

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA-UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS-CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**MESTRADO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**BRUNO PANSERA ESPÍNDOLA**

**FATORES ASSOCIADOS À MANIFESTAÇÃO DO ESCURECIMENTO DE POLPA**  
**EM AMEIXAS**

**LAGES – SC**

**2012**

**BRUNO PANSERA ESPÍNDOLA**

**FATORES ASSOCIADOS À MANIFESTAÇÃO DO ESCURECIMENTO DE POLPA  
EM AMEIXAS**

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

Orientadores: Prof. Dr. Cristiano André Steffens  
Co-orientador: Prof. PhD. Cassandro Vidal Talamini do Amarante

**LAGES – SC**

**2012**

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária  
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região  
(Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC)

Pansera Espíndola, Bruno  
Fatores associados à manifestação do escurecimento de polpa em  
ameixas / Bruno Pansera Espíndola;  
orientador: Cristiano André Steffens. – Lages, 2012.  
64f.

Inclui referências.  
Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /  
UEDESC.

1. *Prunus salicina* . 2. Escurecimento de polpa . 3. Dano por frio . 4.  
Pós-colheita. I. Título.

CDD – xxx.xx

**BRUNO PANSERA ESPÍNDOLA**

**FATORES ASSOCIADOS À MANIFESTAÇÃO DO ESCURECIMENTO DE POLPA  
EM AMEIXAS ‘LAETITIA’ E ‘ANGELENO’**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal do Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina.

**Banca Examinadora**

Orientador:

---

Dr. Cristiano André Steffens  
CAV/UDESC

Co-orientador:

---

PhD. Cassandro Vidal Talamini do Amarante  
CAV/UDESC

Membro:

---

Dr. Daniel Alexandre Neuwald  
Kompetenzzentrum Obstau-Bodensee

**Lages-SC, novembro de 2012**

A minha amada mãe, ao meu pai e a minha irmã,  
que não poupam esforços para manter unida  
nossa família apesar das distâncias e das  
dificuldades.

## AGRADECIMENTOS

Ao Sagrado pelo amparo espiritual infinito, incondicional e sempre certo.

Especialmente a minha mãe amada, que nunca deixou de ser exemplo, de ser fonte de amor perpétuo, incondicional, irrestrito e absoluto que sempre encarou as experiências difíceis com vontade e fé inabaláveis e se pequenos desacertos ocorreram esses jamais seriam suficientes para dizer que houve falha no papel de mãe provedora que sempre foi desde os primeiros momentos vividos no ventre.

Ao meu pai, chefe de família exemplar que Deus me deu, do qual tenho extremo orgulho e que tento me espelhar ao máximo, que passou para mim e para minha irmã querida valores como simplicidade, amor, fidelidade e honestidade.

Aos familiares queridos que estão nesse mundo, aos que partiram a tempos e aos que se foram recentemente, expresso imensurável gratidão a todos, pois nenhuma conquista da vida se consegue sem esse amparo e reconhecer essa importância é fundamental para seguir em frente com humildade e respeito nunca esquecendo das origens nem dos destinos visados.

Aos meus orientadores Professores Cristiano e Cassandro e aos demais Professores do CAV, da pós-graduação e graduação, pelos ensinamentos e exemplos a seguir.

Aos amigos João Paulo Generoso Silveira e Marcos Vinícius Hendges pela ajuda desprendida em experimentos, auxílio nas atividades docentes e na redação de trabalhos científicos. No entanto, é preciso que seja ressaltado o principal apoio por eles dado que foi o apoio amigável que dispuseram na tentativa de amenizar as adversidades e asperezas vividas. Importante apoio quando se está longe da família, momentos esses que é vivido na pele o que é a muito conhecido, que pessoas confiáveis e que se pode contar quando realmente precisamos são poucas.

Aos bolsistas que foram peça fundamental na obtenção dos dados que resultaram nessa obra e que tiveram de conciliar os estudos acadêmicos com os trabalhos científicos sacrificaram tempo e festas.

Ao pesquisador Auri e a toda sua equipe por ceder espaços e esforços mantendo nossa parceria.

Aos chefes de departamento, aos colegas professores que permitiram uma excelente vivência profissional resultando em extrema satisfação pessoal a experiência como docente vivida.

As empresas que cederam frutos, espaços em câmaras entre outros, adequando nossas necessidades a agitada rotina empresarial mostrando que é salutar a aproximação da pesquisa com empresas privadas.

*'Kites rise highest against the wind, not  
with it.'*

(Winston Churchill)



## RESUMO

PANSERA ESPÍNDOLA, Bruno. **Fatores associados à manifestação do escurecimento de polpa em ameixas**. 2012. 65 f. Mestrado (Dissertação em Produção Vegetal – Área: Fisiologia Pós-Colheita) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Lages, 2012.

O objetivo desse trabalho foi identificar possíveis fatores que influenciam a ocorrência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’. Foram realizados três experimentos, sendo o objetivo do primeiro avaliar a influência do local de produção, estádios de maturação na colheita, o teor mineral dos frutos e atributos de qualidade na manifestação do distúrbio escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’. O experimento constituiu de um fatorial 2x3, sendo dois locais de produção (Vacaria-RS e Lages-SC) e três estádios de maturação (frutos com 25, 50 e 75% da epiderme coberta com a coloração vermelha). Os frutos foram armazenados por 30 dias a 0,5°C / UR 95%. O segundo experimento teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes atmosferas de armazenamento, a aplicação de 1-metilciclopropeno (1-MCP) e indução de perda de massa fresca (IPMF), na ocorrência do escurecimento de polpa, bem como se existe relação da manifestação do distúrbio com atributos minerais solúveis e de amadurecimento após o armazenamento. Os tratamentos foram atmosfera do ar (21 kPa O<sub>2</sub> + 0,03 kPa CO<sub>2</sub>); 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub>; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> com IPMF e 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> com a aplicação de 1-MCP. A temperatura de armazenamento foi de 0,5°C e uma umidade relativa de 95%, exceto para IPMF, e os períodos de análise foram aos 30 e 50 dias de armazenamento, na saída da câmara e após quatro dias em condições ambiente. O terceiro experimento teve como objetivo avaliar o efeito do etileno na manifestação do escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ e em ‘Angeleno’. Os tratamentos avaliados foram controle e aplicação de 1-MCP na dose de 1,0 µL L<sup>-1</sup> em ‘Laetitia’ e controle e aplicação de etileno na concentração de 5,0 µL L<sup>-1</sup> para ‘Angeleno’. Frutos provenientes de Vacaria apresentaram menor incidência e severidade de escurecimento de polpa. Frutos com maturação de 75% apresentaram maior incidência e severidade de escurecimento de polpa que frutos com 25% de cor vermelha. Quanto aos teores minerais totais, Vacaria apresentou maiores conteúdos de Ca e N e maior relação Ca/N. Os tratamentos atmosfera do ar e 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram maior incidência e severidade de escurecimento de polpa. As taxas de produção de etileno foram superiores nos tratamentos atmosfera do ar aos 30 dias, mantendo-se a mais elevada junto ao tratamento 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> aos 50 dias. A ocorrência de escurecimento de polpa foi menor no tratamento 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> + 1-MCP. A aplicação de 1-MCP retardou o amadurecimento e reduziu a ocorrência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’. O tratamento etileno exógeno acelerou o processo de amadurecimento e aumentou a ocorrência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Angeleno’. Pode-se concluir que a manifestação do escurecimento de polpa está associada a uma combinação de fatores, sendo que o teor mineral e o processo de amadurecimento estão envolvidos na ocorrência do escurecimento de polpa e condição inadequada de armazenamento também pode estimular o distúrbio. A condição de 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> com a aplicação de 1-MCP proporciona baixa ocorrência do distúrbio.

**Palavras-chave:** *Prunus salicina*. Degenerescência de polpa. Injúria por frio. Etileno. Pós-colheita.

## ABSTRACT

PANSERA ESPÍNDOLA, Bruno. **Factors associated to the occurrence of flesh browning disorder in plums**. 2012. 65 f. Mestrado (Dissertação em Produção Vegetal – Área: Fisiologia Pós-Colheita) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Lages, 2012.

The aim of this study was to identify possible factors that influence the occurrence of flesh browning incidence in 'Laetitia' and 'Angeleno' plums. Three experiments were conducted. The objective of the first experiment was to evaluate the influence of production site, maturity stages at harvest, fruit mineral content and quality attributes on flesh browning incidence in 'Laetitia' plums. The experiment followed a 2x3 factorial design, with two production sites (Vacaria-RS and Lages-SC) and 3 maturity stages (fruit with 25, 50 and 75% of epidermis surface covered with red color). Fruit were stored for 30 days at 0.5°C / 95% RH. The aim of the second experiment was to evaluate the effect of different storage atmospheres, the treatment with 1-MCP and flesh mass loss induction (FMLI) on the flesh browning incidence, as well as the relationship between soluble mineral content and ripening attributes after storage with the flesh browning disorder. The treatments were air atmosphere (21 kPa O<sub>2</sub> + 0.03 kPa CO<sub>2</sub>); 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub>; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> with FMLI; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> with 1-MCP application. The fruit were stored at 0.5°C and 95% RH (except for FMLI treatment), and analyzed after 30 and 50 days of storage, at removal from cold storage and after 4 days at 20°C. The third experiment was carried out to evaluate the effect of ethylene on flesh browning disorder in 'Laetitia' and 'Angeleno' plums. The treatments were control and 1-MCP at the dose of 1.0 µL L<sup>-1</sup> in 'Laetitia', and control and ethylene application at the concentration of 5.0 µL L<sup>-1</sup> for 'Angeleno'. Fruit from Vacaria showed lower flesh browning incidence and severity. Fruit with 75% of skin red color had higher flesh browning incidence and severity than fruits with 25% of skin red color. Fruit from Vacaria had higher Ca and N contents and higher Ca/N ratio. Fruit stored in air atmosphere and 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> had the highest flesh browning incidence and severity. The highest ethylene production rate were observed in fruit stored in air atmosphere for 30 days, and in fruit stored in 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> for 50 days. The flesh browning incidence was reduced in fruit treated with 1-MCP and left in 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub>. The treatment with 1-MCP delayed ripening and reduced the occurrence of flesh browning in 'Laetitia' plums. The treatment with exogenous ethylene accelerated the ripening and increased the flesh browning incidence in 'Angeleno' plums. In conclusion, the occurrence of flesh browning is associated with a combination of factors. Fruit mineral content, ripening process, and inadequate storage conditions are involved in the flesh browning occurrence. The storage condition with 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> associated to fruit treatment with 1-MCP reduces the occurrence of the disorder.

**Key words:** *Prunus salicina*. Flesh browning. Chilling injury. Ethylene. Postharvest.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Incidência e severidade de escurecimento de polpa e valores de <i>L</i> da polpa em função do local de produção e o estágio de maturação em ameixas ‘Laetitia’ após 30 dias de armazenamento em atmosfera do ar (0,5°C 90±5% de UR) mais 4 dias em condições ambiente (23±5°C e 60±5% de UR).....	26
Tabela 2 -	Teor de cálcio (Ca), relação entre cálcio e magnésio (Ca/Mg) e teor de nitrogênio (N) dos tecidos da polpa em função do local de produção em ameixas ‘Laetitia’.....	26
Tabela 3 -	Coefficientes de correlação entre a incidência de escurecimento de polpa e o teor de cálcio (Ca), relação cálcio e magnésio (Ca/Mg), teor de magnésio (Mg), porcentagem de cor vermelha, taxa de produção de etileno e força para compressão do fruto em ameixas ‘Laetitia’ após 30 dias de armazenamento em atmosfera do ar (0,5°C 90±5% de UR) mais 4 dias em condições ambiente (23±5°C e 60±5% de UR).....	27
Tabela 4 -	Taxas respiratória e de produção de etileno, firmeza de polpa, porcentagem de cor vermelha e ângulo <i>hue</i> ( <i>h</i> °) do lado mais vermelho da epiderme, em ameixas ‘Laetitia’ após 30 e 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, e seguido por mais 4 dias em condições ambiente.....	36
Tabela 5 -	Incidência e severidade de escurecimento de polpa, luminosidade ( <i>L</i> ) e ângulo <i>hue</i> ( <i>h</i> °) da polpa em ameixas ‘Laetitia’, após 30 e 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, e seguido por mais 4 dias em condições ambiente.....	41
Tabela 6 -	Firmeza de polpa, acidez titulável, forças para penetração da polpa e compressão do fruto, ângulo <i>hue</i> ( <i>h</i> °) da epiderme e permeabilidade de membranas em ameixas ‘Laetitia’ após 20, 30 e 40 dias de armazenamento (4,0±0,5°C e 90±0,5% de UR) seguido por mais 4 dias em condições ambiente (23±5°C e 60±5% de UR).....	51
Tabela 7 -	Firmeza de polpa, acidez titulável, forças para penetração da polpa e compressão do fruto, <i>a</i> * da cor da epiderme e permeabilidade de membranas em ameixas ‘Angeleno’ após 20, 30 e 40 dias de armazenamento (4,0±0,5°C e 90±0,5% de UR) seguido por mais 4 dias em condições ambiente (23±5°C e 60±5% de UR).....	55

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Incidência e severidade de escurecimento de polpa e luminosidade da polpa em ameixas 'Laetitia', nos tratamentos controle e 1-MCP, analisados aos 20, 30 e 40 dias de armazenamento a  $4,0\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , na saída da câmara, e mais 2, 4 e 6 dias em condições ambiente ( $23\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $60\pm 5\%$  de UR)..... 53
- Figura 2 - Incidência e severidade de escurecimento de polpa e luminosidade da polpa em ameixas 'Angeleno', nos tratamentos controle e etileno, analisadas aos 20, 30 e 40 dias de armazenamento a  $4,0\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  na saída da câmara, e mais 2, 4 e 6 dias em condições ambiente ( $23\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $60\pm 5\%$  de UR)..... 57

## LISTA DE ABREVIACOES

$a^*$	eixo $a^*$ do sistema Lab CIE
°Brix	graus Brix
°C	graus Celsius
1-MCP	1-metilciclopropeno
ANOVA	análise de variância
AR	atmosfera refrigerada
AC	atmosfera controlada
ACC	cido 1-carboxílico 1-aminociclopropano
AT	acidez titulável
ATP	adenosina trifosfato
CA	California
Ca	cálcio
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	etileno
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
CV	coeficiente de variação

EUA	Estados Unidos da América
FMLI	<i>fresh mass loss induction</i>
h	hora
$h^\circ$	ângulo <i>hue</i>
ha	hectare
IPMF	indução de perda de massa fresca
K	potássio
Kg	quilograma
kPa	quilo Pascal
L	litro
<i>L</i>	luminosidade
Ltd	Limitada
M	Molar
m	metro
meq	miliequivalente
Mg	magnésio

mg	Miligrama
min	Minuto
mL	Mililitro
mm	Milímetro
m <sup>3</sup>	metro cúbico
N	nitrogênio quando referido a conteúdo mineral
N	Newton (unidade de atributos de textura)
N	normal (concentração de solução)
NaOH	hidróxido de sódio
O <sub>2</sub>	Oxigênio
p	Probabilidade
pH	potencial de hidrogênio
ρmol	picomol
R <sup>2</sup>	coeficiente de determinação
RH	<i>relative humidity</i>
rpm	rotações por minuto



RS	Rio Grande do Sul
s	segundos
SC	Santa Catarina
SS	sólidos solúveis
UR	umidade relativa do ar
USDA	University of California Davis
μL	micro litro
%	porcentagem
®	marca registrada

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
<b>1 A OCORRÊNCIA DO DISTÚRBO FISIOLÓGICO ESCURECIMENTO DE POLPA EM AMEIXAS ‘LAETITIA’ ESTÁ ASSOCIADA AO TEOR MINERAL E AO AMADURECIMENTO</b> .....	22
1.1 RESUMO.....	22
1.2 ABSTRACT.....	22
1.3 INTRODUÇÃO.....	23
1.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
1.6 CONCLUSÕES.....	28
<b>2 CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO, USO DE 1-MCP E INDUÇÃO DE PERDA DE MASSA FRESCA NA MANIFESTAÇÃO DA DEGENERSCÊNCIA DE POLPA EM AMEIXAS ‘LAETITIA’</b> .....	29
2.1 RESUMO.....	29
2.2 ABSTRACT.....	29
2.3 INTRODUÇÃO.....	30
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
2.6 CONCLUSÕES.....	44
<b>3 O ETILENO ESTÁ ASSOCIADO À MANIFESTAÇÃO DO DISTÚRBO FISIOLÓGICO ESCURECIMENTO DE POLPA EM AMEIXAS ‘LAETITA’ E ‘ANGELENO’</b> .....	45
3.1 RESUMO.....	45
3.2 ABSTRACT.....	46
3.3 INTRODUÇÃO.....	46
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	47

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
3.6 CONCLUSÕES.....	58
<b>4 CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>59</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>60</b>

## INTRODUÇÃO

A ameixeira é uma frutífera pertencente à família das Rosáceas do gênero *Prunus*, sendo originária do meio e do extremo oriente, compreendendo várias espécies. As duas espécies mais importantes são a *Prunus domestica* L., conhecida como ameixa europeia, e a *Prunus salicina* L., denominada ameixa asiática (NAKASU et al., 1997). Os frutos da ameixeira apresentam em sua composição química teores consideráveis de cálcio, ferro e fósforo, sendo uma excelente fonte de minerais, bem como de antioxidantes (NAKASU et al., 1997). A cultivar Laetitia (*Prunus salicina* L.) é originária da África do Sul e é a mais cultivada no Estado de Santa Catarina com cerca de 200 ha plantados nos municípios da Região Serrana (DUCROQUET, 2003).

A procura dos consumidores por frutos de caroço tem aumentado ao longo dos anos, um exemplo seria a ameixa, que representa perfeitamente esse incremento na demanda. Esse fato reflete na expansão da produção, principalmente por cultivares tardias, como ameixas ‘Laetitia’, com a intenção de oferecer frutos após o período de oferta das cultivares atualmente em produção no Brasil, as quais são menos tardias (ZANETTE et al., 2004). Porém o processo de maturação da ameixa ‘Laetitia’ é consideravelmente rápido, acarretando num período de colheita de no máximo vinte dias, promovendo uma concentração da oferta, reduzindo o preço pago pelo fruto aos produtores durante a safra. No entanto, o período de oferta dos frutos pode ser prolongado com o uso de sistemas de armazenamento, permitindo que o produtor comercialize sua produção na entresafra, obtendo uma melhor remuneração (BRACKMANN et al., 2001). Atualmente, parte da produção já é armazenada na tentativa de ofertar a ameixa ‘Laetitia’ fora da safra, no entanto há a necessidade de aperfeiçoamento do sistema principal de armazenamento. O sistema mais adequado seria, além da redução da temperatura, reduzir também a pressão parcial de O<sub>2</sub> e elevar a de CO<sub>2</sub>.

O sistema de armazenamento mais utilizado atualmente é a atmosfera refrigerada, consistindo somente na redução da temperatura do ambiente onde os frutos são armazenados. Segundo Brackmann et al. (2001), sob esse sistema, o período máximo de conservação é de 30 dias. Se superior, pode ocorrer grande comprometimento da qualidade, fato agravado pela oferta de fruto com excelente qualidade do mercado externo como, por exemplo, do Chile e da Argentina. Dessa forma, a manutenção da qualidade pós-colheita é fundamental para manter os frutos atrativos ao consumidor e ainda permitir a competitividade com os frutos importados.

O uso da refrigeração é a forma mais eficaz em reduzir o metabolismo dos frutos (STEFFENS et al., 2007a) . No entanto, a combinação da refrigeração com o controle dos níveis de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> pode reduzir ainda mais o metabolismo dos frutos e aumentar a vida pós-colheita dos mesmos. Isso se consegue através da diminuição da pressão parcial de O<sub>2</sub> combinada com o incremento da pressão de CO<sub>2</sub> (ZAGORY; KADER, 1988; WANG, 1993; GÜRAKAN; BAYINDIRH, 2005; STEFFENS et al., 2007a).

A condição de armazenamento que controla as pressões parciais de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, através do uso de analisadores de gases e absorvedores de CO<sub>2</sub>, de forma geral, é conhecida como atmosfera controlada (AC) (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Essa técnica é amplamente utilizada para conservação de frutos e hortaliças, porém, apenas no ano 2009, foi publicado um maior número de trabalhos referentes ao uso dessa tecnologia em ameixas ‘Laetitia’. Segundo Alves et al. (2009), a AC prolonga o armazenamento, retarda o processo de amadurecimento e mantém as qualidades físico-químicas em ameixas ‘Laetitia’. No entanto, quando os frutos da cultivar em questão são mantidos em AC há um incremento na incidência de escurecimento de polpa, principalmente, sob condição de baixo O<sub>2</sub> e/ou alto CO<sub>2</sub> (ALVES et al., 2010). Outro fator que deve ser considerado quando se estuda esse distúrbio fisiológico é o hormônio etileno, onde sua presença está diretamente relacionada com o desenvolvimento de escurecimento de polpa. Assim poderia talvez inferir que essa desordem fisiológica está relacionada com o amadurecimento do fruto (ALVES et al, 2010). Além dos fatores citados, possivelmente, há outros que predisporiam os frutos à ocorrência de escurecimento de polpa como poderia ser o caso da composição mineral. Sabe-se que grande parte dos distúrbios que ocorrem em frutos tem grande atrelamento com o teor e a proporção dos nutrientes que compõem os tecidos dos frutos. Trabalhos recentes desenvolvido por Amarante et al. (2009), descreveram o risco da ocorrência de “bitter pit” em maçãs ‘Gala’ em função do teor de Ca e a sua relação com nitrogênio (N). Outro exemplo seria o do mamão, que apresenta um grave distúrbio, responsável por perdas e depreciações consideráveis, denominado mancha fisiológica do mamão, relacionada com a composição mineral, principalmente aos baixos teores de Ca (CAMPOSTRINI et al., 2005; SAURE, 2005). Desta forma, pode-se supor que a composição nutricional das ameixas também pode interferir na ocorrência e suscetibilidade de desordens fisiológicas. Assim, o local de procedência dos frutos teria grande envolvimento na ocorrência de escurecimento, devido à condição edáfica e ou ao clima. De acordo com CORRÊA et al. (2012) temperaturas médias mais baixas durante o desenvolvimento do fruto aumentam a suscetibilidade de maçãs ‘Fuji’ a degenerescência de polpa.

Outro fator que poderia estar envolvido na manifestação do escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia' seria o estágio de maturação na colheita como o que ocorre em outras frutas de caroço. Pêssegos apresentam problemas com distúrbios fisiológicos associados ao armazenamento refrigerado, semelhantes aos de ameixas 'Laetitia', que se desenvolvem principalmente quando armazenados a 2,2 e 7,6°C (CRISOSTO, et al., 1999). Crisosto et al. (1997), estudando distúrbios fisiológicos em pêssegos de polpa amarela do grupo Fresno USDA, observaram que frutos colhidos em estádios de maturação precoce manifestam antecipadamente o escurecimento de polpa, enquanto a colheita tardia predispõem os frutos a outros distúrbios como lanosidade e polpa farinácea.

O presente trabalho objetivou estudar o processo fisiológico (estádio de maturação, condição nutricional e atributos de qualidade), a origem e o dinamismo do escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia'. Além de avaliar a influência da condição de armazenamento e do período de prateleira na ocorrência de escurecimento. Bem como diferenciar a incidência e severidade de frutos oriundos de locais distintos e com diferentes estádios de maturação no momento da colheita. E por fim correlacionar o distúrbio com a composição mineral do fruto, em especial o teor de cálcio e a relação deste com os outros nutrientes, e com a taxa respiratória e de produção de etileno em ameixas 'Laetitia' e 'Angeleno'.

# 1 A OCORRÊNCIA DO DISTÚRPIO FISIOLÓGICO ESCURECIMENTO DE POLPA EM AMEIXAS 'LAETITIA' ESTÁ ASSOCIADA AO TEOR MINERAL E AO AMADURECIMENTO

## 1.1 Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência do local de produção e do estágio de maturação sobre a manifestação do escurecimento de polpa, bem como verificar se há relação deste distúrbio com o teor mineral dos frutos. O experimento constituiu-se em um fatorial 2x3, sendo dois locais de produção (Vacaria-RS e Lages-SC) e três estágios de maturação (frutos com 25, 50 e 75% da epiderme coberta com a coloração vermelha). Frutos provenientes de Vacaria apresentaram menor incidência e severidade de escurecimento de polpa. Independente da região de produção, frutos com maturação de 75% de cobertura da epiderme com coloração vermelha apresentaram maior incidência e severidade de escurecimento de polpa do que frutos com 25% de cor vermelha. A incidência do escurecimento apresentou correlação positiva com os quesitos porcentagem de cor vermelha e taxa de produção de etileno, e negativa com a força para a compressão do fruto. Quanto aos atributos minerais, houve correlação negativa do escurecimento de polpa com o teor de Ca e a relação Ca/Mg, e positiva com o teor de Mg. A manifestação do escurecimento de polpa está associada a mais de um fator, sendo que o teor mineral e o amadurecimento estão envolvidos na sua ocorrência.

**Palavras-chave:** degenerescência de polpa, injúria por frio, composição mineral, *Prunus salicina*.

## 1.2 Abstract

This work was carried out to evaluate the influence of production site and maturity stage on the flesh browning incidence and verified if the mineral content of fruits is related with flesh browning incidence. The experiment followed a 2x3 factorial design, two production sites (Vacaria-RS and Lages-SC) and three maturity stages (fruits with 25, 50 and 75% of epidermis surface covered with red color). Fruits from Vacaria showed lower flesh browning incidence and severity, without differences in flesh's lightness between the sites. Fruit from Vacaria had higher Ca and N content and higher Ca/N ratio. Independent of the

production site, fruit with 75% of skin red color reported higher flesh browning incidence and severity than fruits with 25%. The flesh browning incidence had positive correlations with the epidermis surface covered with red color and ethylene production rate and negative with the force to fruit compression. The flesh browning incidence showed negative correlation with the flesh Ca and Ca/Mg ratio and positively with Mg. The flesh browning disorder is associated with more than one factor, the mineral content and ripening are involved in the flesh browning incidence.

**Key words:** physiological disorder, mineral content, *Prunus salicina*.

### 1.3 INTRODUÇÃO

Existem diversos métodos de armazenamento para se prolongar a vida pós-colheita de frutos e hortaliças, sendo o armazenamento refrigerado o mais amplamente utilizado para a conservação de ameixas (BRACKMANN, 2001), pois, dentre todos os fatores que favorecem a manutenção da qualidade dos frutos, o que mais apresenta influência é a temperatura (STEFFENS et al., 2007a). No entanto, o armazenamento refrigerado pode apresentar alguns problemas em ameixas, sendo um dos principais o escurecimento de polpa (KLUGE et al., 1997), distúrbio que prejudica o aspecto interno, apresentando aparência e sabor desagradáveis. O escurecimento de polpa está associado com a perda da integridade e aumento da permeabilidade de membranas e a redução da atividade das enzimas associadas às membranas celulares (KLUGE et al., 1997).

Em maçãs ‘Fuji’, a sensibilidade dos frutos ao distúrbio degenerescência de polpa, caracterizado pelo escurecimento da polpa, é influenciada pela região de produção e condição nutricional do pomar (VOLZ et al., 1998), bem como ao porta-enxerto utilizado (CORRÊA et al., 2012). Dentre os minerais, o cálcio (Ca) é associado a muitos distúrbios fisiológicos (BRACKMANN; RIBEIRO, 1992) e especificamente a sensibilidade de degenerescência de polpa em maçãs ‘Fuji’ depende de sua concentração (CORRÊA et al., 2012).

Outro fator que poderia estar associado à manifestação do escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ seria a produção de etileno, pois a utilização de métodos para a redução da taxa de produção do etileno, como a redução do O<sub>2</sub>, o aumento do CO<sub>2</sub> e aplicação de 1-MCP diminuem a incidência de escurecimento de polpa (ARGENTA et al., 2003; BRACKMANN et al., 2007; ALVES et al., 2010).



Tendo em vista a importância do distúrbio, os fatores que podem estar envolvidos em sua ocorrência e o pouco estudo específico sobre o distúrbio em ameixas 'Laetitia' publicado até o momento, este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do local de produção e do estágio de maturação sobre a manifestação do escurecimento de polpa, bem como verificar se há relação deste distúrbio com o teor mineral dos frutos.

#### 1.4 MATERIAL E MÉTODOS

As ameixas 'Laetitia' foram colhidas em dois pomares comerciais localizados em Vacaria-RS e Lages-SC. Para compor as unidades experimentais realizou-se a homogeneização dos frutos, sendo eliminados aqueles que apresentavam lesões, defeitos e dimensões destoantes. Após a composição das unidades experimentais, os frutos foram armazenados.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, contendo quatro repetições por tratamento e 20 frutos por unidade amostral. O experimento foi um fatorial 2x3, sendo dois locais de produção, Vacaria-RS e Lages-SC, e três estágios de maturação na colheita, sendo 25, 50 e 75% da epiderme coberta pela coloração vermelha. Na colheita, os frutos provenientes de Vacaria-RS, com 25% da epiderme coberta pela coloração vermelha, apresentavam firmeza de polpa de 55,0 N e acidez titulável (AT) de 34,2 meq 100 mL<sup>-1</sup>; os com 50% da epiderme coberta pela coloração vermelha apresentavam firmeza de polpa de 58,1 N e AT de 30,6 meq 100 mL<sup>-1</sup>; e os com 75% da epiderme coberta pela coloração vermelha apresentavam firmeza de polpa de 49,7 N e AT de 35,6 meq 100 mL<sup>-1</sup>. Os frutos provenientes de Lages-SC com 25% da epiderme coberta pela coloração vermelha apresentavam firmeza de polpa de 51,4 N e AT de 22,2 meq 100 mL<sup>-1</sup>; os com 50% da epiderme coberta pela coloração vermelha apresentavam firmeza de polpa de 52,2 N e AT de 24,2 meq 100 mL<sup>-1</sup> e os com 75% da epiderme coberta pela coloração vermelha firmeza de polpa de 46,2 N, AT e 25,8 meq 100 mL<sup>-1</sup>.

Após 30 dias de armazenamento (0,5°C 3 95% de UR) mais quatro dias em condições ambiente (20±2°C e 60±5% de UR), simulando o período de comercialização, os frutos foram analisados quanto a incidência e severidade de escurecimento de polpa, luminosidade da polpa, teores de Ca, N, Mg, K, porcentagem de cor vermelha, taxa de produção de etileno e força para a compressão do fruto.

A incidência de escurecimento de polpa (%) foi avaliada através da contagem dos frutos que apresentavam o distúrbio, sendo observado após um corte longitudinal.

Para a severidade de escurecimento de polpa foram atribuídas notas de 0 a 5, sendo 0 frutos que não apresentaram o distúrbio, 1 frutos que apresentam até 10% da polpa escurecida, 2 para frutos com mais de 10 até 30%, 3 para frutos com mais de 30 até 50%, 4 de frutos com mais de 50 até 80% e 5 para frutos com mais de 80% da polpa afetada pelo distúrbio. A severidade foi calculada através do somatório do produto do número de frutos que apresentaram a mesma nota pela respectiva nota, dividido pelo total de frutos da amostra.

A taxa de produção de etileno foi quantificada colocando-se os frutos em um recipiente com volume de 4,1 L hermeticamente fechado. Utilizando-se seringas de 1 mL de volume foi amostrada a atmosfera interna do recipiente e quantificados o  $C_2H_4$  e o  $CO_2$ , após 40 minutos de fechamento, através da cromatografia gasosa, em triplicata. O equipamento utilizado foi um cromatógrafo Varian<sup>®</sup> (modelo CP-3800, Palo Alto, CA, EUA).

A determinação da luminosidade ( $L$ ) da polpa foi realizada com colorímetro Konica Minolta<sup>®</sup>, modelo CR 400 (Osaka, Japão). Foram feitas leituras nas quatro extremidades da polpa, parte apical, distal, lateral esquerda e lateral direita, após o corte longitudinal coincidente com o sulco presente na anatomia de ameixas 'Laetitia'. O  $L$  expressa a luminosidade, numa escala que varia de 0, equivalendo ao preto, a 100 que seria correspondente ao branco.

Para a determinação da força para compressão do fruto e da força para penetração da polpa utilizou-se um texturômetro modelo TAXT-plus<sup>®</sup> (Stable Micro Systems Ltd., Reino Unido). Para a determinação da força para compressão do fruto o texturômetro foi equipado com uma plataforma plana, modelo P/75, com 75 mm de diâmetro, com velocidades pré-teste, teste e pós-teste de 30, 5 e 30  $mm\ s^{-1}$ , respectivamente, que exerceu uma força de compressão até que 5 mm da superfície do fruto fosse deformada. Já para se quantificar a força para a penetração da polpa utilizou-se uma ponteira cilíndrica com 2 mm de diâmetro, modelo PS2. Sendo os dados das duas variáveis expressas em Newtons (N).

Para se quantificar os teores totais de Ca, N, Mg, K foi seguida a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Os dados foram submetidos à análise da variância (ANOVA). Dados de incidência foram transformados pela fórmula arco-seno  $[(x+0,5)/100]^{1/2}$  antes de serem submetidos à ANOVA. Para a comparação das médias, adotou-se o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Também foi realizado análise de correlação entre a incidência de escurecimento de polpa e as demais variáveis analisadas. As análises estatísticas foram efetuadas através do software SAS (SAS Institute, 2002).

## 1.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 30 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente, frutos provenientes de Vacaria apresentaram menor incidência e severidade de escurecimento de polpa, mas não se observou diferenças entre os dois locais de produção quanto aos valores de *L* da polpa (Tabela 1).

Tabela 1. Incidência e severidade de escurecimento de polpa e valores de *L* da polpa em função do local de produção e o estágio de maturação em ameixas ‘Laetitia’ após 30 dias de armazenamento em atmosfera do ar (0,5°C 90±5% de UR) mais 4 dias em condições ambiente (23±5°C e 60±5% de UR).

Maturação (%)	Incidência de escurecimento (%)		Severidade de escurecimento (1-5)		<i>L</i> da polpa	
	Vacaria	Lages	Vacaria	Lages	Vacaria	Lages
25	5,1bB	35,1bA	0,15bB	0,77bA	49,8aA	53,2aA
50	22,2aA	39,1bA	0,40abB	0,82bA	48,5aA	49,2abA
75	42,2aB	66,6aA	1,08aB	1,80aA	47,8aA	46,9bA
Média	23,2B	47,1A	0,55B	1,13A	48,7A	48,8A
CV (%)	13,6		13,0		2,7	

\*Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Tukey (p<0,05).

A menor ocorrência de escurecimento de polpa nos frutos de Vacaria pode estar associada à maior concentração de Ca na polpa, bem como a maior relação Ca/Mg que esses frutos apresentaram em relação aqueles de Lages (Tabela 2). Quanto ao N, foi observado maiores teores nos frutos de Vacaria (Tabela 2).

Tabela 2. Teor de cálcio (Ca), relação entre cálcio e magnésio (Ca/Mg) e teor de nitrogênio (N) dos tecidos da polpa em função do local de produção em ameixas ‘Laetitia’.

	Ca (mg kg <sup>-1</sup> )		Ca/Mg		N (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Vacaria	Lages	Vacaria	Lages	Vacaria	Lages
	49,4A	40,7B	1,7A	1,4B	46,7A	38,2B
CV (%)	13,7		8,7		17,9	

\*Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem entre si, pelo teste Tukey (p<0,05).

O Ca é responsável pela manutenção da integridade da membrana plasmática, ao estabelecer ligações iônicas com o ânion fosfato de fosfolipídeos da membrana plasmática, conferindo assim sua integridade (FREITAS et al., 2010). Além do baixo teor de Ca, o alto teor de Mg também pode estar envolvido na perda de integridade da membrana, pois este elemento compete com o Ca pelos mesmos sítios de ligação, porém sem desempenhar sua

função (FREITAS et al., 2010). Este fato pode ser observado neste trabalho, ao analisar os coeficientes de correlação entre a incidência de escurecimento de polpa e os teores de Ca e Mg, e da relação Ca/Mg, que foram negativos para Ca e a relação Mg/Ca, e positivo para o Mg (Tabela 3). Esses resultados indicam que frutos com maior teor de Ca, maior relação Ca/Mg e menor teor de Mg apresentam menor ocorrência de escurecimento de polpa. Corrêa et al. (2012) observaram que maçãs ‘Fuji’ sem a ocorrência de escurecimento de polpa também apresentaram maiores teores de Ca e maior relação Ca/Mg em relação aos que apresentavam o distúrbio. Não foi observada diferenças entre os locais quanto aos teores de Mg e K. Não houve correlação entre o teor de K e a incidência de escurecimento de polpa (dados não apresentados).

Independente do local de produção, os frutos com maturação de 25% de cor vermelha na colheita apresentaram menor incidência e severidade de escurecimento de polpa que frutos com 75% (Tabela 1). Esses resultados podem ser considerados como um indicativo de que outros fatores possam estar envolvidos na manifestação do escurecimento de polpa, além da nutrição mineral.

Ao proceder-se com a análise de correlação, verificou-se correlações positivas entre a incidência de escurecimento de polpa e a porcentagem de cor vermelha da epiderme e a produção de etileno, e negativas em relação à força para compressão do fruto (Tabela 3). As variáveis de força para a penetração da polpa e firmeza de polpa também tiveram correlação e negativa com a incidência de escurecimento de polpa, porém com menores coeficientes (dados não apresentados).

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre a incidência de escurecimento de polpa e o teor de cálcio (Ca), relação cálcio e magnésio (Ca/Mg), teor de magnésio (Mg), porcentagem de cor vermelha, taxa de produção de etileno e força para compressão do fruto em ameixas ‘Laetitia’ após 30 dias de armazenamento em atmosfera do ar (0,5°C e 90±5% de UR) mais 4 dias em condições ambiente (23±5°C e 60±5% de UR).

	Ca	Ca/Mg	Mg	Porcentagem de cor vermelha	Taxa de produção de etileno	Força para compressão do fruto
Coefficiente de correlação	-0,67	-0,81	0,66	0,60	0,67	-0,77
Probabilidade	0,0003	<0,0001	0,0004	0,0018	0,0003	<0,0001

Considerando que em ameixas, os processos de síntese de antocianinas e de amolecimento da polpa são regidos pelo etileno, e evoluem de acordo com o estágio de amadurecimento em frutos climatéricos (LELIÈVRE et al., 1997), pode-se supor que frutos mais maduros apresentam maior manifestação de escurecimento de polpa, e que este distúrbio está associado ao processo de amadurecimento, além da composição mineral. Desta forma, o

distúrbio poderia ser resultado da ação de enzimas que degradam membranas, aumento do acúmulo de espécies reativas de oxigênio e do suprimento energético insuficiente para a manutenção das membranas, causando a perda de permeabilidade seletiva, levando a oxidação de compostos e o conseqüente escurecimento dos tecidos da polpa.

## 1.6 CONCLUSÕES

1. A manifestação do distúrbio escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia' é influenciada pelo local de produção.
2. A ocorrência do distúrbio está associada ao teor dos nutrientes Ca, Mg e a relação Ca/Mg na polpa.
3. O amadurecimento está relacionado com a manifestação do escurecimento de polpa.

## 2 CONDIÇÕES DE ARMAZENAMENTO, USO DE 1-MCP E INDUÇÃO DE PERDA DE MASSA FRESCA NA MANIFESTAÇÃO DO ESCURECIMENTO DE POLPA EM AMEIXAS 'LAETITIA'

### 2.1 RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes atmosferas de armazenamento, a aplicação de 1-metilciclopropeno (1-MCP) e indução de perda de massa fresca (IPMF), na ocorrência do escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia', bem como se existe relação da manifestação do distúrbio com atributos minerais e de amadurecimento nas ameixas após o armazenamento. Os tratamentos utilizados foram atmosfera do ar (21 kPa O<sub>2</sub> + 0,03 kPa CO<sub>2</sub>); 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub>; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> com IPMF, 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> com a aplicação de 1-MCP. A temperatura de armazenamento foi de 0,5°C e uma umidade relativa de 95%, exceto o tratamento IPMF. Os períodos de análise foram aos 30 e 50 dias de armazenamento, seguidos por mais 4 dias a 23±5°C e 60±5% de UR, simulando o período de prateleira. Os tratamentos atmosfera do ar e 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> apresentaram maior incidência e severidade de escurecimento de polpa. As taxas de produção de etileno foram superiores nos frutos armazenados sob atmosfera do ar aos 30 dias, mantendo-se a mais elevada junto ao tratamento 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> aos 50 dias de armazenamento. A ocorrência de escurecimento de polpa foi menor no tratamento 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> + 1-MCP. A manifestação de escurecimento de polpa está associada à taxa de produção de etileno e ao processo de amadurecimento. O armazenamento de ameixas 'Laetitia', mesmo que em atmosfera controlada, não deve ser superior a 30 dias, devido à elevada incidência de escurecimento da polpa, e a condição de 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> com a aplicação de 1-MCP proporciona baixa ocorrência do distúrbio.

**Palavras - chave:** atmosfera controlada, distúrbio fisiológico, *Prunus salicina* L., degenerescência de polpa.

### 2.2 ABSTRACT

The aim of this experiment was to evaluate the effect of different storage conditions, treatment with 1-MCP and fresh mass loss induction (FMLI) on the flesh browning disorder development and determinate if there is disorder relationship with mineral attributes and

ripening in plums after storage. The treatments were air atmosphere (21 kPa O<sub>2</sub> + 0.03 kPa CO<sub>2</sub>); 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub>; 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> with FMLI, 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> with 1-MCP application. The storage temperature was 0.5°C at 95% RH (except the FMLI). Fruits was analyzed after 30 and 50 days at removal from cold storage, and plus 4 days at shelf life at 23±5°C e 60±5% de RH. The 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> and air atmosphere condition had the highest flesh browning incidence and severity. The ethylene production rate was higher in the air atmosphere at 30 days on removal from cold storage and after 4 days at shelf life together with 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> and after 50 days on removal from cold storage and after 4 days at 23°C. The flesh browning incidence was lower in the 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> with 1-MCP treatment at the shelf life period. The flesh browning incidence is related with ethylene production and the ripening process. The 'Laetitia' storage period should not be more than 30 days because of the high flesh browning incidence, even on controlled atmosphere. The 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> with 1-MCP treatment provides lower flesh browning incidence.

**Key words:** controlled atmosphere, physiological disorder, *Prunus salicina* L., flesh browning.

### 2.3 INTRODUÇÃO

Ameixas 'Laetitia' apresentam um rápido amadurecimento e uma reduzida vida pós-colheita, acarretando em acelerada perda de qualidade dos frutos e limitando a receita do produtor, devido ao baixo valor obtido na comercialização no período da safra. No entanto, o armazenamento dos frutos é uma alternativa de incremento na renda do produtor, pois ao prolongar o período de oferta do produto, o preço praticado no mercado aumenta substancialmente.

Outro fator que poderia aumentar a renda do produtor seria o transporte de frutos a mercados distantes, no entanto necessita-se o emprego de técnicas de armazenamento adequadas para que os frutos cheguem ao destino com qualidade. O método mais utilizado na conservação pós-colheita de ameixas é o armazenamento refrigerado (BRACKMANN et al., 2001) uma vez que, a redução da temperatura é o fator que mais favorece a manutenção da qualidade (CHITARRA; CHITARRA, 2005; STEFFENS et al., 2007a). Kluge et al. (1997) apontam o distúrbio fisiológico escurecimento de polpa como o principal problema do armazenamento refrigerado.

Poucos trabalhos que estudam especificamente a ocorrência de escurecimento de polpa em ameixas foram realizados no Brasil. Segundo Alves et al. (2010), a melhor temperatura para o armazenamento refrigerado para um período de 30 dias sob atmosfera do ar é  $-0,5^{\circ}\text{C}$ , porém houve elevada ocorrência de escurecimento de polpa. No entanto, existem técnicas auxiliares a refrigeração para retardar ainda mais o amadurecimento e manter a qualidade dos frutos, destacando-se a atmosfera controlada (AC), a utilização do composto 1-MCP e a indução de perda de massa fresca (WATKINS, 2006; BRACKMANN et al., 2007; ALVES et al., 2010).

A AC, caracterizada pela diminuição da pressão parcial de  $\text{O}_2$  e incremento da pressão de  $\text{CO}_2$ , reduz com maior intensidade o metabolismo celular, colaborando para a manutenção da qualidade pós-colheita (GÜRAKAN; BAYINDIRH, 2005; STEFFENS et al., 2007). A AC é amplamente utilizada no armazenamento de frutos, porém apenas no ano de 2009 foi publicado um maior número de trabalhos utilizando essa técnica para o armazenamento de ameixas 'Laetitia'. Estes trabalhos verificaram que a AC retarda o processo de amadurecimento e possibilita a armazenagem por até 60 dias, todavia com elevada incidência de frutos com escurecimento de polpa (ALVES et al., 2010).

Assim como para a AC, vários trabalhos foram realizados envolvendo a utilização do composto 1-MCP, onde seu efeito no retardo do amadurecimento e na manutenção das qualidades pós-colheita é amplamente conhecido (DONG et al., 2002; ARGENTA et al., 2003; LIPPERT; BLANKE, 2004; BRACKMANN et al., 2004; MENNITI et al., 2004; KHAN; SING, 2005; CANDAN et al., 2006; WATKINS, 2006; MANGANARIS et al., 2008). Já o efeito da IPMF na redução do amadurecimento e na incidência de distúrbios fisiológicos foi observado por Brackmann et al. (2007) em maçãs 'Gala'. Assim, a utilização de AC, associada à aplicação de 1-MCP ou a IPMF, pode reduzir a manifestação do escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia'.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar os efeitos da AC e da aplicação do 1-MCP e da IPMF sobre o retardo do amadurecimento e manutenção da qualidade de ameixas 'Laetitia', principalmente sobre a manutenção da firmeza de polpa e a manifestação do escurecimento de polpa, bem como se existe relação da manifestação do distúrbio com atributos metabólicos, minerais e de amadurecimento nas ameixas após o armazenamento.



## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

As ameixas ‘Laetitia’ foram colhidas em pomar comercial localizado no município de Vacaria-RS, e transportados ao laboratório. No momento da colheita os frutos apresentavam 50% da epiderme com recobrimento de cor vermelha, 14,8° Brix de sólidos solúveis, acidez de 26 meq 100 mL<sup>-1</sup>, e valores de 51,5 N, 11,7 N, 3,4 N e 114,2 N para firmeza de polpa e forças para ruptura da epiderme, penetração da polpa e compressão do fruto, respectivamente. Para compor as unidades experimentais realizou-se a homogeneização dos frutos, sendo eliminados aqueles que apresentavam lesões, defeitos e dimensões destoantes. Após a composição das unidades experimentais, os frutos foram armazenados.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, contendo cinco repetições por tratamento, contendo 20 frutos por unidade amostral. Os tratamentos avaliados foram: atmosfera do ar (21,0 kPa de O<sub>2</sub> + 0,03 kPa de CO<sub>2</sub>); 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub>; 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub>; 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> com IPMF; e 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> com a aplicação de 1-MCP.

Para o armazenamento dos frutos foram utilizadas minicâmaras experimentais, com o controle individual da pressão parcial de gases, com volume de 180 L. A IPMF foi obtida através do bombeamento diário do ar do interior da câmara para um recipiente contendo absorvedor de umidade, composto por sílica gel, de acordo com a metodologia descrita por Brackmann et al. (2007). A umidade retirada da câmara equivaleu a 1,7% da massa fresca inicial dos frutos do tratamento.

Na aplicação de 1-MCP foi utilizado o produto SmartFresh<sup>®</sup>, que possui a formulação em pó. Pesou-se 0,16 g do produto comercial por m<sup>3</sup> de câmara, diluindo-o e posteriormente expondo a solução ao interior do ambiente hermético, para se obter a concentração de 1,0 µL L<sup>-1</sup>. Os frutos ficaram expostos ao tratamento com 1-MCP por 24 horas sob condições ambiente. A temperatura de armazenamento para todos os tratamentos foi de 0,5°C.

Após 30 e 50 dias de armazenamento (saída da câmara), e seguido de mais 4 dias em condições ambiente (20±2°C e 60±5% de UR), simulando o período de comercialização, os frutos foram analisados quanto aos atributos de qualidade. As variáveis analisadas foram incidência e severidade de escurecimento de polpa, incidência de podridões, taxas respiratória e de produção de etileno, porcentagem de cobertura da epiderme com cor vermelha, luminosidade (*L*), definição de cor (*C*), ângulo *hue* (*h*°) da porção mais e menos vermelha da epiderme e da polpa, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), firmeza de polpa, forças

para ruptura da epiderme, para penetração da polpa e para compressão do fruto, teores solúveis de Ca, K, e Mg, e a permeabilidade de membranas.

A incidência de escurecimento foi feita através da contagem dos frutos que apresentavam o distúrbio, sendo observado após um corte longitudinal, em relação ao total de frutos da amostra. A incidência de podridões foi realizada de forma semelhante ao escurecimento de polpa, sendo consideradas podridões, lesões de origem patogênica com diâmetro superior a 5 mm. Para a severidade de escurecimento foram atribuídas notas de 0 a 5, sendo 0 para frutos sem escurecimento de polpa, 1 frutos que apresentam até 10% da polpa escurecida, 2 para frutos com mais de 10 até 30%, 3 para frutos com mais de 30 até 50%, 4 de frutos com mais de 50 até 80% e 5 para frutos com mais de 80% da polpa afetada pelo distúrbio.

As taxas respiratória e de produção de etileno foram quantificadas colocando-se 20 frutos por amostra em um recipiente com volume de 4,1 L, hermeticamente fechado. A taxa de respiração foi determinada pela diferença de concentração de CO<sub>2</sub> do ambiente e do interior do recipiente após 40 minutos do seu fechamento. Utilizando-se seringas de 1 mL de volume foi amostrada a atmosfera interna do recipiente e quantificados as concentrações de CO<sub>2</sub> e de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, através da cromatografia gasosa, em triplicata. O equipamento utilizado foi um cromatógrafo Varian<sup>®</sup>, modelo CP-3800 (Palo Alto, CA, EUA), equipado com coluna Porapak N<sup>®</sup> de 3 m de comprimento (90-100 mesh), metanador e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, detector, metanador e injetor foram de 45, 120, 300 e 110°C, respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético foram de 70, 30 e 300 mL min<sup>-1</sup>, respectivamente. A atividade respiratória ( $\eta$ mol CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>) e produção de etileno ( $\rho$ mol C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>) foram calculados através da fórmula proposta por Banks et al. (1995).

A determinação da luminosidade (*L*) e do ângulo *hue* (*h*<sup>°</sup>) das porções mais e menos vermelha da epiderme e da polpa foi realizada com colorímetro Konica Minolta<sup>®</sup>, modelo CR 400 (Osaka, Japão). Foram realizadas leituras nas quatro extremidades da polpa, parte apical, distal, lateral esquerda e direita, após o corte transversal coincidente com o sulco característico da anatomia das ameixas 'Laetitia'. O *L* expressa a luminosidade numa escala que varia de 0, equivalendo ao preto, a 100 correspondendo ao branco. O *h*<sup>°</sup> define a coloração básica, em que 0° = vermelho, 90° = amarelo e 180° = verde.

A AT foi obtida através de 10 mL de suco extraído em uma centrífuga, obtido de amostras transversais do fruto em formato de cunha. O suco foi diluído em 90 mL de água destilada e a titulação foi efetuada com uma solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1.

Os valores de SS foram obtidos por meio de uma amostra do suco submetida a refratometria digital com o refratômetro Atago<sup>®</sup>, modelo PR201 $\alpha$  (Tóquio, Japão).

Os atributos de textura analisados foram força para a ruptura da epiderme e penetração da polpa, força para a compressão do fruto, sendo obtidos através de um texturômetro modelo TAXT-plus (Stable Micro Systems<sup>®</sup> Ltd., Reino Unido). Para se determinar força necessária para o rompimento da epiderme e para a penetração na polpa foi introduzida uma ponteira modelo PS2, com 2 mm de diâmetro, a uma profundidade de 5 mm. As velocidades da leitura foram de 30, 5 e 30 mm s<sup>-1</sup> para pré-teste, teste e pós-teste, respectivamente. A resistência do fruto a compressão foi determinada usando-se uma plataforma plana, modelo P/75, com 75 mm de diâmetro, que exerceu uma força de compressão até uma deformação de 5 mm na superfície do fruto.

A firmeza de polpa foi quantificada utilizando um penetrômetro eletrônico modelo GS-14 (Güzz<sup>®</sup> Manufacturing Pty Ltd, Strand, África do Sul), equipado com uma ponteira de 7 mm de diâmetro, tendo a profundidade de penetração de 9 mm.

Para a análise dos teores minerais solúveis foi extraído o suco de 150 g de fruto, onde a amostra foi centrifugada a 9.500 rpm por 40 minutos. Após a centrifugação foi retirado uma alíquota de 5 mL do sobrenadante, procedendo a quantificação dos elementos Ca, K e Mg conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Para a obtenção dos dados de permeabilidade de membranas, alíquotas de polpa foram coletadas com auxílio de um sulcador, com diâmetro interno de 8 mm. Dois discos de 4 mm de altura e 8 mm de diâmetro foram retirados da parte média de cada cilindro proveniente do sulcador. Cada triplicata foi composta por 10 discos de polpa, colocados em tubos de 50 mL de volume que ficaram em banho-maria a 20°C. A solução utilizada para a imersão dos discos foi 0,35 M de manitol, o que correspondia à solução de mesmo potencial hídrico da polpa no momento da colheita. As leituras foram realizadas a 1, 3 e 4 horas após a imersão. Os discos foram congelados por 24 horas a -20°C, após o período de congelamento os discos foram recolocados em banho-maria a 25°C sendo realizada uma leitura após 10 horas contadas a partir da estabilização da temperatura no interior dos tubos. Os dados foram expressos em porcentagem, relacionando o valor da condutividade média da solução nos momentos das leituras de 1, 3 e 4 horas com o valor após descongelamento, que correspondeu a permeabilidade máxima (100% de extravasamento de íons). A metodologia empregada para a determinação da permeabilidade de membranas utilizada é decorrente de numerosas modificações do método descrito por Côté et al., (1993).

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) sendo que valores em porcentagem foram transformados através da fórmula  $[(x+0,5)/100]^{1/2}$  antes da submissão à ANOVA. O teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro, foi adotado para a comparação das médias dos tratamentos. Também foi realizada a correlação entre a incidência do distúrbio escurecimento de polpa e as demais variáveis analisadas.

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após 30 dias de armazenamento, na saída da câmara e mais 4 dias em condições ambiente, o tratamento atmosfera do ar apresentou maior taxa de produção de etileno quando comparado aos demais tratamentos (Tabela 4). As condições de AC, com alta pressão parcial de CO<sub>2</sub> e baixa de O<sub>2</sub>, possivelmente apresentaram menores taxas de produção de etileno devido a menor oxidação do ACC a etileno, pelo fato da atmosfera apresentar baixo O<sub>2</sub> (BLANKENSHIP; DOLE, 2003). Como um fator adicional ao baixo O<sub>2</sub>, a pressão mais elevada de CO<sub>2</sub> pode reduzir o pH celular, inibindo a atividade da enzima ACC oxidase, ocasionando a redução da biossíntese do etileno (GORNY; KADER, 1994). No entanto, após 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, o tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> foi o que apresentou maior taxa de produção de etileno, mantendo-se com a mais elevada taxa também após os 4 dias em condições ambiente, junto ao tratamento atmosfera do ar. A taxa de produção de etileno elevada que o tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> apresentou após 50 dias de armazenamento pode estar associada ao acúmulo de ACC oxidase durante o armazenamento. Após a exposição dos frutos a atmosfera do ar, a enzima acumulada converteria mais intensamente a ACC a etileno, acarretando maior taxa de produção de etileno. Outro fator que poderia colaborar para a taxa elevada de produção de etileno do tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> seria a alta manifestação do distúrbio escurecimento de polpa que o tratamento apresentou (Tabela 4), sendo o aumento da taxa de produção de etileno uma resposta às injúrias ocasionadas aos tecidos vegetais (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Não houve diferença entre os tratamentos 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub>, 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + IPMF e 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP quanto a taxa de produção de etileno nos períodos de análise.

Aos 30 dias de armazenamento, na saída da câmara e mais 4 dias em condições ambiente, o tratamento que apresentou maior taxa respiratória foi a atmosfera do ar e a menor o tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP, estando os demais em uma posição intermediária (Tabela 4).

Tabela 4. Taxas respiratória e de produção de etileno, firmeza de polpa, porcentagem de cor vermelha e ângulo *hue* ( $h^\circ$ ) do lado mais vermelho da epiderme, em ameixas ‘Laetitia’ após 30 e 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, e seguido por mais 4 dias em condições ambiente.

Condições de armazenamento	Taxa de produção de etileno ( $\mu\text{mol C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	Taxa respiratória ( $\eta\text{mol CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )	Firmeza de polpa (N)	Porcentagem de cor vermelha (%)	$h^\circ$ (lado mais vermelho)
30 dias (saída da câmara)					
Atmosfera do ar	19,0a	30,4a	41,3b	61,4a	31,5a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub>	2,0b	21,3ab	46,9ab	62,3a	29,0a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + IPMF	1,4b	19,5ab	46,8ab	60,8a	31,0a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + 1-MCP	2,3b	17,5b	49,8a	62,1a	28,8a
1 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	1,1b	25,1ab	36,2b	61,8a	27,2a
C.V. (%)	70,8	27,6	7,3	7,7	8,7
30 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente					
Atmosfera do ar	465,5a	31,9a	8,3b	91,7a	17,6c
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub>	1,7b	18,1ab	25,4a	77,0b	24,8a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + IPMF	2,2b	19,5ab	26,9a	74,7b	22,1ba
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + 1-MCP	1,7b	15,9b	29,4a	71,9bc	24,6a
1 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	7,3b	18,8ab	30,2a	68,9c	20,7bc
C.V. (%)	126,2	39,8	13,6	4,0	7,9
50 dias (saída da câmara)					
Atmosfera do ar	0,3b	30,1a	25,9b	69,5a	29,1abc
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub>	0,0b	23,3a	41,0a	58,5ab	32,1a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + IPMF	0,0b	22,4a	44,2a	57,0b	28,2bc
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + 1-MCP	0,0b	18,5a	42,6a	59,0ab	31,0ab
1 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	2,6a	17,2a	27,9b	50,5b	27,0c
C.V. (%)	55,6	45,5	14,1	9,9	6,9
50 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente					
Atmosfera do ar	21,4a	21,4a	24,2c	75,0a	23,5c
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub>	11,1b	11,1b	37,7ab	60,5b	30,1ab
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + IPMF	14,4b	14,3b	36,4ab	68,0ab	26,2bc
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + 1-MCP	12,5b	11,3b	41,1a	66,0ab	34,7a
1 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	14,9a	16,7b	28,9bc	50,0c	28,7bc
C.V. (%)	55,9	25,7	14,6	9,7	10,2

Médias não seguidas de mesma letra nas colunas diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Steffens et al. (2009) também observaram redução na atividade respiratória de ameixas ‘Laetitia’ em condição de baixo O<sub>2</sub> e alto CO<sub>2</sub>. Segundo Gorny e Kader (1996), a baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> reduz a atividade das enzimas polifenoloxidasas, ácido ascórbico oxidase e ácido glicólico oxidase, acarretando em uma redução da atividade respiratória. O efeito do alto CO<sub>2</sub> não está totalmente esclarecido, e sua ação na redução da taxa respiratória pode estar associada à redução da rota glicolítica e do ciclo dos ácidos tricarbóxicos (MATHOOKO, 1996; FONSECA et al., 2002). No entanto, apenas o tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP diferiu do AR quanto a taxa respiratória. Isto pode ser resultado da

possível colaboração do efeito do 1-MCP durante o armazenamento, que reduz a biossíntese de etileno, diminuindo a ação do mesmo sob enzimas que atuam no processo respiratório (MATHOOKO,1996; FONSECA et al., 2002).

Quanto ao quesito firmeza de polpa, o tratamento atmosfera do ar juntamente com 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> apresentaram menores valores, os tratamentos 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> e 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + IPMF ocuparam uma posição intermediária, estando o tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP com o maior valor aos 30 dias de armazenamento, na saída da câmara (Tabela 4). Já aos 30 dias de armazenamento, mais 4 dias em condições ambiente, a atmosfera do ar se manteve com a menor firmeza de polpa (Tabela 4). Aos 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, a maior manutenção da firmeza foi verificada nos tratamentos que envolviam a condição de 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub>, estando atmosfera do ar e a condição de 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> com os menores valores (Tabela 4). Aos 50 dias de armazenamento, mais 4 em condição ambiente, o comportamento da variável firmeza de polpa foi semelhante a saída da câmara, estando a atmosfera do ar com o menor valor, e 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP com o maior. A maior perda de firmeza de polpa no tratamento atmosfera do ar está associada à alta produção de etileno que o tratamento apresentou. Resultados semelhantes foram encontrados por Menniti et al. (2006) e Corrêa et al. (2011) que, trabalhando com ameixas, observaram menor firmeza de polpa em tratamentos que apresentaram maior produção de etileno. O tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP manteve melhor a firmeza devido à redução na produção e ação do etileno, que a baixa pressão parcial de O<sub>2</sub> e alta de CO<sub>2</sub> conferem, associadas a aplicação de 1-MCP. Os quesitos de força para a compressão do fruto e força para a penetração da polpa tiveram comportamento semelhante a firmeza de polpa (dados não apresentados). A menor manutenção da firmeza do tratamento AR pode estar relacionada com a maior taxa de produção de etileno que o tratamento apresentou aos 30 dias, na saída da câmara, e especialmente após 30 dias mais 4 em condição ambiente, onde o valor observado foi mais de 100 vezes superior à média dos demais tratamentos. A evolução dos atributos de textura possivelmente está relacionada à ação do etileno, que promove a atividade de enzimas responsáveis pelo amolecimento dos frutos (JOHNSTON et al., 2001; MAJUMDER; MAZUMDAR, 2002). Jacomino et al. (2002) atribuíram a menor atividade de enzimas pectolíticas com a redução da ação do hormônio etileno em mamão. Quanto a atmosfera de 1 kPa de O<sub>2</sub> + 1 kPa de CO<sub>2</sub>, a perda de firmeza pode estar associada à alta manifestação do distúrbio escurecimento de polpa que o tratamento apresentou desde o primeiro período de análise (Tabela 4). A alta ocorrência de escurecimento de polpa pode ter levado os frutos do

tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 1 kPa de CO<sub>2</sub> a atingirem a senescência antecipadamente quando comparado aos demais tratamentos.

Quanto aos atributos de cor, a porcentagem de cor vermelha (PCV) não diferiu entre os tratamentos aos 30 dias de armazenamento, na saída da câmara (Tabela 4). Já aos 30 dias mais 4 dias de prateleira, o tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> apresentou a menor PCV, juntamente com o 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP (Tabela 4). Após 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, a maior PCV foi do tratamento AR, sendo os menores valores observados nos tratamentos 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + IPMF e 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> (Tabela 4). Aos 50 dias mais 4 em condições ambiente, o AR manteve-se com a maior PCV, e o menor valor de PCV apresentado foi o 1 kPa de O<sub>2</sub> + 1 kPa de CO<sub>2</sub> (Tabela 4). O ângulo *hue* do lado mais vermelho da epiderme do fruto teve resultado semelhante ao PCV, não apresentando diferença aos 30 dias de armazenamento, sendo que, de maneira geral, frutos dos tratamentos com maior PCV apresentaram menores valores de ângulo *hue*, ou seja, com a cor vermelha mais intensa (Tabela 4). A maior evolução da cor na condição de armazenamento sob a atmosfera do ar pode estar associada às maiores taxas de produção de etileno que o tratamento apresentou durante o armazenamento, sem restrições de energia pelo baixo O<sub>2</sub> e o alto CO<sub>2</sub>. Segundo Argenta et al. (2003) e Palou e Crisosto (2003), os processos responsáveis pela alteração na coloração de ameixas são dependentes do etileno. Nava e Brackmann (2002) observaram menor síntese de pigmentos antocianínicos e carotenóides em pêssegos armazenados em AC que frutos armazenados em AR, semelhante aos resultados encontrados no presente trabalho. No entanto, não foram observadas diferenças constantes e conclusivas ao comparar o tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP com os demais tratamentos, sob as pressões parciais 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub>. Resultado semelhante ao encontrado por Alves et al. (2010) e por Corrêa et al. (2011) que, trabalhando com frutos da mesma cultivar, não observaram efeito da aplicação de 1-MCP na evolução da cor. A baixa PCV que o tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> apresentou pode estar associada à alteração no metabolismo energético que a condição promove, não suprimindo a demanda energética que a síntese de antocianinas necessita, além do efeito da redução da taxa de produção de etileno (BLANKENSHIP; DOLE, 2003; SAQUET et al., 2001).

Aos 30 dias de armazenamento, na saída da câmara, os tratamentos que apresentaram maiores valores de permeabilidade de membranas foram a AR e 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub>, não ocorrendo diferenças entre os tratamentos da condição 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> (dados não apresentados). Aos 30 dias de armazenamento refrigerado, mais 4 dias em condição ambiente, o tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> apresentou maior

permeabilidade, juntamente com o tratamento AR, que não diferiu do tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> e 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + IPMF. Já o tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP apresentou menores valores, diferindo tanto do AR quanto do 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub>. A alta permeabilidade do tratamento AR pode estar associada à elevada taxa de produção de etileno resultando em um avançado amadurecimento dos frutos estando estes mais próximos a senescência, não possuindo metabolismo energético suficiente para manter a integridade de membranas, ocorrendo o extravasamento do conteúdo celular. Já a alta permeabilidade do tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> pode estar associada à alteração energética que o baixo O<sub>2</sub> e o alto CO<sub>2</sub> proporcionam, tornando o suprimento de ATP menor ao necessário para manter a integridade de membranas (SAQUET, 2001). Possivelmente a menor permeabilidade que o tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP apresentou está associado à redução da taxa de produção de etileno (dados não apresentados) e menor metabolismo, quando comparada a AR. No entanto, essa redução metabólica não seria tão drástica quanto o tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub>, não comprometendo a integridade de membranas, acarretando em um menor grau de escurecimento.

Aos 50 dias de armazenamento refrigerado, na saída da câmara, o tratamento AR junto aos tratamentos da condição de 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> apresentaram os maiores valores de permeabilidade de membrana, sendo o tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> o de menor valor. Após 50 dias de armazenamento e mais os 4 dias em condição ambiente, o tratamento AR apresentou a maior permeabilidade, diferindo da condição de 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP, e do tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub>, que permaneceu com o menor valor. Esse comportamento poderia estar associado à alta deterioração dos frutos do tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub>, que apresentaram elevado grau de desidratação, podendo ter gerado um gradiente osmótico entre o tecido vegetal e a solução de 0,35 M de manitol. Esse gradiente geraria um fluxo de água, sentido solução-interior do tecido, dificultando o extravasamento de íons das regiões mais internas do tecido até a solução de manitol, acarretando em um menor valor no momento das leituras de 1, 3 e 4 horas, o que possivelmente poderia ser evitado se o tempo de imersão dos discos de polpa fosse maior.

Todos os tratamentos apresentaram incidência de escurecimento após 30 dias de armazenamento, sendo o tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de KPA DE OCO<sub>2</sub> o que apresentou a maior incidência e severidade de escurecimento de polpa, seguido pelo tratamento atmosfera do ar, estando os tratamentos da condição de AC de 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> com menores valores, não diferindo entre si (Tabela 5). Já aos 30 dias de armazenamento, mais 4 dias em condição ambiente, o tratamento AR não diferiu do 1 kPa de



O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub>, apresentando maior incidência e severidade de escurecimento, enquanto os tratamentos 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> e 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + IPMF apresentaram o segundo maior valor, estando o tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP com a menor manifestação do distúrbio (Tabela 5). Após os 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, o tratamento atmosfera do ar junto ao 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> apresentaram 100% de incidência de escurecimento de polpa (Tabela 5). Para o mesmo período, a maior severidade observada foi a do tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub>, que apresentou índice médio de 4,9, onde o valor máximo seria 5, correspondendo a mais de 80% da superfície da polpa afetada pelo distúrbio (Tabela 5). Os tratamentos AR, 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> e 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + IPMF apresentaram o segundo maior valor, permanecendo o tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP com a menor severidade de escurecimento de polpa (Tabela 5). Após 50 dias de armazenamento, mais 4 em condição ambiente, o comportamento das variáveis incidência e severidade de escurecimento de polpa foi semelhante a saída da câmara, exceto a severidade do tratamento AR, que se igualou ao tratamento 1 kPa de O<sub>2</sub> + 10 kPa de CO<sub>2</sub> (Tabela 5). O tratamento 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> + 1-MCP apresentou a menor manifestação de escurecimento de polpa quando analisadas as variáveis incidência e severidade do distúrbio em todos os períodos de análises (Tabela 5).

Tabela 5. Incidência e severidade de escurecimento de polpa, luminosidade ( $L$ ) e ângulo  $hue$  ( $h^\circ$ ) da polpa em ameixas 'Laetitia', após 30 e 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, e seguido por mais 4 dias em condições ambiente.

Condições de armazenamento	Escurecimento de polpa (%)	Severidade de escurecimento da polpa (1-5**)	$L$ (polpa)	$h^\circ$ (polpa)
Atmosfera do Ar	39,4b	0,97b	55,2b	87,1b
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub>	21,0c	0,45c	59,8a	88,8a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + IPMF	20,2c	0,54c	60,9a	88,9a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + 1-MCP	19,7c	0,45c	60,9a	90,3a
1 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	94,7a	2,72a	60,8a	86,1b
C.V. (%)	19,3	8,8	2,0	1,0
30 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente				
Atmosfera do Ar	66,9a	1,67a	53,8a	78,9a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub>	4,0b	0,29b	53,4a	81,3a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + IPMF	5,6b	0,28b	54,5a	81,4a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + 1-MCP	1,5c	0,03c	54,9a	82,8a
1 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	90,8a	2,33a	54,0a	81,3a
C.V. (%)	26,7	58,0	5,5	9,2
50 dias (saída da câmara)				
Atmosfera do Ar	100,0a	2,61b	40,8b	73,9b
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub>	77,1b	2,49b	53,2a	79,7a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + IPMF	55,2c	2,60b	54,1a	80,2a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + 1-MCP	58,0c	1,43c	54,5a	80,6a
1 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	100,0a	4,90a	52,5a	77,3ab
C.V. (%)	13,2	6,6	3,1	2,6
50 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente				
Atmosfera do Ar	100,0a	3,90a	49,3c	74,6c
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub>	72,6b	3,1b	52,4b	77,3b
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + IPMF	67,8b	2,89b	54,5ab	80,2a
2 kPa O <sub>2</sub> + 2 kPa CO <sub>2</sub> + 1-MCP	42,3c	1,33c	55,1a	79,8ab
1 kPa O <sub>2</sub> + 10 kPa CO <sub>2</sub>	100,0a	4,69a	38,8d	69,1d
C.V. (%)	11,2	10,1	2,6	1,8

\*Médias não seguidas de mesma letra nas colunas diferem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). \*\*Severidade de escurecimento da polpa: 0- sem ocorrência; 1- até 10%; 2- com mais de 10 até 30% ; 3- com mais de 30 até 50%; 4- com mais de 50 até 80%; e 5- com mais de 80% da polpa com escurecimento.

Para o quesito luminosidade ( $L$ ), que indica o grau de escurecimento, o tratamento que apresentou menor valor aos 30 dias de armazenamento, na saída da câmara, foi a atmosfera do ar e para ângulo  $hue$  juntamente com a atmosfera do ar, o 1kPa O<sub>2</sub> + 10kPa CO<sub>2</sub> apresentou menores valores (Tabela 5). A variável ângulo  $hue$  indica a coloração da polpa, sendo que

menores valores indicam tonalidades menos amarelas. A tonalidade amarela é a característica de polpa com tecido íntegro e sem manifestação do distúrbio. Aos 30 dias de armazenamento, mais 4 dias em condição ambiente, não houve diferença entre os tratamentos para as variáveis  $L$  e  $h^\circ$  (Tabela 5). Após 50 dias de armazenamento, na saída da câmara, novamente o tratamento AR apresentou maior escurecimento e menor  $h^\circ$ , não diferindo do tratamento 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> (Tabela 5). No entanto, aos 50 dias de armazenamento, mais 4 dias em condição ambiente, o tratamento que apresentou maior escurecimento e cor da polpa menos amarela foi o 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>, estando o atmosfera do ar com o segundo menor valor de  $L$  e de  $h^\circ$ , e os tratamentos 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> + 1-MCP e 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> + IPMF apresentaram os maiores para as duas variáveis (Tabela 5). Ao se observar, de maneira geral, a incidência de escurecimento, severidade do escurecimento da polpa, luminosidade  $L$  e ângulo  $h^\circ$  da polpa, variáveis que demonstram a manifestação do distúrbio escurecimento de polpa, pode-se verificar maior manifestação nos tratamentos atmosfera do ar e 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub>, e menores no tratamento 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> + 1-MCP (Tabela 5). Segundo Argenta et al. (2003), a ameixa ‘Laetitia’ desenvolve escurecimento de polpa, principalmente após 30 dias de armazenamento. A alta manifestação do escurecimento de polpa do tratamento atmosfera do ar pode estar associada à elevada taxa de produção de etileno que o tratamento apresentou (Tabela 5). A alta ação desse regulador vegetal juntamente, com a não alteração das pressões parciais de O<sub>2</sub> e de CO<sub>2</sub>, poderiam ter proporcionado altas taxas metabólicas, acelerando o processo de amadurecimento e o consumo de reservas, comprometendo o suprimento energético para a manutenção da integridade de membranas, ocorrendo o extravasamento do conteúdo celular, a oxidação de compostos e o escurecimento dos tecidos da polpa. Segundo Watkins et al. (1997) e Volz et al. (1998), frutos com estágio mais avançado de maturação apresentam maior ocorrência de escurecimento da polpa. No entanto, o escurecimento de polpa poderia estar envolvido a outros fatores, como a alteração metabólica que o a redução das pressões parciais de O<sub>2</sub> e aumento das de CO<sub>2</sub> promove (SAQUET et al., 2001). A alta manifestação de escurecimento de polpa que o tratamento e 1 kPa O<sub>2</sub> + 10 kPa CO<sub>2</sub> apresentou poderia estar associada à drástica redução do metabolismo energético, impossibilitando a manutenção da integridade de membranas, devido ao baixo O<sub>2</sub> e ao alto CO<sub>2</sub>. Em ameixas ‘Laetitia’, pêssegos e kiwi, há uma maior manifestação de escurecimento de polpa com o incremento de pressões de CO<sub>2</sub> (STEFFENS et al., 2007b; ALVES et al., 2010). Segundo Saquet e Streif (2006), o desenvolvimento de escurecimento da polpa ocorre em condições de armazenamento que reduzem o metabolismo energético e o conteúdo de fosfolipídios, acarretando na descompartimentalização intracelular. Entretanto, a

menor ocorrência do distúrbio foi observada no tratamento 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> + 1-MCP, principalmente aos 50 dias de armazenamento mais 4 dias em condição ambiente (Tabela 5). Essa menor ocorrência provavelmente deve-se a redução que a atmosfera 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> promove no metabolismo energético, sem comprometer o suprimento de energia para a manutenção de membranas, e também seu efeito na redução da taxa de produção de etileno, somando-se a ação do composto 1-MCP, já conhecido na ação e biossíntese desse regulador vegetal. Apesar de não ter se observado a redução da produção de etileno no tratamento 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> + 1-MCP em relação aos tratamentos 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> e 2 kPa O<sub>2</sub> + 2 kPa CO<sub>2</sub> + IPMF nos períodos de análise, o 1-MCP poderia ter reduzido a taxa de produção de etileno durante o armazenamento, promovendo melhor manutenção da membrana e menor escurecimento. O 1-MCP se liga permanentemente ao sítio de ligação do hormônio, bloqueando a sua ação, impedindo que alguns genes relacionados ao amadurecimento sejam ativados. Dal Cin (2006) e Watkins (2006) observaram menor produção de etileno em maçãs tratadas com 1-MCP, e relacionaram essa menor produção a redução na produção de transcritos das enzimas ACC sintase e ACC oxidase e dos receptores de etileno ETR1 e ERS1. Autores como Argenta et al. (2003), Brackmann et al. (2007) e Alves et al. (2010) também observaram menor incidência de escurecimento em frutos de ameixa 'Laetitia' quando métodos para a redução da taxa de produção do etileno, como a redução do O<sub>2</sub>, o aumento do CO<sub>2</sub> e aplicação de 1-MCP, foram empregados.

Não se observou correlação entre as variáveis que expressam a manifestação do escurecimento (incidência e severidade de escurecimento, e valores de *L* e *h*<sup>o</sup> da polpa) e os teores solúveis de Ca, K e Mg, tão pouco com as relações Ca/K, Ca/Mg e Ca/[K+Mg] (dados não apresentados). No entanto, foi possível observar correlação negativa da incidência do escurecimento com o *h*<sup>o</sup> da porção vermelha da epiderme correspondendo a -0,69 (p<0,001) e -0,60 (p<0,001) após 30 dias de armazenamento mais 4 dias em condição ambiente, e após 50 dias de armazenamento na saída da câmara, respectivamente. A acidez titulável (AT) apresentou correlação com a incidência de escurecimento, semelhante ao *h*<sup>o</sup> da porção mais vermelha da epiderme, sendo observado os valores de -0,78 (p<0,001) e -0,84 (p<0,001) após 50 dias de armazenamento na saída da câmara e após 50 dias de armazenamento mais 4 em condições ambiente, respectivamente. Os atributos de textura também apresentaram correlação com os quesitos que expressam a manifestação do distúrbio escurecimento de polpa, destacando a correlação negativa entre a força para a compressão do fruto e a incidência de escurecimento que foi de -0,88 (p<0,001) aos 30 dias de armazenamento, na saída da câmara, e a correlação positiva entre a força para a compressão do fruto e o *h*<sup>o</sup> da

polpa que foi de 0,95 ( $p < 0,001$ ) aos 30 dias de armazenamento mais 4 em condições ambiente. Os atributos de textura força para a penetração da polpa e firmeza de polpa tiveram resultados semelhantes à força para compressão do fruto, apresentando valores negativos com a incidência de escurecimento e severidade de escurecimento de polpa e valores positivos com  $L$  e  $h^\circ$  da polpa (dados não apresentados).

As correlações negativas do  $h^\circ$  da porção vermelha da epiderme e da AT juntamente com a correlação negativa entre os quesitos de textura e as variáveis incidência e severidade de escurecimento e correlação positiva entre  $L$  e  $h^\circ$  da polpa, sugerem que frutos com avançado estágio de maturação apresentam maior manifestação do distúrbio escurecimento de polpa. Resultados semelhantes foram obtidos por Watkins et al. (1997) e Volz et al. (1998), que verificaram maior ocorrência de escurecimento da polpa em maçãs com estágio mais avançado de maturação.

## 2.6 CONCLUSÕES

1. A manifestação de escurecimento da polpa ocorre em todas as condições de armazenamento.
2. A aplicação de 1-MCP combinada com o armazenamento a 2 kPa de  $O_2$  + 2 kPa  $CO_2$  a  $0,5^\circ C$  reduz a manifestação de escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia'.
3. A ocorrência do distúrbio está altamente associada à taxa de produção de etileno e ao processo de amadurecimento, e não apresenta relação com os teores de solúveis de Ca, K e Mg na polpa.

### 3 O ETILENO ESTÁ ASSOCIADO À MANIFESTAÇÃO DO DISTÚRBO FISIOLÓGICO ESCURECIMENTO DE POLPA EM AMEIXAS ‘LAETITIA’ E ‘ANGELENO’

#### 3.1 RESUMO

Ameixas ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’ apresentam diferente comportamento climatérico, sendo a ‘Laetitia’ considerada mais sensível ao etileno e a ‘Angeleno’ considerada uma cultivar com climatério suprimido. Esse trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito do etileno na manifestação do distúrbio escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’. Os frutos das duas cultivares foram colhidos em um pomar comercial localizado em São Joaquim, SC. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições e a unidade amostral composta por 20 frutos. Os tratamentos avaliados para a cultivar Laetitia foram controle e aplicação de 1-MCP na dose de  $1,0 \mu\text{L L}^{-1}$ . Para a cultivar Angeleno foram avaliados controle e aplicação de etileno na concentração de  $5 \mu\text{L L}^{-1}$ . Os frutos das duas cultivares foram armazenados a  $4^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . As taxas respiratória e de produção de etileno, incidência e severidade de escurecimento de polpa e luminosidade da polpa (*L*) foram analisadas aos 20, 30 e 40 dias de armazenamento, na saída da câmara e mais 2, 4 e 6 dias em condições ambiente ( $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $60 \pm 5\%$  de UR). As variáveis cor da epiderme, acidez titulável, sólidos solúveis, firmeza de polpa, forças para penetração da polpa e compressão do fruto, teores solúveis de Ca, K e Mg, e a permeabilidade de membranas, foram analisadas após 20, 30 e 40 dias de armazenamento, mais 4 dias em condições ambiente. Os dados de foram submetidos à ANOVA. A aplicação de 1-MCP retardou o amadurecimento e reduziu a ocorrência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’. O tratamento etileno exógeno acelerou o processo de amadurecimento e aumentou a ocorrência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Angeleno’. A ocorrência de escurecimento de polpa está associada à ação de etileno e ao processo de amadurecimento em ameixas ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’, não apresentando relação com os teores solúveis dos minerais analisados.

**Palavras - chave:** dano por frio, degenerescência de polpa, *Prunussalicina*, pós-colheita, 1-metilciclopropeno, etileno.

### 3.2 ABSTRACT

'Laetitia' and 'Angeleno' plums has different climacteric behavior, 'Laetitia' is considered sensitive to ethylene and 'Angeleno' is considered with suppressed climacteric. The aim of this study was to evaluate the effect of ethylene on the flesh browning incidence in 'Laetitia' and 'Angeleno' plums. The fruit of both cultivars were harvested at an orchard in São Joaquim, SC. The experimental design was a completely randomized with four replications and sampling unit consisted of 20 fruits. The treatments on 'Laetitia' plums were control and 1-MCP treatment ( $1.0 \mu\text{L L}^{-1}$ ). In 'Angeleno' control and ethylene treatment ( $5.0 \mu\text{L L}^{-1}$ ) were evaluated. The fruit of both cultivars were stored at  $4.0 \pm 0.5^\circ \text{C}$ . The respiratory and ethylene production rates, flesh browning incidence and severity and flesh lightness (L) were analyzed at 20, 30 and 40 days of storage at removal from cold storage and over 2, 4 and 6 days at shelf life ( $23.0 \pm 5^\circ \text{C}$  and  $60 \pm 5\% \text{RH}$ ). The *hue* angle of the red site of the skin for 'Laetitia' and  $a^*$  for 'Angeleno', titratable acidity, soluble solids, flesh firmness, forces for flesh penetration and fruit compression, soluble mineral content of Ca, K, Mg, and the ion leakage were analyzed after 20, 30 and 40 days plus 4 days storage at shelf life. The data were analyzed by ANOVA. 1-MCP treatment delayed ripening and reduced the flesh browning incidence in 'Laetitia' plums. The ethylene treatment accelerated the ripening and increased the flesh browning incidence in 'Angeleno' plums. The incidence of flesh browning is associated with ethylene action and ripening on 'Laetitia' and 'Angeleno' plums.

**Key-words:** chilling injury, flesh browning, *Prunus salicina*, postharvest, 1-methylcyclopropene, ethylene.

### 3.3 INTRODUÇÃO

Ameixas possuem alta perecibilidade e o armazenamento sob baixa temperatura é recomendado para prolongar a vida pós-colheita e promover uma melhor manutenção da qualidade (CRISOSTO; KADER, 2000; BRACKMANN et al., 2003). No entanto, o armazenamento refrigerado prolongado pode acarretar em significativas perdas na qualidade dos frutos devido ao amolecimento e a incidência de distúrbios fisiológicos, que resultam na redução da aceitabilidade do consumidor (WANG, 1990; WANG, 1993; CRISOSTO; KADER, 2000; ALVES, et al., 2010).

Dentre os distúrbios fisiológicos que ocorrem no armazenamento refrigerado por longos períodos, o que mais se destaca em ameixas é o escurecimento de polpa ao (KLUGE et al., 1997). Os sintomas se desenvolvem tanto no armazenamento refrigerado quanto após a saída da câmara, quando os frutos são submetidos a condições ambiente (CRISOSTO et al., 1999).

A ocorrência do escurecimento de polpa tem sido atribuída ao armazenamento em baixas temperaturas, que podem desencadear disfunções nos tecidos da polpa, como perda de succulência, modificações na textura e na coloração, sendo denominadas de dano por frio ou *chilling injury* (LUZA et al., 1992).

Trabalhos apontam a redução da ocorrência de escurecimento de polpa com a aplicação de 1-MCP e o armazenamento em atmosfera controlada (ARGENTA et al., 2003; BRACKMANN et al., 2007; ALVES et al., 2010), sugerindo que o distúrbio possa estar associado ao etileno.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do etileno na manifestação do distúrbio escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

As ameixas ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’ foram colhidas em pomar comercial localizado no município de São Joaquim, SC, e levados ao laboratório. Os frutos da cultivar Laetitia apresentavam 50% da epiderme com recobrimento de cor vermelha, firmeza de polpa de 51,2 N, acidez titulável de 19,8 meq 100mL<sup>-1</sup> e teor de sólidos solúveis de 12,1 °Brix na colheita. Os frutos da cultivar Angeleno apresentavam firmeza de polpa de 43,4 N, acidez titulável de 18,6 meq 100mL<sup>-1</sup> e teor de sólidos solúveis de 11,5 °Brix no momento da colheita. Para compor as unidades experimentais realizou-se a homogeneização dos frutos eliminando-se aqueles que apresentavam lesões. Após a composição das unidades experimentais, os frutos foram armazenados a 4,0±0,5°C e 90±0,5% de UR.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições por tratamento e a unidade experimental composta por 20 frutos. Os tratamentos avaliados para a cultivar Laetitia foram controle e aplicação de 1-MCP (1µL L<sup>-1</sup>). Para a cultivar Angeleno foram avaliados controle e aplicação de etileno (5µL L<sup>-1</sup>). Na aplicação de 1-MCP foi utilizado o produto SmartFresh<sup>®</sup>. Os frutos ficaram expostos ao etileno e ao 1-MCP por 24 horas a 23±5°C.



Após 20, 30 e 40 dias de armazenamento (saída da câmara), e seguido de mais 2, 4 e 6 dias em condições ambiente ( $23\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $60\pm 5\%$  de UR), os frutos foram analisados quanto as taxas respiratória e de produção de etileno, incidência e severidade de escurecimento de polpa e luminosidade ( $L$ ) da polpa. As variáveis ângulo *hue* ( $h^{\circ}$ ) da porção mais vermelha da epiderme para a ‘Laetitia’ e  $a^*$  para a ‘Angeleno’, acidez titulável (AT), sólidos solúveis (SS), firmeza de polpa, forças para a penetração da polpa e compressão do fruto, teores solúveis de Ca, K, e Mg, e a permeabilidade de membranas, foram analisadas após 20, 30 e 40 dias de armazenamento, mais 4 dias em condições ambiente ( $23\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $60\pm 5\%$  de UR).

A incidência de escurecimento (%) foi feita através da contagem dos frutos que apresentavam o distúrbio, sendo observado após um corte longitudinal. Para a severidade de escurecimento foram atribuídas notas de 1 a 5, sendo 1 - frutos que apresentam até 10% da polpa escurecida; 2 - frutos com mais de 10 até 30%; 3 - frutos com mais de 30 até 50%; 4 - frutos com mais de 50 até 80%; e 5 - frutos com mais de 80% da polpa afetada pelo distúrbio.

As taxas respiratória e de produção de etileno foram quantificadas colocando-se os frutos em um recipiente com volume de 4,1 L, hermeticamente fechado. A taxa de respiração foi determinada pela diferença de concentração de  $\text{CO}_2$ , dentro do recipiente, antes e após o seu fechamento, por um período de 40 minutos. Utilizando-se seringas de 1 mL de volume foi amostrada a atmosfera interna do recipiente e quantificados as concentrações de  $\text{CO}_2$  e  $\text{C}_2\text{H}_4$ , através da cromatografia gasosa, em triplicata. O equipamento utilizado foi um cromatógrafo Varian<sup>®</sup>, modelo CP-3800 (Palo Alto, CA, EUA), equipado com coluna Porapak N<sup>®</sup> de 3 m de comprimento (90-100 mesh), metanador e detector de ionização de chama. As temperaturas da coluna, detector, metanador e injetor foram de 45, 120, 300 e  $110^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Os fluxos de nitrogênio, hidrogênio e ar sintético foram de 70, 30 e 300  $\text{mL min}^{-1}$ , respectivamente. Através da fórmula proposta por Banks et al. (1995) a atividade respiratória ( $\eta\text{mol de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) e a taxa de produção de etileno ( $\mu\text{mol de C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) foram calculadas.

A determinação do ângulo *hue* ( $h^{\circ}$ ) e do  $a^*$  da epiderme e luminosidade ( $L$ ) da polpa foi realizada com colorímetro, Konica Minolta<sup>®</sup>, modelo CR 400 (Osaka, Japão). Para as ameixas ‘Laetitia’ foram realizadas leituras distintas para as porções mais e menos vermelha. Para a determinação da cor da polpa, nas duas cultivares, foram feitas leituras nas quatro extremidades, parte apical, distal, lateral esquerda e lateral direita, após o corte transversal e coincidente ao sulco comum da anatomia de ameixas ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’. O  $L$  expressa a luminosidade numa escala que varia de 0, equivalendo ao preto, a 100, que seria correspondente ao branco. O  $h^{\circ}$  define a coloração básica, em que  $0^{\circ}$  = vermelho,  $90^{\circ}$  =

amarelo e  $180^\circ =$  verde. O  $a^*$  representa o verde em valores negativos, e o magenta em valores positivos.

A AT foi obtida através de 10 mL de suco obtido de amostras transversais do fruto em formato de cunha, extraído em uma centrífuga. O suco foi diluído em 90 mL de água destilada e a titulação foi efetuada com uma solução de NaOH 0,1N até pH 8,1.

Os valores de SS foram obtidos por meio de uma amostra do suco submetida a refratometria digital com o refratômetro Atago<sup>®</sup>, modelo PR201 $\alpha$  (Tóquio, Japão).

Os atributos de textura analisados foram forças para penetração da polpa e compressão do fruto, sendo obtidos através de um texturômetro modelo TAXT-plus (StableMicro Systems<sup>®</sup> Ltd., Reino Unido). Para se determinar a força necessária para a penetração da polpa foi introduzida uma ponteira modelo PS2, com 2 mm de diâmetro, a uma profundidade de 5 mm. A resistência do fruto à compressão foi determinada usando-se uma plataforma plana, modelo P/75, com 75 mm de diâmetro, que exerceu uma força de compressão até uma deformação de 5 mm na superfície do fruto. As velocidades da leitura foram de 30, 5 e 30 mm s<sup>-1</sup> para pré-teste, teste e pós-teste respectivamente.

A firmeza de polpa foi quantificada utilizando um penetrômetro eletrônico Güss<sup>®</sup>, modelo GS-14 (Manufacturing Pty Ltd, Strand, África do Sul), equipado com uma ponteira de 7 mm de diâmetro.

Para a análise dos teores solúveis de Ca, K e Mg, foi extraído o suco de 150 g de fruto, onde a amostra foi centrifugada a 9.500 rpm por 40 minutos. Após a centrifugação foi retirado uma alíquota de 5 mL do sobrenadante, procedendo as análises conforme metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

Para a obtenção dos dados de permeabilidade de membranas, alíquotas de polpa foram coletadas com auxílio de um sulcador, com diâmetro interno de 8 mm. Dois discos de 4 mm de altura e 8 mm de diâmetro foram retirados da parte média de cada cilindro proveniente do sulcador. Por unidade amostral foram feitas três sub-amostras compostas por 10 discos de polpa, em tubos de 50 mL de volume. A solução utilizada para a imersão dos discos foi 0,35 M de manitol. As leituras foram realizadas a 1, 3 e 4 horas após a imersão. Os dados foram expressos em porcentagem de extravasamento de íons em relação ao máximo extravasamento (obtido após 24 horas de congelamento do tecido). A metodologia empregada no presente trabalho resultou de amplas modificações da metodologia descrita por Côté et al. (1993).

Os dados de incidência e severidade de escurecimento de polpa e luminosidade de polpa foram submetidos à análise de regressão múltipla (para cada período de armazenamento e de exposição às condições ambiente). Os demais dados foram submetidos à análise de

variância (ANOVA). Para realizar a análise de regressão múltipla e a ANOVA utilizou-se o programa SAS (SAS Institute, 2002).

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aos 20 dias de armazenamento, na saída da câmara e mais 2 dias em condições ambiente, bem como após 30 dias de armazenamento, na saída da câmara, ameixas ‘Laetitia’ tratadas com 1-MCP apresentaram menores taxas de produção de etileno, quando comparado ao tratamento controle, equivalendo a 633,1; 945,8 e 711,3  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ , respectivamente. Já o tratamento controle apresentou valores equivalentes a 1.123,1; 2.612,3; e 1.393,6  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para os mesmos períodos de análise. Resultados semelhantes foram encontrados por Dong et al. (2002), Argenta et al. (2003) e Alves et al. (2009), que também observaram redução na produção de etileno em ameixas tratadas com 1-MCP. De acordo com Watkins (2006), a menor taxa de produção de etileno dos frutos tratados com 1-MCP deve-se a redução da atividade das enzimas ACC sintase e ACC oxidase. Não houve diferença entre os tratamentos quanto taxa respiratória, sólidos solúveis, teores solúveis de Ca, K, Mg, e relação Ca/[K + Mg] (dados não apresentados).

Quanto aos atributos de qualidade, as ameixas ‘Laetitia’ tratadas com 1-MCP apresentaram melhor manutenção da firmeza de polpa e maiores valores de AT em todos os períodos avaliados (Tabela 6). O efeito do 1-MCP também foi observado para os atributos de força para a penetração da polpa e no  $h^\circ$  da epiderme, onde frutos tratados apresentaram maiores valores (Tabela 6). Esses resultados indicam que o 1-MCP retardou o amadurecimento de ameixas ‘Laetitia’, proporcionando frutos mais firmes, mais ácidos e menos vermelhos, sendo um resultado já esperado e observado em outros trabalhos (ARGENTA et al., 2003; ALVES et al., 2009). O efeito do 1-MCP no retardo do amadurecimento está associado à redução da ação do etileno (DONG et al., 2002; WATKINS, 2006) e seu efeito é amplamente conhecido em ameixas (DONG et al., 2002; ARGENTA et al., 2003; LIPPERT; BLANKE, 2004; KHAN; SINGH, 2007; ALVES et al., 2009).

A permeabilidade de membranas foi maior no tratamento controle, após 20 e 30 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente (Tabela 6), não diferindo do 1-MCP após 40 dias de armazenamento, mais 4 dias em condições ambiente.

Tabela 6. Firmeza de polpa, acidez titulável, forças para penetração da polpa e compressão do fruto, ângulo *hue* ( $h^\circ$ ) da epiderme e permeabilidade de membranas em ameixas ‘Laetitia’, após 20, 30 e 40 dias de armazenamento ( $4,0\pm 0,5^\circ\text{C}$  e  $90\pm 0,5\%$  de UR), seguido por mais 4 dias em condições ambiente ( $23\pm 5^\circ\text{C}$  e  $60\pm 5\%$  de UR).

Tratamento	Firmeza de polpa (N)	Acidez titulável (meq 100 mL <sup>-1</sup> )	Força para penetração da polpa (N)	Força para compressão do fruto (N)	$h^\circ$	Permeabilidade de membrana (%)
‘Laetitia’						
20 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente						
Controle	25,8**	16,8*	2,9*	17,5 <sup>ns</sup>	3,0***	10,3*
1-MCP	32,5	19,0	3,1	20,8	11,6	9,5
CV (%)	11,3	9,6	12,9	16	17,8	4,0
30 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente						
Controle	25,4**	15,6***	2,4 <sup>ns</sup>	19,3 <sup>ns</sup>	1,6*	16,4***
1-MCP	32,5	30,0	2,6	18,2	0,5	8,9
CV (%)	9,2	5,5	10,7	8,5	29,5	14,5
40 dias de armazenamento mais 4 dias em condições ambiente						
Controle	26,7**	15,2 <sup>ns</sup>	2,6 <sup>ns</sup>	17,9 <sup>ns</sup>	0,5 <sup>ns</sup>	100,0 <sup>ns</sup>
1-MCP	34,2	16,6	2,9	20,8	0,4	100,0
CV (%)	11,3	6,2	11,8	11,3	8,8	1,7

\*, \*\*, \*\*\*: diferenças significativas para  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$  e  $p < 0,001$ , respectivamente; ns: não significativo ( $p > 0,05$ ).

A incidência de escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ evoluiu com o avanço do período de armazenamento, independente da aplicação ou não de 1-MCP. Todavia, após 20 dias de armazenamento, ameixas ‘Laetitia’ não tratadas e tratadas com 1-MCP apresentaram, respectivamente, aproximadamente 50% e 3% de incidência na saída da câmara, alcançando cerca de 75% e 25%, aos 4 dias em condições ambiente, e 100% e <70% aos 6 dias em condições ambiente. Aos 40 dias de armazenamento, os frutos controle já apresentavam uma incidência próxima de 75% na saída da câmara, enquanto que os frutos tratados com 1-MCP aproximadamente 25% (Figura 1).

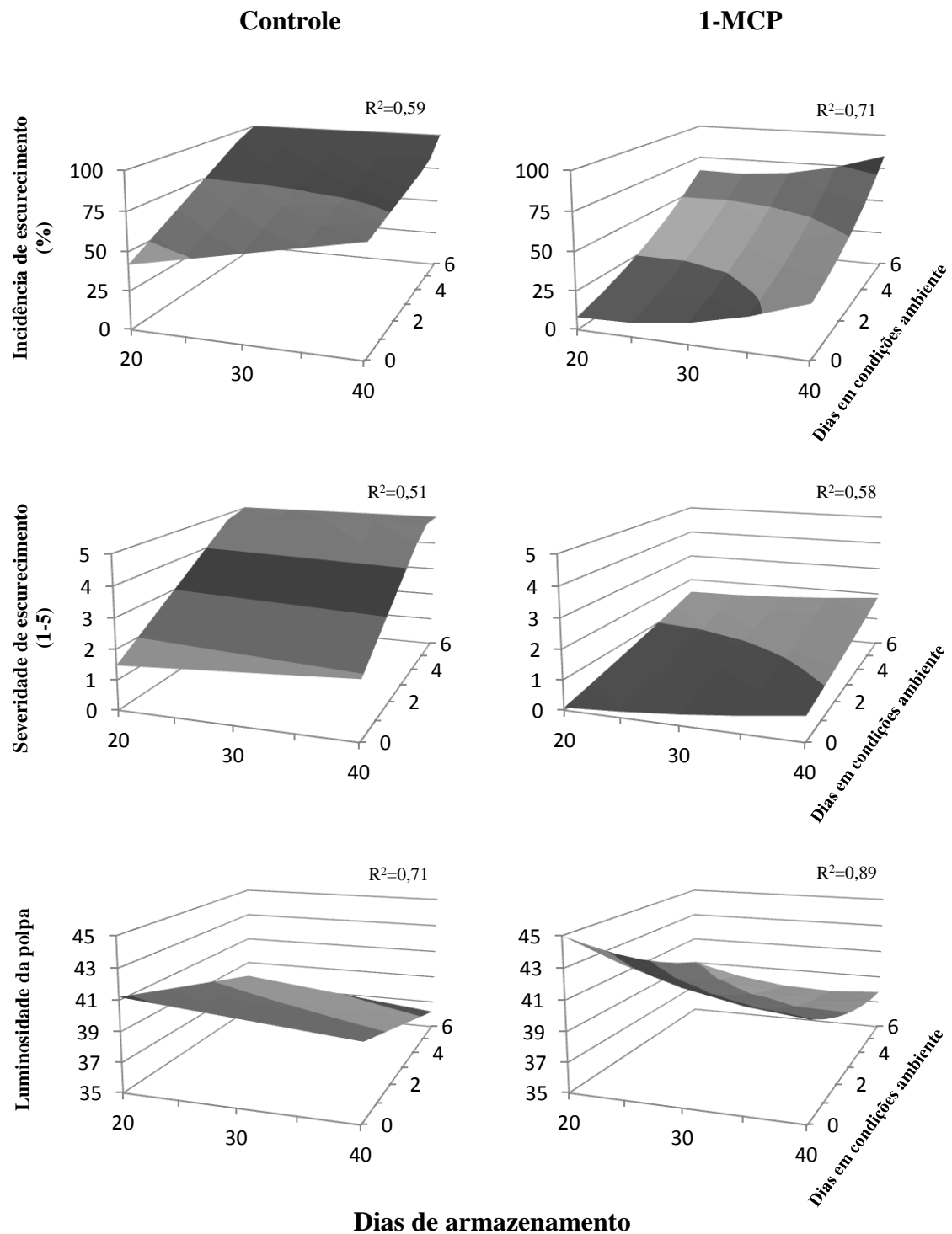
A severidade de escurecimento de polpa também aumentou com avanço no período de armazenamento, porém com menor intensidade que a incidência do distúrbio, especialmente nos frutos tratados com 1-MCP. Ameixas ‘Laetitia’ não tratadas com 1-MCP apresentaram aos 20 e 40 dias de armazenamento, na saída da câmara, índice 1,5 e 2,0, atingindo índice máximo aos 6 dias em condições ambiente, após o período de armazenamento. Isso equivale a informar que, independente do período de armazenamento avaliado, em frutos não tratados com 1-MCP, aos 6 dias de exposição dos frutos em condição ambiente, mais de 80% da superfície da polpa apresenta escurecimento. A aplicação de 1-MCP reduziu de forma drástica a severidade do distúrbio em ameixas ‘Laetitia’, sendo que o índice aos 20 e 40 dias de armazenamento, na saída da câmara, foi de aproximadamente 0,0 e 1,0, respectivamente, não

atingindo índice superior a 2,0 aos 40 dias de armazenamento, seguido de 6 dias em condições ambiente. Nos frutos controle, este valor já foi observado aos 20 dias de armazenamento, mais 4 dias em condições ambiente (Figura 1).

A luminosidade (*L*) da polpa diminuiu com o avanço no período de armazenamento, independente da aplicação do 1-MCP, indicando maior intensidade de escurecimento da polpa. Aos 20 dias de armazenamento, na saída da câmara, frutos controle apresentaram valor de *L* de aproximadamente 41,0, enquanto os frutos tratados com 1-MCP apresentaram valores de aproximadamente 45,0 (Figura 1). Em trabalho realizado com ameixas 'Laetitia', Corrêa et al. (2011) verificaram, através de análise sensorial, que frutos com *L* da polpa de 41,3 apresentaram uma rejeição acima de 90%.

Quando se observam o comportamento dos quesitos incidência e severidade de escurecimento de polpa e luminosidade da polpa, nota-se uma redução da manifestação do distúrbio nos frutos tratados com 1-MCP, indicando haver associação da ocorrência do distúrbio com ação do hormônio etileno e, conseqüentemente, com o processo de amadurecimento dos frutos. A não inibição da ação do etileno no tratamento controle levou a um amadurecimento acelerado (Tabela 6), o que poderia ter ocasionado um maior consumo de reservas, afetando o suprimento energético, necessário para a manutenção da integridade de membranas e oxidação dos compostos, levando ao escurecimento da polpa.

Figura 1. Incidência e severidade de escurecimento de polpa e luminosidade da polpa em ameixas 'Laetitia', nos tratamentos controle e 1-MCP, analisados aos 20, 30 e 40 dias de armazenamento a  $4,0\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , na saída da câmara, e mais 2, 4 e 6 dias em condições ambiente ( $23\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $60\pm 5\%$  de UR).



Na cultivar Angeleno, o tratamento com etileno exógeno aumentou a taxa de produção de etileno, equivalendo a 12,8; 62,2; e 176,6  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$  para as análises de 20 dias de armazenamento, na saída da câmara, e seguido por mais 2 e 6 dias em condições ambiente, respectivamente. Para os mesmos períodos, o tratamento controle apresentou os valores de 1,7; 6,4; e 35,8  $\mu\text{L C}_2\text{H}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ . Aos 40 dias de armazenamento, na saída da câmara, bem como após mais 4 dias em condições ambiente, o tratamento controle foi o que apresentou maiores taxas de produção de etileno (dados não apresentados). Não houve diferença entre os tratamentos quanto a taxa respiratória, sólidos solúveis, teores solúveis de Ca, K e Mg, e a relação  $\text{Ca}/[\text{K} + \text{Mg}]$  (dados não apresentados).

Apesar da cultivar Angeleno produzir pouco etileno, sendo considerada um fruto com climatério suprimido (CANDAN et al., 2011), o tratamento com etileno exógeno pode ter desencadeado a síntese autocatalítica do etileno. Após a remoção da atmosfera que continha 5  $\mu\text{L L}^{-1}$  de etileno, os frutos tratados apresentaram um amadurecimento mais acentuado e, conseqüentemente, perda de qualidade mais acelerada que os frutos não tratados (Tabela 7). Os frutos tratados com etileno apresentaram menores valores de firmeza de polpa, acidez titulável e forças para penetração da polpa e compressão do fruto, em todos os períodos de análise (Tabela 7). Em relação ao quesito  $a^*$  da cor da epiderme, o tratamento com etileno apresentou valores menores aos 20 e 30 dias de armazenamento, seguidos por mais 4 dias em condições ambiente, indicando frutos com cor roxa escura mais intensa, que é característica de frutos mais maduros desta cultivar (Tabela 7). A aplicação de etileno exógeno desencadeia o processo de amadurecimento e induz a síntese autocatalítica de etileno (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A permeabilidade de membranas do tratamento controle foi superior aos 20 e 30 dias de armazenamento refrigerado, se igualando ao tratamento com etileno somente após 40 dias de armazenamento, seguido por mais 4 dias em condições ambiente (Tabela 7).

Tabela 7. Firmeza de polpa, acidez titulável, forças para penetração da polpa e compressão do fruto,  $a^*$  da cor da epiderme e permeabilidade de membranas em ameixas ‘Angeleno’, após 20, 30 e 40 dias de armazenamento ( $4,0\pm 0,5^\circ\text{C}$  e  $90\pm 0,5\%$  de UR), seguido por mais 4 dias em condições ambiente ( $23\pm 5^\circ\text{C}$  e  $60\pm 5\%$  de UR).

Treatamento	Firmeza de polpa (N)	Acidez titulável (meq100mL <sup>-1</sup> )	Resistência a penetração (N)	Resistência a compressão (N)	$a^*$ da epiderme	Permeabilidade de membrana (%)
‘Angeleno’						
20 dias de armazenamento, mais 4 dias em condições ambiente						
Controle	23,5**	16,4***	1,7**	33,0***	4,7***	20,9***
Etileno	5,9	12,2	0,5	19,8	3,3	35,1
CV (%)	38,0	7,9	30,5	10,4	31,8	12,0
30 dias de armazenamento, mais 4 dias em condições ambiente						
Controle	15,7**	13,4***	1,4**	28,0**	4,5*	85,5**
Etileno	6,1	17,3	0,5	3,4	4,4	100,0
CV (%)	25,8	9,9	32,6	16,6	9,7	7,2
40 dias de armazenamento, mais 4 dias em condições ambiente						
Controle	7,9***	29,0 <sup>ns</sup>	1,3**	4,6**	5,1***	84,9 <sup>ns</sup>
Etileno	6,1	17,9	0,7	3,5	4,0	98,5
CV (%)	5,7	16,5	24,2	15,6	14,3	19,0

\*, \*\*, \*\*\* diferenças significativas a  $p<0,05$ ,  $p<0,01$  e  $p<0,001$  respectivamente; ns não significativo a  $p<0,05$ .

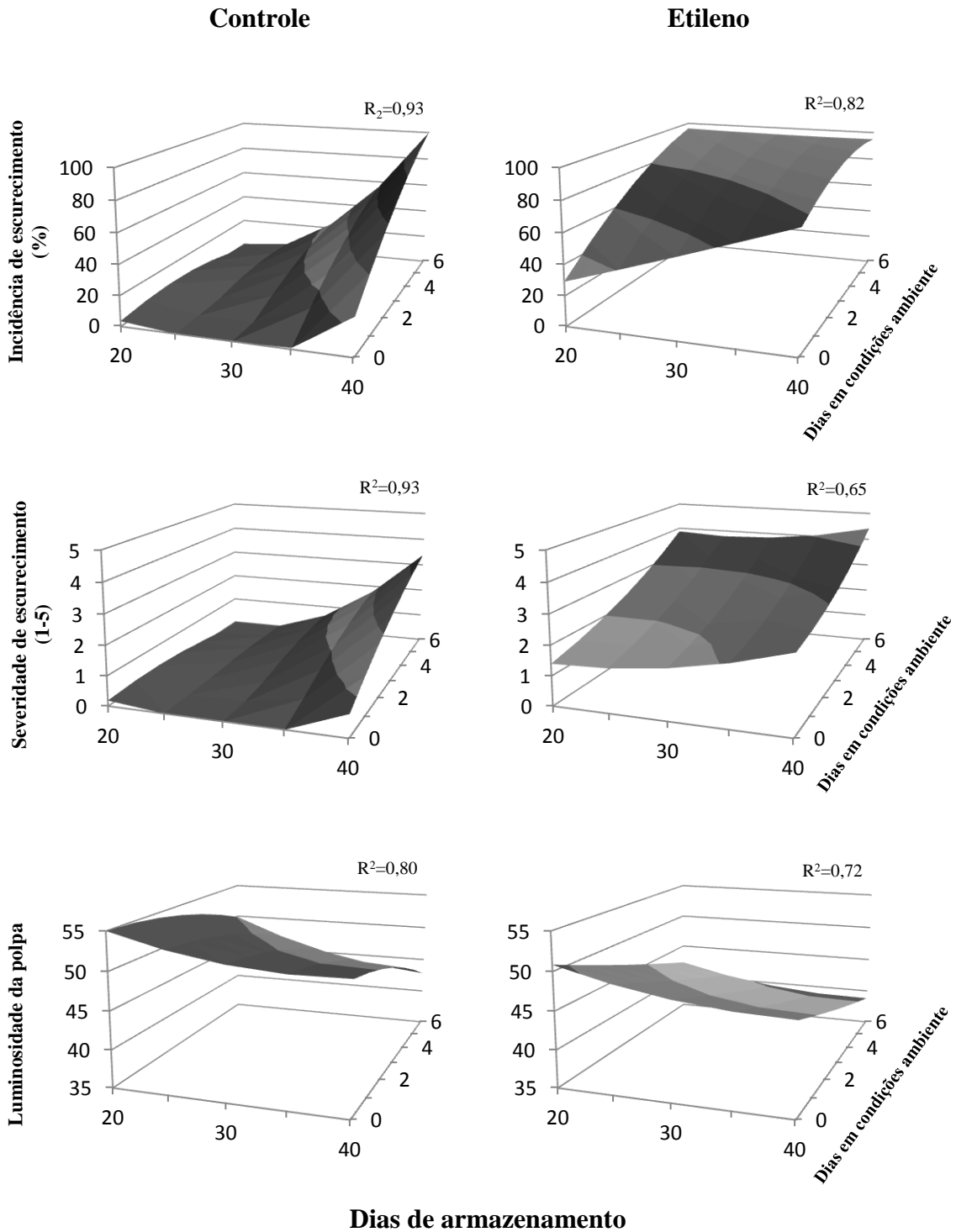
Na saída da câmara, ameixas ‘Angeleno’ do tratamento controle apresentaram baixa incidência de escurecimento de polpa, até 35 dias de armazenamento. Em frutos armazenados por até 25 dias, a incidência do distúrbio foi baixa (próxima a zero), mesmo em frutos expostos por 6 dias em condições ambiente. Apenas após 30 dias de armazenamento, seguido por mais 4 dias em condições ambiente, o tratamento controle teve incidência de escurecimento de polpa superior a 20%. Após 40 dias de armazenamento, no período sob condições ambiente, a incidência teve grande incremento, alcançando valores próximos a 100% aos 6 dias em condições ambiente (Figura 2). No entanto, as ameixas ‘Angeleno’ tratadas com etileno exógeno apresentaram 30% de incidência aos 20 dias de armazenamento, na saída da câmara. Todavia, após 40 dias de armazenamento, na saída da câmara, aproximadamente 80% dos frutos apresentavam sintomas de escurecimento de polpa. Já aos 6 dias de exposição dos frutos em condições ambiente, independente do período de armazenamento refrigerado, houve aproximadamente 100% de incidência do distúrbio (Figura 2).

A severidade do escurecimento de polpa se comportou de maneira semelhante a incidência, sendo que de 20 a 30 dias de armazenamento, seguidos de até 6 dias em condições ambiente, 35 dias de armazenamento seguido de até 5 dias em condições ambiente, e 40 dias de armazenamento, seguido de até 4 dias em condições ambiente, os valores foram mínimos, não atingindo índice 1,0 (Figura 2). Porém, os frutos tratados com etileno exógeno, na saída



da câmara, aos 20 dias de armazenamento já apresentavam índice superior a 1, e aos 40 dias índice superior a 2,5. No período de exposição dos frutos as condições ambiente, houve acentuado incremento na severidade do escurecimento de polpa dos frutos tratados com etileno, sendo que aos 6 dias de exposição em condições ambiente apresentaram índices de escurecimento próximo a 4 (Figura 2).

Figura 2. Incidência e severidade de escurecimento de polpa e luminosidade da polpa em ameixas ‘Angelino’, nos tratamentos controle e etileno, analisadas aos 20, 30 e 40 dias de armazenamento a  $4,0\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , na saída da câmara, e mais 2, 4 e 6 dias em condições ambiente ( $23\pm 5^{\circ}\text{C}$  e  $60\pm 5\%$  de UR).



A luminosidade dos frutos do tratamento controle apresentou valor de 55 aos 20 dias de armazenamento, na saída da câmara, sendo observado o menor valor após 40 dias de armazenamento, mais 6 em condições ambiente, equivalendo aproximadamente a 45 (Figura 2). A aplicação exógena de etileno reduziu a luminosidade da polpa, tornando os frutos com polpa mais escuras, apresentando valores inferiores a 40, após 30 dias de armazenamento, seguido por mais 6 dias em condições ambiente (Figura 2).

Ao analisar as variáveis incidência e severidade de escurecimento de polpa e a luminosidade da polpa, pode-se constatar que houve maior incidência, severidade e intensidade de escurecimento em ameixas ‘Angeleno’ tratadas com etileno exógeno. Assim, pode-se observar que a ocorrência do distúrbio nessa cultivar está também associada ao etileno e ao processo de amadurecimento, semelhante à cultivar Laetitia.

A manifestação do escurecimento de polpa está associado ao amadurecimento dos frutos das duas cultivares, todavia pode ser antecipado pelo etileno. Na cultivar Laetitia, considerada sensível ao etileno, os frutos não tratados com 1-MCP, apresentaram o distúrbio de maneira mais intensa e antecipada, quando comparada a ‘Angeleno’ de frutos não tratados com etileno, que apresentou o distúrbio de forma mais expressiva somente aos 40 dias de armazenamento, ao prolongar os dias de permanência em condições ambiente. Todavia, ao compararmos ameixas ‘Laetitia’ (de alta produção de etileno) controle e ameixas ‘Angeleno’ (de climatérico suprimido) tratadas com etileno, observou-se que o comportamento dos frutos, nestas duas situações, quanto à incidência, severidade e intensidade (*L*) de escurecimento de polpa, foi muito similar.

### 3.6 CONCLUSÕES

1. Ameixas ‘Laetitia’ tratadas com 1-MCP apresentaram redução do amadurecimento e menor ocorrência de escurecimento de polpa.
2. Ameixas ‘Angeleno’ expostas ao etileno exógeno apresentaram amadurecimento mais acelerado e manifestam mais intensamente o escurecimento de polpa.
3. O etileno está envolvido na manifestação do escurecimento de polpa em ameixas ‘Laetitia’ e ‘Angeleno’.

#### 4 CONCLUSÕES GERAIS

A manifestação do distúrbio escurecimento de polpa em ameixas 'Laetitia' é influenciada pelo local de produção e está associada ao baixo teor de cálcio e ao alto teor de magnésio na polpa.

Ameixas 'Laetitia' colhidas no ponto de maturação equivalente a 75% de cobertura da epiderme coberta com cor vermelha apresentam maior ocorrência de escurecimento de polpa.

O distúrbio escurecimento de polpa ocorre em todas as condições de armazenamento testadas, porém frutos tratados com 1-MCP e armazenados sob pressões parciais de 2 kPa de O<sub>2</sub> + 2 kPa de CO<sub>2</sub> apresentam baixa incidência de escurecimento após 30 dias de armazenamento mais 4 dias de prateleira.

Ameixas 'Laetitia' armazenadas sob atmosfera do ar apresentam alta manifestação de escurecimento de polpa aos 20 dias de armazenamento na temperatura de 0,5°C, sendo que a aplicação de 1-MCP reduz a ocorrência do distúrbio.

Ameixas 'Angeleno' apresentam baixa ocorrência de escurecimento de polpa, no entanto a aplicação de etileno exógeno acelera o processo de amadurecimento, acarretando em uma maior manifestação de escurecimento.

Em ameixas 'Laetitia' e 'Angeleno' a manifestação do distúrbio escurecimento de polpa está altamente associada à produção de etileno e ao processo de amadurecimento, não apresentando relação com os teores solúveis de Ca, K e Mg na polpa.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.O. et al. Armazenamento refrigerado de ameixas 'Laetitia' com uso de 1-MCP e indução de perda de massa fresca. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.1, p.30-36, 2009.
- ALVES E.O. et al. Amadurecimento de kiwis 'Bruno' submetidos ao dano mecânico de impacto e ao tratamento com 1-metilciclopropeno. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 3, p.753-758, 2010
- AMARANTE, C.V.T. do et al. Predição de "bitter pit" em maçãs 'Gala' por meio da infiltração dos frutos com magnésio. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.31, n4, p.962-968, 2009
- ARGENTA, L.C. et al. Ripening and quality of 'Laetitia' plums following harvest and cold storage as affected by inhibition of ethylene action. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.10, p.1139-1148, 2003.
- BANKS, N.H. et al. Proposal for a rationalized system of units for postharvest research in gas exchange. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.30, p.1129-1131, 1995.
- BLANKENSHIP, S.M.; DOLE, J.M. 1-Methylcyclopropene: a review. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.28, n.1, p.1-25, 2003.
- BRACKMANN, A.; RIBEIRO, N. D. Desordens fisiológicas em macieira induzidas por deficiência de cálcio e seu controle. **Ciência Rural**, Santa Maria v.22, n.2, p.247-253, 1992.
- BRACKMANN, A. et al. Armazenamento de ameixas 'Reubennel' e 'Pluma 7' em frigoconservação intermitente e atmosfera controlada. **Revista Científica Rural**, Bagé, v.6, n.1, p.71-76, 2001.
- BRACKMANN, A. et al. Armazenamento de pêssegos 'Chimarrita' em atmosfera controlada e sob absorção de etileno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.3, p.431-435, 2003.
- BRACKMANN, A. et al. Qualidade da maçã cv. Gala tratada com 1-metilciclopropeno. **Ciência Rural**, Santa Maria v.34, p.1415-1420, 2004.
- BRACKMANN, A. et al. Indução da perda de massa fresca e a ocorrência de distúrbios fisiológicos em maçãs 'Royal Gala' durante o armazenamento em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v.32, n.2, p.87-92, 2007.
- CANDAN, A.P. et al., Improvement of storability and shelf-life of 'Blackamber' plums treated with 1-metycyclopropene. **Food Science and Technology International**, London, v.12, n.5, p.437-443, 2006.
- CAMPOSTRINI E.; CRUZ LIMA H.; OLIVEIRA J.G.; MONNERAT P.H.; MARINHO C.S.; Teores de Ca e variáveis meteorológicas: relações com a incidência da mancha fisiológica do mamão no norte fluminense. **Bragantia**, Campinas, v.64, n.4, p.601-613, 2005.

- CANDAN, A.P. et al. Postharvest quality and chilling injury of plums: benefits of 1-methylcyclopropene. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v.9, n.2, 554-564, 2011.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL-FAEPE, 2005. 785p.
- CORRÊA, T.R. et al. Manejo do etileno em ameixas ‘Laetitia’ armazenadas sob atmosferas controlada e modificada ativa. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.33, n.3, p.723-729, 2011.
- CORRÊA, T.R. et al. Composição mineral, qualidade e degenerescência de polpa de maçãs ‘Fuji’ em diferentes porta-enxertos durante armazenamento em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.1, p.033-040, 2012.
- CÔTÉ, F. et al. Limitation to the use of electrolyte leakage for the measurement of chilling injury in tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.3, n.1, p 103-110, 1993.
- CRISOSTO, C.H., et al. Orchard factors affecting postharvest stone fruit quality. **Horticulture Science**, Alexandria v.32, n.1, 820–823, 1997.
- CRISOSTO, C.H. et al. Susceptibility to chilling injury of peach, nectarine, and plum cultivars grown in California. **Horticulture Science**, Alexandria, v.4, p.1116–1118, 1999.
- CRISOSTO, C.H.; KADER, A.A., 2000. Plum and fresh prune postharvest quality maintenance guidelines. Pomology Department University of California Davis, CA 95616. In: <http://www.uckac.edu/postharv/PDF%20files/Guidelines/plum.pdf>.
- DAL CIN, V. The ethylene biosynthetic and signal transduction pathways are differently affected by 1-MCP in apple and peach fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.42, p.125-133, 2006.
- DONG, L. et al. Effect of 1-methylcyclopropene on ripening of ‘Canino’ apricots and ‘Royal Zee’ plums. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, n.24, p.135-145, 2002.
- DUCROQUET, J.P.H.J.; NUNES, E.C.; DALBÓ, M.A. Potencial dos frutos de caroço para região de São Joaquim/SC. **Jornal da Fruta**. Caderno especial do 8 SENAFRUTE São Joaquim, p.2, 2008.
- FONSECA, S.C. et al. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, Amsterdam, n. 52, p.99-119, 2002.
- FREITAS, S.T. de et al. Cellular approach to understand bitter pit development in apple fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.57, p.6-13, 2010.
- GORNY, J.R.; KADER, A.A. The mode of CO<sub>2</sub> action on ACC oxidase and its role in inhibition of ethylene biosynthesis. **Horticulture Science**, Alexandria, v.29, n.5, p.533, 1994.

GORNY, J.R.; KADER, A.A. Controlled-atmosphere suppression of ACC synthase and ACC oxidase in 'Golden Delicious' apples during long-term cold storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.121, n.1, p.751-755, 1996.

GÜRAKAN, E.D.G.C.; BAYINDIRH, A. Effect of controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and gaseous ozone treatment on the survival of *Salmonella enteritidis* cherry tomatoes. **Food Microbiology**, Amsterdam, v.23, n.5, 2005.

JACOMINO, A.P. et al. Amadurecimento e senescência de mamão com 1-metilciclopropeno. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.2, p.303-308, 2002.

JOHNSTON, J.W. et al. Temperature induces differential softening responses in apple cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.23, p.185-196, 2001.

KHAN, A.S.; SING, Z. Postharvest application of 1-MCP affects ethylene biosynthesis and firmness of 'Tegan Blue' plum. **Acta Horticulturæ**, Leuven, v.687, p.409-411, 2005.

KHAN, A.S.; SINGH Z. 1-MCP regulates ethylene biosynthesis and fruit softening during ripening of 'Tegan Blue' plum. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.43, n.3, p.298-306, 2007.

KLUGE, R.A. et al. Colapso de polpa em ameixas 'santa rosa' armazenadas em diferentes regimes de temperatura. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v.3, n.3, p.125-130, 1997.

LELIÈVRE, J. M. et al. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 101, p. 727-739, 1997.

LIPPERT, F.; BLANKE M.M. Effect of mechanical harvest and timing of 1-MCP application on respiration rate and fruit quality of European plums *Prunus domestica* L. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.34, n.3 p.305-311, 2004.

LUZA, J.G. et al. Chilling injury in peaches: a cytochemical and ultra structural cell wall study. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.17,n.1, p.114-118, 1992.

MAJUMDER, K.; MAZUMDAR, B.C. Changes of pectic substances in developing fruits of cape-gooseberry (*Physalis peruviana* L.) in relation to the enzyme activity and evolution of ethylene. **Scientia Horticulturæ**, Alexandria, v.96, p.91-101, 2002.

MANGANARIS G.A. et al. Novel 1-methylcyclopropene immersion formulation extends shelf life of advanced maturity 'Joanna Red' plums (*Prunus salicina* Lindell). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.47, p.429-433, 2008.

MATHOOKO, F.M. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.9, p.247-264, 1996.

MENNITI, A.M. et al. 1-Methylcyclopropene retards postharvest softening of plums. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.31, p.269-275, 2004.

- MENNITI, A.M. et al. Responses of 1-MCP application in plums stored under air and controlled atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v.39, n.3, p.243–246, 2006.
- NAKASU, B.B.H.; RASEIRA, M.C.B.; CASTRO, L.A.S. Frutas de caroço: Pêssego, nectarina e Ameixa no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.198. p.18-13, 1997.
- NAVA, G.A.; BRACKMANN, A. Armazenamento de pêssegos (*Prunus persica* (L.) Batsch), cv. Chiripá, em atmosfera controlada. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.24, n.2, p.328-332, 2002.
- PALOU, L.; CRISOSTO, C.H. The influence of exogenous ethylene application during cold storage on stone fruit quality and brown rot development. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.628, p.269-276, 2003.
- SAQUET, A. A. et al. On the involvement of adenine nucleotides in the development of brown heart in 'Conference' pears during delayed controlled atmosphere storage. **Gartenbauwissenschaft**, v. 66, n. 3, p. 140 - 144, 2001.
- SAQUET, A.A.; STREIF, J. Fermentative metabolism in 'Conference' pears under various storage conditions. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Amsterdam, v.81, n.5 p.910-914, 2006.
- SAS INSTITUTE. **Getting started with the SAS learning edition**. Cary: SAS Institute, 2002. 200p.
- STEFFENS, C.A. et al. Taxa respiratória de frutas de clima temperado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.3, p.313-321, 2007a.
- STEFFENS, C.A. et al. Degenerescência da polpa e respiração de quivi cv. Bruno em função das condições de armazenamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.6, p.1621-1626, 2007b.
- STEFFENS, C.A. et al. Armazenamento ameixas 'Laetitia' em atmosfera modificada. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2439-2444, 2009.
- SAURE, M.C. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. **Scientia Horticulturae**, Alexandria, v.105, p.65-89, 2005.
- TEDESCO, M. J. et al. **Análise do solo, planta e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- VOLZ, R. K. et al. Fermentative volatile production in relation to carbon dioxide-induced flesh browning in 'Fuji' apple. **Horticulture Science**, Alexandria v.33, n.7, p.1231-1234, 1998.
- WANG, C.Y. Chilling injury of horticultural crops. **CRC Press**, Boca Raton, 313 p, 1990.



WANG, C.Y. Approaches to reduce chilling injury of fruits and vegetables. **Horticultural Reviews**, Oxford, v.15, 63–95, 1993

WATKINS, C.B. et al. A comparison of two carbon dioxide related injuries of apple fruit. **Proceedings of the 7th International Controlled. Atmosphere Research Conference**, Davis, vol. 2, p. 119-122, 1997.

WATKINS, C.B. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. **Biotechnology Advances**, Amsterdam, v.24, p.389-409, 2006.

ZANETTE, L.; BIASI, F. Introdução de fruteiras de caroço. In; Monteiro, L.B.; MIO, L.L.M; SERRAT, M.B.; MOTTA, A.C.; CUQUEL, F.L. **Fruteiras de Caroço: uma visão ecológica**. Curitiba; Represet, Cap.1, p.1-4. 2004.