos frutos armazenados em ULO (Tabela 26).

Tabela 26. Composto fenólico procianidina em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%\text{ de UR}$) (Continua)

Procianidinas						
(área da amostra /aréa do padrão)						
	----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----		
	---- Colheita ----			---- Colheita ----		
	1	2	Média	1	2	Média
AR	221,8	170,9	196,3a	224,1Aa	92,6Ba	158,3
AR*	76,4	119,2	97,8c	86,2Ac	73,6Aa	79,9
AC	87,6	115,7	101,7c	111,9Abc	114,3Aa	113,1
AC*	121,6	108,8	115,2bc	169,7Aab	100,3Aa	135,0
ULO	154,4	181,4	167,9ab	86,6Ac	112,1Aa	99,3
Média	132,3A	139,2A		101,8	98,6	
CV%	23,0			19,7	34,7	

Tabela 26. Composto fenólico procianidina em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%$ de UR) (Conclusão)

Procianidinas			
(área da amostra /área do padrão)			
----- Pomar 3 -----			
----- Colheita -----			
	1	2	Média
AR	117,8	62,2	95,6a
AR*	109,2	68,7	88,9a
AC	91,6	87,1	89,3a
AC*	144,5	102,9	123,7a
ULO	96,3	101,9	99,1a
Média	111,9A	86,2B	
CV%	20,3		

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen.

Para o pomar 2, ocorreu interação entre condições de armazenamento e datas de colheita. Nos frutos da primeira colheita foi encontrado os maiores valores de procianidinas no tratamento AR, porém sem diferir de AC*. Frutos da segunda data de colheita e também provenientes do pomar 3, independente da data de colheita, não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos.

Para o conteúdo de flavonóis verificou-se diferença estatística somente em frutos provenientes do pomar 2 e da segunda colheita, onde foi encontrado maior valor em frutos do tratamento AR, diferindo dos tratamentos com 1-MCP (AR* e AC*) (Tabela 27).

Tabela 27. Composto fenólico flavonol em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\% \text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\% \text{de UR}$).

Flavonois (área da amostra /área do padrão)						
----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----			
----- Colheita -----			----- Colheita -----			
	1	2	Média	1	2	Média
AR	38,0	34,4	36,2a	14,0Ba	34,2Aa	24,1
AR*	23,5	26,6	25,0a	14,1Aa	16,3Ab	15,2
AC	19,2	28,8	24,0a	19,8Aa	21,2Aab	20,5
AC*	23,4	24,8	24,1a	18,3Aa	18,8Ab	18,6
ULO	21,6	40,4	31,0a	16,0Aa	20,9Aab	18,4
Média	25,2A	31,0A		16,5	22,3	
CV%	32,1			27,8	24,8	
----- Pomar 3 -----						
----- Colheita -----						
	1	2	Média			
AR	21,9	16,3	19,6a			
AR*	22,1	13,8	17,1a			
AC	10,0	18,4	14,2a			
AC*	13,6	17,0	15,3a			
ULO	17,7	16,3	17,0a			
Média	16,7A	16,3A				
CV%	37,8					

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Houve interação entre condições de armazenamento e datas de colheita nos valores de ácidos hidroxicinâmicos nos pomares 1 e 2 (Tabela 28).

Tabela 28. Ácidos Hidroxicinâmicos (HCA) em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%\text{ de UR}$).

Ácidos Hidroxicinâmicos (HCA)						
(área da amostra /área do padrão)						
----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----			
----- Colheita -----			----- Colheita -----			
	1	2	Média	1	2	Média
AR	131,6Aa	96,0Ba	113,8	57,2Aa	74,4Aa	65,8
AR*	45,2Bb	67,4Abc	56,3	47,0Ab	51,3Ab	49,1
AC	53,2Bb	70,7Abc	62,0	62,0Aa	59,7Aab	60,8
AC*	50,6Ab	59,4Ac	55,0	53,7Aab	55,5Ab	54,6
ULO	78,2Ab	88,6Aab	83,4	58,8Aa	52,9Bb	55,9
Média	71,8	76,4		55,7	69,4	
CV%	20,3	10,9			6,3	
----- Pomar 3 -----						
----- Colheita -----						
	1	2	Média			
AR		70,5	72,5	71,3a		
AR*		69,2	63,2	65,6a		
AC		55,3	60,2	57,7a		
AC*		64,1	63,1	63,6a		
ULO		62,8	55,7	59,3a		
Média		64,6A	62,2A			
CV%			12,3			

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

No pomar 1 foi verificado maior conteúdo de ácidos hidroxicinâmicos em frutos não tratados com 1-MCP e armazenados sob AR, diferindo dos demais na primeira colheita. Já em frutos da segunda colheita, AR não diferiu de ULO, o qual não diferiu de AC e AR*. No pomar 2, os frutos

armazenados não tratados com 1-MCP e armazenados sob AC e AR e em ULO apresentaram maiores valores de ácidos hidroxicinâmicos, sem diferir de AC*. No entanto, na segunda colheita os frutos não tratados com 1-MCP e armazenados em AR apresentaram os maiores valores, não diferindo dos frutos do tratamento AC (Tabela 28).

A quantidade de ácido clorogênico em frutos do pomar 1 foi maior no armazenamento em AR sem 1-MCP, em ambas as datas de colheita, porém, na segunda colheita, sem diferir do tratamento AC (Tabela 29).

Tabela 29. Ácido clorogênico em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%\text{ de UR}$) (Continua)

	Ácido clorogênico (área da amostra /área do padrão)					
	----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
AR	91,5Aa	67,3Aa	79,4	36,7Aab	48,0Aa	42,3
AR*	33,0Bb	46,9Ab	40,0	34,2Ab	35,2Ab	34,7
AC	36,7Bb	47,6Ab	42,1	41,6Aa	40,8Aab	41,2
AC*	38,2Ab	39,9Ab	39,0	36,8Aab	36,6Ab	36,7
ULO	57,5Ab	63,8Aa	60,6	41,7Aa	36,7Bb	39,2
Média	51,4	53,1		38,2	39,5	
CV%	20,1	9,0		5,4	10,32	

Tabela 29. Ácido clorogênico em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%\text{ de UR}$) (Conclusão)

Ácido clorogênico (área da amostra /área do padrão)			
----- Pomar 3 -----			
----- Colheita -----			
	1	2	Média
AR	51,2	52,7	51,8a
AR*	47,9	49,0	48,6ab
AC	39,2	41,7	40,4b
AC*	45,5	45,2	45,3ab
ULO	46,8	40,7	43,7ab
Média	46,0A	45,4A	
CV%	12,9		

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

No pomar 2, em frutos da primeira colheita, o conteúdo de ácido clorogênico foi maior nos frutos dos tratamentos AC e ULO do que em AR*, porém sem diferir de AR e AC*. Já, na segunda colheita, os frutos armazenados em AR apresentaram os maiores valores de ácido clorogênico, porém sem diferir dos frutos do tratamento AC. No pomar 3, independente da colheita, os frutos não tratados com 1-MCP e armazenados em AR tiveram valores maiores apenas que os do tratamento AC (Tabela 29).

No pomar 1 não foi observada diferença entre condições de armazenamento para vitamina C, mas houve aumento no teor de vitamina C com o retardo na colheita (Tabela 30).

Tabela 30. Vitamina C em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas e três pomares, tratadas ou não com 1-MCP e armazenadas em diferentes condições por sete meses ($0^{\circ}\text{C}\pm 0,1^{\circ}\text{C}/94\pm 2\%\text{UR}$) seguido por mais sete dias em condições ambiente ($20\pm 2^{\circ}\text{C}/60\pm 5\%\text{ de UR}$).

Vitamina C (mg /100g ⁻¹)						
	----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
AR	4,4	3,6	4,0a	3,2Bab	5,2Aa	4,2
AR*	5,6	4,3	4,9a	3,9Aab	5,0Aa	4,5
AC	4,6	3,5	4,1a	4,2Aab	5,2Aa	4,7
AC*	5,5	4,7	5,1a	4,6Aa	4,1Aa	4,4
ULO	5,5	4,2	4,4a	2,9Bb	4,0Aa	3,4
Média	4,9A	4,0B		3,7	4,7	
CV%	19,7			16,8	14,3	
----- Pomar 3 -----						
	----- Colheita -----					
	1	2	Média			
AR	2,7Bc	4,8Ab	3,7			
AR*	5,4Aab	4,5Ab	5,0			
AC	2,8Bbc	4,9Ab	3,8			
AC*	5,8Aa	7,0Aa	6,4			
ULO	3,3Aabc	4,4Ab	3,9			
Média	4,0	5,1				
CV%	25,0	13,5				

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio. Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: produção do próprio autor.

Nos pomares 2 e 3 houve interação entre condições de armazenamento e datas de colheita. Em ambos pomares foi

verificado maior teor de vitamina C em frutos da primeira data de colheita combinado com a condição AC*. No pomar 2, este tratamento diferiu de ULO e no pomar 3 de AR e AC, ambos sem 1-MCP. Com o atraso na colheita foi verificado incremento significativo no teor de vitamina C em frutos sem 1-MCP e armazenados em AR e ULO no pomar 2, e em AR e AC no pomar 3.

4.5 DISCUSSÃO

A escaldadura superficial é um distúrbio fisiológico que pode causar consideráveis perdas de qualidade em peras após armazenamento prolongado (ISIDORO; ALMEIDA, 2006). Apesar de não se conhecer completamente os mecanismos bioquímicos envolvidos, há uma estreita relação entre os produtos de oxidação do α -farneseno, trienóis conjugados (TCs) (SHANG MA; CHEN, 2003) e 6-metil-5-hepten-2-ona (MHO), com o surgimento de escaldadura superficial (MIR et al., 1999; RUDELL et al., 2009; PESIS et al., 2010). A partir da oxidação do α -farneseno ocorre a formação de TCs que oxidam posteriormente a MHO e outros produtos não identificados (MIR et al., 1999). De acordo com Mir et al. (1999), os TCs seriam os principais compostos responsáveis pela escaldadura superficial e MHO poderiam servir como uma medida da sua oxidação e de danos associados aos tecidos.

No presente trabalho verificou-se, em frutos tratados com 1-MCP, uma relação entre a redução na síntese de α -farneseno e principalmente de MHO e a diminuição do índice de escaldadura superficial em frutos de ambas cultivares. Entretanto, a redução do α -farneseno em 'Alexander Lucas' foi dependente do local de produção após sete meses de armazenamento mais sete dias de exposição dos frutos em condições ambiente. Aos três meses de armazenamento, nas mesmas condições deste trabalho, não foram verificados

sintomas de escaldadura superficial, contudo, em todos os pomares, peras ‘Alexander Lucas’ tratadas com 1-MCP apresentaram menor produção de α -farneseno comparado aos frutos não tratados (dados não apresentados).

Em peras ‘Rocha’ e ‘d’Anjou’ o tratamento com 1-MCP diminuiu efetivamente o acúmulo na epiderme do α -farnesene e TCs (ISIDORO; ALMEIDA, 2006; XIE et al., 2014). O efeito do 1-MCP na produção de etileno inibe a síntese de α -farneseno, que está envolvida com o atraso e redução na transcrição do RNA_m da AFS1 (enzima α -farneseno sintetase) (LURIE et al., 2005). Gapper et al. (2006) verificaram em peras ‘d’Anjou’ que a aplicação de 1-MCP inibe a expressão de *PcAFS1*, gene que codifica a AFS e que é regulado positivamente pelo etileno. Sendo assim, o 1-MCP agiria de forma indireta, através da redução da ação do etileno levando a menor síntese do α -farneseno e consequentemente reduzindo o desenvolvimento de escaldadura superficial. Argenta et al. (2003) relataram que o 1-MCP inibiu a incidência de escaldadura superficial em peras ‘d’Anjou’ armazenadas durante oito meses a 1°C.

No armazenamento em AC o tratamento com 1-MCP (AC*) foi mais efetivo, comparado ao tratamento de frutos mantidos em AR. Vanoli et al. (2007) observaram surgimento de escaldadura superficial em peras ‘Abbé Fetel’ armazenadas somente em AR e AC. Todavia, a escaldadura foi completamente inibida em peras tratadas com 1-MCP e posteriormente armazenadas em AC. Em peras ‘Rocha’ o 1-MCP foi mais eficaz na redução de escaldadura nos frutos armazenados em AC (ISIDORO; ALMEIDA, 2006). Apesar de menos eficaz, o 1-MCP em AR também reduz o índice de escaldadura superficial. Vanoli et al. (2007) verificaram que houve redução do distúrbio pelo tratamento com 1-MCP em

AR, entretando, este, não preveniu o desenvolvimento de escaldadura após seis meses de armazenamento. O fato de ocorrer maior controle da escaldadura superficial nos frutos tratados com 1-MCP e armazenados em AC pode estar associado ao efeito conjunto das duas tecnologias na redução da produção de etileno e no metabolismo de síntese e de oxidação do α -farneseno. De acordo com Isidoro e Almeida (2006), o padrão de acumulação do α -farneseno em frutos de pera 'Rocha' armazenados em AC (2,5 kPa O₂+0,7 kPa CO₂) foi diferente do observado em AR. Em AR o α -farneseno continuou acumulando-se lentamente durante o armazenamento, o que não se observou em AC. Em frutos tratados com 100 nL L⁻¹ de 1-MCP, o pico de concentração do α -farneseno foi atingido tardiamente em AC comparado ao AR.

No presente trabalho o tratamento dos frutos com 1-MCP possibilitou, de maneira geral, maior conteúdo de vitamina C, sendo mais efetivo quando combinado com AC, todavia, dependente do local de produção. Quanto ao teor de compostos fenólicos não se observou grande variação entre os tratamentos e datas de colheita. Segundo Silva et al. (2010), o estágio de maturação afeta significativamente a ocorrência de escaldadura, contudo, durante o armazenamento de peras 'Rocha' não há diferenças no conteúdo de ascorbato e na atividade antioxidante entre diferentes períodos de colheita. O desenvolvimento de escaldadura superficial parece depender de um equilíbrio entre processos oxidativos iniciados pelos TCs e a capacidade de eliminação destes pelo tecido. Este equilíbrio pode ser alterado por mudanças no poder antioxidante dos frutos (GUERRA et al., 2012). Compostos fenólicos são importantes, não só porque possuem atividade antioxidante, a qual pode contribuir para a resistência contra o desenvolvimento de escaldadura superficial, mas também em virtude da sua oxidação pela polifenol oxidase (PPO), que contribui para o desenvolvimento de sintomas de escurecimento (LURIE; WATKINS, 2012).

O 1-MCP já é conhecido como um potente retardador do amadurecimento, entretanto a respeito do seu efeito na manutenção do potencial antioxidante dos frutos não há consenso. Silva et al. (2010) observaram que os benefícios do 1-MCP sobre a escaldadura superficial não estão diretamente relacionados com os seus efeitos sobre o teor de antioxidantes nos tecidos. Em peras ‘Conference’ armazenadas em AC sob várias concentrações de O₂ e CO₂ a quantidade de fenóis totais não foi afetada pelas condições de armazenamento (VELTMAN et al., 1999). Em peras ‘Rocha’ o uso de tecnologias pós-colheita (AR, AC, 1-MCP) tiveram pouco ou nenhum efeito nos níveis de antioxidantes durante longo período de armazenamento (SILVA et al., 2010).

Houve uma relação entre o conteúdo de ácido clorogênico e a escaldadura superficial nos pomares 1 e 2 em peras ‘Alexander Lucas’, e de maneira geral, o tratamento com 1-MCP, assim como para o índice de escaldadura superficial, reduziu a quantidade de ácido clorogênico. O ácido clorogênico é um importante substrato para PPO em peras (GAUILLARD; RICHARD-FORGET, 1997) e assim frutos com maior quantidade de ácido clorogênico são mais suscetíveis a reações de escurecimento. Hoang et al. (2011) verificaram diminuição nos níveis de ácido clorogênico, ácido cafeico e procianidinas com o tratamento com 1-MCP. Possivelmente, o 1-MCP age de forma indireta na manutenção dos compostos antioxidantes devido a sua ação sobre o etileno e conseqüentemente sobre o amadurecimento dos frutos.

Neste trabalho foi verificado efeito da AC em frutos não tratados com 1-MCP, sobre a redução do índice de escaldadura superficial somente em peras ‘Conference’ da primeira colheita. Isidoro e Almeida (2006) observaram, em pera ‘Rocha’, que o armazenamento em AC reduziu o índice de

escaldadura em 66% comparado com AR. Frutos de pera ‘Doyenne du Comice’ armazenadas em AC não desenvolveram escaldadura, independentemente da composição atmosférica (SHANG MA; CHEN, 2003). Esta menor efetividade no controle da escaldadura superficial pelo tratamento somente em AC na cultivar ‘Alexander Lucas’ pode estar associada a sensibilidade das diferentes cultivares e características dos locais de produção.

A condição de ULO reduziu a incidência de escaldadura superficial comparado ao AR, em ambas cultivares, na segunda colheita no pomar 1, e em ‘Alexander Lucas’, em ambas as colheitas no pomar 2. Lau (1997) verificou maior efetividade no armazenamento em 0,7 kPa de O₂ comparado a 1,5 kPa O₂ no controle de escaldadura superficial. Em comparação a condição de ULO, condições padrão de AC são menos eficientes na redução do desenvolvimento de escaldadura superficial (GINÉ BORDONABA et al., 2013). A redução dos níveis de oxigênio por meio do armazenamento em ULO pode ser eficaz para a prevenção de escaldadura, porém seu efeito depende da maturação fisiológica dos frutos (GINÉ BORDONABA et al., 2013) e de fatores como ano de produção (LAU, 1990). Sua ação provavelmente está associada com a redução dos processos oxidativos do α -farneseno e redução na produção de etileno. Esse baixo nível de O₂ é aparentemente o fator responsável pelo controle da escaldadura, ao reduzir o metabolismo de α -farneseno (CHEN et al., 1993). Há uma relação entre os baixos níveis de O₂ induzindo a produção de etanol e redução dos níveis de MHO (LAU, 1997), como também verificado em algumas condições no presente trabalho.

A condição de ULO reduziu MHO em ‘Alexander Lucas’ do pomar 2, além da produção de α -farneseno em ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’ do pomar 1. Contudo, incrementou a produção de α -farneseno em ‘Alexander Lucas’ do pomar 3, em frutos da primeira colheita, quando observou-

se o maior índice de frutos com escaldadura superficial, comparado aos demais tratamentos. Giné Bordonaba et al. (2013) observaram que dependendo do local de produção há alteração na eficácia do controle da escaldadura superficial pelo ULO, o que ocorre devido ao grau de maturação diferenciado dos frutos entre os diferentes locais. De acordo com os autores, quanto menos avançado o estágio de maturação dos frutos, menor é o controle do distúrbio pela condição de ULO, o que também foi verificado na cultivar 'Alexander Lucas', em frutos do pomar 1. Whitaker et al. (2009), trabalhando com peras 'Bartlet', observaram que as temperaturas pré-colheita e a localização do pomar, seguidos pelo índice de maturação, são os fatores que mais influenciam na manifestação do distúrbio. Estes autores observaram que frutos provenientes de pomares do estado de Washington (mais frio) são menos suscetíveis a escaldadura superficial quando comparados aos frutos produzidos no estado da Califórnia.

Não foi observado efeito consistente da data de colheita no desenvolvimento de escaldadura superficial nos frutos de ambas cultivares. Contudo, se observou aumento da manifestação do distúrbio em AC e ULO em peras 'Conference' com o retardo da colheita. De acordo Whitaker et al. (2009), a relação entre maturação e escaldadura superficial não é tão clara em peras como foi verificado em maçãs. Zoffoli et al. (1998) verificaram que frutos de colheita tardia em 'd'Anjou' e 'Packham's Triumph' foram mais resistentes à escaldadura superficial, enquanto que em peras 'Bartlett' ocorreu comportamento inverso. Tais resultados, juntamente com os obtidos no presente trabalho, demonstram que o grau de suscetibilidade das peras à escaldadura superficial com o estágio de maturação parece ser variável em função da cultivar considerada. Contrariamente aos resultados de Zoffoli et al.

(1998), Raese e Drake (2000) e Gapper et al. (2006) relataram menor incidência de escaldadura em peras 'd' Anjou' colhidas precocemente. Assim, a diferença entre os resultados observados entre esses autores, quanto ao grau de suscetibilidade de peras 'd' Anjou' à escaldadura superficial em função do estágio de maturação, evidencia que o local de produção pode alterar o padrão de suscetibilidade dos frutos ao distúrbio com o avanço do estágio de maturação.

4.6 CONCLUSÃO

Não foi verificado efeito consistente do estágio de maturação sobre o desenvolvimento de escaldadura superficial em ambas cultivares após sete meses de armazenamento mais sete dias de exposição dos frutos em condições ambiente.

De maneira geral, o tratamento com 1-MCP (300 nL L⁻¹) reduz o índice de escaldadura superficial em peras 'Conference' e 'Alexander Lucas', sendo mais efetivo em frutos armazenados em atmosfera controlada (2,0 kPa O₂/0,7 kPa CO₂).

O armazenamento em atmosfera controlada, sem o prévio tratamentos dos frutos com 1-MCP, não afeta o surgimento de escaldadura superficial nos frutos de peras 'Alexander Lucas' armazenadas por sete meses seguidos mais sete dias de exposição dos frutos em condições ambiente. Contudo, o armazenamento em ultra baixo oxigênio (0,7 kPa O₂/ $<$ 0,7 kPa CO₂) reduz a escaldadura superficial em peras 'Conference' e em 'Alexander Lucas' seu efeito é dependente do local de produção.

Observou-se relação entre menores quantidades de α -farneseno e de MHO com menor índice de escaldadura superficial em ambas cultivares, contudo, para 'Alexander Lucas' a relação entre α -farneseno e a escaldadura superficial é dependente do pomar. Não há relação direta entre a

concentração de compostos fenólicos com escaldadura superficial em peras.

5 DISTÚRBIOS INTERNOS EM PERAS ‘CONFERENCE’ E ‘ALEXANDER LUCAS’ COLHIDAS EM DUAS ÉPOCAS, TRATADAS COM 1-MCP E ARMAZENADAS EM DIFERENTES CONDIÇÕES

5.1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estágio de maturação, do 1-MCP e de condições de armazenamento sobre o desenvolvimento de distúrbios internos em peras ‘Conference’ e ‘Alexander Lucas’, de diferentes regiões de produção, e a relação da suscetibilidade aos distúrbios internos em peras ‘Alexander Lucas’ com o teor mineral dos frutos. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial seis (condições de armazenamento) por dois (pontos de maturação). Os tratamentos foram: armazenamento refrigerado (AR; 21 kPa O₂+<0,03 kPa CO₂) atmosfera controlada (AC; 2 kPa O₂+<0,7 kPa CO₂), AR com aplicação de 1-MCP (AR*; 300 nL L⁻¹), AC com aplicação de 1-MCP (AC*), ultra baixo oxigênio (ULO; 0,7 kPa O₂+<0,7 kPa CO₂) e alto CO₂ (2,0 kPa O₂+3,0 kPa CO₂) combinados com dois pontos de maturação [colheita 1 (05/09/2012; índice de Streif de 0,15; 0,12; 0,09 para pomares 1-Ravensburg, 2-Langenargen e 3-Öhringen, respectivamente) e colheita 2 (18/09/2012; índice de Streif de 0,08; 0,06; 0,08 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente)]. Todos os tratamentos foram mantidos a 0±0,1°C e 94±2% de umidade relativa. Após sete meses de armazenamento mais sete dias em condição ambiente (20±2°C / 60±5% de UR) os frutos foram avaliados quanto ao índice de escurecimento da polpa, porcentagem de frutos com cavidade e de podridões e teor de minerais (cálcio, potássio, magnésio, fósforo), além da relação da temperatura durante o desenvolvimento do fruto com os distúrbios internos. Verificou-se menor índice de escurecimento interno e porcentagem de frutos com cavidade em peras ‘Conference’.

Somente os frutos mantidos em AR (com ou sem 1-MCP) não apresentaram cavidades. Nesta cultivar o retardo na colheita (IS 0,08) resultou no aparecimento de escurecimento de polpa e cavidades após sete meses de armazenamento em condições de ULO e de alto CO₂. Na cultivar ‘Alexander Lucas’ todos os tratamentos causaram escurecimento na polpa e os tratamentos AC, AC*, ULO e alto CO₂ provocaram o surgimento de cavidades. O armazenamento em ULO provocou o desenvolvimento de cavidades em peras ‘Alexander Lucas’, contudo, de forma menos significativa que o alto CO₂. O tratamento com 1-MCP (300 nL L⁻¹) em AC incrementou a porcentagem de frutos com cavidade, comparado ao tratamento AC. Houve baixo coeficiente de correlação entre o índice de escurecimento interno e os minerais magnésio, potássio e fósforo. Entretanto, o maior teor de magnésio e potássio, associado ao menor IS na colheita, parece estar relacionado a maior incidência de distúrbios internos.

Palavras-chave: *Pyrus communis*. Escurecimento. Cavidades. Qualidade. Pós-colheita.

5.2 INTRODUÇÃO

A utilização da atmosfera controlada (AC) é uma importante técnica para prolongar o período de armazenamento de peras. Neste sistema, se observa o retardo na alteração da cor e redução de alguns distúrbios fisiológicos (VILLALOBOS-ACUÑA; MITCHAM, 2008).

Peras ‘Conference’ são normalmente armazenadas em AC, no entanto, devido as baixas pressões parciais de O₂ e altas de CO₂ usualmente ocorre o aparecimento de distúrbios

fisiológicos na polpa (RIZZOLO et al., 2005). Já, para peras ‘Alexander Lucas’ pouco se conhece a respeito do seu armazenamento em AC. Nesta cultivar, Wawrezykczak et al. (2006) não observaram distúrbios internos em peras ‘Alexander Lucas’ após sete meses de armazenamento (-0.5°C, 2,0 kPa O₂ e 0,8 kPa CO₂). Todavia, Hendges et al. (2015) verificaram, dependendo do local de produção e maturação da colheita, o aparecimento de sintomas já no terceiro mês de armazenamento.

Os distúrbios fisiológicos podem causar perdas econômicas, especialmente quando os frutos afetados não são distinguidos externamente dos frutos sadios (FRANCK et al., 2007). Eles iniciam com uma coloração acastanhada nos tecidos da polpa, em geral a partir do centro do fruto, entre as sementes, podendo evoluir para toda a polpa (D’AQUINO et al., 2010). Em casos severos há formação de cavidades com destruição dos tecidos afetados (FRANCK et al., 2007). Segundo Pintó et al. (2001), o armazenamento em AC provoca a acidificação do citoplasma e mudanças no metabolismo respiratório. De acordo com estes autores, isto resultaria na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e indução do metabolismo fermentativo, com conseqüente redução do ascorbato, o que levaria a danos celulares por oxidação e posterior escurecimento.

Como alternativa ou complemento ao armazenamento refrigerado (AR) e à AC para manutenção da qualidade dos frutos pode-se utilizar o 1-metilciclopropeno (1-MCP). O 1-MCP é uma molécula que demonstra bons resultados na manutenção da firmeza de polpa (CALVO; SOZZI, 2004; CHIRIBOGA et al., 2011; RIZZOLO et al., 2014), retardo do amarelecimento (CALVO; SOZZI, 2004; TRINCHERO et al., 2004) e redução na severidade (RIZZOLO et al., 2005) e incidência escaldadura superficial e de escurecimento interno (ARGENTA et al., 2003). Todavia, também foram encontrados na literatura resultados negativos do 1-MCP sobre a incidência

de distúrbios internos, em diferentes espécies e/ou cultivares (LAFER, 2006; DEELL et al., 2007; HENDGES et al., 2015). Segundo Watkins (2008), a relação entre o tratamento com 1-MCP e alguns distúrbios internos ainda não é bem entendida, e, em alguns casos, pode ocorrer o aumento destes distúrbios com o tratamento. Lafer (2006) verificou maior incidência de escurecimento interno em maçãs 'Golden Delicious' tratadas com 1-MCP, porém, a suscetibilidade do fruto foi influenciada pela estágio de maturação. DeEll et al. (2007) verificaram redução do escurecimento interno em maçãs 'Empire' armazenadas em AC e tratadas com 1-MCP, contudo, observaram incremento em maçãs 'Delicious'. Hendges et al. (2015) também observaram um aumento na incidência de escurecimento interno em peras 'Alexander Lucas' tratadas com 1-MCP e armazenadas por três meses em AC.

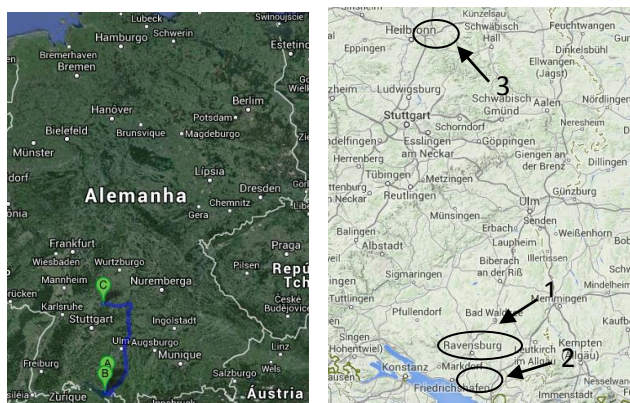
Além dos efeitos de condição de armazenamento, alguns fatores pré-colheita como região de produção, estágio de maturação e teor de minerais nos frutos podem influenciar no desenvolvimento de distúrbios internos (ECCHER ZERBINI et al., 2002; VERLINDEN et al., 2002; BRAMLAGE; WEIS, 2004; YAN et al., 2013; NEUWALD et al., 2014).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do estágio de maturação, do 1-MCP e de condições de armazenamento sobre o desenvolvimento de distúrbios internos em peras 'Conference' e 'Alexander Lucas', de diferentes regiões de produção, e a relação da suscetibilidade aos distúrbios internos em peras 'Alexander Lucas' com o teor mineral dos frutos.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado com frutos colhidos em duas datas (05/09/2012 e 18/09/2012), na safra de 2012, em três pomares localizados no estado de Baden-Württemberg, no sudoeste da Alemanha. A primeira (Pomar 1), segunda (Pomar 2), e terceira (Pomar 3) regiões de colheita estão localizadas, respectivamente, nos municípios de Ravensburg, Langenargen e Öhringen (Figura 9).

Figura 9. Localização dos pomares de peras ‘Alexander Lucas’. Pomar (A-1): Ravensburg; Pomar (B-2): Langenargen e Pomar (C-3): Öhringen. Distâncias aproximadas entre os pomares considerando rodovias são de 24 km entre o pomar 1 e 2, de 260 km entre os pomares 2 e 3, e de 236 km entre os pomares 1 e 3.



Fonte: produção do próprio autor.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema bifatorial, combinando seis condições de armazenamento com dois pontos de maturação. Os tratamentos, compostos por três repetições e unidade experimental de oito frutos para análise mineral e de 30 frutos por repetição para análise de distúrbio de escurecimento interno, cavidades e podridão foram: AR (21,0 kPa O_2 +0,03

kPa CO₂), AC (2 kPa O₂+<0,7 kPa CO₂), AR com aplicação de 1-MCP (AR*; 300 nL L⁻¹), AC com aplicação de 1-MCP (AC*), ULO (0,7 kPa O₂+<0,7 kPa CO₂) e alto CO₂ (2,0 kPa O₂+3,0 kPa CO₂) versus colheita 1 (05/09/2012; índice de Streif de 0,15; 0,12; 0,09 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente) e colheita 2 (18/09/2012; índice de Streif de 0,08; 0,06; 0,08 para pomares 1, 2 e 3, respectivamente). Todos os tratamentos foram mantidos a 0±0,1°C e 94±2% de umidade relativa. Os índices de maturação dos frutos de ambas colheitas e pomares estão apresentados na tabela 31. O índice de Streif foi medido através da seguinte fórmula: (Firmeza de polpa (kg))/Sólidos solúveis (°Brix) x Índice iodo-amido (1-10).

Tabela 31. Atributos de maturação de peras europeias cultivares Conference e Alexander Lucas colhidas em duas épocas de colheita e em diferentes pomares (Continua)

	Circunf. do fruto (mm)	Peso (g)	Firmeza de polpa (N)	Íodo-Amido (1-10)
Conference - Pomar 1				
Colheita 1	60,70	160,53	56,54	3,33
Colheita 2	61,13	189,55	55,37	5,13
Alexander Lucas - Pomar 1				
Colheita 1	72,73	232,53	54,97	2,90
Colheita 2	79,90	312,06	46,74	4,53
Alexander Lucas - Pomar 2				
Colheita 1	78,10	283,97	53,70	3,94
Colheita 2	78,69	297,45	45,47	5,87
Alexander Lucas - Pomar 3				
Colheita 1	71,83	227,77	58,80	4,57
Colheita 2	79,00	248,00	52,33	4,71

Tabela 31. Atributos de maturação de peras europeias cultivares Conference e Alexander Lucas colhidas em duas épocas de colheita e em diferentes pomares (Conclusão)

	Circunf. do fruto (mm)	Peso (g)	Firmeza de polpa (N)	Íodo-Amido (1-10)
	SS (°Brix)	Cor da epiderme (°hue)	Acidez titulável (%)	Índice de Streif
Conference - Pomar 1				
Colheita 1	13,43	114,43	0,093	0,13*
Colheita 2	14,03	114,00	0,130	0,08
Alexander Lucas - Pomar 1				
Colheita 1	12,70	116,71	0,423	0,15*
Colheita 2	12,27	115,66	0,337	0,08
Alexander Lucas - Pomar 2				
Colheita 1	11,10	116,97	0,283	0,12*
Colheita 2	11,80	116,74	0,267	0,06
Alexander Lucas - Pomar 3				
Colheita 1	13,80	117,21	0,450	0,09*
Colheita 2	13,20	115,96	0,347	0,08

Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen.

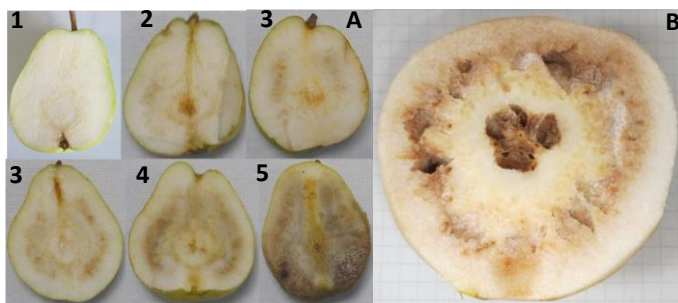
Fonte: produção do próprio autor.

Após sete meses de armazenamento mais sete dias em condição ambiente os frutos foram avaliados quanto ao índice de escurecimento da polpa, porcentagem de frutos com cavidades e com podridões, além do teor de minerais (Ca, K, Mg e P). Os valores obtidos na análise mineral foram utilizados para o cálculo das relações Mg/Ca, K/Ca e (Mg+K)/Ca. Após retirados os frutos com podridão ou com alterações que inviabilizassem a identificação de distúrbios internos da polpa, o restante dos frutos foi utilizado para quantificação dos distúrbios internos.

O índice de escurecimento da polpa foi determinado de acordo com a seguinte fórmula: Índice de escurecimento=[(1* número de frutos com severidade

1))+(2* número de frutos com severidade 2)+(3* número de frutos com severidade 3)]+(4* número de frutos com severidade 4)]+(5* número de frutos com severidade 5)]/[(Maior valor da escala de escurecimento (5)* número total de fruto avaliados)]*100 (Figura 10). A ocorrência de frutos com cavidade e podridão foi realizado por avaliação visual, considerando fruto com cavidade aquele que apresentava a formação de ao menos uma cavidade na polpa. Frutos podres foram considerados aqueles com lesão maior ou igual a 0,5cm² de diâmetro. Para ambas as variáveis os resultados foram expressos em porcentagem.

Figura 10. Escala de severidade de escurecimento interno (0–5) em peras ‘Alexander Lucas’ (A) e fruto de ‘Alexander Lucas’ com formação de cavidade na polpa (B).



Fonte: produção do próprio autor.

A análise mineral dos frutos foi realizada conforme metodologia descrita em (Neuwald et al., 2014). Foram utilizados uma amostra de 24 frutos da colheita divididos em três repetições. Para as determinações dos teores de Ca, Mg, P e K (mg 100g⁻¹ de massa fresca) foi retirado uma fatia longitudinal (em forma de cunha – 1 cm de largura na porção de maior diâmetro do fruto) da polpa com casca dos frutos.

Estas amostras foram trituradas e homogeneizadas com um multiprocessador e aproximadamente 100 g da matéria fresca do frutos foram congeladas e posteriormente liofilizadas e calculada a matéria seca do fruto.

Aproximadamente 1,5 g da amostra seca foi incinerado em mufla (480°C durante 6 horas). A digestão das cinzas foi realizada com 2 mL de ácido clorídrico (HCl) a 20% que continha 0,1% de lantânio para um volume de 100 mL. A determinação de Ca, Mg e K foi realizada com um espectrômetro de absorção de massa (chama) modelo GBC 908 AA. A determinação de fósforo foi realizada com um espectrofotômetro modelo Hitachi 2002 pelo método colorimétrico com azul de molibdênio. O resultado de Ca, K, Mg e P foi calculado em mg /100g de tecido fresco pela seguinte fórmula: $\text{Ca, K, Mg ou P (mg/100g TF) = elemento avalliado (ppm) \times 100 (g) \times matéria seca (\%) / peso da amostra (p.ex.: 1,5g)}$, onde TF significa tecido fresco ou matéria fresca

Durante o desenvolvimento dos frutos, a cada 30 dias após a plena floração (DAPF) até 150 DAPF, dados médios de temperaturas mínimas, máximas e médias foram calculados a partir de dados registrados nas estações climatológicas de Ravensburg (pomar 1), Friedrichshafen-Unterraderach (pomar 2) e Öhringen (pomar 3). Os dados foram retirados do serviço meteorológico alemão (<http://www.dwd.de/cdc>).

Os dados em porcentagem foram transformados pela fórmula arco-seno $[(x+0,5)/100]^{1/2}$ antes de serem submetidos à análise da variância (ANOVA). Para a comparação das médias, adotou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). Para verificar a correlação do teor de minerais dos frutos e das temperaturas durante o desenvolvimento dos frutos com os distúrbios internos foi utilizado o teste de correlação de Pearson ($p < 0,05$).

5.4 RESULTADOS

Em peras ‘Conference’ foi observado escurecimento de polpa somente na segunda data de colheita nos tratamentos ULO e alto CO₂. Além do escurecimento de polpa, peras em ULO e alto CO₂ atingiram aproximadamente 30% de incidência de frutos com cavidades na segunda data de colheita diferindo dos demais tratamentos.

O tratamento AR* não diferiu do alto CO₂ para porcentagem de podridões na primeira colheita entretanto, foi significativamente menor comparado aos demais tratamentos. Na segunda colheita não houve diferença significativa entre os tratamentos para esta variável, todavia, o retardo da colheita causou incremento na incidência de podridões nos tratamentos AR*, ULO e alto CO₂ (Tabela 32).

Tabela 32. Índice de escurecimento de polpa, porcentagem de frutos com cavidade e com podridão em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR) (Continua)

	Índice de escurecimento de polpa (%)			Frutos com cavidade (%)		
	---- Colheita ----			---- Colheita ----		
	1	2	Média	1	2	Média
AR	0,0Aa	0,0Ac	0,0	0,0Aa	0,0Ab	0,0
AR*	0,0Aa	0,0Ac	0,0	0,0Aa	0,0Ab	0,0
AC	0,0Aa	0,0Ac	0,0	0,0Aa	0,0Ab	0,0
AC*	0,0Aa	0,0Ac	0,0	0,9Aa	0,0Ab	0,5
ULO	0,0Ba	2,9Ab	1,5	0,9Ba	35,1Aa	18,0
Alto CO ₂	0,0Ba	12,0Aa	6,1	0,00Ba	32,2Aa	16,2
Média	0,0	2,5		0,3	11,3	
CV%	0,0	24,6		93,3	27,5	

Tabela 32. Índice de escurecimento de polpa, porcentagem de frutos com cavidade e com podridão em peras ‘Conference’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR) (Conclusão)

----- Podridões (%) -----			
	----- Colheita -----		Média
	1	2	
AR	11,9Aa	7,5Aa	9,7
AR*	0,0Bc	6,9Aa	3,5
AC	5,5Aab	12,6Aa	9,0
AC*	8,2Aa	13,3Aa	10,7
ULO	8,3Ba	18,5Aa	13,4
Alto CO ₂	2,1Bbc	12,6Aa	7,4
Média	6,0	11,9	
CV%	19,5	23,8	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Alto CO₂: (2,0 kPa de O₂/3 kPa de CO₂) Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: produção do próprio autor.

Para cultivar Alexander Lucas foi verificado escurecimento de polpa em frutos de todos os tratamentos e pomares. Nos pomares 1 e 3, observou-se interação entre condições de armazenamento e estágio de maturação. Nestes pomares, o maior índice de escurecimento foi encontrado nos frutos armazenados em alto CO₂, apesar de não significativo em todas as situações. No pomar 1, o tratamento alto CO₂, na primeira colheita, diferiu apenas do ULO e, na segunda colheita, dos demais tratamentos. No pomar 3 não foi observada diferença para o índice de escurecimento entre frutos armazenados em alto CO₂ comparado ao AR, AC* e AC na primeira colheita e AC* na segunda. Já no pomar 2 o índice de

escurecimento de polpa nos frutos do tratamento alto CO₂ não diferiu somente do tratamento AR, independente da data de colheita.

O atraso na colheita incrementou o escurecimento de polpa em frutos do pomar 1, quando armazenados em AR sem 1-MCP e em alto CO₂, do pomar 2, em todas as condições de armazenamento, e do pomar 3, quando armazenados em AC* e em alto CO₂ (Tabela 33).

Tabela 33. Índice de escurecimento de polpa em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR) (Continua)

Índice de escurecimento de polpa (%)						
----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----			
----- Colheita -----			----- Colheita -----			
	1	2	Média	1	2	Média
AR	27,6Bab	42,1Ab	34,9	21,8	32,5	26,9ab
AR*	28,0Aab	34,4Abc	31,2	5,2	12,4	8,8c
AC	21,6Aab	22,3Ac	21,9	13,0	13,0	13,0bc
AC*	20,5Aab	26,7Ac	23,6	19,1	22,0	20,6bc
ULO	20,1Ab	26,2Ac	23,2	11,8	19,3	15,5bc
Alto CO ₂	34,1Ba	71,0Aa	52,7	34,8	60,3	47,6a
Média	26,3	37,1		17,5B	26,6A	
CV%				24,2		

Tabela 33. Índice de escurecimento de polpa em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR) (Conclusão)

----- Pomar 3 -----			
----- Colheita -----			
	1	2	Média
AR	37,4Aab	40,6Abc	39,0
AR*	21,2Abc	16,4Ad	18,8
AC	33,0Aab	19,4Acd	26,2
AC*	50,4Ba	64,5Aab	57,5
ULO	14,7Ac	36,7Acd	25,7
Alto CO ₂	43,2Ba	73,0Aa	58,1
Média	33,3	41,8	
CV%	12,3	12,3	

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Alto CO₂: (2,0 kPa de O₂/3 kPa de CO₂) Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: produção do próprio autor.

Frutos armazenados em AR, sem 1-MCP, apresentaram cavidades somente no pomar 2, na segunda colheita, e quando tratados com 1-MCP (AR*), no pomar 3. No pomar 1 e 2, o tratamento com alto CO₂ causou maior porcentagem de frutos com cavidade. Contudo, no pomar 3 não foi verificada diferença do tratamento alto CO₂ com AC*, em ambas colheitas, e com ULO, na segunda colheita.

Apesar da menor incidência de frutos com cavidades nos tratamentos ULO e AC*, em comparação ao tratamento alto CO₂, estes tratamentos causaram maior porcentagem de frutos com cavidade do que AR e AC, ambos sem 1-MCP, em todos os pomares. Frutos armazenados em AC tiveram maior incidência de cavidades comparados ao AR (tratados ou não com 1-MCP), nos pomares 2 e 3 (Tabela 34).

Tabela 34. Porcentagem de frutos com cavidade em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR)

Frutos com cavidade (%)						
----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----			
----- Colheita -----			----- Colheita -----			
	1	2	Média	1	2	Média
AR	0,0	0,0	0,0c	0,0	0,07	0,03d
AR*	0,0	0,0	0,0c	0,0	0,0	0,0d
AC	0,0	9,9	5,0bc	7,4	13,0	10,2c
AC*	11,6	18,5	15,0b	47,0	53,0	50,0b
ULO	5,1	22,3	13,7b	28,9	34,7	31,8b
Alto CO ₂	27,1	74,0	50,6a	79,9	94,7	87,3a
Média	7,3B	20,8A		27,2A	32,6A	
CV%	50,0			28,57		
----- Pomar 3 -----						
----- Colheita -----						
	1	2	Média			
AR	0,0Ad	0,0Ac	0,0			
AR*	2,8Acd	2,8Ac	2,8			
AC	8,7Bbc	21,2Ab	15,0			
AC*	65,3Aa	63,6Aa	64,5			
ULO	21,4Bb	70,0Aa	45,7			
Alto CO ₂	61,7Aa	82,7Aa	72,2			
Média	27,0	40,1				
CV%	20,5	17,5				

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Alto CO₂: (2,0 kPa de O₂/3 kPa de CO₂) Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: produção do próprio autor.

O retardo na colheita aumentou a porcentagem de frutos com cavidade no pomar 1, independente da condição de armazenamento, e nos tratamentos AC e ULO, no pomar 3.

No pomar 1, o tratamento alto CO₂ causou maior incidência de podridões, diferindo apenas de AR*, na primeira colheita, e dos demais tratamentos na segunda data de colheita. Nos pomares 2 e 3 foi observada maior porcentagem de podridões nos frutos armazenados em alto CO₂ comparado aos demais tratamentos, independente da data de colheita (Tabela 35).

Tabela 35. Porcentagem de frutos com podridão em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR) (Continua)

	Podridões (%)					
	----- Pomar 1 -----			----- Pomar 2 -----		
	----- Colheita -----			----- Colheita -----		
	1	2	Média	1	2	Média
AR	1,1Bab	5,4Ab	3,3	4,5	9,4	7,0b
AR*	0,0Ab	7,0Ab	3,6	1,6	3,7	2,6b
AC	7,0Aab	1,6Ab	4,3	5,9	8,5	7,2b
AC*	3,0Aab	1,9Ab	2,4	6,7	14,7	10,7b
ULO	5,1Aab	4,9Ab	5,0	8,6	8,2	8,4b
Alto CO ₂	13,1Ba	66,6Aa	39,8	34,9	57,9	46,4a
Média	4,9	14,6		10,4A	17,1A	
CV%	63,0	39,6		50,6		

Tabela 35. Porcentagem de frutos com podridão em peras ‘Alexander Lucas’ colhidas em duas épocas, tratadas ou não com 1-MCP (300 nL L⁻¹), e armazenadas por sete meses sob refrigeração (0°C±0,1°C e 94±2%), em diferentes condições de atmosfera (normal e controlada) seguido por mais sete dias em condição ambiente (20±2°C/60±5% de UR) (Conclusão)

Podridões (%)			
----- Pomar 3 -----			
----- Colheita -----			
	1	2	Média
AR	12,1	23,2	17,7b
AR*	4,1	14,9	9,5b
AC	16,1	15,7	15,9b
AC*	19,5	23,0	21,3b
ULO	8,1	13,9	11,0b
Alto CO ₂	46,2	63,5	54,8a
Média	17,7B	25,7A	
CV%	26,3		

AR: Armazenamento refrigerado; AC: Atmosfera controlada; AR*: Armazenamento refrigerado com aplicação de 1-MCP; AC*: Atmosfera controlada com aplicação de 1-MCP; ULO: Ultra baixo oxigênio; Alto CO₂: (2,0 kPa de O₂/3 kPa de CO₂) Colheita 1: 05/09/2012; Colheita 2: 18/09/2012. Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula entre colunas e minúscula entre linhas, não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: produção do próprio autor.

Quanto aos teores minerais de peras ‘Alexander Lucas’, encontrou-se maior teor de cálcio e as menores relações K/Ca, Mg/Ca e (K+Mg)/Ca nos frutos do pomar 1. Os menores valores de cálcio, magnésio, fósforo e potássio foram observados em frutos do pomar 2. Devido a baixa concentração de cálcio nos frutos do pomar 2, verificou-se neste pomar os maiores valores das relações K/Ca, Mg/Ca e (K+Mg)/Ca, seguido pelo pomar 3. No pomar 3 foi observado valor intermediário de cálcio, além dos maiores valores de magnésio, fósforo e potássio (Tabela 36).

Tabela 36. Composição mineral de peras ‘Alexander Lucas’ de três pomares no momento da colheita

	Ca	Mg	K	P
	-----mg/100 g-----			
AL - 1	7,0a	5,5b	130,1b	11,1b
AL - 2	3,9c	5,2c	124,4c	9,7c
AL - 3	5,3b	6,3a	133,8a	12,5a
	K/Ca	Mg/Ca	(K+Mg)/Ca	
AL - 1	18,4c	0,8c	19,4c	
AL - 2	31,8a	1,3a	33,1a	
AL - 3	25,1b	1,2b	26,3b	

AL-1: ‘Alexander Lucas’ /pomar 1; AL-2: ‘Alexander Lucas’ /pomar 2; AL-3: ‘Alexander Lucas’ /pomar 3.

Fonte: produção do próprio autor.

Foi verificada correção entre o índice de escurecimento interno e os teores de magnésio, potássio e fósforo. Entretanto, apesar de significativa ($p < 0,05$) esta correlação apresentou baixo coeficiente de correlação ($< 0,40$) (DANCEY; REIDY, 2006). (Tabela 37).

Tabela 37. Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice de escurecimento interno (IEP), porcentagem de frutos com cavidade e teor mineral de frutos de peras ‘Alexander Lucas’. (Continua)

	----- IEP (%)-----			
	--- Ca ---	--- Mg ---	--- K ---	--- P ---
Correlação	0,21	0,37	0,38	0,38
p	0,21	0,03	0,02	0,02
	--- K/Ca ---	--- Mg/Ca ---	- (K+Mg)/Ca -	
Correlação	- 0,23	-0,14	- 0,23	
p	0,18	0,40	0,18	

Tabela 37. Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice de escurecimento interno (IEP), porcentagem de frutos com cavidade e teor mineral de frutos de peras ‘Alexander Lucas’. (Continua)

----- Frutos com cavidade (%) -----				
	--- Ca ---	--- Mg ---	--- K ---	--- P ---
Correlação	-0,35	0,14	0,02	0,01
p	0,09	0,52	0,94	0,97
	--- K/Ca ---	--- Mg/Ca ---	- (K+Mg)/Ca -	
Correlação	0,34	0,40	0,34	
p	0,10	0,05	0,10	

p = Nível de significância; IEP = Índice de escurecimento da polpa. Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; K: Potássio; P: Fósforo.

Correlação = 0,10 até 0,30 (fraca); 0,40 até 0,60 (moderada); 0,70 até 1 (forte). (DANCEY; REIDY, 2006).

Fonte: produção do próprio autor.

Foi verificado menores médias das temperaturas mínimas no pomar 1 em todos os períodos desde a plena floração até 150 DAPF. Entretanto, esse comportamento não se repetiu quando considerado as médias das temperaturas máximas, quando os menores valores foram observados no pomar 2. Para a média das temperaturas médias, apesar de se verificar valores menores no pomar 1 estas foram similares as do pomar 2. O pomar 3 foi o que teve as maiores médias de temperaturas mínimas, máximas e médias durante o desenvolvimento dos frutos (Tabela 38).

Tabela 38. Média das temperaturas mínimas, máximas e médias durante o desenvolvimento de peras ‘Alexander Lucas’ em três pomares.

----- Após plena floração -----			
Temperaturas (°C)	Plena floração	Até 30 dias	Até 60 dias
Pomar 1			
Mínima	3,0	7,8	11,9
Máxima	14,3	20,9	23,4
Média	9,1	14,6	17,5
Pomar 2			
Mínima	4,6	9,1	12,9
Máxima	13,9	20,6	22,9
Média	9,3	14,7	17,6
Pomar 3			
Mínima	4,2	10,2	12,5
Máxima	15,1	22,3	23,3
Média	9,7	16,2	17,7
Temperaturas (°C)	Até 90 dias	Até 120 dias	Até 150 dias
Pomar 1			
Mínima	13,3	13,0	8,2
Máxima	23,8	26,2	19,8
Média	18,3	19,5	13,8
Pomar 2			
Mínima	14,1	14,2	9,8
Máxima	23,5	25,6	19,3
Média	18,3	19,7	14,2
Pomar 3			
Mínima	14,0	14,6	9,3
Máxima	24,0	27,0	21,9
Média	18,9	20,8	15,2

Plena floração: Abril; Pomar 1: Ravensburg; Pomar 2: Langenargen; Pomar 3: Öhringen.

Fonte: produção do próprio autor.

Observou-se correlação negativa entre o índice de escurecimento da polpa e a média da temperatura máxima aos 30, 90, 120 e 150 DAPF, e com a média das temperaturas médias aos 30 e 90 DAPF.

Para porcentagem de frutos com cavidade foi verificado correlação significativa positiva aos 60, 90 e 150 DAPF com a média de temperaturas mínimas. Apesar de significativas, as correlações entre índice de escurecimento de polpa e as médias das temperaturas máxima e média, os coeficientes foram fracos (DANCEY; REIDY, 2006). Já a correlação entre porcentagem de frutos com cavidade e temperaturas médias mínimas os coeficientes de correlação foram moderados (Tabela 39).

Tabela 39. Coeficientes de correlação de Pearson obtidos entre o índice de escurecimento interno (IEP), porcentagem de frutos com cavidade e com as médias das temperaturas máximas, mínimas e médias durante o desenvolvimento de peras ‘Alexander Lucas’.

		Após plena floração (DAPF)				
		Até 30 dias	Até 60 dias	Até 90 dias	Até 120 dias	Até 150 dias
IEP (%)		Temperatura máxima °C				
Correlação		-0,37	-0,26	-0,37	-0,38	-0,37
p		0,02	0,12	0,02	0,02	0,02
IEP (%)		Temperatura média °C				
Correlação		-0,34	-0,22	-0,35	-0,32	0,29
p		0,04	0,18	0,03	0,05	0,08
Frutos com cavidade (%)		Temperatura mínima °C				
Correlação		0,35	0,42	0,43	0,40	0,43
P		0,08	0,04	0,03	0,05	0,03

p = Nível de significância; IEP = Índice de escurecimento da polpa
Correlação = 0,10 até 0,30 (fraca); 0,40 até 0,60 (moderada); 0,70 até 1 (forte). (DANCEY; REIDY, 2006).

Fonte: produção do próprio autor.

5.5 DISCUSSÃO

A menor porcentagem de distúrbios internos foi verificada na cultivar Conference, e possivelmente esses resultados estão associados ao formato diferenciado entre as cultivares. As peras ‘Alexander Lucas’ apresentam maior peso e diâmetro comparado a ‘Conference’, o que pode resultar na maior dificuldade de difusão dos gases e conseqüentemente maiores danos celulares na polpa dos frutos. De acordo com Lammertyn et al. (2000), peras mais pesadas desenvolvem mais escurecimento interno e cavidades, comparado aos frutos mais leves.

Na cultivar ‘Alexander Lucas’ todos os tratamentos causaram escurecimento da polpa, todavia, frutos armazenados em AR (com ou sem 1-MCP) não apresentaram cavidades. Dentre outros, o escurecimento da polpa está relacionado com a temperatura de armazenamento, e pode ocorrer tanto em AR ou em AC (JAMES et al., 2010). Segundo Lammertyn et al. (2000), peras primeiramente desenvolvem espaços com escurecimento da polpa que aumentam com o tempo dando origem a formação de cavidades.

Em ‘Conference’ os distúrbios internos da polpa ocorreram basicamente com a colheita tardia em alto CO₂ e ULO, e, de maneira geral, se verificou o acréscimo dos distúrbios com o retardo da colheita na cultivar ‘Alexander Lucas’. Altas pressões parciais de CO₂ e baixas de O₂, associadas ao longo período de armazenamento, resultam em maior escurecimento interno e surgimento de cavidades (LAMMERTYN et al., 2000). De modo geral, o tratamento alto CO₂ provocou maior incidência de distúrbios internos e podridões, e o ULO proporcionou frutos com maior porcentagem de cavidade, porém menos pronunciadamente que o alto CO₂. O armazenamento sob altas pressões parciais de CO₂ altera as reações do ciclo do ácido cítrico, com alterações de pH. Já o oxigênio, acceptor final de elétrons no processo

respiratório, ao ser reduzido na atmosfera de armazenamento, aumenta a velocidade das reações fermentativas e a produção de acetaldeído e etanol (PINTÓ et al., 2001). Segundo estes autores, o armazenamento em AC levaria a acidificação do citoplasma com conseqüente alteração no metabolismo respiratório. Estas alterações causariam a produção de radicais livres e redução da capacidade antioxidante, levando a peroxidação lipídica, bem como diminuição na produção de energia para manutenção da integridade celular, com conseqüente perda da descompartimentalização celular proporcionando as reações de oxidação que causam o escurecimento do tecido da polpa.

Como observado no presente trabalho frutos mais maduros frequentemente apresentam maior susceptibilidade ao distúrbio interno, sendo este resultado também observado por outros autores (LAMMERTYN et al., 2000; LAFER et al., 2006). De acordo com James et al. (2010), o efeito da data de colheita é um fator importante na suscetibilidade ao escurecimento da polpa e o risco do desenvolvimento do distúrbio aumenta entre duas e três vezes a cada semana de atraso na colheita. Eccher Zerbini et al. (2002) verificaram um aumento na incidência do escurecimento interno com o atraso na colheita de peras ‘Conference’, em duas safras. Segundo esses autores, o atraso na colheita e o armazenamento em alto níveis de CO₂ (5 kPa) incrementaram os distúrbios internos através do aumento na perda de ácido ascórbico e redução no potencial antioxidante.

Na cultivar ‘Conference’ o tratamento com 1-MCP parece não afetar o surgimento de distúrbios internos em frutos armazenados em AC. Lafer (2005), estudando o efeito do tratamento com 1-MCP, em diferentes cultivares de pera, indicou que a incidência do escurecimento interno, associados

a um colheita tardia, foi significativamente reduzida pelo 1-MCP, mas este efeito foi dependente da cultivar, contudo, Lee et al. (2012) observaram um aumento significativo na incidência de escurecimento interno em maçãs ‘Empire’ tratadas com 1-MCP. Assim, verifica-se que os efeitos diferenciados do tratamento com 1-MCP são dependentes da cultivar e das condições de armazenamento (DEELL et al., 2007). Em peras ‘Alexander Lucas’ a maior porcentagem de frutos com cavidades observada em ULO foi seguido pelo armazenamento em AC, quando os frutos foram tratados com 1-MCP (AC*). Comportamento similar foi verificado, nesta cultivar, por Hendges et al. (2015) em frutos armazenados por três meses.

O efeito do 1-MCP em alguns distúrbios fisiológicos ainda não está compreendido e em alguns casos é antagonico, o que pode estar relacionado a diferentes fatores envolvidos no desenvolvimento dos distúrbios. Lafer (2005) verifica efeito do 1-MCP na redução de escurecimento de peras, sendo dependente da cultivar, já Lafer (2006) observou que frutos de maçãs tratados com 1-MCP tendem a ser mais suscetíveis aos distúrbios, independentemente do estágio de maturação. O 1-MCP inibe o desenvolvimento de algumas desordens como a escaldadura superficial e degenerescência senescente (WATKINS, 2008), porém, em alguns casos, aumenta a susceptibilidade dos frutos a distúrbios associados ao armazenamento em AC (WATKINS, 2008; LEE et al., 2012). Jung e Watkins (2011) sugerem que a inibição da produção de etileno, causada pelo 1-MCP, induziria estresse no fruto e conseqüentemente desenvolvimento de danos celulares nos tecidos da polpa do fruto. O etileno é um hormônio sinalizador e a inibição acentuada da sua biossíntese poderia causar uma menor resistência aos estresses causadores do distúrbio. O aumento na incidência de escurecimento interno ocasionado pelo uso do 1-MCP poderia estar associado com a redução dos níveis de ATP, e conseqüentemente falta de energia para

manutenção da integridade celular. Dentre outros, os distúrbios internos estão relacionados com a dificuldade na difusão de gases nos frutos (FRANCK et al., 2007). A maior incidência de frutos com escurecimento interno, no tratamento com 1-MCP em AC, pode ser resultado do efeito sinérgico do 1-MCP com a alteração da pressão parcial dos gases, causando demasiada redução da produção de etileno (HENDGES et al., 2015) e aumento na pressão parcial do CO₂ e redução do O₂ no interior dos frutos, e assim levando a produção de substâncias como etanol, tóxicas à célula.

Quanto a incidência de frutos com podridão, o maior número de frutos atingidos no armazenamento em alto CO₂ pode estar associado com a severidade de distúrbios internos da polpa nesta condição. Os danos celulares causados pelo distúrbio atuam como fator estressante ao fruto o qual comprometeria seus mecanismos de defesa contra microrganismos deteriorantes.

Já para frutos tratados com 1-MCP observou-se redução na podridão em algumas condições de armazenamento e pontos de maturação. No pomar 1, na primeira colheita, frutos tratados com 1-MCP e armazenados em AR, em ambas as cultivares, não apresentaram podridões. Em 'Conference' a porcentagem de frutos com podridões, na primeira colheita, foi significativamente menor em AR*, sem diferença estatística comparado ao alto CO₂. Já, na segunda colheita, e na cultivar Alexander Lucas não foi verificada diferença entre frutos do AR* e os demais tratamentos. Segundo Lafer (2005), a capacidade do 1-MCP reduzir a incidência de podridões varia consideravelmente entre cultivares e com o estágio de maturação. Em frutos colhidos em estágio de maturação mais avançado o 1-MCP apresenta pouco ou nenhum efeito sobre a incidência de podridões.

De forma geral, verificou-se menores valores na porcentagem de frutos com escurecimento no pomar 2, e de cavidades no pomar 1, todavia, sem diferença comparado ao pomar 2. Frutos do pomar 1 apresentam o maior teor de cálcio (Ca) e os menores valores entre as relações de nutrientes e no pomar 2 menor teor de Mg e K e os maiores valores na relações entre nutrientes, devido principalmente ao baixo teor de cálcio nos frutos.

Apesar das evidentes contribuições do cálcio para qualidade dos frutos não foi verificada correlação entre o teor deste nutriente com os distúrbios internos. Todavia, somente a concentração de cálcio não é determinante para o aparecimento de distúrbios, mas também a relação deste com outros nutrientes. No presente trabalho, apesar do baixo coeficiente, foi verificada correlação positiva entre os minerais magnésio, potássio e fósforo com o índice de escurecimento interno. Quando magnésio (Mg) e potássio (K) estão presentes excessivamente em frutos, o efeito resultante da baixa concentração de cálcio torna-se mais pronunciada (BRAMLAGE; WEIS, 2004).

No pomar 3 verificou-se valor intermediário de cálcio e o maior de fósforo (P). Contudo, este pomar foi o que apresentou os maiores valores de Mg e K, além, de menor IS médio entre as colheitas, o qual pode ser fator decisivo no aumento de frutos com distúrbios internos (LAMMERTYN et al., 2000; LAFER et al., 2006). Apesar de altos teores de fósforo estarem associados à preservação da qualidade pós-colheita, o conteúdo elevado de Mg e K reduz a qualidade dos frutos (BRAMLAGE; WEIS, 2004). Segundo Neuwald et al. (2014) o elemento K apresenta a melhor correlação com escurecimento da polpa comparado aos demais minerais avaliados (Ca, Mg, P), mesmo considerando-se diferentes datas de colheita e condições de armazenamento. De acordo com estes autores, em maçãs concentrações de K acima de 110

mg/100 g de massa fresca aumentam a probabilidade de ocorrência do escurecimento de polpa.

Quanto a relação da temperatura durante o desenvolvimento dos frutos e distúrbios internos Corrêa et al. (2010) observaram correlação negativa entre degenerescência da polpa e temperaturas médias que ocorreram dos 90 a 210 dias após plena floração. Estes autores justificaram o aumento da suscetibilidade ao dano por CO₂ em maçãs as temperaturas médias mais baixas durante o desenvolvimento dos frutos. Segundo Lau (98) após estações frias há aumento na incidência de escurecimento e cavidades especialmente em frutos colhidos em estágio de maturação mais avançado. A susceptibilidade entre pomares distintos pode ocorrer devido à difusividade dos tecidos diferenciada entre os frutos produzidos em diferentes pomares (PARK et al., 1993). De acordo com Lau (98) regiões frias podem alterar o metabolismo celular reduzindo a difusividade dos tecidos e aumentando a suscetibilidade a AC.

Apesar disso, vários são os fatores, pré ou pós-colheita relacionados ao desenvolvimentos deste distúrbio (ECCHER ZERBINI et al., 2002; VERLINDEN et al., 2002; BRAMLAGE; WEIS, 2004; YAN et al., 2013; NEUWALD et al., 2014) e no presente trabalho não foi verificada associação entre baixas temperaturas durante o desenvolvimento dos frutos e distúrbios internos. Frutos provenientes do pomar 3 foram os que tiveram o maior índice de escurecimento interno e porcentagem de frutos com cavidade, contudo, desenvolveram-se em condições de maiores temperaturas máximas e mínimas.

5.6 CONCLUSÃO

De maneira geral, o retardo na colheita provoca o aumento nos distúrbios internos. Em peras ‘Conference’ o

retardo na colheita (Índice de Streif - IS 0,08) resulta no aparecimento de escurecimento de polpa e cavidades após sete meses de armazenamento em ULO (0,7 kPa O₂/ $<$ 0,7 kPa CO₂) e alto CO₂ (2,0 kPa O₂/3,0 kPa CO₂). Em peras ‘Alexander Lucas’ o armazenamento por sete meses causa escurecimento de polpa, independentemente da condição de armazenamento.

O armazenamento em ULO (0,7 kPa O₂/ $<$ 0,7 kPa CO₂) e especialmente em alto CO₂ provoca o desenvolvimento de cavidades em peras ‘Alexander Lucas’.

O tratamento com 1-MCP (300 nL L⁻¹), em frutos armazenados em AC (2,0 kPa O₂/ $<$ 0,7 kPa CO₂), incrementa a porcentagem de frutos com cavidade em peras ‘Alexander Lucas’.

O maior teor de magnésio e potássio associado ao menor IS na colheita parecem influenciar na maior porcentagem de distúrbios internos da polpa nos frutos do pomar 3 comparado aos demais.

6 CONCLUSÕES GERAIS

O tratamento com 1-MCP na concentração de 300 nL L⁻¹ em frutos colhidos na primeira data (05/09/2012), com IS 0,13 para ‘Conference’ e 0,15, 0,12 e 0,09 nos pomares 1 (Ravensburg), 2 (Langenargen) e 3 (Öhringen) para ‘Alexander Lucas’, impossibilita o desenvolvimento de textura da polpa adequada para o consumo. Além disso, nesta condição não há amarelecimento da epiderme dos frutos. Mesmo com baixo IS (0,09) no pomar 3 (Öhringen), os frutos da cultivar ‘Alexander Lucas’ tiveram o amadurecimento comprometido. O baixo IS destes frutos ocorreu devido aos elevados índice de íodo-amido e de sólidos solúveis, contudo, foram os frutos que apresentaram maior firmeza de polpa entre os pomares, evidenciando a importância desta variável na determinação da colheita.

Na aplicação do 1-MCP em frutos colhidos em 18/09/2012 (IS 0,06 no pomar 2, e IS 0,08 para demais pomares) o produto perde sua eficácia para manutenção da firmeza de polpa em ‘Conference’ e é dependente do pomar nos frutos de ‘Alexander Lucas’ armazenados em AC (2 kPa O₂/ $<0,7$ kPa CO₂), após sete meses de armazenamento (0 \pm 0,1°C e 94 \pm 2%) mais sete dias de exposição dos frutos em condições ambiente (20 \pm 2°C/60 \pm 5% de UR). A AC e ULO não apresentam efeito sobre a manutenção da firmeza de polpa. Em peras ‘Alexander Lucas’, dependendo do pomar, os frutos armazenados em ULO apresentam-se mais verdes.

O 1-MCP e ULO reduzem a produção de álcoois e ésteres em frutos da primeira colheita. O atraso da colheita em duas semanas incrementa a produção de compostos aromáticos

nos frutos tratados com 1-MCP, independente da atmosfera de armazenamento. Todavia, alguns compostos aromáticos são reduzidos em AC* na cultivar 'Conference'. Em frutos de 'Alexander Lucas' da segunda colheita, tratados com 1-MCP, a produção de compostos voláteis álcoois e ésteres é similar ao AR, e somente a AC estimula a produção destes compostos.

Em geral, ocorre aumento na produção dos compostos aromáticos com o atraso na colheita. Contudo, frutos armazenados em ULO mantém produção constante de compostos aromáticos nas duas colheitas, o que ocasiona produção significativamente menor quando comparado aos demais tratamentos na segunda colheita. A redução de compostos ésteres em frutos sob ULO, na segunda colheita, é dependente do pomar.

Em peras 'Conference' o armazenamento em AC* e ULO reduz o índice de escaldadura superficial, contudo com o atraso na colheita os frutos armazenados em ULO desenvolvem escurecimento de polpa e cavidades. Em 'Alexander Lucas' o 1-MCP reduz o índice de escaldadura superficial. Em AR, o 1-MCP reduz o escurecimento de polpa, dependendo do pomar, não causa o aparecimento de frutos com cavidade, além de apresentar uma tendência à redução de frutos com podridões.

De maneira geral, apesar da perda na eficácia do 1-MCP no retardo do amadurecimento para ambas cultivares com o atraso na colheita o tratamento dos frutos com 1-MCP seguido pelo armazenamento em AC é a melhor opção para manutenção da qualidade de peras cultivar 'Conference' colhidas com IS 0,08. Esta condição proporciona frutos maiores, com redução no índice de escaldadura, sem provocar distúrbios internos e com desenvolvimento de compostos aromáticos similar ao AR.

O armazenamento de peras 'Alexander Lucas' por sete meses mais sete dias em temperatura ambiente mesmo em condição de AR ($0\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ e $94\pm 2\%$ - $21,0\text{ kPa O}_2 + 0,03\text{ kPa CO}_2$) é muito longo, uma vez que, todas as condições de

armazenamento causaram distúrbios internos. Apesar disso, há indícios da melhor condição de armazenamento em AR* em frutos colhidas com IS 0,08. Nessa condição além do ganho de peso, ocorre retorno na produção de voláteis aromáticos, redução na escaudura superficial e de escurecimento da polpa, sem o aparecimento de cavidades.

No presente estudo foi observado a influência do estágio de maturação sobre o efeito do 1-MCP, em AR e AC, sobre o amadurecimento e qualidade de peras 'Conference' e 'Alexander Lucas'. Desta forma, novos trabalhos devem ser realizados, especialmente com a cultivar Alexander Lucas, avaliando o efeito do tratamento com 1-MCP, a interação entre o estágio de maturação com diferentes condições de atmosfera e períodos de armazenamento, em frutos de diferentes locais de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPALHÃO, A.; NETO, C.; GOULÃO, L.; CLEMENTE, J.; HENRIQUES, J.; LOURENÇO, I.; OLIVEIRA, C.M. Efeito do 1-metilciclopropeno em pera 'Rocha' em diferentes estados de maturação armazenadas em atmosfera normal. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE FRUTICULTURA, 1., Alcobça. Anais... Alcobça: **Actas Portuguesas de Horticultura**, 2006. p. 232-238, 2006.

ARGENTA, L.C.; FAN, X.; MATTHEIS, J.P. Influence of 1-methylcyclopropene on ripening, storage life, and volatile production by d'Anjou cv. pear fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.51, p.3858-3864, 2003.

BRACKMANN, A.; STREIF, J.; BANGERTH, F. Relationship between a reduced aroma production and lipid metabolism of apples after long-term controlled atmosphere storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.118, p.243-247, 1993.

BRANISTE, N. The pear industry in Eastern Europe. **Acta Horticulturae**, Bologna, v.596, p.83-85. 2002.

BERTOLINI, P.; BOTTARDI, S.; DALLA ROSA, M.; FOLCHI, A. Effect of controlled atmosphere storage on the physiological disorders and quality of Conference pears. **Italian Journal of Food Science**, Pinerolo, v.9, n.4, p.303-312, 1997.

BRAMLAGE, W.J.; WEIS, S.A. Postharvest fruit quality and storage life in relation to mineral nutrients. **New York Fruit Quarterly**, Ithaca, v.12, n.2, p.11-12, 2004.

CALVO, G. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on pear maturity and quality. **Acta Horticulturae**, Toronto, v.628, p.203-211, 2003.

CALVO, G. Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en peras cv Williams cosechadas en dos estados de madurez. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, Buenos Aires, v.33, p.3-26, 2004.

CALVO, G.; SOZZI, G.O. Improvement of post-harvest storage quality of 'Red Clapp's' pears by treatment with 1-methylcyclopropene at low temperature. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v.79, n.6, p.930-934, 2004.

CHEN, P.M.; VARGA, R.J.; XIAO, Y.Q. Inhibition of α -farnesene biosynthesis and its oxidation in the peel tissue of 'd'Anjou' pears by low-O₂/elevated CO₂ atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.3, n.3, p.215-223, 1993.

CHEN, J.L.; YAN, S.; FENG, Z.; XIAO, L.; HU, X.S. Changes in the volatile compounds and chemical and physical properties of Yali pear (*Pyrus bertschneideri reld*) during storage. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.97, n.2, p.248-255, 2006.

CHERVIN, C.; SPEIRS, J.; LOVEYS, B.; PATTERSON, B.D. Influence of low oxygen storage on aroma compounds of whole pears and crushed pear flesh. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.19, n.3, p.279-285, 2000.

CHIRIBOGA, M.A.; SCHOTSMANS, W.C.; LARRIGAUDIÈRE, C.; DUPILLE, E.; RECASENS, I. How to prevent ripening blockage in 1-MCP-treated 'Conference' pears. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.91, n.10, p.1781-1788, 2011.

CHIRIBOGA, M.A., SALADIÉ, M., GINÉ BORDONABA, J., RECASENS, I., GARCIA-MAS, J.; LARRIGAUDIÈRE, C. Effect of cold storage and 1-MCP treatment on ethylene perception, signalling and synthesis: Influence on the development of the evergreen behaviour in 'Conference' pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.86, p.212-220, 2013.

CHIRIBOGA, M.A.; SCHOTSMANS, W.C.; LARRIGAUDIÈRE, C.; RECASENS, I. Últimos avances en la aplicación del 1-metilciclopropano (1-MCP) en peras. **Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario**, Aragón, v.1, n.1, p.34-48. 2014.

CORRÊA, T.R.; STEFFENS, C.A.; AMARANTE, C.V.T.; BRACKMANN, A.; SILVEIRA, J.P. G.; TANAKA, H.; BOTH, V. Qualidade de maçãs' Fuji' armazenadas em atmosfera controlada e influência do clima na degenerescência da polpa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.531-538, 2010.

D'AQUINO, S.; SCHIRRA, M.; MOLINU, M.G.; TEDDE, M.; PALMA, A. Preharvest aminoethoxyvinylglycine treatments reduce internal browning and prolong the shelf-life of early ripening pears. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.125, n.3, p.353-360, 2010.

DANCEY, C.P.; REIDY J. Análise de correlação: o r de Pearson. In: Dancey C.P, Reidy J. Estatística sem matemática

para psicólogos: Usando SPSS para Windows. Porto Alegre (RS): Artmed; 2006.

DECKERS, T.; SCHOOFS, H. . The world pear industry and research: Present situation and future development of european pears (*Pyrus communis*). **Acta Horticulturae**, Kurayoshi, v.587, p.37-54, 2002.

DECKERS, T.; SCHOOFS, H. Status of the pear production in Europe. **Acta Horticulturae**, Peniche, v.800, p.95-106, 2008.

DEELL, J.R.; AYRES, J.T.; MURR, D.P. 1-Methylcyclopropene influences ‘Empire’ and ‘Delicious’ apple quality during long-term commercial storage. **HortTechnology**, Alexandria, v.17 n.1, p.46-51, 2007.

DE MARTINO, G.; VIZOVITIS, K.; BOTONDI, R.; BELLINCONTRO, A.; MENCARELLI, F. 1-MCP controls ripening induced by impact injury on apricots by affecting SOD and POX activities. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.39, n.1, p.38-47, 2006.

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**, Amsterdam, v.168, n.5, p.1199–1210, 2005a.

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

ECCHER ZERBINI, P.; RIZZOLO, A.; BRAMBILLA, A.; CAMBIAGHI, P.; GRASSI, M. Loss of ascorbic acid during storage of Conference pears in relation to the appearance of brown heart. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.82, n.9, p.1007-1013, 2002.

ECHEVERRIA, G.; GRAELL, J.; LÓPEZ, M.L.; LARA, I. Volatile production, quality and aroma-related enzyme activities during maturation of 'Fuji' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.31, n.3, p.217-227, 2004.

EKMAN, J.H.; CLAYTON, M.; BIASI, W.V.; MITCHAM, E.J. Interactions between 1-MCP concentration, treatment interval and storage time for 'Bartlett' pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.31, n.2, p.127-136, 2004.

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

FRANCK, C.; LAMMERTYN, J.; HO, Q.T.; VERBOVEN, P.; VERLINDEN, B.; NICOLAÏ, B.M. Browning disorders in pear fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.43, n.1, p.1-13, 2007.

GALVIS-SÁNCHEZ, A.C.; FONSECA, S.C.; MORAIS, A.M.; MALCATA, F.X. Effects of preharvest, harvest and postharvest factors on the quality of pear (cv. Rocha) stored under controlled atmosphere conditions. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, v.64, n.2, p.161-172, 2004.

GAMRASNI, D.; BEN-ARIE, R.; GOLDWAY, M. 1-Methylcyclopropene (1-MCP) application to 'Spadona' pears at different stages of ripening to maximize fruit quality after storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.58, n.2, p.104-112, 2010.

GAUILLARD, F.; RICHARD-FORGET, F.
Polyphenoloxidases from Williams Pear (*Pyrus communis* L, cv Williams): activation, purification and some properties. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.74, n.1, p.49-56, 1997.

GAPPER, N.E.; BAI, J.; WHITAKER, B.D. Inhibition of ethylene-induced α -farnesene synthase gene AFS1 expression in 'd'Anjou' pears with 1-MCP reduces synthesis and oxidation of α -farnesene and delays development of superficial scald. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.41, n.3, p.225-233, 2006.

GINÉ BORDONABA, J.; MATTHIEU-HURTIGER, V.; WESTERCAMP, P.; COUREAU, C.; DUPILLE, E.; LARRIGAUDIÈRE, C. Dynamic changes in conjugated trienols during storage may be employed to predict superficial scald in 'Granny Smith' apples. **LWT-Food Science and Technology**, Amsterdam, v.54, n.2, p.535-541, 2013.

GROOT, M.; KEMP, H.; BÜNEMANN, G. Pear Production in Northern Europe. **Acta Horticulturae**, Bologna, v.596. p.71-74, 2000.

GUERRA, R.; GARDÉ, I.V.; ANTUNES, M.D.; DA SILVA, J.M.; ANTUNES, R.; CAVACO, A.M. A possibility for non-

invasive diagnosis of superficial scald in 'Rocha' pear based on chlorophyll 'a' fluorescence, colorimetry, and the relation between α -farnesene and conjugated trienols. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.134, p.127-138, 2012.

HENDGES, M. V.; STEFFENS, C.A.; ESPINDOLA, B.P.; AMARANTE, C.V.T.; NEUWALD, D.A.; KITTEMANN, D. 1-MCP treatment increases internal browning disorders in 'Alexander Lucas' pears stored under controlled atmosphere. **Acta Horticulturae**, Trani, v.1071, p.511-517, 2015.

HOANG, N.T.T.; GOLDING, J.B.; WILKES, M.A. The effect of postharvest 1-MCP treatment and storage atmosphere on 'Cripps Pink' apple phenolics and antioxidant activity. **Food Chemistry**, Amsterdam, v.127, n.3, p.1249-1256, 2011.

ISIDORO, N.; ALMEIDA, D.P.F. α -Farnesene, conjugated trienols, and superficial scald in 'Rocha' pear as affected by 1-methylcyclopropene and diphenylamine. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam v.42, n.1, p.49-56, 2006.

JAMES, H.; NOCK, J.; WATKINS, C.B. Internal browning in 'Empire' apples in relation to harvest date. **New York Fruit Quarterly**, Ithaca, v.18, n.2, p.9, 2010.

JUNG, S.K.; WATKINS, C.B. Involvement of ethylene in browning development of controlled atmosphere-stored 'Empire' apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.59, n.3, p.219-226. 2011.

KAPPEL, F.; FISHER-FLEMING, R.; HOGUE, E.J. Ideal pear sensory attributes and fruit characteristics. **HortScience**, Alexandria, v.30, n.5, p.988-993, 1995.

KE, D.; VAN GORSEL, H.; KADER, A.A. Physiological and quality responses of 'Bartlett' pears to reduced O₂ and enhanced CO₂ levels and storage temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.115, n.3, p.435-439, 1990.

KREUZWIESER, J.; SCHEERER, U.; RENNENBERG, H. Metabolic origin of acetaldehyde emitted by poplar (*Populus tremula*×*P. alba*) trees. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.50, n.335, p.757-765, 1999.

LARA, I.; MIRÓ, R.M.; FUENTES, T.; SAYEZ, G.; GRAELL, J.; LÓPEZ, M.L. Biosynthesis of volatile aroma compounds in pear fruit stored under long-term controlled atmosphere conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.29, n.1, p.29-39, 2003.

LARA, I.; GRAEL, J.; LÓPEZ, M.L.; ECHEVERRÍA, G. Multivariate analysis of modifications in biosynthesis of volatile compounds after CA storage of 'Fuji' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.39, n.1, p.19-28, 2006.

LAFER, G. Effects of 1-MCP treatments on fruit quality and storability of different pear varieties. **Acta Horticulturae**, Verona, v.2, n.682, p.1227-1231, 2005.

LAFER, G. Storability and fruit quality of 'Golden Delicious' as affected by harvest date, AVG and 1-MCP treatments. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Skierniewice, v.14, n. 2, p. 203-212, 2006.

LAMMERTYN, J.; AERTS, M.; VERLINDEN, B.E.; SCHOTSMANS, W.; NICOLAI, B.M. Logistic regression analysis of factors influencing core breakdown in Conference pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.20, n.1, p.25-37, 2000.

LAU, O. L. Efficacy of diphenylamine, ultra-low oxygen, and ethylene scrubbing on scald control in 'Delicious' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.115, n.6, p.959-961, 1990.

LAU, O. L. The Effectiveness of 0.7% oxygen to attenuate scald symptoms in 'Delicious' apples is influenced by harvest maturity and cultivar strain. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.122, n.5, p.691-697, 1997.

LAU, O. L. Effect of growing season, harvest maturity, waxing, low O₂ and elevated CO₂ on flesh browning disorders in 'Braeburn' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.14, n.2, p.131-141, 1998.

LEE, J.; MATTHEIS, J.P.; RUDELL, D.R. Antioxidant treatment alters metabolism associated with internal browning in 'Braeburn' apples during controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.68, p.32-42, 2012.

LI, G.; JIA, H.; WU, R.; TENG, Y.; PROVINCE, Z. Changes in volatile organic compound composition during the ripening of 'Nanguoli' pears (*Pyrus ussuriensis* Maxim) harvested at different growing locations. **Journal of Horticultural Science e Biotechnology**, Dundee, v.88, n.5, p.563-570, 2013.

LURIE, S. Antioxidants. In: HODGES, D. M. Postharvest oxidative stress in horticultural crops. Nova Yorque (NY): Food products press; 2003.

LURIE, S.; LERS, A.; SHACHAM, Z.; SONEGO, L.; BURD, S.; WHITAKER, B. Expression of α -farnesene synthase AFS1 and 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme a reductase HMG2 and HMG3 in relation to α -farnesene and conjugated trienols in 'Granny Smith' apples heat or 1-MCP Treated to prevent superficial scald. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.130, n.2, p.232-236, 2005.

LURIE, S.; WATKINS, C.B. Superficial scald, its etiology and control. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.65, p.44-60, 2012.

MATTHEIS, J.P.; FELLMAN, J.K. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.15, n.3, p.227-232, 1999.

MACDONALD, R.C.; KIMMERER, T.W. Metabolism of transpired ethanol by eastern cottonwood (*Populus deltoids* Bartr.). **Plant Physiology**, Rockville, v.102, n.1, p.173 -179, 1993.

MIR, N.; PEREZ, R.; BEAUDRY, R.M. A poststorage burst of 6-methyl-5-hepten-2-one (MHO) may be related to superficial scald development in 'Cortland' apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.2, p.173-176, 1999.

MITCHAM, E.J.; CRISOSTO, C.H.; KADER, A.A. Pear: recommendations for maintaining postharvest quality, 2003. Disponível em: <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/PearBartlett/> Acesso em: em julho de 2014.

MOYA-LEÓN, M.A.; VERGARA, M.; BRAVO, C.; MONTES, M.E.; MOGGIA, C. 1-MCP treatment preserves aroma quality of 'Packham's Triumph' pears during long-term storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.42, n.2, p.185-197, 2006.

NEUWALD, D.A.; SESTARI, I.; KITTEMANN, D.; STREIF, J.; WEBER, A.; BRACKMANN, A. Can mineral analysis be used as a tool to predict 'Braeburn' Browning Disorders (BBD) in apple in commercial controlled atmosphere (CA) storage in Central Europe?. **Erwerbs-Obstbau**, Heidelberg, v.56, n.1, p.35-41, 2014.

PARK, Y.M.; BLANPIED, G.D.; JOZWIAK, Z.; LIU, F.W. Postharvest studies of resistance to gas diffusion in 'McIntosh' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.2, n.4, p.329-339, 1993.

PESIS, E.; EBELER, S.E.; DE FREITAS, S.T.; PADDA, M.; MITCHAM, E.J. Short anaerobiosis period prior to cold storage alleviates bitter pit and superficial scald in 'Granny Smith' apples. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.90, n.12, p.2114-2123, 2010.

PINTÓ, E.; LENTHERIC, I.; VENDRELL, M.; LARRIGAUDIÈRE, C. Role of fermentative and antioxidant metabolisms in the induction of core browning in controlled

atmosphere stored pears. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.81, n.3, p.364-370, 2001.

PLOCHARSKI, W.J.; KONOPACKA, D. The relation between mechanical and sensory parameters of apples and pears. **Acta Horticultural**, Warsaw, v.485, p.309-317, 1999.

PLOTTO, A.; MCDANIEL, M.R.; MATTHEIS, J.P. Characterization of 'Gala' apple aroma and flavor: differences between controlled atmosphere and air storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.124, n.4, p.416-423, 1999.

RAESE, J.T.; DRAKE, S.R. Effect of calcium sprays, time of harvest, cold storage, and ripeness on fruit quality of 'anjou' pears 1. **Journal of Plant Nutrition**, Athens, v.23, n.6, p.843-853, 2000.

RAPPARINI, F.; PREDIERI, S. Pear fruit volatiles. **Horticultural Reviews**, Westport, v.28, p.237-324, 2002.

RICHARDSON, D.G.; GERASOPOULOS, D. Controlled atmosphere recommendations for pear fruits and storage chilling satisfaction requirements for ripening winter pears. **Acta Horticulturae**, Medford, v. 367. p. 452-454, 1994.

RIZZOLO, A.; CAMBIAGHI, P.; GRASSI, M.; ECCHER ZERBINI, P.E. Influence of 1-methylcyclopropene and storage atmosphere on changes in volatile compounds and fruit quality of conference pears. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.53, n.25, p.781-9789, 2005.

RIZZOLO, A.; GRASSI, M.; VANOLI, M. 1-Methylcyclopropene application, storage temperature and atmosphere modulate sensory quality changes in shelf-life of 'Abbé Fétel' pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.92, p.87-97, 2014.

RUDELL, D.R.; MATTHEIS, J.P.; HERTOOG, M.L. Metabolomic change precedes apple superficial scald symptoms. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.57, n.18, p.8459-8466, 2009.

SABBAN-AMIN, R.; FEYGENBERG, O.; BELAUSOV, E.; PESIS, E. Low oxygen and 1-MCP pretreatments delay superficial scald development by reducing reactive oxygen species (ROS) accumulation in stored 'Granny Smith' apples. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.62, n.3, p.295-304, 2011.

SILVA, F.J.; GOMES, M.H.; FIDALGO, F.; RODRIGUES, J.A.; ALMEIDA, D.P. Antioxidant properties and fruit quality during long-term storage of 'Rocha' pear: Effects of maturity and storage conditions. **Journal of Food Quality**, Oxford, v.33, n.1, p.1-20, 2010.

SCHWAB, W.; DAVIDOVICH-RIKANATI, R.; LEWINSOHN, E. Biosynthesis of plant-derived flavor compounds. **The Plant Journal**, Oxford, v.54, n.4, p.712-732, 2008.

SCHOTSMANS, W.; VERLINDEN, B.E.; LAMMERTYN, J.; NICOLAÏ, B.M. The relationship between gas transport properties and the histology of apple. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v.84, n.10, p.1131-1140, 2004.

SHANG MA, S.; CHEN, P.M. Storage disorder and ripening behavior of 'Doyenne du Comice' pears in relation to storage conditions. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.28, n.2, p.281-294, 2003.

SILBEREISEN, R.; GÖTZ, G.; HARTMANN, W. In: Obstsorten Atlas: Kernobst, Steinobst, Beerenobst, Schalenobst. Eslovênia. Editora Nikol, 2015.

SISLER, E.C.; SEREK, M. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. **Plant Physiology**, Rockville, v.100, n.3, p.577-582, 1997.

SONG, J.; BANGERTH, F. Fatty acids as precursors for aroma volatile biosynthesis in pre-climacteric and climacteric apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.30, n.2, p.113-121, 2013.

SUWANAGUL, A.; RICHARDSON, D.G. Identification of headspace volatile compounds from different pear (*Pyrus communis* L.) varieties. **Acta Horticulturae**, Talca, v.475, p. 605-624, 1998.

TRINCHERO, G.D.; SOZZI, G.O.; COVATTA, F.; FRASCHINA, A.A. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of 'Bartlett' pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.32, n.2, p.193-204, 2004.

VANOLI, M.; RIZZOLO, A.; GRASSI, M.; ZERBINI, P.E.; BEROLINI, P. Storage disorders and quality in 'Abbé Fétel' pears treated with 1-methylcyclopropene. In: **Novel**

approaches for the control of postharvest diseases and disorders. Proceedings of the International Congress, Bologna, Italy, 3-5 May, 2007. CRIOF, University of Bologna, p. 269-277, 2007.

VALENTE, A.L.P.; AUGUSTO, F. Microextração por fase sólida. **Química Nova**, São Paulo, v.23, n.4, p.523-530, 2000.

VELTMAN, R.H.; LARRIGAUDIERE, C.; WICHERS, H.J.; VAN SCHAIK, A.C.R.; VAN DER PLAS, L.H.W.; OOSTERHAVEN, J. PPO activity and polyphenol content are not limiting factors during brown core development in pears (*Pyrus communis* L. cv. Conference). **Journal of Plant Physiology**, Amsterdam, v.154, n.5, p.697-702, 1999.

VERLINDEN, B.E.; DE JAGER, A.; LAMMERTYN, J.; SCHOTSMANS, W.; NICOLAI, B.M. Effect of harvest and delaying controlled atmosphere storage conditions on core breakdown incidence in 'Conference' pears. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v.83, p.339-348, 2002.

VILLALOBOS-ACUÑA, M.; MITCHAM, E.J. Ripening of european pears: The chilling dilemma. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.49, n.2, p.187-200, 2008.

VILLALOBOS-ACUÑA, M.G.; BIASI, W.V.; FLORES, S.; JIANG, C.Z.; REID, M.S.; WILLITS, N.H.; MITCHAM, E.J. Effect of maturity and cold storage on ethylene biosynthesis and ripening in 'Bartlett' pears treated after harvest with 1-MCP. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.59, n.1, p.1-9, 2010.

VILLALOBOS-ACUÑA, M.G.; BIASI, W.V.; MITCHAM, E.J.; HOLCROFT, D. Fruit temperature and ethylene modulate

1-MCP response in 'Bartlett' pears. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.60, n.1, p.17-23, 2011.

WAWRZYŃCZAK, A.; RUTKOWSKI, K.P.; KRUCZYŃSKA, D.E. Changes in fruit quality in pears during CA storage. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, Skierniewice, v.14, p.77-84, 2006.

WATKINS, C.B. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops. **HortScience**, Alexandria, v.43, n.1, p.86-94, 2008.

WHITAKER, B.D.; VILLALOBOS-ACUÑA, M.; MITCHAM, E.J.; MATTHEIS, J.P. Superficial scald susceptibility and α -farnesene metabolism in 'Bartlett' pears grown in California and Washington. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.53, n.1, p.43-50, 2009.

WÜNSCHE, J.N.; PALMER, J.W.; GREER, D.H. Effects of crop load on fruiting and gas-exchange characteristics of 'Braeburn'/M. 26 apple trees at full canopy. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.125, n.1, p.93-99, 2000.

XIE, X.; SONG, J.; WANG, Y.; SUGAR, D. Ethylene synthesis, ripening capacity, and superficial scald inhibition in 1-MCP treated 'd'Anjou' pears are affected by storage temperature. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.97, p.1-10, 2014.

YAN, S.; LI, L.; HE, L.; LIANG, L.; LI, X. Maturity and cooling rate affects browning, polyphenol oxidase activity and

gene expression of 'Yali' pears during storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.85, p.39-44, 2013.

ZHANG, Z.; HUBER, D.J.; HURR, B.M.; RAO, J. Delay of tomato fruit ripening in response to 1-methylcyclopropene is influenced by internal ethylene levels. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.54, n.1, p.1-8, 2009.

ZOFFOLI, J.P.; RICHARDSON, D.; CHEN, P.; SUGAR, D. Spectrophotometric characterization of superficial and senescent scald in pear fruits relative to different stages of maturity. **Acta Horticulturae**, Talca, v.475, p. 543-558, 1998.

APÊNDICE

1-MCP Treatment Increases Internal Browning Disorders in ‘Alexander Lucas’ Pears Stored under Controlled Atmosphere

M.V. Hedges¹, D.A. Neuwald², C.A. Steffens¹, D. Kitemann², B.P. Espindola¹ and C.V.T. Amarante¹.

¹ State University of Santa Catarina (UDESC), Brazil

² Competence Center for Fruit Growing – Lake Constance and Physiology of Specialty Crops, University of Hohenheim, Ravensburg, Germany

Keywords: *Pyrus communis*, ethylene, controlled atmosphere, harvest date, fruit quality

Abstract

This study aimed to assess the effect of 1-MCP associated with controlled atmosphere (CA) on the incidence and severity of internal browning disorders (IB) in ‘Alexander Lucas’ pears harvested at two dates and from three different orchards. The fruit were picked in the southwest of Germany, in 2012, and then submitted to the treatments organized according to a two-factor design: with and without application of 1-MCP (300 η L.L⁻¹) versus two harvest dates (05/09/2012 and 18/09/2012). The fruit were stored under CA (2.0 kPa O₂ and <0.7 kPa CO₂) at 0°C. A similar behavior of the fruit in terms of incidence and severity of IB was observed. Fruit harvested in all orchards presented a significant increase in incidence and severity of IB when treated with 1-MCP. Nevertheless, a higher incidence of the disorder was observed in orchard 2 in fruit treated with 1-MCP only during the first harvest. The

treatment with 1-MCP (300 η L.L⁻¹) increases the incidence of IB disorder in ‘Alexander Lucas’ pears stored under CA (2.0 kPa O₂ and <0.7 kPa CO₂) for three months and plus 7 days of shelf life. A significant effect of the harvest date on the incidence and severity of IB was not observed.

INTRODUCTION

The storage of pears under controlled atmosphere (CA) increases the post-harvest life of the fruit, since it slows down yellowing and reduces the occurrence of some physiological disorders (Villalobos-Acuña and Mitcham, 2008). However, internal flesh browning disorder in pears has been associated with storage under CA (Veltman et al., 2000; Saquet et al., 2000; Pintó et al., 2001; Saquet et al., 2001; Saquet et al., 2003). Additionally, conflicting results have been observed with the incidence of physiological disorders in different species and cultivars of fruit treated with 1-methylcyclopropene (1-MCP) and stored under CA (Lafer, 2006; DeEll et al., 2007; Vanoli et al. 2007).

Another factor that greatly influences quality during the storage of pears is the harvest date (Lammertyn et al., 2000). Usually, fruit harvested late are more susceptible to the incidence of internal browning (IB) (Lammertyn et al., 2000; Franck et al., 2007).

Thus, the aim of this research was evaluate the effect of 1-MCP treatment under CA storage on the internal browning incidence in ‘Alexander Lucas’ pears harvested at two dates and from different orchards in Southwest Germany.

MATERIALS AND METHODS

‘Alexander Lucas’ pears were harvested during the 2012 season at two harvest dates and from three commercial orchards (orchard 1-3) in the state of Baden-Württemberg, Southwest Germany. The treatments were organized according to a two-factor design: with and without the application of 1-

MCP (300 nL.L^{-1}) versus two harvest dates (05/09/2012 and 18/09/2012). The application of 1-MCP was carried out after 4 days of storage under regular atmosphere at 0°C , using SmartFreshSM. The product was applied in an airtight container during 24 hours, equipped with a ventilation system to homogenize the air inside the mini chamber. Fruit from both treatments were stored for three months under CA (2.0 kPa O_2 and $<0.7 \text{ kPa CO}_2$) at 0°C and $94\pm 2\%$ relative humidity in separate mini chambers.

The fruit were evaluated in terms of incidence and severity of IB after three months of storage under CA and followed by 7 days shelf life at 20°C and for respiration rate and ethylene production after 1, 4 and 7 days in shelf life .

For the incidence analysis, the amount of fruit with and without the disorder was counted and results expressed in percentage of the total amount. The index of IB was calculated by multiplying the number of fruits affected by its number in the severity scale (Figure 3) (0 without disturbance to 5 strongly affected by the physiological disorders). After that, the multiplication results were summed and the sum, divided by the total number of fruits. For the measurement of respiration rate jars containers tightly closed with 4 liters of void volume were used. The respiration rate was monitored by CO_2 concentration in three replications of three fruits with the aid of gas analyzers by continuous stream and the results expressed as $\text{ml of CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$. For measurement of ethylene production the jars of vials were closed for two hours and with one syringes one withdrew sample with 10 ml. The 1 ml gaseous contents of the syringes were injected into a gas chromatograph (Varian 2700 Series) under the conditions of nozzle temperature 220°C , detector temperature 240°C , column temperature of 110°C and the results were expressed in $\mu\text{l of C}_2\text{H}_4.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$.

At the harvest, for the determination of firmness, a penetrometer with tip 8 mm in diameter was used, being held two readings in the greatest diameter of the fruit, which was previously removed the skin. The color (hue angle) was determined using a colorimeter electronic (Minolta, CR-300 "C") where 120° corresponds to green and 90° to yellow. The fruit diameter was measured in the greatest diameter with calipers and expressed in millimeters and the average fruit weight measured with a digital balance and expressed in grams. The starch-iodine index was determined by reaction starch with an iodine solution. After a cut in the greatest diameter region of the fruit was iodine solution applied to the surface of the cut half the stalk, from which the color was compared (reaction of iodine with starch) to the table photo developed by Streiff (1984), where the index 01 indicates the maximum starch and 10 represents fully hydrolyzed starch.

The experimental design was entirely randomized with three replicates of 15 fruits. The data was submitted to analysis of variance (ANOVA). The Tuckey test was adopted in order to compare the means ($P < 0.05$).

RESULTS AND DISCUSSION

At the time of harvest, the fruit in orchard 1 presented, for harvest 1 and 2, respectively, flesh firmness of 54.9 and 46.7 N, colour ($^{\circ}h$) of 116.7 and 115.6 $^{\circ}h$, average weight of 232 and 311 g, 72.4 and 79.9 mm in diameter and a iodine-starch index of 2.9 and 4.5. The fruit in orchard 2 presented values of 53.73/45.47 N of flesh firmness, colour of 116.33/116.6 $^{\circ}h$, weight of 283.96/297.20 g, 78.10/78.69 mm in diameter and a iodide-starch index of 3.93/5.86. The fruit in orchard 3 presented 58.76/52.23 N of flesh firmness, colour of 116.40/115.7 $^{\circ}h$, weight of 227.56/290 g, 71.76/78.96 mm in diameter and a iodide-starch index of 4.57/4.70.

Similar results of incidence and severity of IB were observed for the fruit in orchard 1. Only pears treated with 1-

MCP presented the IB disorder. Vanoli et al. (2007) also observed an increase in the incidence of IB in 'Abbé Fétel' pears treated with 1-MCP and stored under CA. The incidence of IB in the fruit of this orchard was about 20% directly at the end of storage and 30% after the shelf life period. There was no significant influence for the harvest date. Lafer (2006) verified a higher incidence of IB in 'Golden Delicious' apples treated with 1-MCP, however, the susceptibility of the fruit to the disorder increases and tend to be influenced by the date of harvest. Often, fruit harvested late present higher incidence of physiological disorders, which usually occur due to a more advanced ripening process (Lafer, 2006). Nevertheless, this study did not observe this behavior in 'Alexander Lucas' pears

In orchard 2, the incidence of IB was higher in fruit treated with 1-MCP only in the first harvest, compared to the control. The late harvest reduced the incidence of IB in fruit treated with 1-MCP. However it caused the occurrence of the disorder in untreated fruit after storage, besides increasing the incidence after the period under ambient conditions. A similar behavior was observed for the severity of IB, however, under ambient conditions, the harvest date did not present a significant difference. Lafer (2006) states that fruit harvested very early or late are more susceptible to injuries caused by CO₂. Additionally, the author also states that fruit treated with 1-MCP tend to be more susceptible to the disorder, independently of the maturation status.

The fruit in orchard 3 presented higher incidence and severity of IB when treated with 1-MCP, independently of the harvest date. Lee et al. (2012) observed a significant increase in the percentage of 'Empire' apples with IB when treated with 1-MCP. A higher percentage of fruit with IB with an incidence of approximately 96% in the ones treated with 1-MCP, in the

assessment carried out after their exposure to ambient conditions was observed in our experiment in this orchard. An effect of the harvest date was not verified in orchard 3.

The reason why IB increases in fruit treated with 1-MCP remains unknown (Lee et al., 2012). However, Jung and Watkins (2011) suggest that the inhibition of ethylene production may induce a certain stress and thereby cause cell damages. A reduction in the ethylene production of fruit treated with 1-MCP, independently of the harvesting date, as well as a significant reduction in the respiratory rate (Figure 1 and 2), was observed in our study. Some authors suggest that IB is related to the loss of the antioxidant capacity and/or energetic deficit caused by a reduction in the respiratory activity of fruit stored under CA (Pintó et al., 2001; Saquet et al., 2001; Saquet et al., 2003; Veltman et al., 2003). Lee et al. (2012), studying the relation of 1-MCP with the increase of IB, did not observe a direct relation between the antioxidant metabolism and the development of IB in 'Empire' apples.

De Wild et al. (1999) showed that high CO₂ and 1-MCP treatment regulate the ethylene production and the respiration rate in a different way in 'Conference' pears. The synergic effect of 1-MCP with the CA on the reduction of ethylene production and respiration rate was observed in our experiment. The 1-MCP treatment reduced, on average, to more than 90% of ethylene production and the respiration rate to approximately 50% (Figure 1 and 2). This marked reduction in the metabolism of the fruit treated with 1-MCP may have been one of the causes for this significant increase in the incidence and severity of the disorder.

CONCLUSIONS

The treatment with 1-MCP (300 η L.L⁻¹) increases the IB disorder in 'Alexander Lucas' pears stored under CA conditions (2.0 kPa O₂ and <0.7 kPa CO₂). A significant effect

of the harvest date on the incidence and severity of IB was not observed.

Literature Cited

- DeEll, J. R., Ayres, J. T., e Murr, D. P. 2007. 1-Methylcyclopropene influences ‘Empire’ and ‘Delicious’ apple quality during long-term commercial storage. *HortTechnology*, 17:46-51.
- de Wild, H. P., Woltering, E. J., e Peppelenbos, H. W. 1999. Carbon dioxide and 1-MCP inhibit ethylene production and respiration of pear fruit by different mechanisms. *Journal of Experimental Botany*, 50: 837-844.
- Franck, C., Lammertyn, J., Ho, Q. T., Verboven, P., Verlinden, B., e Nicolai, B. M. 2007. Browning disorders in pear fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 43:1-13.
- James, H., Nock, J., e Watkins, C. 2010. Internal browning in Empire apples in relation to harvest date. *New York Fruit Quarterly* 18 (2): 9, 12.
- Jung, S. K., and Watkins, C. B. 2011. Involvement of ethylene in browning development of controlled atmosphere-stored ‘Empire’ apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 59:219-226.
- Lafer, G. (2006). Storability and fruit quality of ‘Golden Delicious’ as affected by harvest date, AVG and 1-MCP treatments. *Journal of fruit and ornamental plant research*, 14, 2.
- Lammertyn, J., Aerts, M., Verlinden, B. E., Schotsmans, W., e Nicolai, B. M. 2000. Logistic regression analysis of factors influencing core breakdown in ‘Conference’ pears. *Postharvest Biology and Technology*, 20:25-37.

- Lee, J., Cheng, L., Rudell, D. R., e Watkins, C. B. 2012. Antioxidant metabolism of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treated 'Empire' apples during controlled atmosphere storage. *Postharvest Biology and Technology*, 65:79-91.
- Pintó, E., Lentheric, I., Vendrell, M., e Larrigaudière, C. 2001. Role of fermentative and antioxidant metabolisms in the induction of core browning in controlled-atmosphere stored pears. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81:364-370.
- Saquet, A. A., Streif, J., e Bangerth, F. 2000. Changes in ATP, ADP and pyridine nucleotide levels related to the incidence of physiological disorders in 'Conference' pears and 'Jonagold' apples during controlled atmosphere storage. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75:243-249.
- Saquet, A. A., Streif, J., e Bangerth, F. 2001. On the involvement of adenine nucleotides in the development of brown heart in 'Conference' pears during delayed controlled atmosphere storage. *Gartenbauwissenschaft*, 66:140-144.
- Streif, J. 1984. Jod-Stärke-Test zur Beurteilung der Fruchtreife bei Äpfeln. *Obst und Garten*, Stuttgart, 8:382-384.
- Vanoli, M., Rizzolo, A., Grassi, M., Zerbini, P. E., e Berolini, P. 2007. Storage disorders and quality in 'Abbé Fétel' pears treated with 1-methylcyclopropene. In *Novel approaches for the control of postharvest diseases and disorders. Proceedings of the International Congress, Bologna, Italy, 3-5 May, 2007.* (pp. 269-277). CRIOF, University of Bologna.
- Veltman, R. H., Kho, R. M., Van Schaik, A. C. R., Sanders, M. G., e Oosterhaven, J. 2000. Ascorbic acid and tissue browning in pears (*Pyrus communis* L. cvs Rocha and Conference) under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 19: 129-137.

- Veltman, R. H., Lentheric, I., Van der Plas, L. H. W., e Peppelenbos, H. W. 2003. 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*, 28:295-302.
- Villalobos-Acuña, M., e Mitcham, E. J. 2008. Ripening of European pears: the chilling dilemma. *Postharvest Biology and Technology*, 49:187-200.

Table 1. Incidence and severity of internal browning in ‘Alexander Lucas’ pear stored in controlled atmosphere (CA) and CA with 1-MCP treatment (1-MCP) harvested at two different dates (1 and 2) and from three different orchards, evaluated after three months of storage (after storage) and after 7 days shelf-life at 20°C (ambient condition).

Incidence of internal browning (%)									
----- After storage -----									
	----- Orchard 1 -----			----- Orchard 2 -----			----- Orchard 3 -----		
Treat.	--- Harvest ---			--- Harvest ---			--- Harvest ---		
	- 1 -	- 2 -	Avg.	- 1 -	- 2 -	Avg.	- 1 -	- 2 -	Avg.
Control	00,00	00,00	00,00b	00,00Bb	06,66Aa	3,41	13,36	20,03	16,70b
1-MCP	13,33	26,66	20,00a	60,00Aa	13,37Ba	36,6	80,00	66,66	73,33a
Avg.	6,71A	13,38A		30,05	10,05		46,6A	43,35A	
SD%	91,00			44,46	47,78		47,94		
----- After shelf-life -----									
	----- Orchard 1 -----			----- Orchard 2 -----			----- Orchard 3 -----		
Treat.	--- Harvest ---			--- Harvest ---			--- Harvest ---		
	- 1 -	- 2 -	Avg.	- 1 -	- 2 -	Avg.	- 1 -	- 2 -	Avg.
Control	0,00	0,00	0,00b	6,66Ab	13,33Aa	16,66	20,06	33,33	26,70b
1-MCP	26,66	33,33	30,00a	66,6Aa	26,60Ba	46,66	93,33	100,00	96,67a
Avg.	13,38A	16,71A		36,70	20,03		56,7A	66,67A	
SD%	54,00			24,74	47,78		31,00		
Severity of internal browning (0-5)									
----- After storage -----									
	----- Orchard 1 -----			----- Orchard 2 -----			----- Orchard 3 -----		
Treat.	--- Harvest ---			--- Harvest ---			--- Harvest ---		
	- 1 -	- 2 -	Avg.	- 1 -	- 2 -	Avg.	- 1 -	- 2 -	Avg.
Control	0,00	0,00	0,00b	0,00Bb	0,13Aa	0,06	0,13	0,40	0,26b
1-MCP	0,13	0,33	0,23a	1,33Aa	0,26Ba	0,80	2,00	1,93	1,96a
Avg.	0,06A	0,16A		0,66	0,20		1,06A	1,16A	
SD%	61,00	48,98		48,94	61,23		74,74		
----- After shelf-life -----									
	----- Orchard 1 -----			----- Orchard 2 -----			----- Orchard 3 -----		
Treat.	--- Harvest ---			--- Harvest ---			--- Harvest ---		
	- 1 -	- 2 -	Avg.	- 1 -	- 2 -	Avg.	- 1 -	- 2 -	Avg.
Control	0,00	0,00	0,00b	0,13	0,13	0,13b	0,13	1,40	0,76b
1-MCP	0,46	0,53	0,50a	1,13	0,73	0,93a	2,66	2,66	2,66a
Avg.	0,23A	0,26A		0,63A	0,43A		1,40A	2,03A	
SD%	65,00			50,77			33,96		

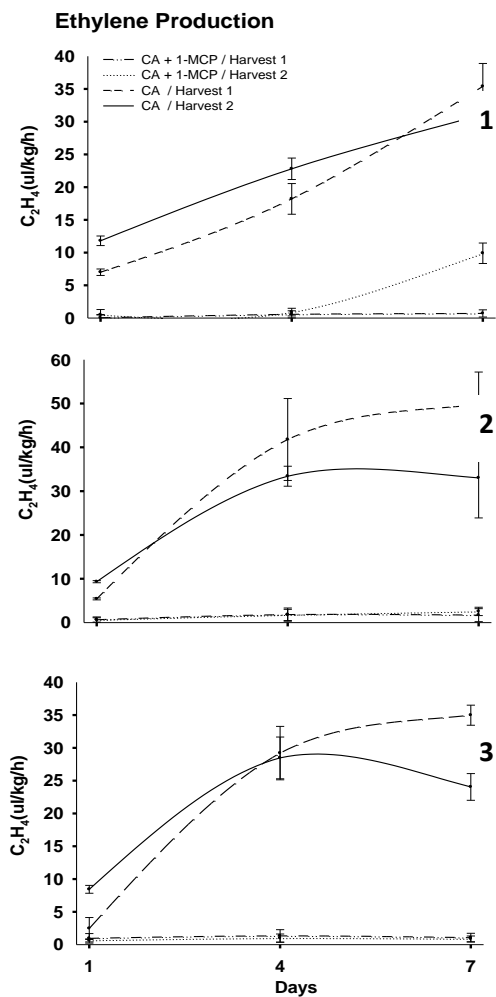


Figure 1. Ethylene production during shelf life of 'Alexander Lucas' pear stored in controlled atmosphere (CA) and CA with 1-MCP treatment (1-MCP) harvested at two different dates (Harvest 1 – Harvest 2) and from three different orchards. (1) Orchard 1; (2) Orchard 2; (3) Orchard 3

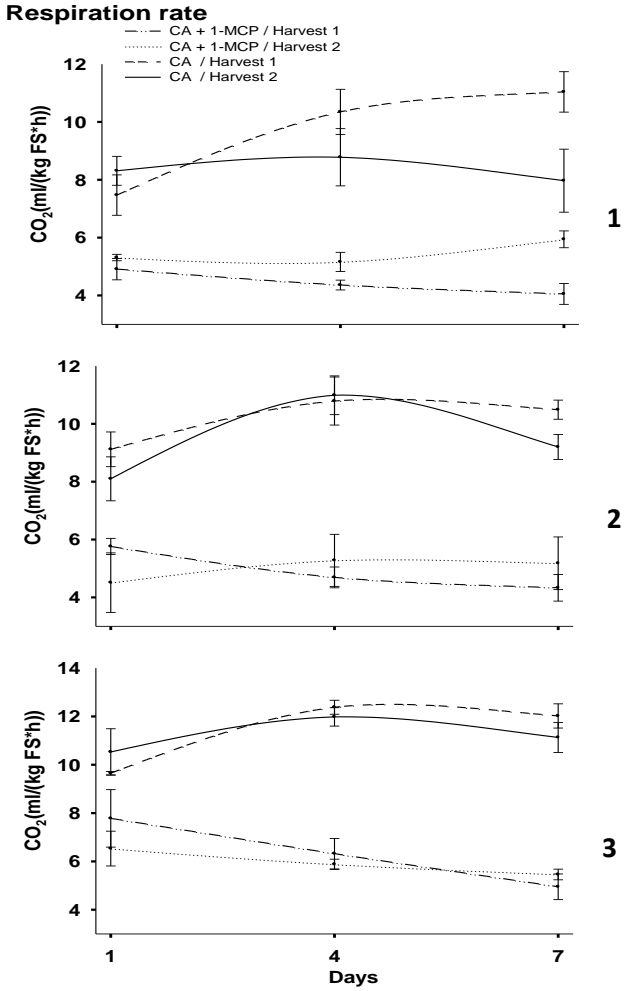


Figure 2. Respiration rate during shelf life of ‘Alexander Lucas’ pear stored in controlled atmosphere (CA) and CA with 1-MCP treatment (1-MCP) harvested at two different dates (Harvest 1 – Harvest 2) and from three different orchards. (1) Orchard 1; (2) Orchard 2; (3) Orchard 3

Ripening of 'Alexander Lucas' Pears in Regular Atmosphere without or with 1-MCP Treatment, and in Controlled Atmosphere

M.V. Hendges¹, D.A. Neuwald², C.A. Steffens¹, D. Kitemann² and C.V.T. Amarante¹.

¹ State University of Santa Catarina (UDESC), Brazil

² Competence Center for Fruit Growing – Lake Constance and Physiology of Specialty Crops, University of Hohenheim, Ravensburg, Germany

Keywords: *Pyrus communis*, ethylene, harvest date, fruit quality.

Abstract

The aim of this research was to evaluate the effect of regular atmosphere (RA) without or with 1-MCP treatment, and of controlled atmosphere storage (CA), on the ripening of 'Alexander Lucas' pears from two harvest dates. The treatments were: T1: regular atmosphere (RA) ($0 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 21.0 kPa O₂ + <0.03 kPa CO₂); T2: RA + 1-MCP (300 $\eta\text{L.L}^{-1}$); and T3: controlled atmosphere (CA) ($0 \pm 0.1^\circ\text{C}$, 2.0 kPa O₂ + <0.7 kPa CO₂). Pears were picked at two harvest dates (Streif-Index of 0.15 and 0.08 for the first and second harvest, respectively). After three months of storage plus seven days at ambient conditions the fruit were evaluated for flesh firmness, skin colour (h°), total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), ethylene production, respiratory rate and internal flesh browning. Fruit stored in RA + 1-MCP maintained higher firmness and greenest fruits for both harvest dates. In addition, fruits from first

harvest date stored in RA + 1-MCP had higher contents of TSS. The respiratory rate was reduced and ethylene production was dramatically inhibited in fruit in RA+ 1-MCP. Pears stored in CA showed high internal flesh browning occurrence and highest yellowing in comparison to others storage conditions. 'Alexander Lucas' pears treated with 1-MCP and stored for three months in RA can be harvested in a more mature stage (Streif-Index of 0.08) without compromising the quality of the fruit. The storage of 'Alexander Lucas' pears for a period of three months in RA with application of 1-MCP maintains fruit quality and prevents internal flesh browning occurrence in comparison to CA storage. However, fruit in RA treated with 1-MCP needs longer period of cold storage or at ambient condition (shelf life) to develop a buttery texture and skin yellowing. Storage of 'Alexander Lucas' pears under CA increases fruit susceptibility to internal flesh browning.

INTRODUCTION

Consumer acceptance for european pears is mainly dependent on the development of a buttery texture, yellowing of the fruit skin and on the content of sugars and acidity (Kappel et al., 1995; Plochanski and Konopacka, 1999; Mitcham et al., 2003).

Controlled atmosphere (CA) at appropriate temperatures is an important factor in maintaining the pear quality for consumption (Villalobos-Acuña and Mitcham, 2008). It was observed that pears stored in controlled atmosphere (CA) show a low yellowing and a reduction of some physiological disorders (Argenta et al., 2003; Rizzolo et al., 2005; Villalobos-Acuña and Mitcham, 2008). However, according to Galvis-Sánchez and Morais (2001), the effectiveness of maintaining firmness by CA can be dependent on the period in which the fruit are exposed to ambient

conditions after storage. Moreover, internal flesh browning in pears has been associated with storage under CA (Veltman et al., 2000; Pintó et al., 2001; Franck et al., 2007). Regarding 'Alexander Lucas' pears there is still few experience with CA storage (Wawrezykczak et al., 2006).

Besides the CA, RA in combination with 1-methylcyclopropene (1-MCP) application has shown good results in maintaining flesh firmness, titratable acidity and green colour of the fruit (Argenta et al, 2003; Alpalhão et al., 2006; Chiriboga et al., 2011). 1-MCP is an inhibitor of ethylene action in fruits, extending shelf life by blocking ethylene receptors (Sisler and Serek, 1997).

A factor that can greatly influence pears quality during the storage is the harvest date (Lammertyn et al., 2000), which also influences the effectiveness of 1-MCP treatment (Chiriboga et al., 2011; Villalobos-Acuña et al., 2011). Additionally, there are several factors that can affect the effect of 1-MCP, such as concentration, temperature during treatment and the period of fruit storage following application (Mitcham et al., 2001). The use of 1-MCP in european pears need to be carefully controlled, since high concentrations of 1-MCP can cause blocked the in ripening while very low concentrations may have no effect at all (Calvo and Sozzi, 2004).

The aim of this research was to evaluate the effect of regular atmosphere (RA) without or with 1-MCP treatment, and of controlled atmosphere storage (CA), on the ripening of 'Alexander Lucas' pears from two harvest dates.

MATERIALS AND METHODS

'Alexander Lucas' pears were harvested during the 2012 season at two harvest dates (09.05.2012 and 09.25.2012,

with Streif-Index of 0.15 and 0.08, respectively) in the state of Baden-Württemberg, Southwest Germany.

At harvest, fruit diameter (mm) was measured at the greatest diameter of each fruit with a caliper. The average fruit weight (g) was measured with a digital balance. The starch-iodine index was determined according to Streif (1984), where the index 01 indicates the maximum starch and 10 represents fully hydrolyzed starch.

The treatments evaluated were regular atmosphere ($0\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ and $21.0\text{ kPa O}_2 + <0.03\text{ kPa CO}_2$) without (RA) and with the application of 1-MCP (RA + 1-MCP) ($300\text{ nL}\cdot\text{L}^{-1}$), and controlled atmosphere (CA) ($0\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ and $2.0\text{ kPa O}_2 + <0.7\text{ kPa CO}_2$).

The application of 1-MCP was carried out after four days of storage under RA at 0°C , using SmartFresh™. The product was applied in an airtight container over 24 hours, equipped with a ventilation system to homogenize the air inside the mini-chamber.

Fruit of all treatments were stored for three months and evaluated after storage plus seven days of ambient condition in terms of flesh firmness, skin colour (h°), soluble solids content (SSC), titratable acidity (TA), respiration rate, ethylene production and internal flesh browning.

For the determination of flesh firmness, a penetrometer with a 0.5cm^2 tips was used, taking readings at the greatest diameter of the fruit, which was previously peeled. The skin colour (h°) was determined using a chromameter (Minolta, CR-300) where 120° corresponds to green and 90° to yellow. The SSC was measured with a digital refractometer, using a homogenous sample of filtered juice, and the values were expressed in $^{\circ}\text{Brix}$. For TA, 10 mL of juice was diluted in 50 mL of distilled water, and then titrated with NaOH (0.1 N) to pH 8.1. This procedure was performed by an automated robot (Metrohm) with the ability to examine 52 positions, and the amount of NaOH in mL required to elevated the pH to 8.1 of

the juice was multiplied by 0.66 and values expressed in percent of malic acid.

For the measurement of respiration rate ($\text{mL of CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), tightly closed jars with 4 L volume were used. The respiration rate was monitored by CO_2 concentration in three replications of three fruit, with the aid of gas analyzers by continuous stream. For measurement of ethylene production ($\mu\text{L of C}_2\text{H}_4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), the jars of vials were closed for two hours and 10 mL sample was taken from the headspace with a syringe. The 1 mL gaseous contents of the syringes were injected into a gas chromatograph (Varian 2700 Series), with temperatures of injector, detector and column of 220°C , 240°C and 110°C , respectively.

For the incidence of internal flesh browning, the amount of fruit with and without the disorder was counted and results expressed in percentage of the total.

The experiment followed an entirely randomized design, with three replicates of 10 fruits. The data were submitted to analysis of variance (ANOVA), and means were compared by Tukey's test ($p < 0.05$).

RESULTS

Fruit of the first harvest had flesh firmness of 54.9 N, skin colour (h°) of 116.7, TSS of 12.7 °Brix, TA of 4.2 % of malic acid, average weight of 232.5 g, diameter of 72.6 mm, and the starch-iodine index of 2.9. At the second harvest, fruit had flesh firmness of 44.8N, skin colour (h°) of 114.6, TSS of 12.7 °Brix, TA of 3.3% of malic acid, average weight of 305.7 g, diameter of 77.6 mm, and the starch-iodine index of 4.3.

For flesh firmness there was an interaction between treatments and harvest date. Fruit in RA + 1-MCP maintained higher firmness compared to RA and CA (Tab. 1). In the

second harvest date, RA + 1-MCP reduced the flesh firmness, but the fruit did not develop the buttery texture. Fruit in RA + 1-MCP were greener (had higher h° values) than fruit in RA and CA (Tab. 1).

Fruit from second harvest had lower values of h° and TA than fruit from the first harvest date.

The TSS in the fruit from first harvest was highest in RA + 1-MCP than RA and CA (Tab. 1). For late harvested fruit, the lowest TSS was under CA in comparison to RA and RA+1-MCP.

The highest values of respiration rate were in RA, and the lowest in RA +1-MCP (Tab. 1). Ethylene production was significantly lower in fruit in RA + 1-MCP in comparison to other storage conditions (Tab. 1).

Flesh browning was observed only under CA storage, after seven days of shelf life (data not shown).

DISCUSSION

The treatment of European pears with 1-MCP has a strong reduce on softening, skin yellowing, respiratory rate and ethylene production (Argenta et al., 2003; Calvo and Sozzi, 2004; Rizzolo et al., 2005). This effect of 1-MCP sometimes causes a complete blocking in ripening of pears, keeping them firm and green, even during shelf life (Mahajan et al., 2010; Chiriboga et al., 2013).

In the present study, the effect of 1-MCP reduce ripening in RA was observed, mainly for the first harvest date, for firmness and skin yellowing (Tab. 1). Later harvest caused significant reduction of flesh firmness. Late harvest causes a more intensive softening and higher ethylene production (Eccher Zerbini, 2002). Ripening recovery induced by regular atmosphere in 1-MCP treated fruit depends on maturity and season, and is associated with stimulated ethylene production (Villalobos-Acuña et al., 2011). According to Chiriboga et al. (2014), an advanced maturity of pears at harvest enables fruit

treated with 1-MCP to ripen faster after storage, since it is accompanied by a greater stimulation in the production of ethylene. In our study, fruit in RA + 1-MCP had slightly higher ethylene production with later harvest (Tab. 1).

Fruit in RA + 1-MCP had higher values of flesh firmness and a greener skin colour when harvested later (Tab. 1). Despite the reduction of flesh firmness values during storage in RA + 1-MCP treatment, they remained above the values recommended for consumption. For 11 different pear cultivars, values between 18 and 22 N are better accepted (Kappel et al., 1995). Mitcham et al. (2003) found values for consumption ('eating ripe') between 9 and 18 N for 'Bartlett' pears. Plocharski and Konopacka (1999) observed that for consumer preference, the difference in flesh firmness of 'Alexander Lucas' and 'Conference' pears does not exceed 0.3 N, and the best values ranged between 11 to 13 N.

Fruit stored in CA did not show difference to RA for flesh firmness, after shelf life, and change from green to yellow skin colour was faster than in RA + 1-MCP (Tab. 1). Galvis-Sánchez et al. (2004) did not observe higher firmness in fruit stored in CA in comparison to RA, and found a great dependence of growth location for the response to storage condition. Moya-León et al. (2006) verified that CA stored 'Packham's Triumph' pears softened during storage, reaching similar values to control fruit (RA) after 6 months. When treated with 1-MCP, the fruits almost did not soften. Ekmann et al. (2004) considered for skin colour to become yellow, h° values below 102. Fruits from the second harvest stored under RA and CA condition reached this value after storage (Tab. 1). The storage of pears under RA (3 months) and CA (6 months) express significant yellowing (decrease of $^{\circ}h$), but fruit treated with 1-MCP were greener (Chiriboga et al., 2011). Argenta et

al. (2003) reported significant reduce in skin yellowing in 'd'Anjou' pear, when treated with 1-MCP, after 2 and 4 months of storage plus 7 days at ambient condition. However, after 8 months, the fruits treated with 1-MCP showed considerable development of yellow colour.

Fruits treated with 1-MCP need additional storage period to increase ethylene production, softening and skin yellowing (Villalobos-Acuña et al., 2011). Many authors observed some potential factors for reducing the strong inhibiting effect of 1-MCP, among them, reduced product concentration, extended period of storage and exposure to room temperature (Argenta et al., 2003; Calvo and Sozzi, 2004; Chiriboga et al., 2011; Chiriboga et al., 2014; Rizzolo et al., 2014). Whatever the concentration of 1-MCP used, fruit must be stored for a sufficiently long period to allow it to recover its ability to ripen (Mitcham et al., 2001).

According to Calvo and Sozzi (2004), pears increase in susceptibility to physical damages with softening. In this way, firmer fruit from 1-MCP treatment would be an alternative to commercial operations. These authors verified ideal flesh firmness for consumption (18 - 26N) of 'Red Clapps' pears treated by 1-MCP, after 14 days in ambient conditions. Thus, there is a possibility that fruit from our study treated with 1-MCP could develop to 'eating quality' by increasing the period of cold storage or the period of shelf life.

Although some studies verify higher TA in pears treated with 1-MCP (Alpalhão et al., 2006; Argenta et al., 2003; Rizzolo et al., 2014) in this study no difference was observed among treatments for TA. Calvo and Sozzi (2004) found no effect of 1-MCP application on TA and TSS in 'Red Clapps' pears. According to Kappel et al. (1995), the ideal TSS in European pears is around 14 °Brix, which is maintained, in present study, by RA + 1-MCP (14.4 °Brix) and RA (14.1 °Brix).

Fruit in RA were demonstrated to have the highest respiratory rate, with a reduction under CA, and even more substantial reduction in RA + 1-MCP (Tab. 1). Fruit in RA + 1-MCP also had the lowest ethylene production (Tab. 1). These results are in agreement with many studies, which show effect of 1-MCP treatment on increase in respiratory rate and ethylene production (Argenta et al., 2003; Ekmann et al., 2004; Trincherro et al., 2004).

‘Conference’ pears are usually stored under CA and the high CO₂ and low O₂ partial pressure frequently causes internal browning (Rizzolo et al., 2005). Although Wawrezykczak et al. (2006) did not report these disorders in ‘Alexander Lucas’ pears at the end of seven months of storage in CA (-0.5°C, 2 kPa O₂ and 0.8 kPa CO₂) and even after four days of shelf life. In our study, it was observed approximately 5% of internal flesh browning after CA storage (data not shown).

CONCLUSIONS

‘Alexander Lucas’ pears treated with 1-MCP and stored for three months in RA can be harvested in a more mature stage (Streif-Index of 0.08) without compromising the quality of the fruit. This allows gains in productivity (increase in fruit size) and improves the eating quality of the fruit on the tree.

The storage of ‘Alexander Lucas’ pears for a period of three months in RA with application of 1-MCP maintains fruit quality and prevents internal flesh browning in comparison to CA storage. However, fruit in RA treated with 1-MCP needs longer period of shelf life to develop a buttery texture and skin yellowing, when the 1-MCP did not provide a total blockade of ripening.

Storage of 'Alexander Lucas' pears under CA conditions is not recommended, since it increases fruit susceptibility to internal flesh browning.

ACKNOWLEDGEMENTS

We acknowledge the international interchange of the first author, enabled by the CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), in Brazil, for the financial support of the scholarship. We also thank Berenice Vollmar, Sabine Sonnentag and Renate Wirsing for helping with fruit quality analyses.

Literature Cited

- Alpalhão, A., Neto, C., Goulão, L., Clemente, J., Henriques, J., Lourenço, I. and Oliveira, C. M. 2006. Efeito do 1-metilciclopropeno em pera 'Rocha' em diferentes estados de maturação armazenadas em atmosfera normal. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE FRUTICULTURA, 1., Alcobça. Anais... Alcobça: Actas Portuguesas de Horticultura, 2006. p. 232-238.
- Argenta, L. C., Fan, X. and Mattheis, J. P. 2003. Influence of 1-methylcyclopropene on ripening, storage life, and volatile production by d'Anjou cv. pear fruit. *J. Agric. Food Chem.*, 51:3858-3864.
- Calvo, G. and Sozzi, G. O. 2004. Improvement of post-harvest storage quality of 'Red Clapp's' pears by treatment with 1-methylcyclopropene at low temperature. *Journal of Hortic. Sci. Biotech.*, 79:930-934.
- Chiriboga, M. A., Schotsmans, W. C., Larrigaudiere, C., Dupille, E. and Recasens, I. 2011. How to prevent ripening blockage in 1-MCP-treated 'Conference' pears. *J. Sci. Food. Agr.*, 91:1781-1788.

- Chiriboga, M. A., Saladié, M., Giné Bordonaba, J., Recasens, I., Garcia-Mas, J. and Larrigaudière, C. 2013. Effect of cold storage and 1-MCP treatment on ethylene perception, signalling and synthesis: Influence on the development of the evergreen behaviour in 'Conference' pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 86:212-220.
- Chiriboga, M. A., Schotsmans, W. C., Larrigaudière, C. and Recasens, I. 2014. Últimos avances en la aplicación del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en peras. ITEA, información técnica económica agraria: revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario (AIDA), 1:34-48.
- Eccher Zerbini, P. 2000. The quality of pear fruit. In VIII International Symposium on Pear 596 (pp. 805-810).
- Ekman, J. H., Clayton, M., Biasi, W. V. and Mitcham, E. J. 2004. Interactions between 1-MCP concentration, treatment interval and storage time for 'Bartlett' pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 31:127-136.
- Franck, C., Lammertyn, J., Ho, Q. T., Verboven, P., Verlinden, B. and Nicolai, B. M. 2007. Browning disorders in pear fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 43:1-13.
- Galvis Sánchez, A. C. and Morais, A. M. 2001. Effects of controlled atmosphere (CA) storage on pectinmethylesterase (PME) activity and texture of 'Rocha' pears. *J. Sci. Food. Agr.*, 82:143-145.
- Galvis-Sánchez, A. C., Fonseca, S. C., Morais, A. M. and Malcata, F. X. 2004. Effects of preharvest, harvest and postharvest factors on the quality of pear (cv. Rocha) stored under controlled atmosphere conditions. *J. Food Eng.*, 64:161-172.

- Kappel, F., Fisher-Fleming, R. and Hogue, E. J. 1995. Ideal pear sensory attributes and fruit characteristics. *HortScience*, 30:988-993.
- Lammertyn, J., Aerts, M., Verlinden, B. E., Schotsmans, W. and Nicolaï, B. M. 2000. Logistic regression analysis of factors influencing core breakdown in 'Conference' pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 20:25-37.
- Mahajan, B. V. C., Singh, K. and Dhillon, W. S. 2010. Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on storage life and quality of pear fruits. *J. Food Sci.*, 47:351-354.
- Mitcham, B., Mattheis, J., Bower, J., Biasi, B. and Clayton, M. 2001. Responses of European pears to 1-MCP. *Perishables Handling Quart.* 108:16-19.
- Mitcham, E. J., Crisosto, C. H. and Kader. A. A. 2003. Pear: Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. <http://postharvest.ucdavis.edu/PFfruits/PearBartlett> / (Accessed July 23, 2014).
- Moya-León, M. A., Vergara, M., Bravo, C., Montes, M. E. and Moggia, C. 2006. 1-MCP treatment preserves aroma quality of 'Packham's Triumph' pears during long-term storage. *Postharvest Biol. Technol.*, 42:185-197.
- Pintó, E., Lenthéric, I., Vendrell, M. and Larrigaudière, C. 2001. Role of fermentative and antioxidant metabolisms in the induction of core browning in controlled-atmosphere stored pears. *J. Sci. Food. Agr.*, 81:364-370
- Płocharski, W. J. and Konopacka, D. 1999. The relation between mechanical and sensory parameters of apples and pears. *Acta Horti.*, ?:309-317.
- Rizzolo, A., Cambiaghi, P., Grassi, M. and Zerbini, P. E. 2005. Influence of 1-methylcyclopropene and storage atmosphere on changes in volatile compounds and fruit quality of conference pears. *J. Agric. Food Chem.*, 53:781-9789.
- Rizzolo, A., Grassi, M. and Vanoli, M. 2014. 1-Methylcyclopropene application, storage temperature and

- atmosphere modulate sensory quality changes in shelf life of 'Abbé Fétel' pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 92:87-97.
- Sisler, E. C. and Serek, M. 1997. Inhibitors of ethylene responses in plants at the receptor level: recent developments. *Physiol. Plant.*, 100:577-582.
- Streif, J. 1984. Jod-Stärke-Test zur Beurteilung der Fruchtreife bei Äpfeln. *Obst und Garten*, 8:382-384.
- Trincherò, G. D., Sozzi, G. O., Covatta, F. and Frascina, A. A. 2004. Inhibition of ethylene action by 1-methylcyclopropene extends postharvest life of 'Bartlett' pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 32:193-204.
- Veltman, R. H., Kho, R. M., Van Schaik, A. C. R., Sanders, M. G. and Oosterhaven, J. 2000. Ascorbic acid and tissue browning in pears (*Pyrus communis* L. cvs Rocha and Conference) under controlled atmosphere conditions. *Postharvest Biol. Technol.*, 19:129-137.
- Villalobos-Acuña, M. and Mitcham, E. J. 2008. Ripening of European pears: the chilling dilemma. *Postharvest Biol. Technol.*, 49:187-200.
- Villalobos Acuña, M. G., Biasi, W. V., Mitcham, E. J. and Holcroft, D. 2011. Fruit temperature and ethylene modulate 1-MCP response in 'Bartlett' pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 60:17-23.
- Wawrzyńczak, A., Rutkowski, K. P. and Kruczyńska, D. E. 2006. Changes in fruit quality in pears during CA storage. *J. Fruit Ornament. Plant Res.*, 14:77-84.

Tables

Table 1. Quality and ripening of ‘Alexander Lucas’ pear from two harvest dates (1st and 2nd) after three months of storage in regular atmosphere (RA), RA plus 1-MCP treatment (RA + 1-MCP), and controlled atmosphere (CA), followed by seven day of shelf life at 20°C.

Quality and ripening index									
Treat.	Flesh firmness (N)			Skin colour (h°)			Titratable acidity (% malic acid)		
	Harvest		Avg.	Harvest		Avg.	Harvest		Avg.
	1 st	2 nd		1 st	2 nd		1 st	2 nd	
At harvest	54.9	44.8	49.8	116.7	114.6	115.6	4.2	3.3	3.7
RA	10.5Ab	12.2Ab	11.3	104.6	100.2	102.4b	3.0	2.3	2.7a
RA + 1-MCP	50.5Aa	37.2Ba	43.8	113.8	110.3	112.1a	3.3	2.5	2.9a
CA	10.9Ab	10.9Ab	10.9	100.6	97.5	99.1c	2.9	2.5	2.7a
Average	23.9	20.0		106A	102B		3.1A	2.4B	
CV%	4.7	5.9		1.1			8.2		
Treat.	Total soluble solids (°Brix)			Respiratory rate (ml/(kg ⁻¹ h ⁻¹))			Ethylene production (µl kg ⁻¹ h ⁻¹)		
	Harvest		Avg.	Harvest		Avg.	Harvest		Avg.
	1 st	2 nd		1 st	2 nd		1 st	2 nd	
At harvest	12.7	12.6	12.6	4.6	5.7	5.1	0.0*	0.6	0.3
RA	13.9Bb	14.4Aa	14.1	13.0	11.9	12.5a	31.6	28.1	29.9a
RA + 1-MCP	14.4Aa	14.4Aa	14.4	3.4	3.5	3.4c	0.0	0.9	0.4b
CA	13.5Ab	12.8Ab	13.1	11.0	8.6	9.8b	35.3	28.6	32.0a
Average	13.9	13.9		9A	8A		22.3A	19.2A	
CV%	1.2	3.1		13.1			23.7		

Values followed by the same capital letter within lines (comparing 1st and 2nd harvest) and the same lowercase letter within columns (comparing storage conditions) are not different by Tukey's test ($p < 0.05$). 1st harvest in 05.09.2012, and 2nd harvest in 25.09.2012. *not detected