

JÉSSICA MAYUMI ANAMI

**IMPACTO DO RETARDO DO RESFRIAMENTO E DA ATMOSFERA MODIFICADA
ATIVA SOBRE A MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE MORANGOS ‘SAN
ANDREAS’**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Cristiano André Steffens

LAGES, SC

2019

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Anami, Jéssica Mayumi
Impacto do retardamento do resfriamento e da atmosfera
modificada ativa sobre a manutenção da qualidade de
morangos 'San Andreas' / Jéssica Mayumi Anami. -- 2019.
104 p.

Orientador: Cristiano André Steffens
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages,
2019.

1. *Fragaria ananassa*. 2. compostos fermentativos. 3.
pós-colheita. 4. maturação. I. Steffens, Cristiano André. II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal. III. Título.

JÉSSICA MAYUMI ANAMI

**IMPACTO DO RETARDO DO RESFRIAMENTO E DA ATMOSFERA MODIFICADA
ATIVA SOBRE A MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE MORANGOS ‘SAN
ANDREAS’**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Banca examinadora

Orientador:_____

Professor Dr. Cristiano André Steffens

Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV-UDESC).

Membro:_____

Professor Dr. Marcelo Alves Moreira

Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV-UDESC).

Membro:_____

Professora Dra. Alexandra Goede de Souza

Instituto Federal Catarinense (Campus Rio do Sul).

Lages, SC, 28 de fevereiro de 2019.

Aos meus pais e meu irmão, Marta, Cid e Fernando que sempre me incentivaram e me apoiaram; e ao meu namorado Hugo, que esteve ao meu lado em todos os momentos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

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

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

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

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

A minha família, a qual sempre apoiou e incentivou buscar meus objetivos, em especial ao meu primo Gustavo Anami Segundo que compartilhou as dificuldades comigo durante esses dois anos, sempre mantendo o bom humor.

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

Aos meus amigos que o mestrado me proporcionou, Raquel Fernandes, Jhoana Mosquera, Diana Freitas, Nicole Verhmolen por todos as risadas, conselhos, companhia e auxílio nas análises.

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

As minhas amigas de São Paulo, Bruna Vilas Boas, Daniella Laferty, Ingrid Sousa, Júlia Amado, Tatiane Miky, Nathália Caruso e Karina Muniz que me apoiaram na decisão de realizar esse curso e por todos os momentos de alegria e amor que me proporcionaram nas minhas voltas para casa.

A todos do Siamamos no Siamo, pelas conversas e risadas de todos os dias, e a companhia em dias de jogos do Palmeiras.

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

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

“São nossas escolhas que revelam o que realmente somos, muito mais do que as nossas qualidades.”

Alvo Dumbledore

RESUMO

ANAMI, Jéssica Mayumi. **Impacto do retardo do resfriamento e da atmosfera modificada ativa sobre a manutenção da qualidade de morangos ‘San Andreas’**. 104 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Área de Fisiologia Pós-Colheita) Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2019.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do retardo do resfriamento e da atmosfera modificada ativa, com pressões parciais iniciais baixas de O₂ (1 kPa) e altas de CO₂ (30 kPa) sobre a manutenção da qualidade de morangos ‘San Andreas’ em diferentes estádios de maturação, armazenados sob refrigeração ou temperatura ambiente, bem como sobre os compostos funcionais e fermentativos. Os morangos foram colhidos em pomar convencional comercial localizado no município de Lages – SC, em 2018. No experimento 1 os tratamentos avaliados foram controle (resfriamento imediato após a colheita) e retardo de 3, 6, 9 e 12 horas para o início do resfriamento. Após a aplicação dos tratamentos os frutos foram acondicionados a (4±2°C), durante 5, 6, 7 e 8 dias, seguidos de dois dias em temperatura ambiente. Para o segundo experimento, os frutos foram colhidos em dois estádios de maturação (30 e 80% de cor vermelha. Os tratamentos avaliados foram controle (frutos acondicionados em bandejas envoltas com policloreto de vinila); atmosfera modificada (AM); atmosfera modificada ativa com baixo O₂ (1 kPa), atmosfera modificada ativa com alto CO₂ (30 kPa) e atmosfera modificada ativa com baixo O₂ (1 kPa) associado a alto CO₂ (30 kPa). O experimento dois foi realizado em condição ambiente (23±5°C) e sob armazenamento refrigerado (0,5±0,2°C). As avaliações realizadas foram teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), coloração (L*, C e h°), perda de massa fresca, força de ruptura de casca e penetração de polpa, incidência e severidade de podridões, compostos fenólicos totais (CFT), atividade antioxidante total (AAT) e compostos fermentativos (etanol, acetaldeído e acetato de etila). O resfriamento imediato dos frutos proporcionou os menores valores de incidência e severidade de podridões, demonstrando a importância da cadeia de frio na qualidade dos morangos. Os morangos com o maior retardo de resfriamento apresentaram menores valores de forças para ruptura da epiderme e penetração da polpa, além de maior perda de massa fresca. Os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante tendem a reduzir com o passar do tempo de retardo de resfriamento aos 6 dias de armazenamento, porém após 8 dias de armazenamento, há o aumento proporcional de atividade antioxidante com o retardo no tempo de resfriamento. No experimento 2, os teores de sólidos solúveis mantidos em condições ambiente e no armazenamento refrigerado não foram influenciados pelos tratamentos. A acidez titulável se manteve estável sob atmosfera modificada, decaindo no controle em condição ambiente, aumentando assim a relação SS/AT do mesmo. A atmosfera modificada retardou a evolução na coloração dos frutos. A perda de massa fresca foi maior no controle em ambos ambientes, demonstrando a eficiência da AM na manutenção da qualidade dos frutos. Os morangos armazenados em AM com alta pressão parcial inicial de CO₂ apresentaram menores valores de incidência e severidade de podridões, em ambos os estádios de maturação. A força de ruptura de casca e polpa foi maior em frutos do menor grau de maturação. O conteúdo de compostos fenólicos e a atividade antioxidante total foi maior para os frutos com 30% de cor vermelha. Os morangos colhidos com 30% de

cor vermelha apresentam melhor qualidade após o armazenamento. A utilização de atmosfera modificada ativa com alta concentração de CO₂ inicial associada com armazenamento refrigerado pode ser uma boa alternativa para o aumento da vida útil de morangos 'San Andreas', sem alterar as características organolépticas dos frutos, além de proporcionar maior atividade antioxidante total.

Palavras-chave: *Fragaria ananassa*, compostos fermentativos, pós-colheita, maturação, compostos fenólicos, atividade antioxidante.

ABSTRACT

ANAMI, Jéssica Mayumi. **Impact of cooling delay and active modified atmosphere on the quality maintenance of 'San Andreas' strawberries.** 104p. Dissertation (Master's degree in Plant Production – Post-Harvest Physiology Area) State of Santa Catarina University. Postgraduate Program in Plant Production, Lages, 2019.

The objective of this work was to evaluate the effect of the cooling delay and the active modified atmosphere, with partial initial pressures of O₂ (1 kPa) and high CO₂ (30 kPa) on the maintenance of quality of 'San Andreas' strawberries in different maturation stages, stored under refrigeration or ambient temperature, as well as functional and fermentative compounds. The strawberries were harvested in a conventional commercial orchard located in the municipality of Lages - SC, in 2018. In the experiment 1 the treatments evaluated were control (immediate cooling after harvest) and delay of 3, 6, 9 and 12 hours for the beginning of the cooling. After application of the treatments the fruits were conditioned at 4 ± 2 ° C for 5, 6, 7 and 8 days, followed by two days at room temperature. For the second experiment, the fruits were harvested at two maturation stages (30 and 80% red). The evaluated treatments were control (fruits packed in trays wrapped with polyvinyl chloride); modified atmosphere (AM); AM active with low O₂ (1 kPa), active AM with high CO₂ (30 kPa) and active AM with low O₂ (1 kPa) associated with high CO₂ (30 kPa). Experiment two was performed under ambient conditions (23 ± 5 ° C) and under refrigerated storage (0.5 ± 0.2 ° C). The evaluated values were soluble solids (SS), titratable acidity (TA), color (L *, C and h), fresh weight loss, epidermal rupture and pulp penetration, incidence and severity of rot, phenolics (CFT), total antioxidant activity (AAT) and fermentative compounds (ethanol, acetaldehyde and ethyl acetate). The immediate cooling of the fruits provided the lowest values of incidence and severity of rot, demonstrating the importance of the cold chain in the quality of the strawberries. Strawberries with the highest cooling delay presented lower values of forces for epidermal rupture and pulp penetration, in addition to greater loss of fresh mass. Total phenolic compounds and antioxidant activity tend to reduce with the passage of the cooling delay time at 6 days of storage, but after 8 days of storage, there is the proportional increase of antioxidant activity with the delay in the cooling time. In experiment 2, fruit solids contents maintained at ambient conditions and in refrigerated storage were not influenced by the treatments. The titratable acidity remained stable under AM, decreasing in the control under ambient conditions, thus increasing the SS / AT ratio of the same. MA slowed the evolution of fruit staining. The loss of fresh mass was higher in the control in both environments, demonstrating the efficiency of the AM in the maintenance of fruit quality. Strawberries stored in AM with high initial partial pressure of CO₂ presented lower values of incidence and severity of rot in both maturation stages. The content of phenolic compounds, the total antioxidant activity and the forces for epidermal rupture and for pulp penetration were higher in fruits of less advanced maturation stage (harvested with 30% red color). Strawberries harvested with 30% red color show better quality after storage. The use of active AM with high initial CO₂ concentration associated with refrigerated storage may be a good alternative to increase the shelf life of 'San Andreas' strawberries, without altering the organoleptic characteristics of the fruits, in addition to providing greater total antioxidant activity.

Key words: *Fragaria ananassa*, fermentative compounds, post-harvest, maturation, phenolic compounds, antioxidant activity

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Temperatura de morangos ‘San Andreas’ submetidos a resfriamento imediato, com retardo de 3, 6, 9 e 12 h para início do resfriamento, após o pré-resfriamento em gelo durante 90 minutos, após 3 e 6 horas em armazenamento refrigerado, na saída dos frutos do AR e após dois dias em temperatura ambiente.....42
- Figura 2 - Perda de massa fresca (%) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.....45
- Figura 3 - Incidência de podridão (%) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.....46
- Figura 4 - Severidade de podridão (1-5) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.....47
- Figura 5 - Luminosidade (L) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.....49
- Figura 6 - Cromaticidade (C) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.....50
- Figura 7 - Tonalidade (h°) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.....51
- Figura 8 - Sólidos solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.....53
- Figura 9 - Relação SS/AT em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.....54

- Figura 10 - Força de ruptura de casca (N) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente 55
- Figura 11 - Força para penetração da polpa (N) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente..... 57
- Figura 12 - Valores de compostos fenólicos (expressa em mg EAG.100 g^{-1}) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente. 58
- Figura 13 - Valores de atividade antioxidante total pelo método DPPH (expressa em $\mu\text{g de equivalente Trolox.g}^{-1}$ de massa fresca) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente..... 59
- Figura 14 - Valores de atividade antioxidante total pelo método ABTS (expressa em $\mu\text{g de equivalente Trolox.g}^{-1}$ de massa fresca) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente..... 60
- Figura 15 - Pressão parcial de O_2 e CO_2 durante armazenamento de morangos 'San Andreas' com diferentes estádios de maturação, sendo: 1 – armazenamento refrigerado por 12 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e 2 – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias. 70
- Figura 16 - Sólidos solúveis de morangos 'San Andreas' colhidos em dois estádios de maturação e mantidos em diferentes condições de armazenamento, sob refrigeração durante 12 dias seguidos por mais 2 dias em condição ambiente (1) e em temperatura ambiente durante 7 dias (2). 71
- Figura 17 - Acidez titulável de morangos 'San Andreas' colhidos em dois estádios de maturação e mantidos em diferentes condições de armazenamento, sob temperatura ambiente durante 7 dias..... 73
- Figura 18 - Relação sólidos solúveis/acidez titulável em morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada sendo: 1 – armazenamento refrigerado por 12 dias seguidos de dois dias em temperatura

ambiente; e 2 – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.....	74
Figura 19 - Luminosidade (L), cromaticidade (C) e tonalidade (°h) de morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada em temperatura ambiente por 7 dias, em diferentes estádios de maturação.	75
Figura 20 - Perda de massa (%) de morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada sendo: 1 – armazenamento refrigerado por 12 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e 2 – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.....	77
Figura 21 - Incidência de podridões (%) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada sendo: 1 – armazenamento refrigerado por 12 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e 2 – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.....	78
Figura 22 - Severidade de podridão em morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada sendo: 1 – armazenamento refrigerado por 12 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e 2 – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.....	79
Figura 23 - Força de ruptura de casca (N) para morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada sendo: 1 – armazenamento refrigerado por 12 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e 2 – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.....	81
Figura 24 - Força de ruptura de polpa (N) para morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada sendo: 1 – armazenamento refrigerado por 12 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e 2 – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.....	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Valores de atividade antioxidante total (AAT; quantificada pelos métodos DPPH e ABTS, expressa em μg de equivalente Trolox. g^{-1} de massa fresca); compostos fenólicos totais (CFT; mg EAG.100 g^{-1}), após 12 dias de armazenamento refrigerado seguidos de dois dias em condições ambiente em morangos 'San Andreas' em dois estádios de maturação, provenientes de pomar comercial em Lages, submetidas a atmosfera modificada em armazenamento refrigerado (temperatura de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ e 92 ± 2 de UR).....	84
Tabela 2 -	Valores acetato de etila, acetaldeído e etanol após 12 dias de armazenamento e mais dois dias em condições ambiente em morangos 'San Andreas' em dois estádios de maturação, provenientes de pomar comercial em Lages, submetidas a atmosfera modificada em armazenamento refrigerado (temperatura de $\pm 0,5^\circ\text{C}$ e 92 ± 2 de UR).....	86
Tabela 3 -	Valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol, após 7 dias em temperatura ambiente em morangos 'San Andreas' em dois estádios de maturação, provenientes de pomar comercial em Lages, submetidos a atmosfera modificada.....	87

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

AAT	Atividade antioxidante total
ABTS	2,2-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-ácido sulfônico
AM	Atmosfera modificada
AR	Armazenamento refrigerado
AT	Acidez titulável
°Brix	Graus Brix
°C	Graus Celsius
CFT	Compostos fenólicos totais
CO ₂	Dióxido de carbono
DPPH	2,2-difenil-1-picril hidrazil
EROs	Espécies reativas de oxigênio
g	Gramas
° h	Ângulo 'hue'
kPa	Quilo Pascal
mg	Miligramma
N	Newton
N ₂	Nitrogênio
Ns	Não significativo
O	Oeste
O ₂	Oxigênio
S	Sul
SC	Estado de Santa Catarina
SS	Sólidos solúveis
UR	Umidade relativa do ar
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina

λ Comprimento de onda

ηmol Nanomolar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	27
2.1	IMPORTÂNCIA ECONÔMICA.....	27
2.2	CULTIVAR.....	29
2.2.1	San Andreas.....	29
2.3	MATURAÇÃO.....	30
2.4	PROPRIEDADES FUNCIONAIS.....	30
2.5	PRÉ-RESFRIAMENTO.....	32
2.6	ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA.....	33
3	HIPÓTESES	35
4	IMPACTO DO RETARDO DE RESFRIAMENTO DOS FRUTOS NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE MORANGOS ‘SAN ANDREAS’ FRIGOCONSERVADOS	37
4.1	RESUMO.....	37
4.2	INTRODUÇÃO	37
4.3	MATERIAL E MÉTODOS	38
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	42
4.5	CONCLUSÕES	61
5	ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE MORANGOS ‘SAN ANDREAS’	63
5.1	RESUMO.....	63
5.2	INTRODUÇÃO	63
5.3	MATERIAL E MÉTODOS	64
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
5.5	CONCLUSÕES	89
6	CONCLUSÕES GERAIS.....	90

1 INTRODUÇÃO

As frutas e verduras estão contribuindo para 45% das perdas globais de alimentos e resíduos registrados na cadeia pós colheita devido à sua alta fragilidade e vida útil muito curta (GITZ et al., 2014). O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de frutas e, com sua imensa diversidade de climas e de solos, possui condições favoráveis para a produção de uma ampla quantidade de frutas tropicais, subtropicais e temperadas (FACHINELLO et al., 2008).

O morango é um pseudofruto popular no mundo inteiro, sendo uma das mais importantes pequenas frutas. Segundo Henrique e Cereda (1999), no julgamento de sua qualidade devem ser considerados vários fatores, como a coloração vermelho brilhante, o aroma e o sabor adocicado. A distribuição e comercialização do morango a longas distâncias é restrito, devido a sua alta perecibilidade e à senescência, além da ocorrência de doenças pós-colheita, que causam perdas quantitativas e qualitativas.

A procura do consumidor por produtos frescos de qualidade representa uma necessidade da cadeia produtiva em viabilizar formas de conservar produtos altamente perecíveis, como o morango por períodos mais longos. Embora haja diversas pesquisas na área, ainda existem muitas questões a serem resolvidas para uma melhor qualidade final dos produtos, não alterando suas qualidades organolépticas e funcionais.

Um dos métodos mais usados na conservação de frutas e hortaliças frescas é o armazenamento refrigerado, enquanto os demais métodos utilizados são considerados complementos (CHITARRA E CHITARRA, 2005). Porém, no caso do morango, a aplicação de refrigeração isoladamente não tem sido suficiente para ampliar sua vida de prateleira, sendo assim, a utilização de outros métodos como o resfriamento rápido dos frutos e a atmosfera modificada e controlada são necessários.

O pré-resfriamento adequado, com a temperatura adequada, aumenta a vida de prateleira dos alimentos, minimiza a atividade respiratória e o calor associado ao campo, alivia a necessidade de vender o produto próximo do local de colheita ou de processamento, e impede o desenvolvimento de muitos patógenos (NUNES et al. 2014; MERCIER et al. 2017). O pré-resfriamento é especialmente importante para frutas como morangos, que não continuam amadurecendo fora da planta se colhidas

antes do ponto de maturação adequado para o consumo. Consequentemente, os morangos devem estar maduros ou quase maduros no momento da colheita para ter qualidade aceitável para comercialização, o que confere normalmente uma vida útil inferior a 7 dias, mesmo sob condições ótimas de colheita, pré-resfriamento e condições de armazenamento (MITCHAM, 2016).

Temperaturas de armazenagem refrigerada são a base para métodos complementares de conservação e controle de podridões em morangos (ALLENDE et al., 2007), entre os quais a modificação de atmosfera. Matar et al. (2018) desenvolveram uma ferramenta de modelagem de dados para morangos 'Charlotte' em atmosfera modificada, prevendo um ganho de vida útil maior que um dia nas condições perfeitas de temperatura, demonstrando benefícios significativos no armazenamento de morango em atmosfera modificada. Alguns poucos dias a mais de vida de prateleira com qualidade e sem podridões podem significar muito na logística de distribuição da produção de morango.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do retardo do resfriamento e da atmosfera modificada ativa com pressões parciais iniciais baixas de O₂ e/ou alta de CO₂ na manutenção da qualidade de morangos 'San Andreas'.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

Estudos revelam que o cultivo do morangueiro já ocorria nas civilizações indígenas na América pré-colombiana, que cultivavam as espécies *Fragaria chiloensis* e *Fragaria virginiana* (SEELIG, 1975). Essas espécies são a base do híbrido natural, que hoje é cultivado comercialmente, cuja origem está na Europa no século XVIII (PASSOS, 1999).

No Brasil, o cultivo do morangueiro ganhou importância econômica em meados do século XIX nos Estados de São Paulo e Rio Grande do Sul (SANTOS; MEDEIROS, 2003), porém a cultura começou a expandir-se a partir de 1960, com o lançamento da cultivar Campinas, pelo IAC (CASTRO, 2004).

As principais espécies de pequenas frutas produzidas mundialmente são o morangueiro, mirtilo e framboesa (FAOSTAT, 2018). No Brasil, o morangueiro é a principal espécie de cultivo dentre as espécies que compõem o grupo das pequenas frutas, sendo cultivado em uma ampla escala geográfica (FAGHERAZZI et al., 2017).

O morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) é produzido e apreciado nas mais variadas regiões do mundo, sendo o Brasil o segundo maior produtor da América Latina (CARVALHO et al., 2013). O destaque na produção da espécie se baseia não somente no retorno econômico que esse pequeno fruto proporciona, mas também por ser rico em fibras, vitaminas C e do complexo B, cálcio, magnésio, fósforo, ferro e, além disso, apresentar baixas calorias (TACO, 2011; DONNO, 2013), bem como elevada capacidade antioxidante e alto conteúdo de compostos fenólicos (MARHUENDA et al., 2016).

Possui ampla distribuição geográfica em virtude de sua elevada capacidade de adaptação às condições de cultivo e de clima (MORALES et al., 2012). A superfície mundial cultivada com morangueiro, que era de 314,8 mil hectares em 2000, passou para 395,8 mil hectares; a produtividade média passou de 14,2 toneladas por hectare para 23,3 toneladas/ha, e a produção de 4,4 milhões de toneladas para 9,2 milhões de toneladas em 2017 de acordo com a *Food and Agriculture Organization – FAO* (FAOSTAT, 2018).

Estima-se que a América do Sul produza 318,7 mil toneladas de morango, em 11.884 ha, sendo Brasil, Argentina e Chile os responsáveis pela maior parte da produção, apresentando nos últimos anos um aumento significativo na área cultivada e na adoção de novas tecnologias, elevando o rendimento e a qualidade da fruta produzida (ANTUNES et al., 2017).

Segundo Fagherazzi et al. (2017), a produção Brasileira de morango gira em torno de 155 mil toneladas em uma superfície cultivada com 4.300 hectares, gerando uma produtividade média de 36,1 toneladas por hectare, sendo o maior produtor brasileiro o Estado de Minas Gerais, com 95% da sua produção concentrada na Região Sul, devido as características edafoclimáticas que favorecem o cultivo (SILVEIRA; GUIMARÃES, 2014). Os estados de Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul são os principais produtores nacionais com cerca de 75 % da produção total. Nos últimos anos se observou um incremento de aproximadamente 10% da área plantada (380 hectares) e de 17% na produção total (22,5 mil toneladas) (FAGHERAZZI et al., 2017).

No estado de Santa Catarina, a produção é concentrada na Região Metropolitana de Florianópolis, próximo ao município de Rancho Queimado com cerca de 43% da produção (MOLLINA, 2016). Apesar do consumidor encontrar morangos em qualquer época do ano, ocorrem flutuações na oferta em alguns meses, em razão de condições climáticas desfavoráveis. As menores ofertas são observadas nos meses de janeiro a maio, período com temperaturas mais altas, que prejudicam a floração e frutificação das plantas (ANTUNES et. al., 2017). Sendo assim, a produção está em expansão para regiões de maior altitude, como nos municípios de São Joaquim, Urupema, Urubici, Bom Retiro, Capão Alto, Campo Belo do Sul, Bom Jardim da Serra, Fraiburgo e Lages, cujo período de colheita destes locais permite a obtenção de melhores preços em momentos de escassa oferta do produto (FAGHERAZZI, 2013).

Segundo Antunes et al. (2017), o estado produtor de morango com maior produtividade é Santa Catarina, que possui área de produção de aproximadamente 225 ha, e produção de 9.900 toneladas, resultando em uma produtividade de 44 toneladas por hectare.

A produção catarinense ocorre principalmente no período da primavera, nos locais de maior altitude, sendo que a utilização de cultivares de dia neutro possibilita a produção em quase todos os meses do ano (FAGHERAZZI et al., 2014). Porém,

nos demais locais, segundo Camargo Filho et al. (1994), a produção é concentrada no período de junho a novembro com dificuldade para o abastecimento na entressafra, utilizando-se o armazenamento refrigerado associado à produção por variedades precoces e tardias. Esta situação tem estimulado a procura de tecnologias que permitam aumentar a vida útil do morango.

2.2 CULTIVAR

As cultivares podem ser classificadas em três grupos: dia curto (DC), dia longo (DL) e dia neutro (DN). Os dois primeiros grupos são induzidos pelo fotoperíodo, onde as cultivares de dia curto necessitam de menores períodos luminosos diários do que o período de escuridão para induzir a floração, e os de dia longo, precisam de maiores períodos luminosos para florescer. Já os cultivares de dia neutro, possuem um comportamento indiferente ao fotoperíodo, porém são sensíveis à temperatura, apresentam vantagens de uma maior tolerância ao calor e temporadas de colheita mais longas, embora a produção de estolões seja menor (DURNER et al., 1984).

Atualmente os plantios comerciais de morango são compostos de cultivares importadas, sendo as mais utilizadas na Região Sul do Brasil de origem americana, destacando-se, Camarosa, Camino Real e Oso Grande (dia curto) e Aromas, Albion, San Andreas (dia neutro). Em Santa Catarina 84,4 % dos cultivos são realizados com as cultivares Albion, Aromas e Camarosa (MOLINA, 2016).

2.2.1 San Andreas

Esta cultivar foi lançada pela Universidade da Califórnia (EUA) em 2009, sendo obtida por meio de um cruzamento realizado entre a cultivar Albion e a seleção CAL 97.86-1 (SHAW; LARSON, 2009). Mesmo não sendo a cultivar mais cultivada, atualmente está sendo a mais procurada pelos produtores realizarem os plantios (FAGHERAZZI et al., 2017), principalmente ao fato de ter apresentado bom potencial produtivo nos cultivos em sistemas fora do solo e se mostrou bem adaptada a produção de segundo ano.

A cultivar 'San Andreas' é moderadamente resistente ao oídio (*Sphaerotheca macularis*), a antracnose (*Colletotrichum acutatum*), a murcha de *verticillium*

(*Verticillium dahliae*) e à podridão da coroa (*Phytophthora cactorum*) (SHAW; LARSON, 2009).

Possui frutas grandes, de formato cônico alongado e uniforme, elevada firmeza de polpa, bom sabor com um bom equilíbrio na relação SS/AT e epiderme de coloração vermelha brilhante (mais claro em relação à Albion), o que torna a fruta muito atraente perante os consumidores. Pode ser comercializada para o mercado *in natura* ou para decoração devido a sua grande atratividade (RUAN et al., 2013).

2.3 MATURAÇÃO

É bem conhecido que a colheita do fruto na maturação adequada é determinante para a qualidade dos frutos e a aceitação pelo consumidor. Os consumidores geralmente compram pela primeira vez de acordo com a aparência dos frutos, mas compras repetidas são motivadas por fatores de qualidade esperados, que são determinados principalmente por compostos de sabor e textura (CRISOSTO et al., 2006). Após a colheita, os frutos imaturos são mais suscetíveis ao enrugamento, a danos mecânicos e qualidade sensorial inferior (CHITARRA; CHITARRA. 2005; SIDQUI, 2018). Porém, quando colhidas muito maduras, os frutos podem se tornar muito macias, farináceas com *flavor* inadequado logo após a colheita (NEVES et al., 2015).

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a produção de açúcares, redução da acidez e a biossíntese de compostos voláteis, responsáveis pelo *flavor* característicos dos frutos, ocorrem de forma gradual com o avanço da maturação, até o completo amadurecimento. Alves et al. (1995) relatam que a colheita precoce de acerolas implica em atributos sensoriais pobres, mesmo que a fruta atinja a maturação após algum tempo.

Bordonaba et al. (2014) relataram que os frutos de nectarina que eram mais maduros na colheita obtiveram melhores pontuações gerais de gosto do consumidor do que aqueles colhidos nos estádios iniciais de maturidade. Embora a colheita em um estádio levemente não maduro possa tornar a fruta mais resistente ao manejo pós-colheita, esta prática pode ter um efeito negativo na qualidade do sabor do fruto.

2.4 PROPRIEDADES FUNCIONAIS

As reações bioquímicas normais do corpo humano, bem como o aumento da exposição a infecções microbianas, poluentes, toxinas, álcool, radiações ionizantes,

pesticidas e ozônio, resultam na produção de espécies reativas de oxigênio (EROS) (POLJSAK et al., 2013). As EROS podem causar dano oxidativo em várias moléculas do organismo humano, tais como lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos, e originar doenças degenerativas, como câncer, doenças cardiovasculares, asma e diabetes (KALINOWSKA et al., 2014). Para combater essas espécies reativas de oxigênio, temos a defesa antioxidante endógena, composta de enzimas antioxidantes, porém pode-se ingerir compostos antioxidantes para auxiliar nessa defesa do corpo. Os antioxidantes não enzimáticos como as vitaminas C e E, e compostos fenólicos como os carotenoides, são atualmente considerados os principais antioxidantes exógenos (POLJSAK et al., 2013).

Os alimentos de origem vegetal apresentam compostos não nutrientes (fitoquímicos) com atividades biológicas ditas promotoras da saúde, tais como atividades antioxidante, anti-inflamatória e hipocolesterolêmica, podendo citar as catequinas, antocianinas, flavonóis e isoflavonas (PINTO, 2008). Entre as frutas mais comuns que são ricas em fitoquímicos estão as frutas silvestres, mirtilos, amoras, romãs e morangos (ORTEGA; CAMPOS, 2019).

O morango apresenta uma enorme potencialidade por ser uma boa fonte de vitamina C e flavonoides, apresentar ampla aceitação pela população brasileira e, graças ao desenvolvimento de novas variedades, ser produzido o ano inteiro (PINTO, 2008). Quanto à composição química, o morango é rico em minerais como fósforo, potássio e magnésio, apresentando, também, conteúdo relevante em vitamina C (63 mg.100 g^{-1}) e compostos fenólicos, com destaque para a presença das antocianinas (TACO, 2011).

Edirisinghe et al. (2011) avaliaram a ingestão de bebida de morango por adultos acima do peso e verificaram efeito positivo, associado às antocianinas da fruta, sobre a resposta inflamatória pós-prandial, além da melhoria da ação da insulina no organismo destes indivíduos.

Zhu et al. (2015) avaliaram, em ensaios com ratos, o potencial dos compostos bioativos presentes em morangos liofilizados na inibição do câncer bucal induzido. Os autores reportaram diminuição das lesões causadas pelo tumor, ressaltando que tal efeito positivo se deu pela sua composição em compostos fenólicos, sendo 48,8% de antocianinas, 42,9% de derivados do ácido elágico e 8,3% de flavonóis.

Além de apresentar ação antioxidante, o morango pode reduzir fatores de risco cardiovascular, tais como pressão arterial elevada, hiperglicemias, dislipidemias e inflamação. Em ratos, com síndrome metabólica, alimentados com suco de morango, foi observado redução no colesterol total e no LDL, diminuindo os níveis circulantes de células de adesão vascular. No entanto, a glicemias, triglicérides, HDL, pressão e circunferência da cintura não foram afetados (BASU et al., 2010).

2.5 PRÉ-RESFRIAMENTO

A temperatura é o principal fator de perda da qualidade dos frutos, pois afeta a taxa de deterioração, e o efeito de outros fatores, como umidade relativa e aeração. O manejo da temperatura é uma ferramenta importante para prolongar a vida de prateleira das frutas e hortaliças frescas (LEE; KADER, 2000). O efeito do armazenamento sob baixas temperaturas é benéfico por manter a qualidade das frutas por mais tempo, proporcionando o prolongamento do armazenamento e diminuindo a deterioração física e patológica (NUNES et al., 1995a). De acordo com Kahlke (2014), por cada hora de atraso no arrefecimento dos pequenos frutos após a colheita, estima-se que o produto perca um dia de vida comercializável.

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005), o pré-resfriamento tem por finalidade a remoção rápida do calor do campo dos produtos recém colhidos, podendo ser feito com ar, água ou gelo e podendo levar de 20 minutos a 24 horas.

O efeito do pré-resfriamento também é bem ilustrado pelo impacto significativo que um atraso no pré-resfriamento tem sobre a qualidade dos alimentos. Por exemplo, Nunes et al. (1995a) e Pelletier et al. (2011) relataram que atrasos de 4 a 8 horas entre a colheita e o pré-resfriamento aumentou a perda de água dos morangos em aproximadamente 50% e diminuiu significativamente sua qualidade no centro de distribuição.

Na prática os produtores comercializam morangos em bandejas de tereftalato de polietileno com filme de policloreto de vinila (PVC). Essas embalagens são, geralmente, pouco eficientes na modificação de sua atmosfera interna e se não forem associadas a uma cadeia de frio efetiva, o ganho na conservação dos frutos será pequeno (JÚNIOR, 2011).

O armazenamento sob refrigeração retarda os processos fisiológicos como a respiração e a produção de calor vital, que levam à senescência das frutas. A redução da intensidade respiratória reduz as perdas de aroma, sabor, cor, textura e

outros atributos de qualidade do produto armazenado (FILGUEIRAS et al., 1996). Segundo Mitchell (2002), o resfriamento rápido é essencial para a redução da atividade enzimática, retardamento do amadurecimento de frutas, hortaliças e, inclusive às flores, desenvolvimento de microrganismos e diminuição das perdas de água por transpiração, complementando os efeitos benéficos do armazenamento refrigerado.

2.6 ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA

De acordo com Kader (1992), uma vez que a composição final da atmosfera não é controlada, mas é dependente da interação entre o produto, barreira e ambiente, o termo “atmosfera modificada” foi adotado para distinguir esta técnica da convencional atmosfera controlada.

A comercialização de morangos a grandes distâncias é dificultada devido à sua perecibilidade, decorrente principalmente da suscetibilidade ao desenvolvimento de agentes patogênicos. Dentre os diversos métodos de conservação associados à refrigeração, destaca-se o uso de atmosfera controlada (AC), atmosfera modificada (AM), atmosfera inseticida e tratamentos de pré-acondicionamento com dióxido de carbono (CO_2) (FLORES-CANTILLANO, 2005). Para o morango, a AM com níveis de CO_2 entre 12 kPa e 20 kPa possibilita o aumento da vida útil do fruto e reduz a incidência de doenças, favorecendo a manutenção da consistência do fruto (ALMENAR et al., 2006).

Pressões parciais elevadas de dióxido de carbono (CO_2) foram aplicados ao morango após a colheita para melhorar a capacidade de armazenamento, e estudos anteriores relataram as alterações fisiológicas e mecânicas induzidas pelo CO_2 (BLANCH et al., 2015), como influenciar a ligação do cálcio na parede celular, aumentando a firmeza dos frutos (WANG et al., 2014).

Outra vantagem na utilização de altas concentrações de CO_2 é a redução na incidência de podridões em morangos, Van der Steen et al. (2002) verificaram que as elevadas pressões parciais de CO_2 no armazenamento de morangos foram eficientes na redução de perdas causadas por patógenos, principalmente por *Botrytis cinerea*.

Blanch et al. (2015) expôs morangos a altos níveis de CO₂ por um curto período (30% por 3 dias), resultando em benefícios significativos na redução da deterioração dos frutos durante o armazenamento. A exposição a curto prazo ao CO₂ (20% por 3 dias) não diminuiu o acúmulo de antocianinas e aumentou efetivamente os compostos benéficos para a saúde, como catequina e proantocianidinas, em morango (BLANCH et al., 2012).

A armazenagem de morangos em atmosferas com baixas pressões parciais de oxigênio (1 kPa) e enriquecidas com dióxido de carbono, tem sido recomendada para aumentar o tempo de conservação de morangos, com a manutenção da qualidade dos frutos, reduzindo a deterioração de podridões (FONSECA et al., 2002; FLORES-CANTILLANO, 2003). No entanto, esta tecnologia pode afetar o conteúdo dos compostos voláteis em frutos maduros (SIDIQUI, 2018).

Frutas e vegetais passam talvez pelas mais complicadas mudanças fisiológicas após a colheita. Essas mudanças estão relacionadas às condições ambientais, como os gases da atmosfera, umidade, temperatura e sua condição física. Alterações na concentração do gás atmosférico, com diminuição das pressões parciais de oxigênio ou aumento de gás carbônico, podem causar estresse no metabolismo de frutas ou vegetais, produzindo compostos indesejáveis, que afetam seu sabor. Portanto, a atmosfera deve ser aplicada com extrema cautela e requer um rigoroso controle de qualidade (MOHAMMADI; HANAFI, 2014). Segundo Chitarra e Chitarra (2005), pressões parciais muito baixas de O₂ (<2 kPa), ou muito elevadas de CO₂ (>20 kPa), podem causar respiração anaeróbica e, como consequência, produção de acetaldeído e etanol, causando sabor e odor desagradáveis ou estranhos, os “*off flavors*”.

3 HIPÓTESES

- Os frutos resfriados imediatamente após a colheita apresentam melhor qualidade pós-colheita, com estádio de amadurecimento menos avançado e menor incidência e severidade de podridões, com maior vida de prateleira;
- O retardo do resfriamento de morangos 'San Andreas' causa alterações na qualidade dos frutos, diminuindo a vida de prateleira, assim como a quantidade de compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante;
- A utilização de atmosfera modificada ativa com altas pressões parciais de CO₂ (30 kPa) e/ou baixo O₂ (1 kPa) aumenta a produção de compostos fermentativos, como acetaldeído, acetato de etila e etanol;
- A atmosfera modificada ativa com altas pressões parciais de CO₂ (30 kPa) e/ou baixo O₂ (1 kPa), independente da temperatura de armazenamento, retarda o amadurecimento dos morangos, reduz o desenvolvimento de podridões e proporciona maior vida de prateleira.

4 IMPACTO DO RETARDO DE RESFRIAMENTO DOS FRUTOS NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE MORANGOS ‘SAN ANDREAS’ FRIGOCONSERVADOS

4.1 RESUMO

Devido aos benefícios das baixas temperaturas de armazenamento em prolongar a vida útil dos produtos, supõe-se que o resfriamento rápido tenha efeito positivo na sua qualidade, porém atrasos no resfriamento acontecem devido à logística de transporte do campo ao local de armazenamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do retardo de resfriamento de morangos ‘San Andreas’ sobre a manutenção da qualidade dos frutos, bem como sobre os compostos fenólicos e a atividade antioxidante, além de identificar o tempo de retardo de resfriamento permitido sem ocorrer decaimento da qualidade dos frutos. Os tratamentos utilizados consistiram em controle (resfriamento imediato), resfriamento após 3, 6, 9 e 12 horas em temperatura ambiente após a colheita. A colheita foi realizada nas primeiras horas da manhã e os frutos foram acondicionados sob refrigeração ($0,5\pm0,2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR), durante 5, 6, 7 e 8 dias. Dois dias de exposição dos frutos em condição ambiente após o armazenamento, os frutos foram avaliados quanto aos atributos físico-químicos, incidência, severidade e índice de podridões, teor de compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante total (AAT; pelos métodos DPPH e ABTS). De maneira geral, os menores valores de incidência e severidade de podridões, e consequentemente menor índice de podridões foram observados nos frutos imediatamente refrigerado, demonstrando a importância da cadeia de frio na qualidade dos morangos. Os morangos com o maior retardo de resfriamento apresentaram menores valores de força para ruptura de casca e polpa, além de maior perda de massa fresca. Os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante, aos 6 dias de armazenamento seguido por mais dois dias em condições ambiente, apresentaram aumento com o retardo de até 6 horas do resfriamento dos frutos. Após 8 dias de armazenamento mais 2 dias em condições ambiente houve aumento proporcional da atividade antioxidante com o atraso no resfriamento dos frutos.

Palavras-chave: *Fragaria ananassa*, polifenóis, estocagem, armazenamento refrigerado.

4.2 INTRODUÇÃO

A comercialização de morangos a grandes distâncias é dificultada pela sua alta perecibilidade, decorrente da suscetibilidade ao desenvolvimento de agentes patogênicos e da sua intensa atividade metabólica (JÚNIOR et al, 2012). O principal método utilizado para minimizar a atividade metabólica e o desenvolvimento de podridões é o armazenamento refrigerado em temperaturas entre 0 e 1°C . A utilização de baixas temperaturas é essencial para o pré-resfriamento,

armazenamento, transporte a longas distâncias e comercialização de morangos (MALAGRIM et al, 2006).

O manejo da temperatura é uma ferramenta importante para prolongar a vida de prateleira das frutas e hortaliças frescas (LEE; KADER, 2000). O efeito de armazenamento sob baixas temperaturas é benéfico por manter a qualidade das frutas por mais tempo, proporcionando o prolongamento do armazenamento (NUNES et al., 1995b).

O morango apresenta alta perecibilidade, sendo então preconizado o rápido resfriamento. Porém, devido a distância entre o local de produção e o beneficiamento, o rápido resfriamento pode não ser executado logo após a colheita.

Um alimento funcional é o que possui um efeito benéfico a saúde, bem-estar e na redução de risco de doenças, satisfazendo mais do que a necessidade nutricional. O morango é um fruto considerado rico em antioxidantes naturais, com altas quantidades de vitaminas, minerais além dos compostos fenólicos. Segundo Sousa e Curado (2005), o grupo dos pequenos frutos, no qual se inclui o morango, cada espécie possui teores característicos e específicos de compostos fenólicos, constituído principalmente por antocianinas, flavonóis, proantocianidinas (elagitaninos e galotaninos) e ácidos fenólicos, catequinas e isoflavonoides, que são reconhecidos pela sua capacidade antioxidante. Devido a importância dos compostos bioativos dos frutos para a saúde humana, é necessário identificar as alterações causadas pela cadeia de frio ineficiente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do retardo do resfriamento sobre a manutenção da qualidade dos frutos e identificar qual o tempo de retardo de resfriamento possível de ser admitido sem ocorrer incremento de perda de qualidade, e seus impactos sobre os compostos fenólicos e a atividade antioxidante dos frutos.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os morangos da variedade 'San Andreas' foram colhidos em pomar comercial, sob sistema de produção convencional, no município de Lages – SC ($27^{\circ} 48' 58''$ S de latitude, $50^{\circ} 19' 34''$ O de longitude e 884 m de altitude), na safra 2018, sendo realizada colheita em fevereiro (colheita de verão), nas primeiras horas da manhã, evitando os momentos mais quentes do dia. Os frutos foram colhidos com 80% da cor vermelha. Após a colheita, os frutos foram transportados até o

laboratório de Fisiologia e Tecnologia Pós Colheita do Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV- UDESC).

Os tratamentos realizados foram controle (resfriamento imediato) e resfriamento após 3, 6, 9 e 12 horas em temperatura ambiente após a colheita.

Os morangos do tratamento controle, com refrigeração imediata foram acondicionados em isopor com gelo imediatamente após a colheita, permanecendo por uma hora e meia. Os demais tratamentos foram acondicionados em isopor com gelo durante o mesmo período, após permanecerem 3, 6, 9 e 12 horas em temperatura ambiente.

Os morangos foram acondicionados em bandejas de tereftalato de polietileno (PET) recoberto com filme de policloreto de vinila (PVC). Os frutos foram armazenados em câmara fria a $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $92 \pm 2\%$, durante 5, 6, 7 e 8 dias, seguidos de dois dias em temperatura ambiente, simulando a vida de prateleira, quando então foram avaliados. Os frutos foram avaliados quanto à perda de massa, incidência e severidade de podridões, cor do fruto (representados por L, c, h° , sendo luminosidade, cromaticidade e tonalidade, respectivamente), sólidos solúveis, acidez titulável, relação SST/AT, textura, representada pelas forças para ruptura da epiderme e para a penetração da polpa. A quantificação de compostos fenólicos e atividade antioxidante total foi realizada apenas aos 6 e 8 dias de armazenamento refrigerado seguido de mais dois dias em temperatura ambiente.

Atributos de qualidade físico-química

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

Para variável de incidência de doenças, foram avaliados visualmente os frutos de cada tratamento e considerados doentes todos aqueles que apresentavam lesões características. Os resultados foram expressos em porcentagem.

A severidade da doença dos frutos foi avaliada segundo uma escala de notas, onde: 1= até 25% do fruto com podridão; 2 = de 25 – 50%; 3 = de 51 – 75%; 4 = mais de 76% do fruto com podridão.

A coloração foi determinada, nos dois lados de cada fruto, usando-se colorímetro Minolta, modelo CR-300, e os resultados expressos em luminosidade (L), ângulo de cor ($^{\circ}h$) e cromaticidade (C).

Para as forças necessárias para a ruptura da casca e penetração da polpa, os frutos foram avaliados com texturômetro eletrônico TAXT-Plus®, utilizando a ponteira modelo PS2 com 2 mm de diâmetro, a qual foi introduzida na polpa a uma profundidade de 10 mm. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Os valores de AT (% ácido cítrico) foram obtidos com uma amostra de 10 mL de suco, obtido pelo processamento dos frutos previamente cortados, utilizando a porção média horizontal, para homogeneização das amostras, e colocados em uma centrífuga de sucos. Essa amostra foi diluída em 90 mL de água destilada e titulada com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1. Para a titulação, utilizou-se titulador automático TitroLine Easy® (Schott Instruments, Mainz, Rheinland-Pfalz, Alemanha). Os teores de SS (%) foram determinados em um refratômetro digital modelo PR201α (Atago®, Tóquio, Japão), utilizando uma alíquota do suco obtido pelo processamento dos frutos.

Compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante total (AAT)

O procedimento de obtenção do extrato para a quantificação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total foi adaptado de Larrauri et al. (1997). Os frutos sadios foram selecionados aleatoriamente onde foram obtidas amostras de cada repetição de cada tratamento, que foram previamente triturados com auxílio de um almofariz.

Para a extração hidroalcoólica foram utilizados 2,5 gramas de morango processados, deixado em uma solução de metanol 50% por uma hora. O material foi centrifugado a 15.000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi armazenado e o resíduo submetido a uma nova extração com acetona 70%. Após uma hora, o material foi novamente centrifugado, acrescentando o sobrenadante ao anterior, completando o volume para 100 mL com água destilada. Os extratos foram armazenados em recipiente âmbar e mantidos congelados a -12 °C até o momento das análises, para redução da interferência dos fatores externos na amostra.

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método colorimétrico Folin-Ciocalteau, que envolve a redução do reagente pelos compostos fenólicos da amostra, com a formação de um complexo azul, que aumenta

linearmente a absorbância no λ de 760 nanômetros (SWAIN; HILLIS, 1959). O ácido gálico foi utilizado como padrão dos compostos fenólicos. Foi utilizado 1 mL do extrato e adicionado 1 mL de Folin-Ciocalteau (preparado na proporção de 1:3), 2 mL de carbonato de cálcio a 20%. As leituras foram realizadas após trinta minutos em espectrofotômetro a 760 nanômetros e o conteúdo de compostos fenólicos totais dos frutos de morango expresso em equivalente de ácido gálico (EAG; mg EAG 100 g⁻¹ matéria fresca).

A atividade antioxidante total foi determinada utilizando o método baseado na capacidade do extrato de sequestrar os radicais 1,1-difenil-2-picrilhidrazila (método DPPH) (BRAND-WILLIANS et al., 1995, adaptado por MILARDOVIC et al., 2006) e ABTS (2,2-azinobis-3-etylbenzotiazolin-6-ácido sulfônico), (RUFINO et al., 2007).

No método DPPH, em ambiente escuro, utilizou-se 0,1 mL de cada extrato com 3,9 mL do radical DPPH. A mistura foi agitada em Vortex e deixada em repouso por 30 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, no λ de 515 nanômetros. A taxa de inibição do radical DPPH é expressa em μ Mol de equivalente Trolox.100g⁻¹ de massa fresca.

O método ABTS foi analisado conforme descrito por Rufino et al. (2007) com adaptações. Em ambiente escuro, foram pipetados 30 μ L de amostra e misturados com 3.000 μ L de radical ABTS. A leitura foi realizada após reação de 6 minutos em λ = 734 nanômetros, e os resultados expressos em μ Mol de equivalente Trolox.g⁻¹ de massa fresca da amostra.

Estatística

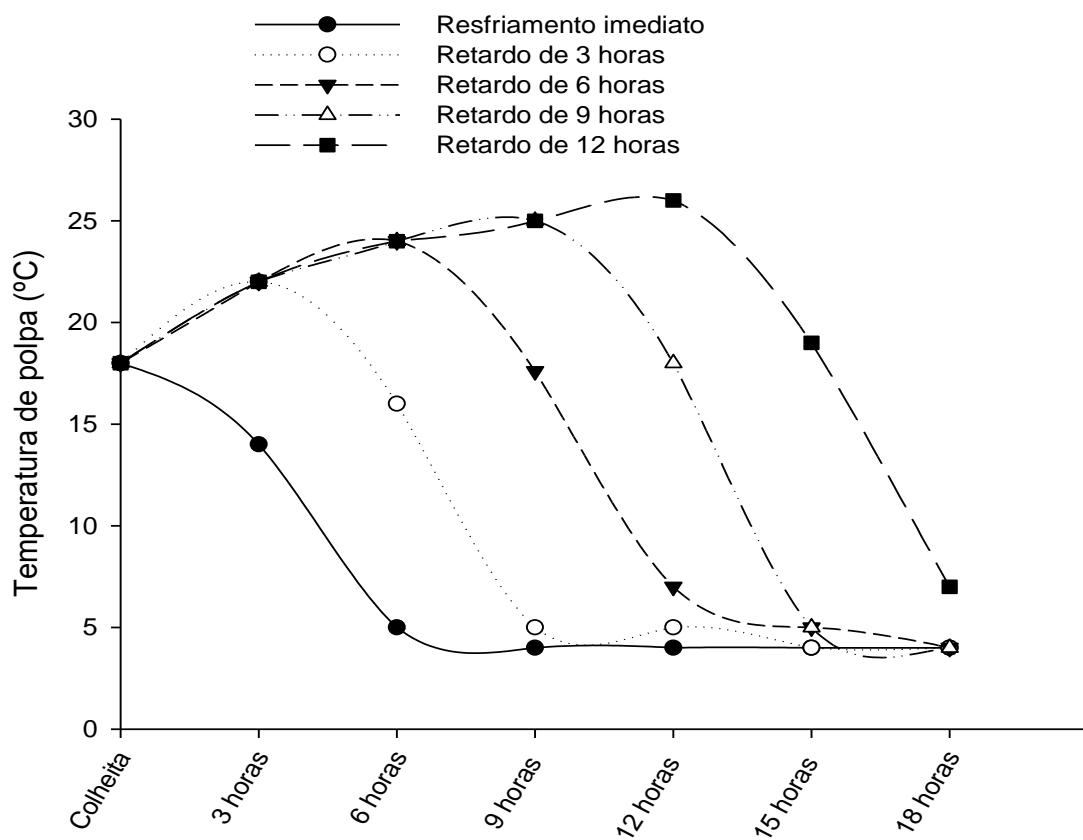
O delineamento estatístico utilizado é o inteiramente casualizado, constituído de 5 tratamentos, com 4 repetições, sendo 20 frutos por repetição. Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente pela análise de variância, utilizando o teste F. Os valores de F para os efeitos principais e interações foram considerados significativos ao nível de significância de 5 % ($p < 0,05$). Quando os valores de F foram significativos, procedeu-se à uma análise de regressão polinomial, testando-se os modelos linear e quadrático, ao nível de significância de 5 %.

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na colheita, os frutos maduros com aproximadamente 80% da superfície recoberto com cor vermelha, apresentaram h^o 38,6, sólidos solúveis 7,4 °Brix, acidez titulável de 0,27 % de ácido cítrico e força para ruptura de casca e polpa 0,84 N e 0,34 N respectivamente.

Na colheita, os morangos apresentavam temperatura de 18°C (Figura 1). Os frutos submetidos ao retardo de resfriamento de três horas apresentam um aumento de temperatura na polpa, chegando a 22°C. Com o atraso para o resfriamento, as polpas apresentaram temperaturas mais elevadas nos valores de 24, 25 e 26°C (6, 9 e 12 horas após a colheita mantidos em temperatura ambiente, respectivamente). Após seis horas no armazenamento refrigerado os frutos apresentaram temperaturas de polpa próximas (4 – 5°C). No momento da retirada dos frutos do armazenamento refrigerado (4°C) aos 5, 6, 7 e 8 dias, os mesmos apresentavam temperatura na polpa de 4°C, e após dois dias de exposição em temperatura ambiente (20°C), a temperatura dos frutos subiu para 16°C.

Figura 1 - Temperaturas de polpa dos morangos ‘San Andreas’ em função do tempo de retardo de resfriamento dos frutos após a colheita (0 h) até a saída dos mesmos do armazenamento refrigerado.



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

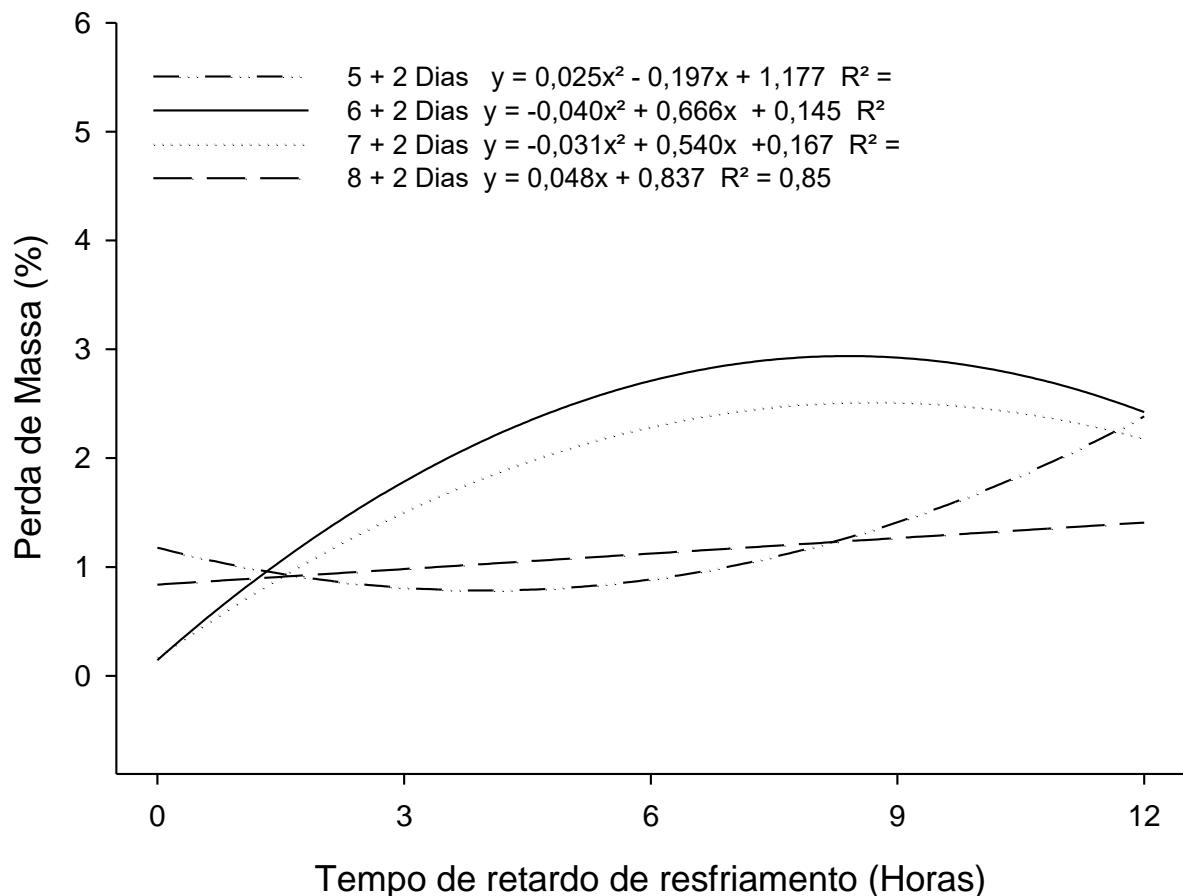
A Figura 2 apresenta a variação de perda de massa (%) durante o armazenamento refrigerado de morangos com diferentes tempos para refrigeração.

Aos cinco dias de armazenamento refrigerado seguido de dois dias em temperatura ambiente, a perda de massa fresca dos frutos apresentaram um comportamento quadrático, onde até aproximadamente 6 horas de retardo do resfriamento não foram observadas alterações significativas em relação ao controle, contudo, a partir desse ponto ocorreu um aumento de massa com os maiores valores sendo obtidos no tratamento de 12 horas de retardo de resfriamento. Já o comportamento aos 6 e 7 dias de armazenamento refrigerado, seguidos de dois dias em temperatura ambiente, pôde-se observar um incremento substancial na perda de massa com o retardo do resfriamento até 6 horas, havendo a partir deste ponto pouca variação ocorre até 12 horas de retardo do resfriamento dos frutos. Aos 8 dias de armazenamento refrigerado seguidos de dois dias em temperatura ambiente, a perda de massa fresca aumentou linearmente com o aumento do tempo de retardo do resfriamento, contudo este aumento foi pequeno.

O tratamento com resfriamento imediato após a colheita apresentou em todos os tempos de armazenamento, menores valores de perda de massa fresca (1,12%; 0,80%; 0,67% e 0,79%, respectivamente aos 5, 6, 7 e 8 dias de armazenamento), quando comparados com os frutos resfriados 12 horas após a colheita (2,50%; 1,28%; 1,36% e 1,33%, respectivamente aos 5, 6, 7 e 8 dias de armazenamento). Isso pode ser explicado devido a maior exposição dos frutos a temperatura ambiente antes do armazenamento, e a menor umidade relativa do ar do que as apresentadas no armazenamento em câmaras frias. Como as condições de refrigeração e armazenamento eram idênticas para os tratamentos com refrigeração imediata e com atrasos de 3 a 12 horas após a realização do resfriamento dos frutos, essas diferenças de perda de massa fresca devem ter sido causadas no intervalo entre a colheita e o resfriamento. De acordo com Grierson e Wardowski (1978), a perda de água durante o armazenamento de frutas e hortaliças depende da diferença de pressão de vapor entre o produto e o ar circundante e segue um comportamento linear. A diferença de pressão de vapor pode ser reduzida diminuindo a diferença de temperatura entre o produto e o ar, incrementando a umidade relativa do ar ou colocando barreiras, como PVC, para evitar a perda de água.

Segundo Bovi et al. (2016), os frutos frescos permanecem metabolicamente ativos mesmo após a colheita e continuam a perder água. A perda de água máxima permitível para morangos antes de prejudicar a comercialização é de aproximadamente 6% (ROBINSON et al., 1975). Nunes et al. (1995b), observaram perdas de massa fresca de até 14,69% em morangos 'Sweet Charlie' submetidos a um atraso de 6 horas para resfriamento a 30°C. Já Kelly et al (2018), armazenando morangos por 7 dias, após um atraso de 2 e 4 horas a 30°C para o início de resfriamento, observaram perda de massa fresca de 5%. No presente trabalho, as maiores perdas de massa fresca deveriam ocorrer sempre no retardo de 12 horas, devido a maior exposição a temperatura ambiente, porém, foram exibidas pelo tratamento com 9 horas de retardo de resfriamento na segunda e terceira saídas (6 + 2 dias e 7 + 2 dias), chegando no máximo a 5,66%. O objetivo do experimento era ser fiel as condições de embalagem que são destinadas ao comércio, esse resultado pode ser explicado por uma falha no momento do envolvimento da embalagem com o policloreto de vinila, que ao ficar mal colocado pode aumentar a perda de massa dos frutos.

Figura 2 - Perda de massa fresca (%) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $4\pm2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.



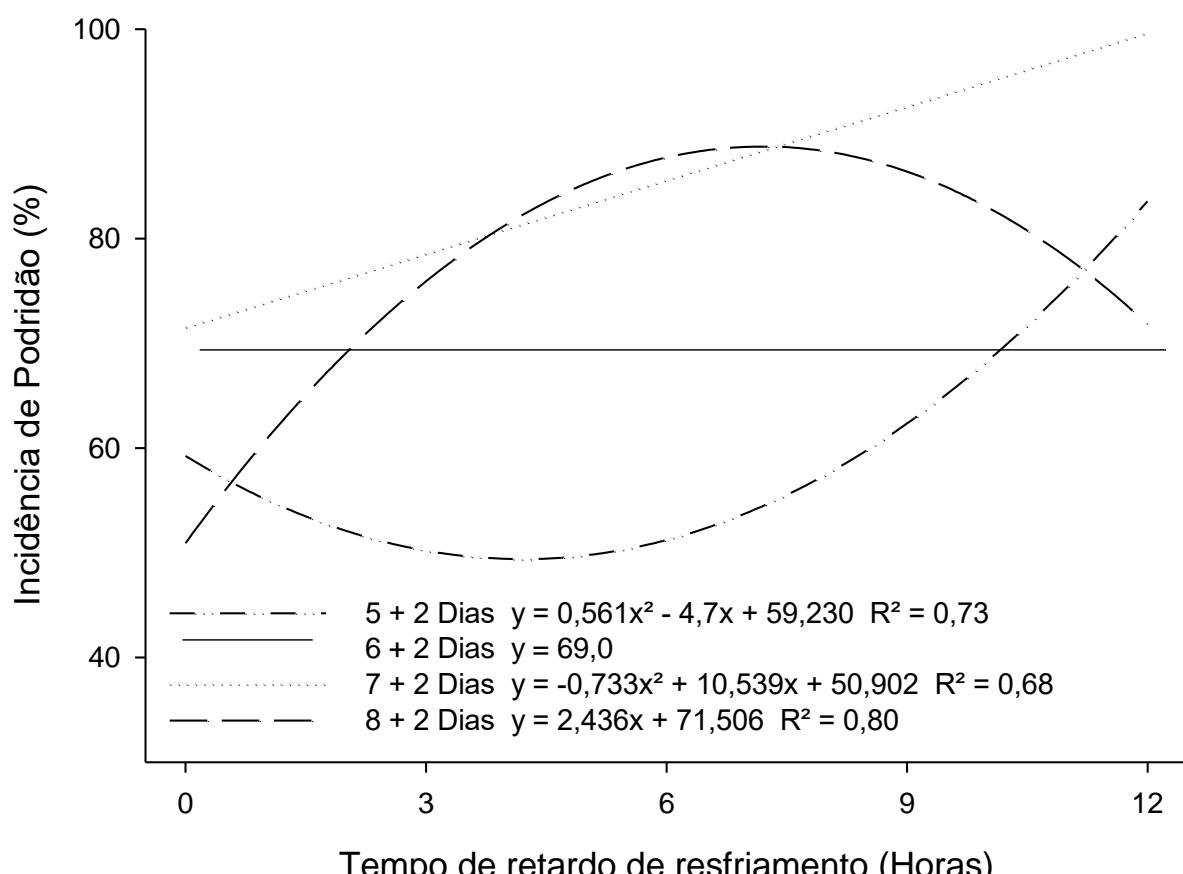
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Aos 5 dias de armazenamento refrigerado seguidos por mais dois dias em condições ambiente, o retardo do resfriamento dos frutos até 6 horas não apresentou substancial alteração na incidência de podridões em relação ao resfriamento imediato. Contudo, após 6 horas de retardo do resfriamento houve grande incremento na incidência de podridões, atingindo os maiores valores no tratamento 12 h de retardo. Não houve efeito do retardo do resfriamento dos frutos sobre a variável incidência de podridões nos frutos armazenados por 6 dias seguido de dois dias em temperatura ambiente. Aos 7 dias mais dois dias em condições ambiente houve um grande incremento na incidência de podridões até 6 horas de retardo na realização do resfriamento dos frutos, mantendo pouca variação entre 6 e

9 horas de retardo, com decréscimo na incidência de podridões entre as 9 e 12 horas de retardo de resfriamento (97,07% e 66,38%, respectivamente). Porém, a incidência de podridões com 12 horas de retardo ainda foi superior quando comparado com o resfriamento imediato após a colheita. Aos 8 dias de armazenamento seguidos de dois dias em temperatura ambiente, houve um aumento linear na incidência de podridões com o retardo do resfriamento dos frutos (Figura 3).

Kalbasiashktari (2004), demonstrou que o pré-resfriamento diminui o amadurecimento, a perda de massa e pode diminuir a incidência de podridões, como observado no presente estudo, desta forma auxiliando no prolongamento da vida pós-colheita dos frutos.

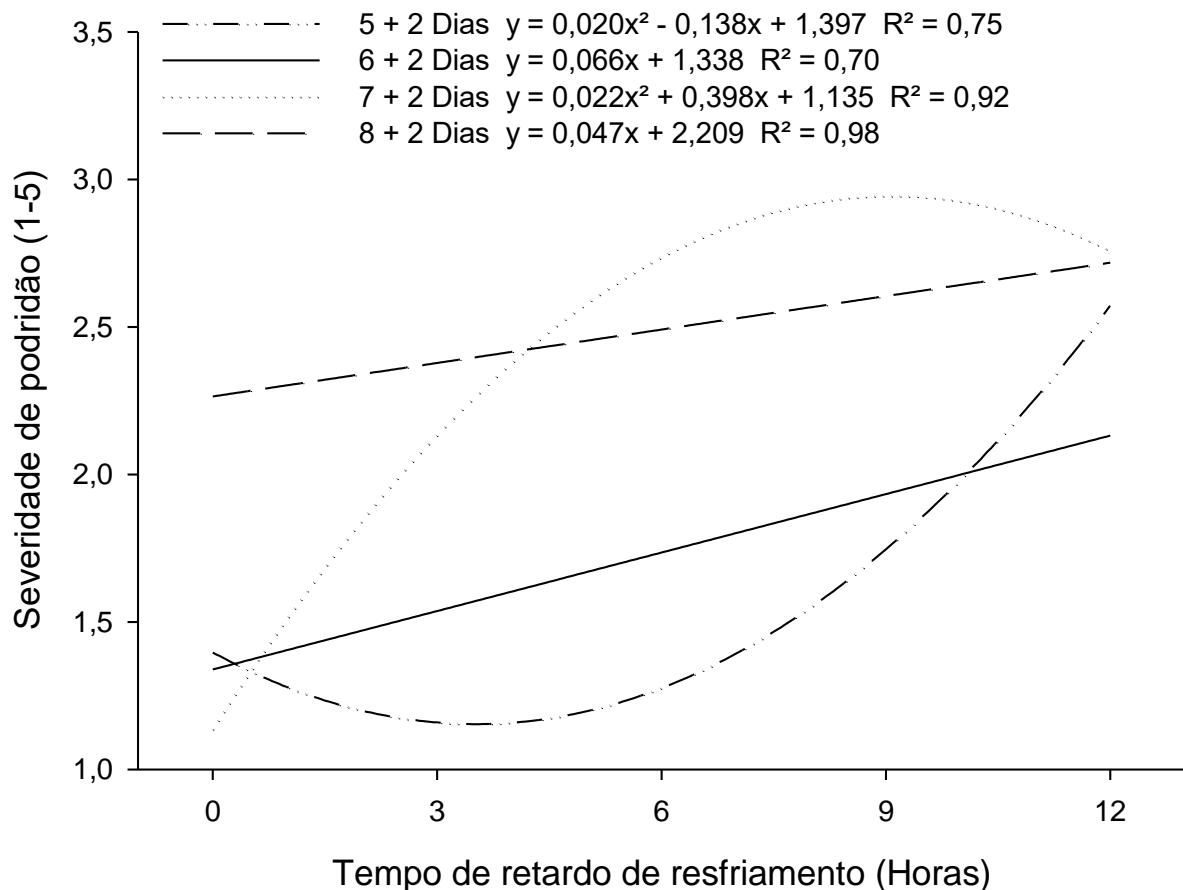
Figura 3 - Incidência de podridão (%) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $4\pm2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Aos 5 dias de armazenamento refrigerado seguido de dois dias em temperatura ambiente, os frutos imediatamente refrigerados apresentam nota 1,20, enquanto os com atraso de 9 h para resfriamento tiveram um incremento alcançando a nota de 1,30, atingindo a maior severidade com 12 h de retardo (2,79). Esses resultados indicam uma curva crescente, na qual o aumento do atraso para resfriamento, provocou um aumento na severidade da podridão dos frutos. Aos 6 e aos 8 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente, a severidade de podridão apresentou um aumento linear, onde os frutos resfriados imediatamente apresentaram 1,26 e 2,24, chegando a 2,10 e 2,68 com atraso de 12 h no resfriamento, respectivamente. No entanto, os resultados obtidos aos 7 dias mais dois dias em condições ambiente apresentaram comportamento similar da variável de incidência de podridão, onde houve um incremento na severidade de podridões do resfriamento imediato (1,28) até 6 horas (2,86), chegando a maior severidade a 9 h (3,11), com um posterior decréscimo até 12 h (2,65). Os frutos armazenados com um atraso de 12 horas apresentaram maiores notas de severidade de podridão em todos momentos de avaliação, quando comparados ao resfriamento imediato após a colheita (Figura 4).

Figura 4 - Severidade de podridão (1-5) em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $4\pm2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.



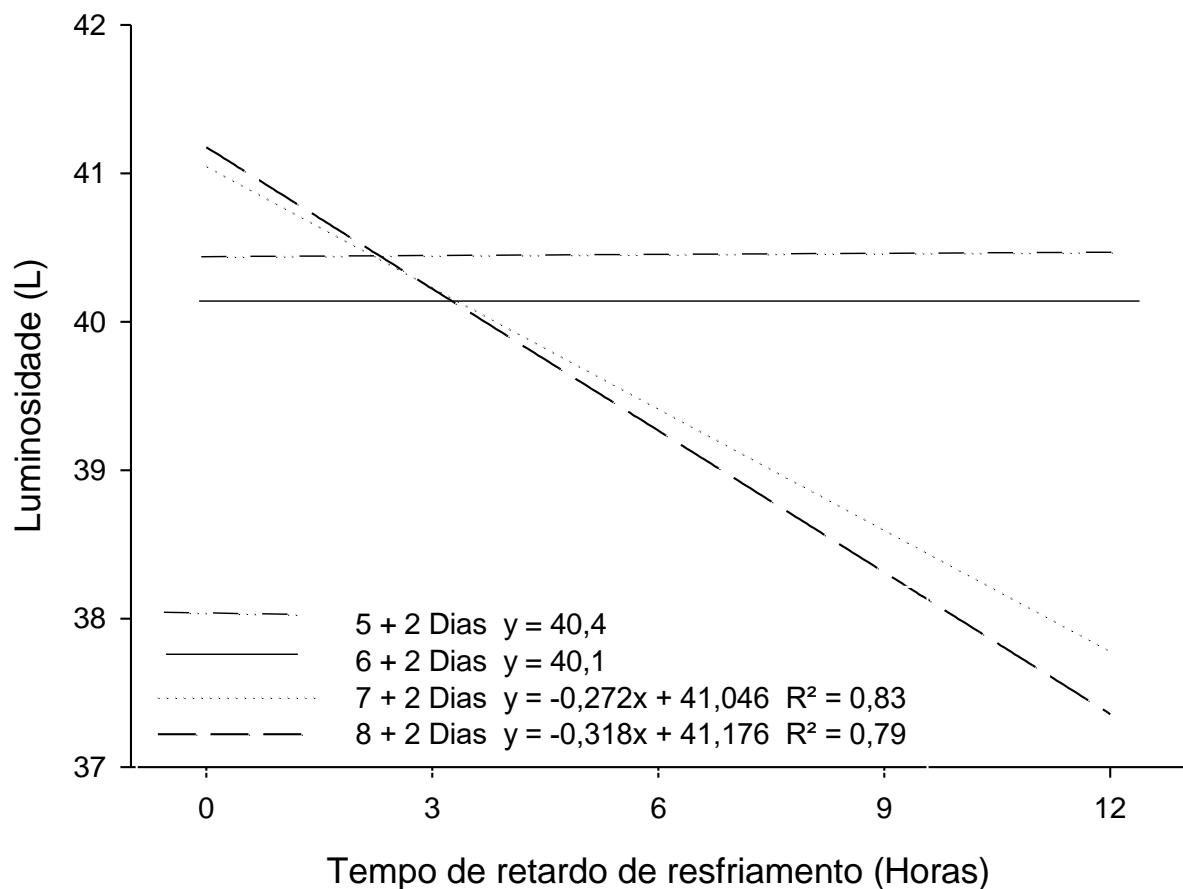
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os atributos de cor, como luminosidade (L), cromaticidade (C) e tonalidade (0h), não apresentaram efeito em função do retardo do resfriamento até seis dias de armazenamento seguido por 2 dias em condições ambiente (Figuras 5, 6 e 7).

A luminosidade apresentou efeito do tempo de retardo de resfriamento aos 7 e 8 dias de armazenamento refrigerado. Ambas saídas apresentaram o mesmo comportamento, onde os frutos exibiram um decréscimo nos valores de brilho, que variaram de 41,7 a 37,4 do tratamento com resfriamento imediato ao retardo de 12 horas, respectivamente (Figura 5). Segundo Nunes et al. (2006), o valor de L^* dos morangos decresce durante o armazenamento, o que significa que o fruto desenvolve uma cor mais escura. Segundo Nunes et al. (1995a), trabalhando com retardo de 6 horas a 30°C, observou que frutos com retardo de resfriamento apresentaram coloração mais escura (menor valor do ângulo hue) e a cor menos brilhante (menor luminosidade) do que a fruta prontamente pré-resfriada. Estas mudanças na coloração resultaram em frutas menos atrativas e podem ser uma

consequência da maior perda de umidade e excesso de maturação do fruto do tratamento retardado, que afeta a aceitação do consumidor (NUNES et al., 1995b).

Figura 5 - Luminosidade (L) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $4\pm2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.



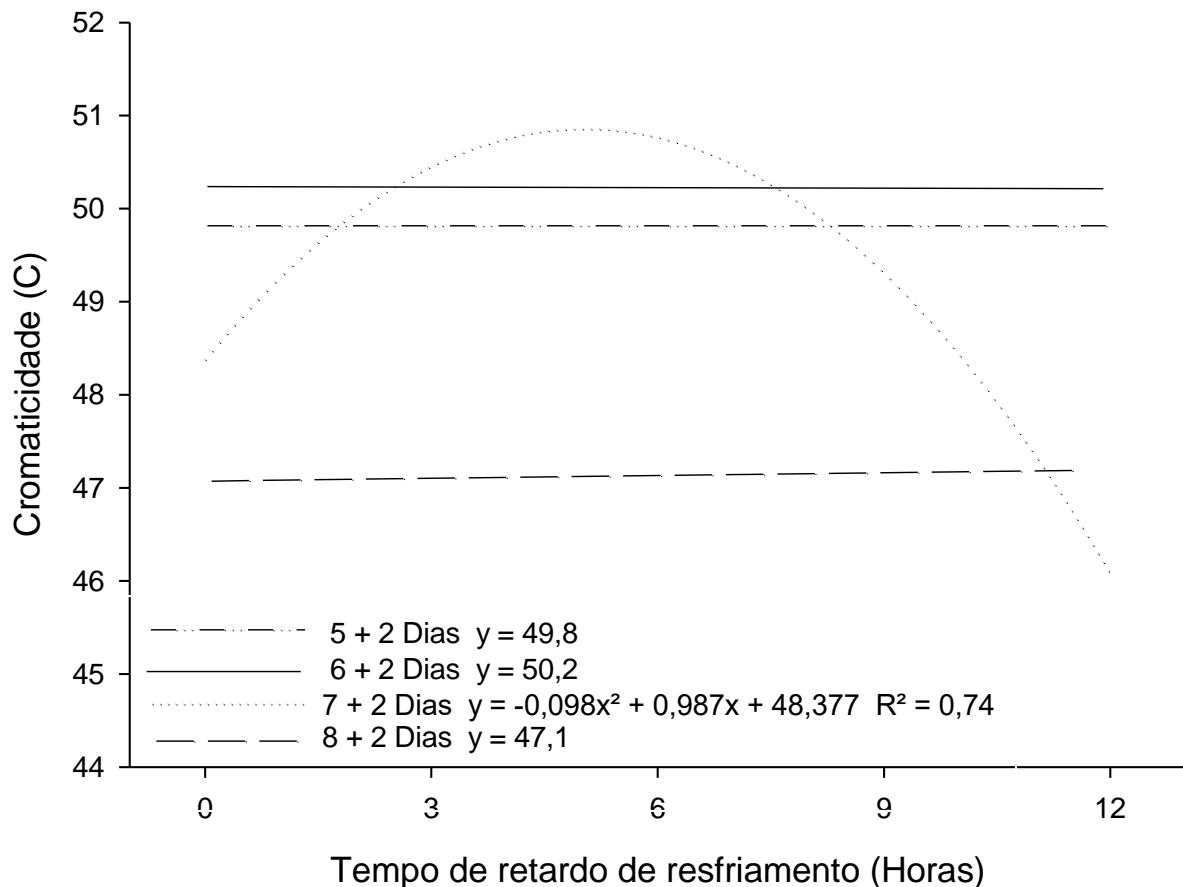
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o valor apresentado na luminosidade é um indicador útil de escurecimento durante o armazenamento, seja de reações de escurecimento oxidativo ou aumento das concentrações de pigmento. A cromaticidade é uma medida de intensidade ou pureza do matiz, ou seja, da cor vermelha do fruto e está altamente correlacionada com a concentração de antocianina em morangos (NIKKHAAH et al., 2007).

A cromaticidade apresentou efeito do retardo do resfriamento aos 7 dias de armazenamento refrigerado seguido de dois dias em temperatura ambiente. Os

frutos imediatamente resfriados após a colheita apresentaram valores de 48,2, porém após 3, 6, 9 e 12 horas de retardo de resfriamento apresentou 51,3; 49,2; 50,6 e 45,7 respectivamente, resultando em uma curva crescente até aproximadamente 6 horas de retardo do resfriamento com posterior decréscimo dos valores, atingindo, no tratamento com 12 horas de retardo do resfriamento, valores bem inferiores ao controle (Figura 6).

Figura 6 - Cromaticidade (C) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $4\pm2^{\circ}\text{C}$ e 92±2% de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.



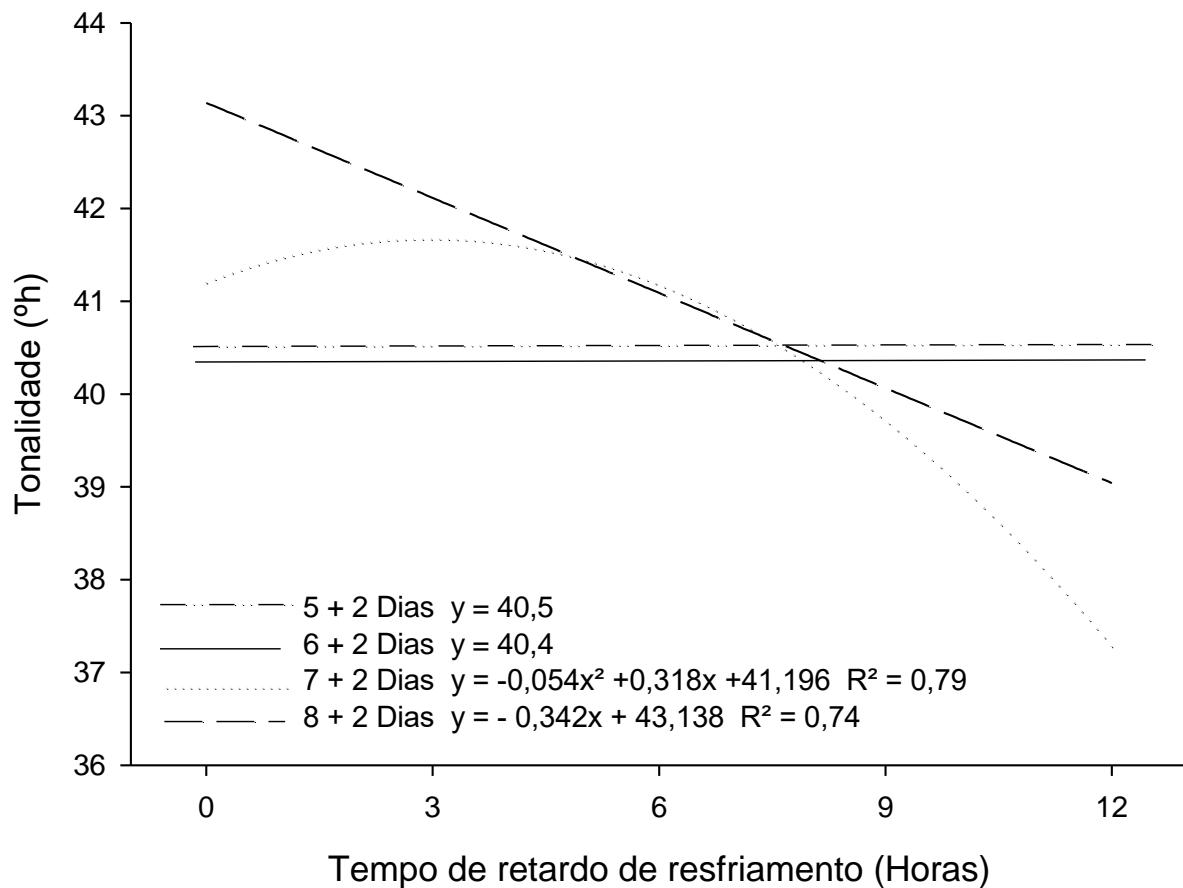
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Na terceira saída de câmara, aos 7 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente, os frutos apresentaram uma queda na tonalidade dos frutos de 41,4 a 36,7. Sendo assim, o comportamento da interação dessa variável com o tempo de retardo de resfriamento tende a decrescer. Já aos 8 dias, a diminuição na

tonalidade dos frutos é proporcional ao tempo de atraso, decaindo aos poucos de 43,2 a 38,2. Kelly et al. (2018) observaram valores de ângulo *hue* de 28,6 para morangos 'Florida Radiance' submetidos a um retardo de 2 horas para o início do resfriamento, e de 29,7 para o atraso de 4 horas. Os valores do presente trabalho são maiores que os descritos por Kelly et al. (2018), podendo ser explicado pelo uso de diferentes cultivares.

Segundo Brackmann et al. (2004), as temperaturas baixas retardam as alterações típicas do amadurecimento, bem como a síntese de etileno (hormônio do amadurecimento) e o desenvolvimento de microrganismos (fungos). Tian et al. (2000), observaram que a aplicação de etileno exógeno acelera a alteração da cor e a diminuição da firmeza de morangos 'Pajaro'. O comportamento da diminuição da tonalidade é causado devido a maturação dos frutos, onde a coloração tende a ser mais escura, diminuindo assim os valores do ângulo *hue*, que pode ser causada pela maior exposição em condição ambiente após a colheita.

Figura 7 - Tonalidade (h^o) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a 4 ± 2^oC e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.

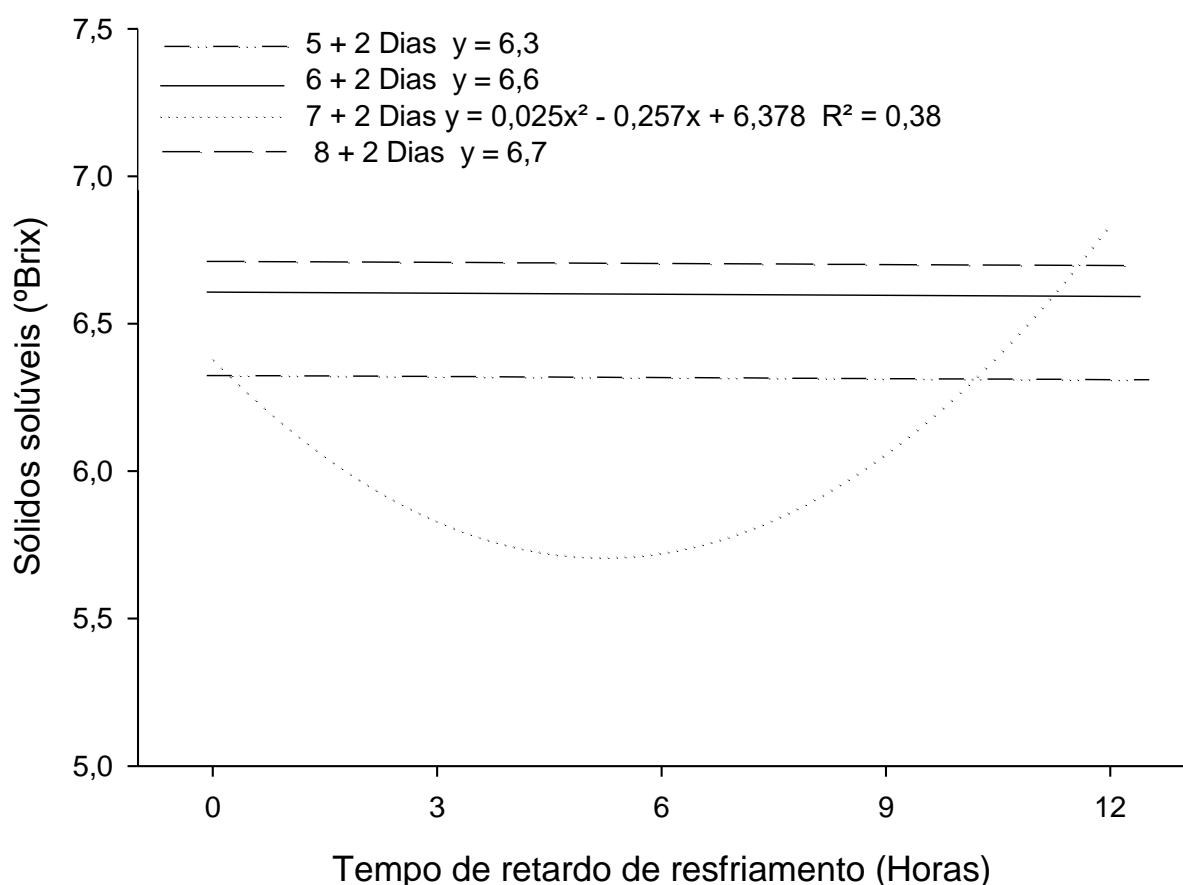


Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os sólidos solúveis apresentaram, aos 7 dias de armazenamento seguidos de dois em temperatura ambiente, diminuição com o atraso do resfriamento dos frutos até 6 horas, tendo um posterior aumento entre o retardo de 6 a 12 h, provavelmente devido a maturação do fruto. Os demais tempos de armazenamento não apresentaram diferenças entre os tempos de retardo para o resfriamento (Figura 8). Corroborando com os resultados apresentados até as 6 horas de retardo de resfriamento, Kelly et al (2018) observaram que os sólidos solúveis dos frutos submetidos ao atraso de 2 e 4 horas para serem refrigerados apresentaram uma redução nos teores de açúcar quando comparados aos frutos imediatamente resfriados após a colheita. Sarria (2003), avaliando o pré-resfriamento em figos, observou que durante o armazenamento a fruta continua o processo de amadurecimento e existe uma relação entre o conteúdo de sólidos solúveis e seu uso no processo metabólico, por isso exibe-se uma diminuição do conteúdo de açúcares no final do período de armazenamento.

A acidez titulável não apresentou efeito dos tratamentos, variando de 0,27% de ácido cítrico nos frutos imediatamente resfriados e 0,24% de ácido cítrico com um retardo de 12 horas (dados não apresentados). Brackmann et al. (2010) exibiram menores valores de acidez titulável em melões Cantaloupe 'Hy Mark' submetidos ao retardo de resfriamento, já em maçãs 'Honeycrisp' não foram observadas diferenças entre a acidez titulável e nos sólidos solúveis com o atraso de resfriamento (DELONG et al., 2006).

Figura 8 - Sólidos solúveis (⁰Brix) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a 4±2⁰C e 92±2% de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.



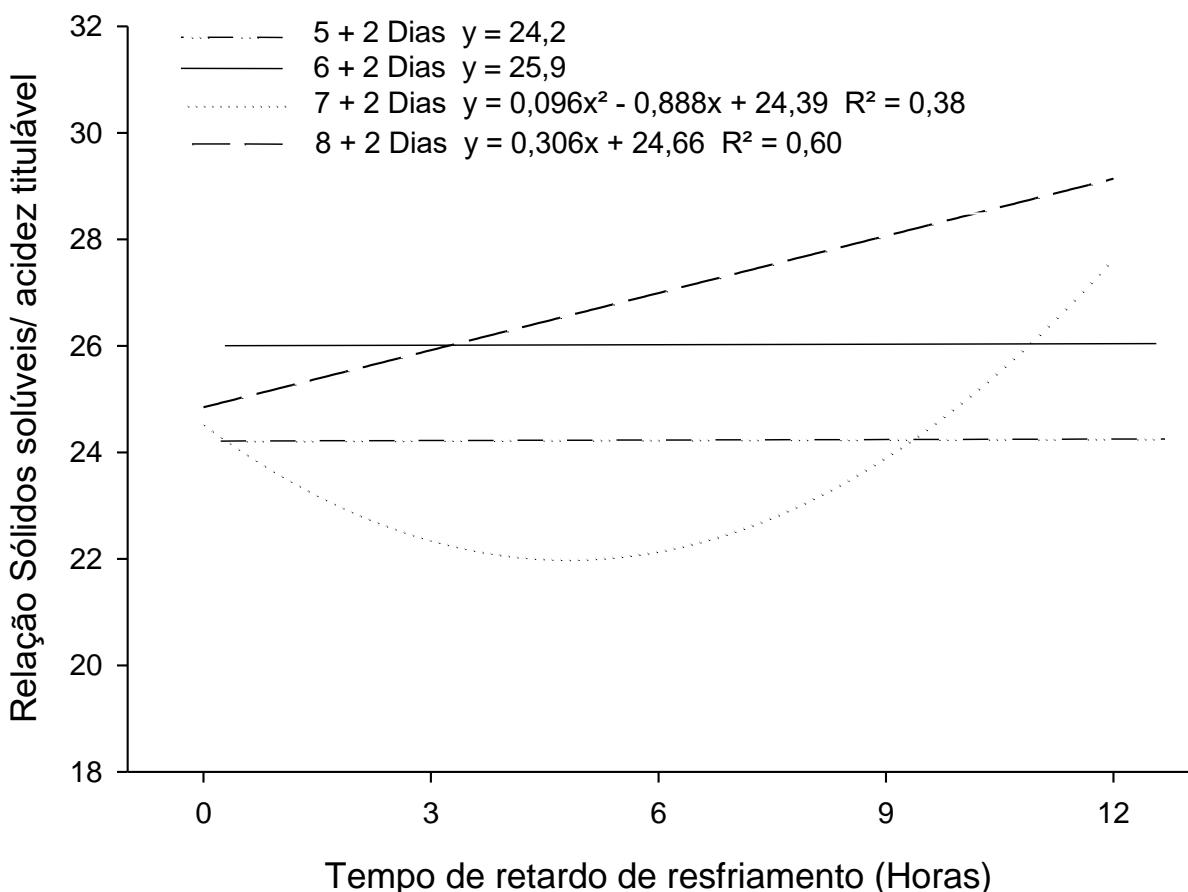
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

A relação entre sólidos solúveis/acidez titulável apresentou comportamento quadrático aos 7 dias seguidos de 2 dias em temperatura ambiente, onde houve primeiramente um decréscimo até 6h de retardo de resfriamento, seguido por um aumento na relação de SS/AT das 6 h a 12 h de atraso para resfriamento. Aos oito

dias, há uma interação linear, sendo o acréscimo da relação proporcional com o retardo do resfriamento.

O aumento da relação entre os SS/AT é devido ao aumento dos sólidos solúveis nos frutos com grau de maturação mais elevado, onde há maior produção de açúcares. Em consequência, com o amadurecimento da fruta, o seu teor de sólidos solúveis vai se elevando (SARRIA, 2003). Segundo Salunke e Desai (1984), o crescimento da relação SS/AT é evidenciado pelo aumento dos sólidos solúveis e a diminuição da acidez total titulável, explicando os resultados observados no presente estudo.

Figura 9 - Relação SS/AT em morangos ‘San Andreas’ submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $4\pm2^{\circ}\text{C}$ e $92\pm2\%$ de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.

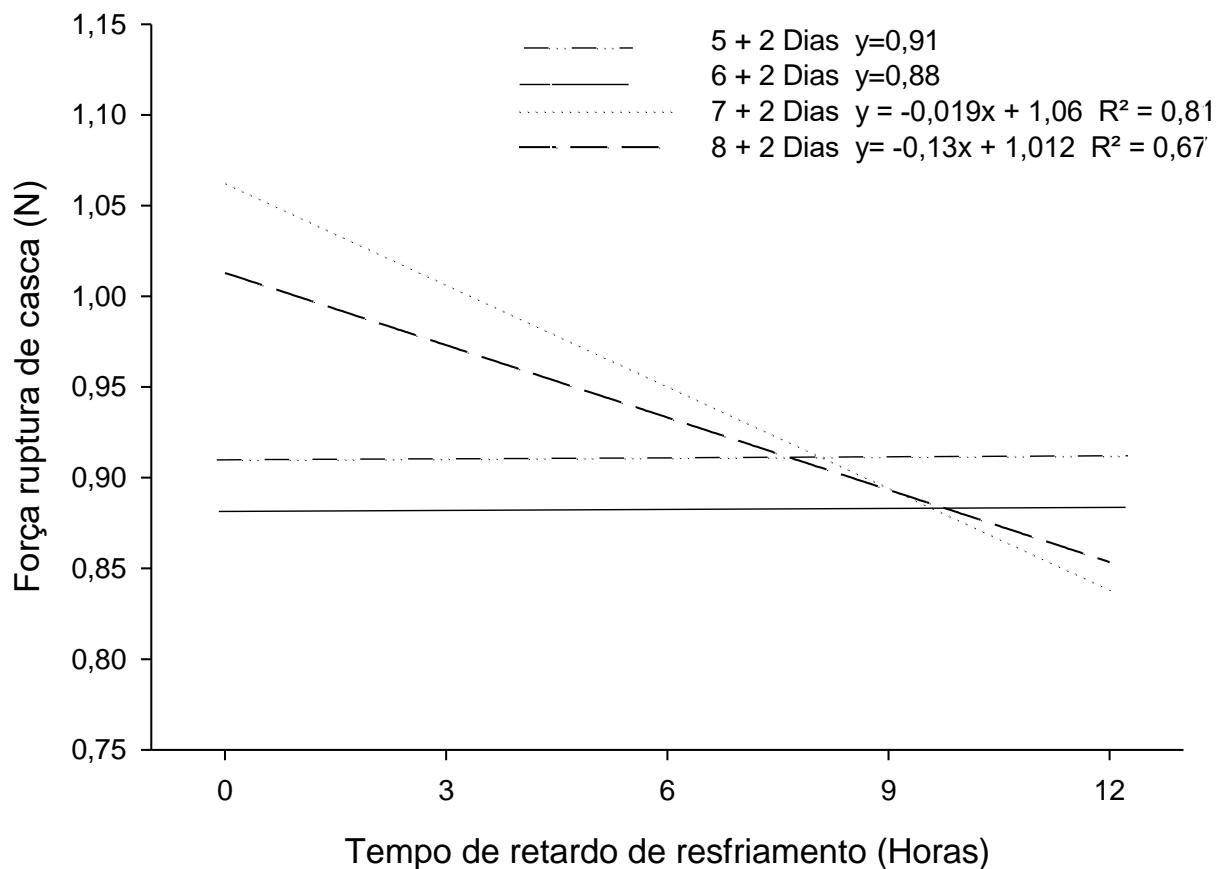


Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Aos 5 dias de armazenamento refrigerado seguido de dois dias em temperatura ambiente não houve efeito do retardo do resfriamento sobre as forças para ruptura de casca e para penetração da polpa, bem como aos 6 dias de armazenamento mais dois dias em condições ambiente para força para ruptura da casca (Figuras 10 e 11). Aos 7 e 8 dias de armazenamento mais dois dias em condições ambiente, o efeito do retardo do resfriamento foi semelhante, ocorrendo decréscimo nos valores de força para ruptura da casca com o retardo do resfriamento, onde os frutos resfriados imediatamente após a colheita exibiram 1,08 N e 0,99 N, respectivamente, e após 12 valores de 0,81 N e 0,80 N, respectivamente.

Nunes et al. (1995a) ao estudar diferentes cultivares de morango submetidos a um retardo para resfriamento de 6 horas em 30°C e armazenados por 7 dias, observaram que a firmeza dos morangos resfriados imediatamente após a colheita foi maior (5,53 N) do que os frutos que sofreram o atraso (4,32 N). Porém os resultados obtidos pelo mesmo foram mais elevados que os do presente trabalho, onde os frutos resfriados imediatamente após a colheita exibiram 1,08 N para força de ruptura de casca e 0,44 de polpa, essa diferença pode ser explicada pela diferença de metodologia entre os trabalhos e pontos de colheita.

Figura 10- Força de ruptura de casca (N) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a 4±2°C e 92±2% de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.

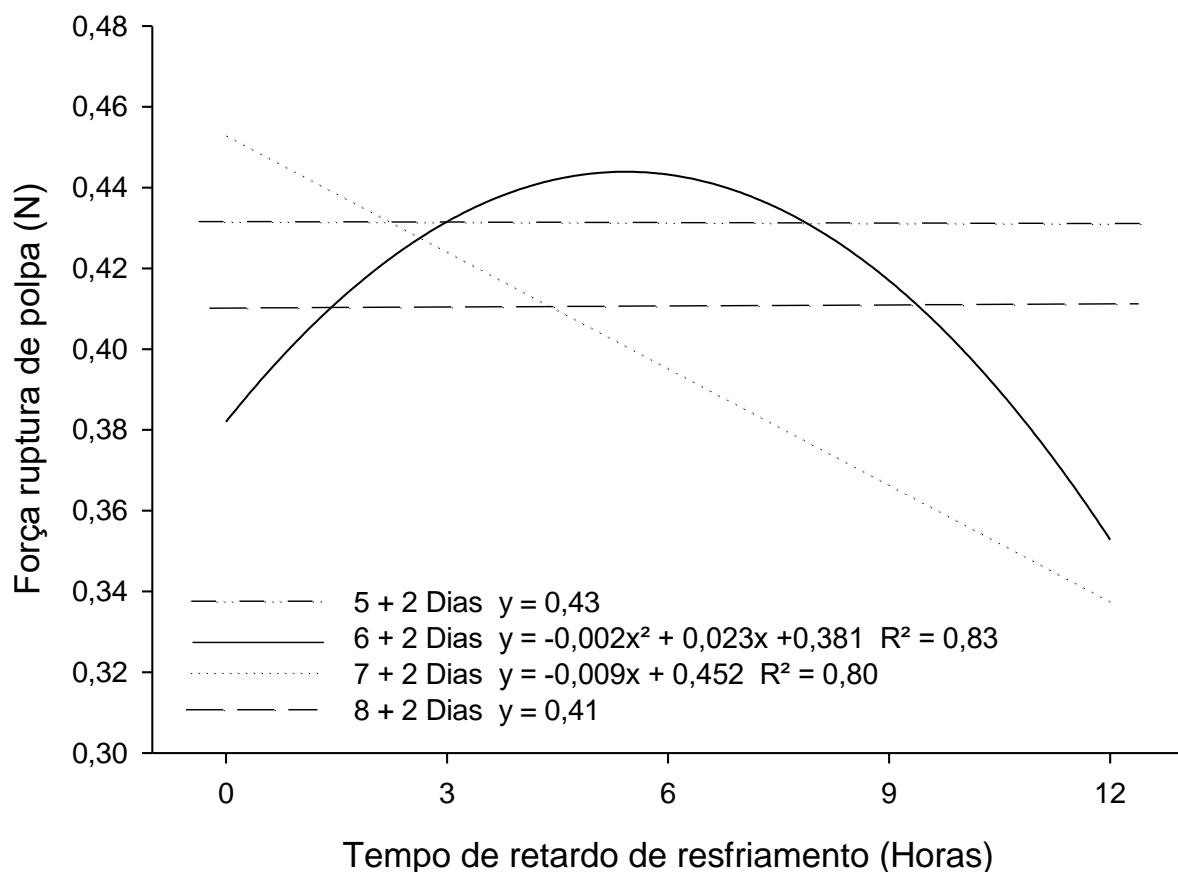


Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Aos 6 dias de armazenamento seguidos por mais 2 dias em condições ambiente, a força para penetração da polpa aumentou até próximo de 6 horas de retardo do resfriamento com posterior queda, sendo os valores dos frutos resfriados imediatamente 0,39 N, ponto máximo no retardo de 6 horas de 0,46 N e o valor mais baixo a 12 horas de retardo do resfriamento com 0,35 N. Aos 7 dias de armazenamento seguidos por mais 2 dias em condições ambiente, os valores de força para penetração da polpa diminuíram linearmente com retardo do resfriamento, com valor mais alto 0,43 N, referente ao resfriamento imediato, e o mais baixo de 0,31 N do retardo de 12 horas (Figura 12). Brackmann et al. (2010), relataram que melões Cantaloupe 'Hy Mark' submetidos a retardamento do resfriamento em 24 horas, apresentaram uma perda significativa da firmeza da polpa, após 20 dias de armazenamento a 3 °C e mais dois dias a 20 °C. Nunes et al. (2003), mostraram que após o armazenamento em supermercado, os morangos expostos a cadeia de produção com retardo de resfriamento desenvolveram cor vermelha escura e apresentavam menor consistência e enrugados, além de serem considerados

impróprios para o consumo. Ambos autores apresentam resultados que concordam com os dados obtidos no presente trabalho.

Figura 11 - Força para penetração da polpa (N) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 5, 6, 7 e 8 dias a $4\pm2^{\circ}\text{C}$ e 92±2% de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.



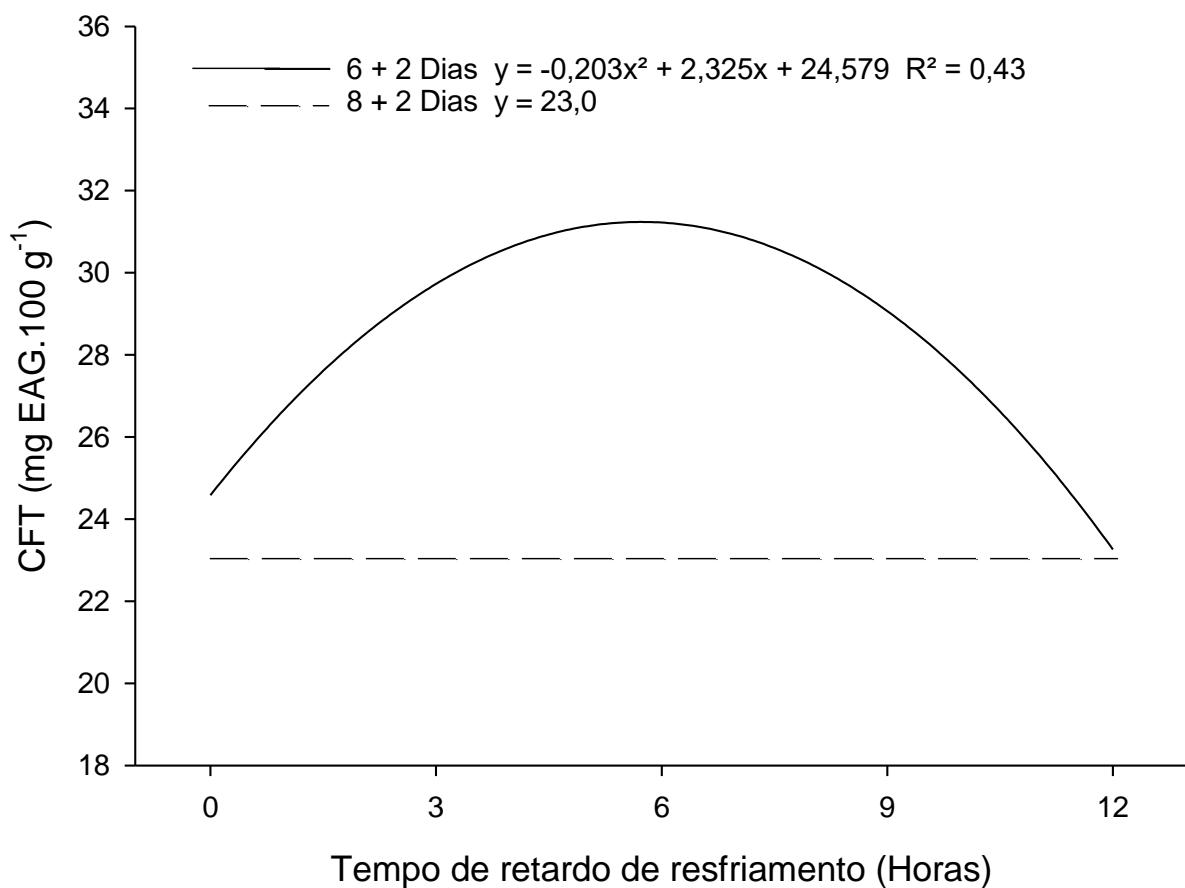
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os frutos analisados aos 6 dias com resfriamento imediato (22,8 mg EAG.100 g⁻¹) apresentam um aumento dos teores de compostos fenólicos até 6 horas de retardo do resfriamento (35,1 mg EAG.100 g⁻¹), seguido de um decréscimo no atraso de 12 horas (23,3 mg EAG.100 g⁻¹) (Figura 12). Kelly et al. (2018) observaram que quando comparado com frutos imediatamente refrigerados, o atraso de 2 horas para resfriamento apresenta um aumento no teor de compostos fenólicos, porém, após 4 horas em temperatura ambiente, há uma diminuição nesse teor, exibindo o mesmo comportamento que os dados apresentados neste trabalho. Martins (2015) avaliando

morangos submetidos a retardos de resfriamento de 2, 4, 6 e 8 horas após a colheita observou teores significantemente menores de compostos fenólicos nos frutos submetidos a 8 h de atraso quando comparados com os demais tempos de retardo.

Na avaliação realizada aos 8 dias de armazenamento seguido por mais 2 dias em condições ambiente não houve efeito do retardo do resfriamento dos frutos sobre o conteúdo de compostos fenólicos totais.

Figura 12 - Valores de compostos fenólicos (expressa em mg EAG.100 g⁻¹) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 6 e 8 dias a 4±2°C e 92±2% de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.

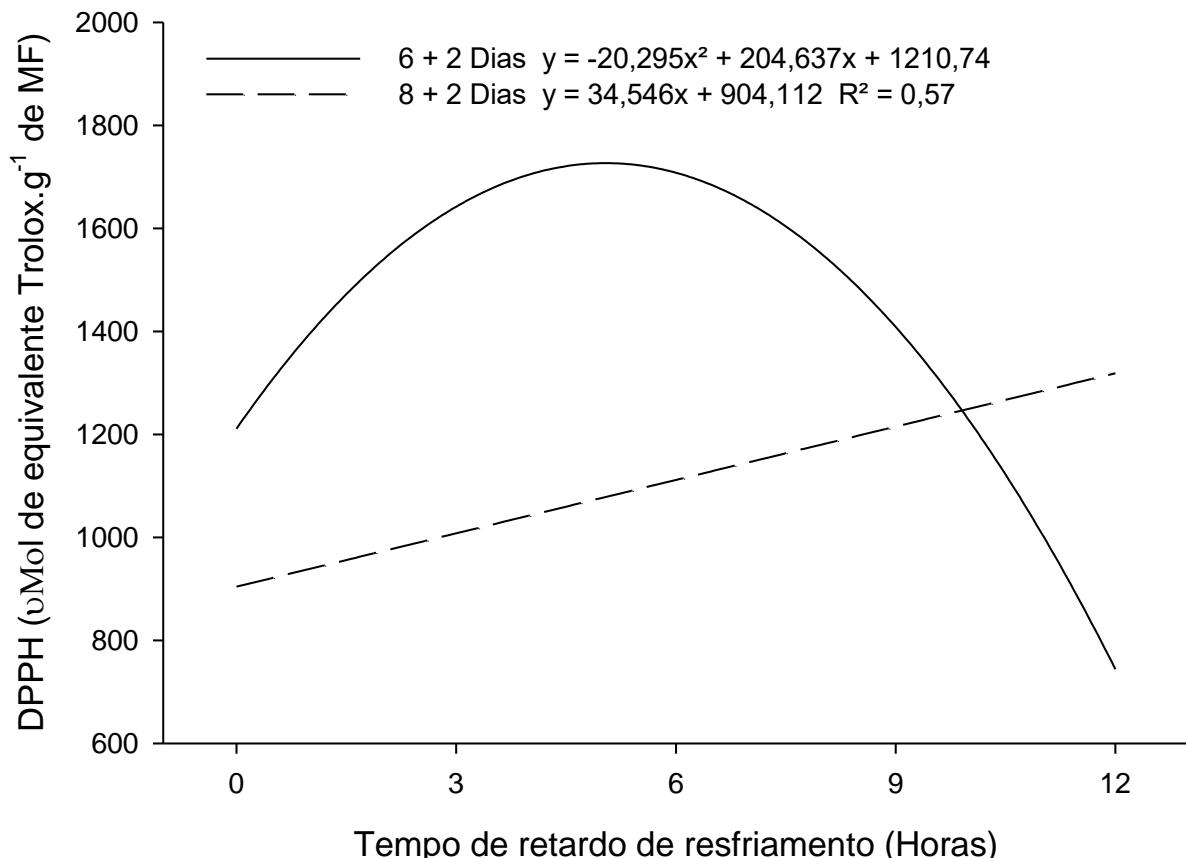


Fonte: produção do próprio autor, 2018.

A atividade antioxidante total, por ambos os métodos, apresentou resultados similares. Aos 6 dias de armazenamento seguidos por mais 2 dias em condições ambiente, os frutos apresentaram um aumento até próximo de 6 horas de retardo do resfriamento, seguido do decréscimo da atividade antioxidante (Figuras 13 e 14). O

resfriamento imediato exibiu valores médios de atividade antioxidante, 1206,8 µg de equivalente Trolox.g⁻¹ de MF, atingindo um ponto máximo no tratamento com atraso de 6 horas para o início do resfriamento, com 1869,3 µg de equivalente Trolox.g⁻¹ de MF e decaindo para 801,5 µg de equivalente Trolox.g⁻¹ de MF com 12 horas de retardo, pelo método DPPH (Figura 13). Já pelo método ABTS, o resfriamento imediato apresentou valores baixos de atividade antioxidante, 638,9 µg de equivalente Trolox.g⁻¹ de MF, atingindo um ponto máximo quando submetido a um atraso de 3 h para início do resfriamento, 2875,0 µg de equivalente Trolox.g⁻¹ de MF, decaindo para 1511,1 µg de equivalente Trolox.g⁻¹ de MF com retardo de 12 horas aos 6 dias de armazenamento (Figura 14). Corroborando com os resultados do presente trabalho, Martins (2015) observou um aumento no conteúdo de atividade antioxidante total até às 6 horas de atraso, com decréscimo após 8 h.

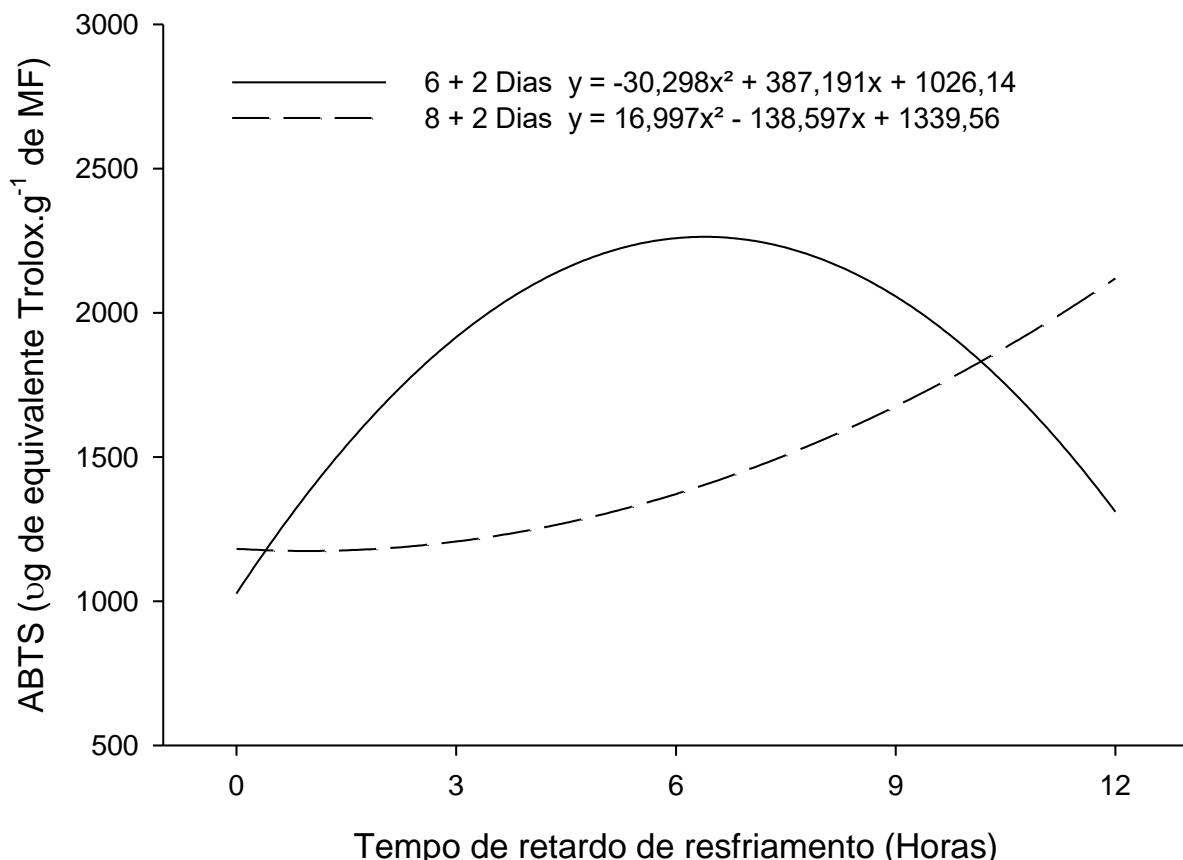
Figura 13 - Valores de atividade antioxidante total pelo método DPPH (expressa em µg de equivalente Trolox.g⁻¹ de massa fresca) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardo de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 6 e 8 dias a 4±2°C e 92±2% de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente..



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Segundo Basu et al. (2013), as propriedades antioxidantes dos morangos têm sido atribuídas principalmente ao seu teor de polifenóis e vitaminas, principalmente pelos teores de antocianinas. A estabilidade de pigmentos de antocianinas é dependente de vários fatores, incluindo estrutura, concentração, pH, temperatura, intensidade de luz e presença de outros pigmentos, ácido ascórbico, açúcares e seus derivados (MAZZA; MANITIATI, 1993).

Figura 14 - Valores de atividade antioxidante total pelo método ABTS (expressa em µMol de equivalente Trolox.g⁻¹ de massa fresca) em morangos 'San Andreas' submetidos a diferentes tempos de retardamento de resfriamento e armazenados, após o resfriamento, durante 6 e 8 dias a 4±2°C e 92±2% de UR seguidos por mais dois dias em condições ambiente.



Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Aos 8 dias, o comportamento da atividade antioxidante em relação ao tempo de retardo de resfriamento foi contrário ao encontrado aos 6 dias, em ambos os métodos de quantificação. No método de ABTS, os valores foram aumentando gradativamente até o retardo de 12 horas, onde apresentavam valores de atividade antioxidante 2x maiores que as quantidades encontradas nos frutos com o resfriamento imediato. Já no método DPPH, há um aumento na quantidade de atividade antioxidante com o acréscimo do tempo de retardo, representada por uma integração linear. Martins (2015) observou um aumento na atividade antioxidante ao longo dos tempos de atraso, ao avaliar o retardo de resfriamento de 2, 4, 6 e 8 h.

4.5 CONCLUSÕES

Os frutos com resfriamento imediato apresentaram menores valores de incidência e severidade de podridões, demonstrando a importância da cadeia de frio

na qualidade dos morangos. Os morangos com o maior retardo de resfriamento apresentaram menores valores de forças para ruptura da casca e penetração da polpa, além de maior perda de massa fresca.

Os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante tendem a reduzir após 6 horas de retardo de resfriamento aos 6 dias de armazenamento.

O tempo de retardo de resfriamento de morangos 'San Andreas' que pode ser admitido sem afetar显著mente a qualidade dos frutos e a quantidade de compostos fenólicos e atividade antioxidante é de até 6 horas após a colheita.

5 ATMOSFERA MODIFICADA ATIVA NA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DE MORANGOS ‘SAN ANDREAS’

5.1 RESUMO

A utilização da atmosfera modificada ativa pode aumentar a vida útil de frutos, porém, dependendo das pressões parciais dos gases, pode alterar a qualidade devido à produção de compostos fermentativos. O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da atmosfera modificada (AM) ativa com altas pressões parciais de CO₂ e/ou baixas de O₂ sobre a qualidade de morangos ‘San Andreas’, bem como sobre compostos bioativos e metabolismo fermentativo. Os frutos foram colhidos em dois estádios de maturação (com 30% do fruto com cor vermelha e com 75% do fruto com cor vermelha) e armazenados sob refrigeração (0,5±0,2 °C com umidade relativa de 92±2%; experimento 1); e em condições ambiente (20±5°C e UR de 65±10%; experimento 2). Os tratamentos, em ambos os experimentos, constituíram em controle; AM (embalagem a vácuo); AM ativa com baixo O₂ (1 kPa), AM ativa com alto CO₂ (30 kPa) e AM ativa com baixo O₂ (1 kPa) associado a alto CO₂ (30 kPa). O teor de sólidos solúveis (SS) em frutos mantidos em condições ambiente e no armazenamento refrigerado não foi influenciado pelos tratamentos. A acidez titulável (AT) foi mais baixa nos frutos do tratamento controle em condição ambiente, aumentando assim a relação SS/AT. A atmosfera modificada retardou as alterações da coloração dos frutos. A perda de massa fresca foi maior no controle em ambos ambientes, demonstrando a eficiência da atmosfera modificada na manutenção da qualidade dos frutos. Os morangos armazenados em AM ativa com alta pressão parcial de CO₂ apresentaram melhores resultados nas variáveis de incidência e severidade de podridões, em ambos os estádios de maturação. As forças para ruptura de casca e penetração da polpa, a atividade antioxidante total e o conteúdo decompostos fenólicos totais foram maiores em frutos colhidos mais verdes, independente da condição de armazenamento. Morangos colhidos com porcentagem de cor vermelha mais baixa do que a comercial (30%) proporciona melhor qualidade de frutos.

Palavras chave: *Fragaria ananassa*, maturação, temperatura, alto CO₂, baixo O₂.

5.2 INTRODUÇÃO

Uma vez que o produto é colhido, as práticas de manuseio pós-colheita não melhoram a qualidade alcançada no campo, porém podem diminuir a taxa de deterioração e manter a qualidade dos produtos frescos. A aparência, o frescor e as qualidades sensoriais de um produto podem desempenhar um papel importante na decisão de compra do consumidor e influenciam sua percepção por outros sentidos (PENEAU et al., 2006). Práticas, como a redução da temperatura durante o armazenamento e a atmosfera controlada (AC) e modificada (AM) contribuem para a

manutenção da qualidade dos produtos frescos após armazenamento prolongado (SIDDIQUI, 2018).

O uso de temperaturas baixas é essencial para realizar armazenamento e transporte dos frutos para mercados distantes, especialmente no caso de frutos muito perecíveis como o do morango. Contudo, para o armazenamento prolongado do morango, só a redução da temperatura não é suficiente para manter a qualidade do fruto, sendo necessário associar outras técnicas que contribuam para um maior controle do metabolismo celular do fruto, visando prolongar a vida pós-colheita (MALGARIM et al., 2006).

De acordo com Bang et al. (2018), o tratamento com CO₂ pode aumentar a capacidade de armazenagem dos frutos através da ativação de genes relacionados ao estresse abiótico e desativação de genes relacionados a enzimas de degradação da parede celular. Atmosferas enriquecidas com CO₂ (15 kPa ou superior) apresentam resultados positivos em retardar o amaciamento, alterações relacionadas à senescência e reduzir a incidência de podridões durante o armazenamento a frio (VAZQUEZ-HERNANDEZ et al., 2018).

Nas condições edafoclimáticas brasileiras de produção não existem trabalhos reportando a atividade antioxidante e compostos fermentativos em função do estádio de desenvolvimento e da utilização de tecnologias de conservação pós-colheita em morangos ‘San Andreas’.

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da AM ativa com pressão parcial inicial alta de CO₂ e/ou baixa de O₂ sobre a manutenção da qualidade de morangos ‘San Andreas’ com diferentes estádios de maturação (30% e 75% de cor vermelha) armazenados sob refrigeração e em temperatura ambiente, assim como sobre os compostos fenólicos e a atividade antioxidante total e o metabolismo fermentativo.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

Os morangos da variedade ‘San Andreas’ foram colhidos em dois estádios de maturação (com 30% do fruto com cor vermelha e com 75% do fruto com cor vermelha), em área de produção comercial, sob sistema de produção convencional, no município de Lages – SC (27° 48' 58" S de latitude, 50° 19' 34" O de longitude e 884 m de altitude), na safra 2018, sendo realizada colheita no mês de junho (colheita de inverno).

Os frutos foram armazenados sob refrigeração ($0,5\pm0,2$ °C com umidade relativa de $92\pm2\%$; experimento 1); e em condições ambiente (20 ± 5 °C e UR de $65\pm10\%$; experimento 2).

Os tratamentos, em ambos os experimentos, constituíram em controle; AM (embalagem a vácuo); AM ativa com baixo O₂ (1 kPa), AM ativa com alto CO₂ (30 kPa) e AM ativa com baixo O₂ (1 kPa) associado a alto CO₂ (30 kPa). No primeiro experimento, os frutos foram mantidos por 7 dias em condições ambiente (20 ± 5 °C e UR de $65\pm10\%$) e então avaliados. No segundo experimento os frutos foram armazenados sob refrigeração ($0,5\pm0,2$ °C e UR de $92\pm2\%$) por 14 dias seguidos por mais 2 dias em condições ambientes (20 ± 5 °C e UR de $65\pm10\%$), para simulação de vida de prateleira, e então avaliados.

Os morangos foram acondicionados em bandejas de tereftalato de polietileno (PET) com capacidade de 200g a 500g recoberto com filme de policloreto de vinila (PVC). Com exceção do tratamento controle, os demais tratamentos foram colocados em filme de polietileno linear de baixa densidade (PEBD), com espessura de 40µm. Para a instalação da atmosfera modificada ativa com baixo O₂, primeiramente foi realizado o vácuo, retirando todo o ar do PEBD e posteriormente uma injeção de N₂ proveniente de cilindros de alta pressão por 1 minuto, repetindo esse processo por 5 vezes. Já para a instalação da AM com altas pressões parciais de CO₂, foi utilizado o vácuo, com posterior injeções de CO₂ proveniente de cilindros de alta pressão por 30 segundos. A AM com alto CO₂ e baixo O₂ passou por ambos processos descritos anteriormente.

A medição das pressões parciais dos gases, que variavam em razão da respiração dos frutos, foi realizada a cada 2 dias para os frutos mantidos em temperatura ambiente e a cada 3 dias para o armazenamento refrigerado, com o uso de equipamento automático para controle de gases (Shelle, Alemanha).

Os frutos foram avaliados quanto a atributos de qualidade [perda de massa, incidência e severidade de podridões, cor do fruto (representados por L, C, h°, sendo luminosidade, cromaticidade e tonalidade, respectivamente), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), relação SS/AT, textura, representada pelas forças para ruptura da epiderme e para a penetração da polpa], conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT), atividade antioxidante total (AAT) e produtos do metabolismo fermentativo (acetaldeído, etanol e acetato de etila).

Atributos de qualidade

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

Para variável de incidência de podridões, foram avaliados visualmente os frutos de cada tratamento e considerados doentes todos aqueles que apresentavam lesões características. Os resultados foram expressos em porcentagem.

A severidade da doença dos frutos foi avaliada segundo uma escala de notas, onde: 1= até 25% do fruto com podridão; 2 = de 25 – 50%; 3 = de 50 – 75%; 4 = mais de 75% do fruto com podridão.

A coloração foi determinada, nos dois lados de cada fruto, usando-se colorímetro Minolta, modelo CR-400, e os resultados expressos em luminosidade (L), ângulo de cor (h) e cromaticidade (C).

Para as forças necessárias para a ruptura da casca e penetração da polpa, foram avaliadas com texturômetro eletrônico TAXT-Plus®, utilizando a ponteira modelo PS2 com 2 mm de diâmetro, a qual foi introduzida na polpa a uma profundidade de 10 mm. Os resultados foram expressos em Newton (N).

Os valores de AT (% ácido cítrico) foram obtidos com uma amostra de 10 mL de suco, obtido pelo processamento dos frutos previamente cortados, utilizando a porção média horizontal, para homogeneização das amostras, e colocados em uma centrífuga de sucos. Essa amostra foi diluída em 90 mL de água destilada e titulada com solução de NaOH 0,1 N até pH 8,1. Para a titulação, utilizou-se titulador automático TitroLine Easy® (Schott Instruments, Mainz, Rheinland-Pfalz, Alemanha). Os teores de SS (%) foram determinados em um refratômetro digital modelo PR201α (Atago®, Tóquio, Japão), utilizando uma alíquota do suco obtido pelo processamento dos frutos.

Compostos fenólicos totais (CFT) e atividade antioxidante total (AAT)

Os frutos sadios foram selecionados aleatoriamente onde se obteve amostras de cada repetição de cada tratamento.

O procedimento de obtenção do extrato para a quantificação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante total foi adaptado de Larrauri et al. (1997).

Para a extração hidroalcoólica foram utilizados 2,5 gramas de morango processados com auxílio de almofariz, deixados em uma solução de metanol 50% por uma hora. O material foi centrifugado a 15.000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi armazenado e o resíduo submetido a uma nova extração com acetona 70%. Após uma hora, o material foi novamente centrifugado, acrescentando o sobrenadante ao anterior, completando o volume para 100 mL com água destilada. Os extratos foram armazenados em recipiente âmbar e mantidos congelados a -12 °C até o momento das análises para redução da interferência dos fatores externos na amostra.

A quantificação dos compostos fenólicos totais foi realizada pelo método colorimétrico Folin-Ciocalteau, que envolve a redução do reagente pelos compostos fenólicos da amostra, com a formação de um complexo azul, que aumenta linearmente a absorbância no λ de 760 nanômetros (SWAIN; HILLIS, 1959). O ácido gálico foi utilizado como padrão dos compostos fenólicos. Foi utilizado 1 mL do extrato e adicionado 1 mL de Folin-Ciocalteau (preparado na proporção de 1:3), 2 mL de carbonato de cálcio a 20%, 2 mL de água destilada e homogeneizado em agitador de tubos. As leituras foram realizadas após trinta minutos em espectrofotômetro a 760 nanômetros e o conteúdo de compostos fenólicos totais dos frutos de morango expresso em equivalente de ácido gálico (EAG; mg EAG 100 g⁻¹ de matéria fresca).

A atividade antioxidante total foi determinada utilizando o método baseado na capacidade do extrato de sequestrar os radicais 1,1-difenil-2-picrilhidrazila (método DPPH) (BRAND-WILLIANS et al., 1995, adaptado por MILARDOVIC et al., 2006) e ABTS (2,2-azinobis-3-etylbenzotiazolin-6-ácido sulfônico).

No método DPPH, em ambiente escuro, utilizou-se 0,1 mL de cada extrato com 3,9 mL do radical DPPH. A mistura foi agitada em Vortex e deixada em repouso por 30 minutos. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro, no λ de 515 nanômetros. A taxa de inibição do radical DPPH foi expressa em μ Mol de equivalente Trolox.100g⁻¹ de massa fresca.

O método ABTS foi analisado conforme descrito por Rufino et al. (2007) com adaptações. Em ambiente escuro, foram pipetados 30 μ L de amostra e misturados com 3.000 μ L de radical ABTS. A leitura foi realizada após reação de 6 minutos em

□=734 nanômetros, e os resultados expressos em μMol de equivalente Trolox.g-1 de massa fresca da amostra.

Compostos do metabolismo fermentativos

As quantidades de acetaldeído, etanol e acetato de etila ($\mu\text{ L}^{-1}$) foram quantificadas por cromatografia gasosa. Frutos sadios de cada tratamento foram escolhidos aleatoriamente, previamente cortados na porção horizontal mediana dos frutos e processados em uma centrífuga, para extração do suco. Foram separados 20 mL do suco e armazenados em um *vial* com *head space*, próprio para leituras em cromatógrafo gasoso. As amostras foram armazenadas em *freezer* a -12°C até o momento das análises.

Para realizar a leitura dos gases no cromatógrafo, as amostras foram previamente descongeladas e colocadas no banho-maria por 1 hora a 70°C. Ao serem retiradas do banho-maria, esperou-se 15 minutos, para que as gotículas de suco condensassem e sobrasse apenas o gás. Após este período, utilizando uma seringa plástica de 1,0 mL, foram coletadas quatro amostras da atmosfera do espaço livre destes recipientes, as quais foram injetadas em um cromatógrafo a gás (Clarus 580 da Perkin Elmer). As concentrações de acetaldeído, acetato de etila e etanol foram previamente marcadas para posterior demarcação das curvas e quantificação.

Estatística

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado fatorial, sendo 5 tratamentos e 2 estádios de maturação, com 4 repetições, sendo cada unidade experimental constituída de uma bandeja de aproximadamente 20 frutos. Os valores em % foram previamente transformados pela fórmula arco seno $[(x+0,5)/100]^{1/2}$. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p<0,05$), com auxílio do programa estatístico SAS (SAS Institute, Cary, NC, EUA).

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas análises iniciais para caracterizar o ponto de colheita dos morangos 'San Andreas', os frutos com 30% de cor vermelha apresentavam luminosidade de 36,4 e h^o de 38,6 no lado mais vermelho do fruto, sólidos solúveis 6,7° Brix, AT de 0,24%

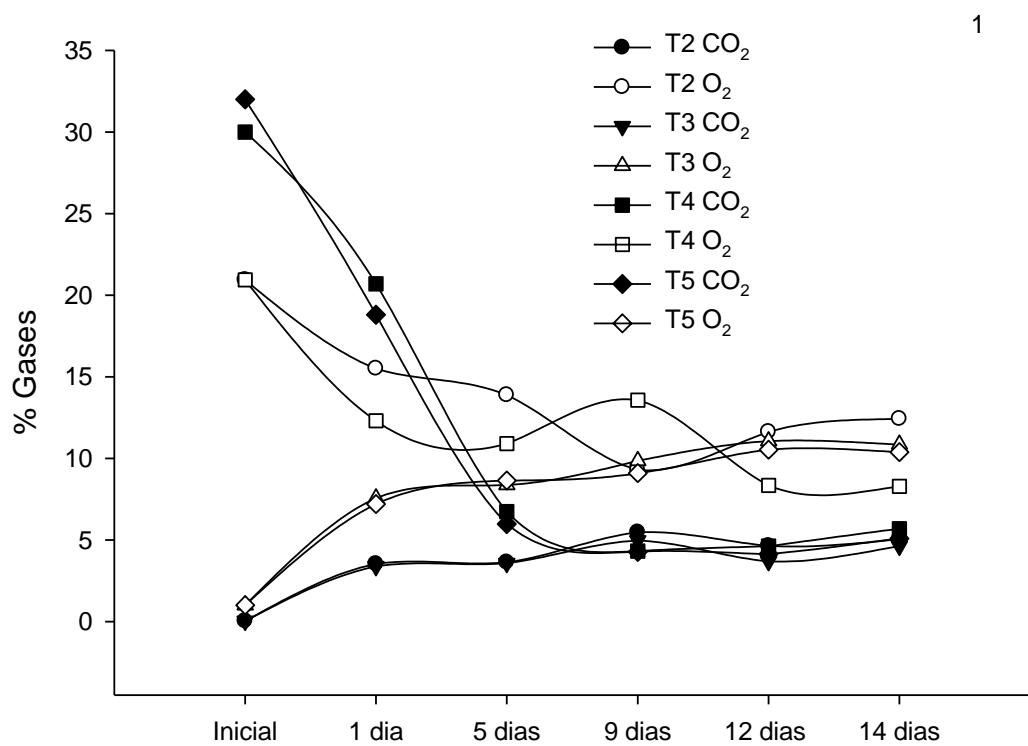
de ácido cítrico e forças para ruptura de casca e penetração da polpa de 2,3 N e 1,2 N, respectivamente. Já os frutos com 75% de cor vermelha apresentavam luminosidade de 34,8 e h^o de 36,2 no lado mais vermelho do fruto, sólidos solúveis 7,5º Brix, AT de 0,23% de ácido cítrico e forças para ruptura de casca e penetração da polpa de 1,7 N e 0,9 N, respectivamente.

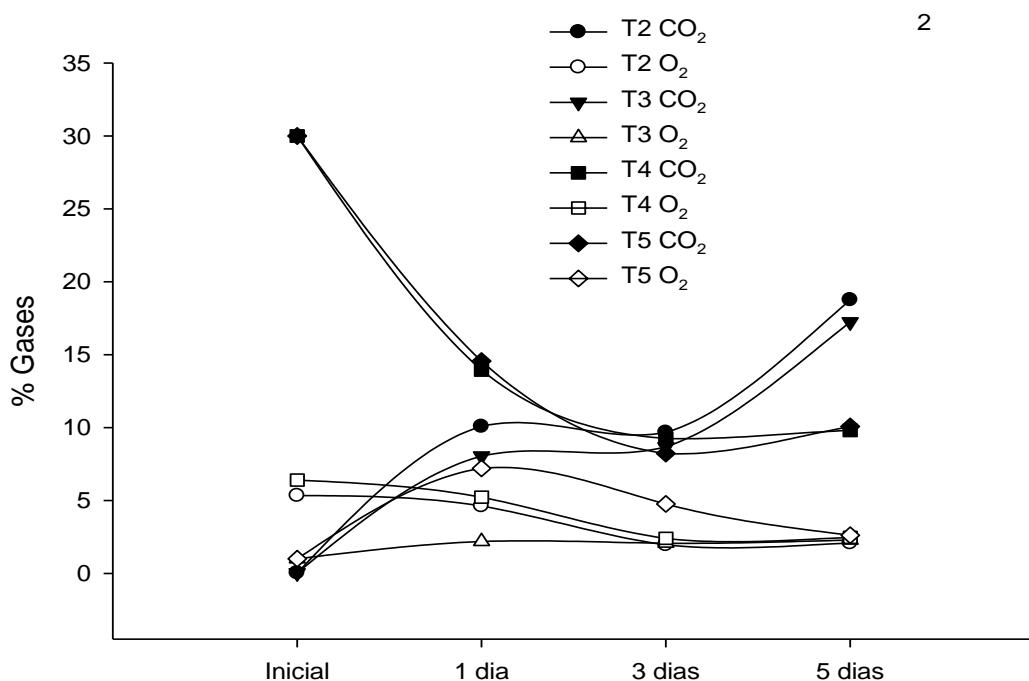
Na Figura 15 é possível observar a composição atmosférica, em termos de O₂ e CO₂, nos dois experimentos. O primeiro experimento foi constituído de armazenamento refrigerado por 14 dias, seguidos de mais dois dias em temperatura ambiente. Os frutos submetidos ao tratamento de AM apresentaram uma redução de pressão parcial de O₂ (9,3 kPa aos 9 dias) e aumento de CO₂ (3,6 kPa aos 6 dias), com um posterior acréscimo, alcançando 12,4 kPa de O₂ e 5,0 kPa de CO₂ após dois dias de exposição em condição ambiente. A atmosfera modificada ativa com baixo O₂ apresentou aumento das pressões parciais de O₂ durante o armazenamento, exibindo 11,1 kPa aos 12 dias. Já o CO₂ demonstrou aumento até os 9 dias (5,0 kPa), com um decréscimo aos 12 dias (3,7 kPa) e novamente aumentando após dois dias em temperatura ambiente (4,6) (Figura 15-1). A AM ativa com alta pressão parcial de CO₂ (30 kPa) exibiu declínio desde o primeiro dia após o armazenamento (18,8 kPa) até o 12 dia em armazenamento refrigerado (4,1 kPa), apresentando um leve aumento após dois dias (5,1 kPa), enquanto o O₂ revelou um aumento das pressões parciais durante todo armazenamento. O tratamento com AM ativa com baixo O₂ associada a alta pressão parcial de CO₂ (30 kPa), revela uma diminuição durante todo armazenamento refrigerado (4,6 kPa aos 12 dias), com aumento após dois dias em temperatura ambiente (5,7 kPa). O oxigênio apresentou um aumento no primeiro dia (12,3 kPa), posteriormente diminuindo para 8,3 kPa aos 12 dias de AR.

No segundo experimento os frutos foram armazenados em condição ambiente por 7 dias, sendo analisado os gases aos 1, 3 e 5 dias após a implantação dos tratamentos. Os morangos submetidos ao tratamento de AM apresentaram diminuição na pressão parcial de O₂, 4,6 kPa no primeiro dia, alcançando 2,1 kPa no quinto dia. O CO₂ elevou para 10,1 kPa no primeiro dia, chegando a 18,7 kPa ao quinto dia de AM. Os frutos do com AM ativa com baixo O₂ apresentaram aumento na pressão parcial de CO₂, 17,2 kPa no quinto dia de avaliação, a pressão parcial do O₂ aumentou levemente e se manteve próximo a 2,1 kPa durante todo o

armazenamento. A AM ativa com alto CO₂ apresentou redução das pressões parciais de oxigênio durante o armazenamento, chegando a 2,6 kPa. O CO₂ inicial era de 30 kPa, diminuindo para 14,6 kPa após um dia de armazenamento, chegando a 10,1 kPa no quinto dia. Na AM ativa com baixo O₂ associada a alto CO₂, apresentou diminuição da pressão parcial de CO₂, que no início do experimento era de 30 kPa, para 13,9 kPa e 9,8 kPa após um e cinco dias respectivamente. O oxigênio apresentou um aumento de pressão parcial no primeiro dia de avaliação (5,22 kPa), decaindo para 2,4 kPa no terceiro dia, e se mantendo constante até o quinto dia (2,47 kPa) (Figura 15-2).

Figura 15 - Porcentagem de pressão parcial de O₂ e CO₂ durante armazenamento de morangos ‘San Andreas’ em função dos estádios de maturação (A) – armazenamento refrigerado por 14 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e (B) – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.





T2 = atmosfera modificada; T3 = AM ativa com baixo O₂; T4 = AM ativa com alto CO₂; T5 = AM ativa com baixo O₂ associada a alto CO₂.

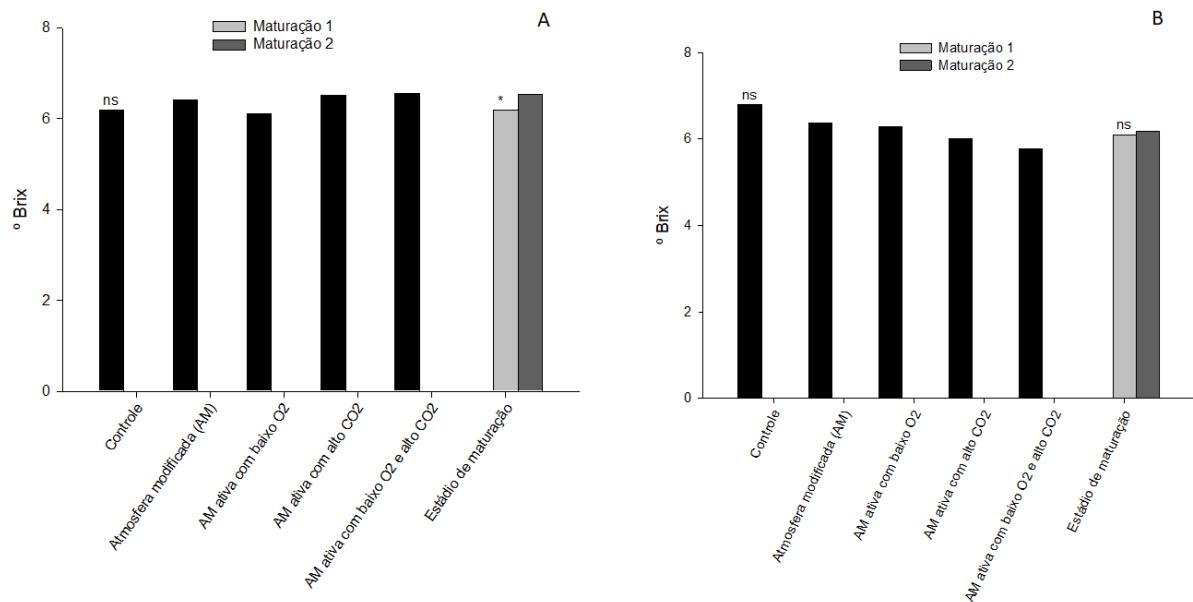
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os frutos com menor porcentagem de cor vermelha apresentaram menores valores de SS, em relação aos mais maduros (Figura 16). Este resultado pode ser considerado esperado, pois o conteúdo de SS é mais acentuado nos estádios de maturação mais avançados, devido ao maior acúmulo de açúcares. Pineli (2009), avaliando diferentes estádios de maturação de morangos 'Camino real' e 'Oso grande', observou que os frutos tendem a aumentar as concentrações de açúcares de acordo com o grau de maturação.

As condições de armazenamento avaliadas não apresentaram diferenças entre si (Figura 16), concordando com os resultados obtidos por Júnior et al. (2012), que não observaram diferenças no teor de SS ao armazenar morangos 'Oso grande' em atmosfera controlada com diferentes pressões parciais de CO₂. Entretanto, Pelayo et al. (2003), ao avaliar morangos da cultivar 'Selva', verificaram redução nos teores de SS ao longo do armazenamento com 20 kPa de CO₂ em comparação com a atmosfera normal.

Figura 16 - Sólidos solúveis de morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada sendo: A – armazenamento refrigerado por 14 dias

seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e B – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias



Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha.

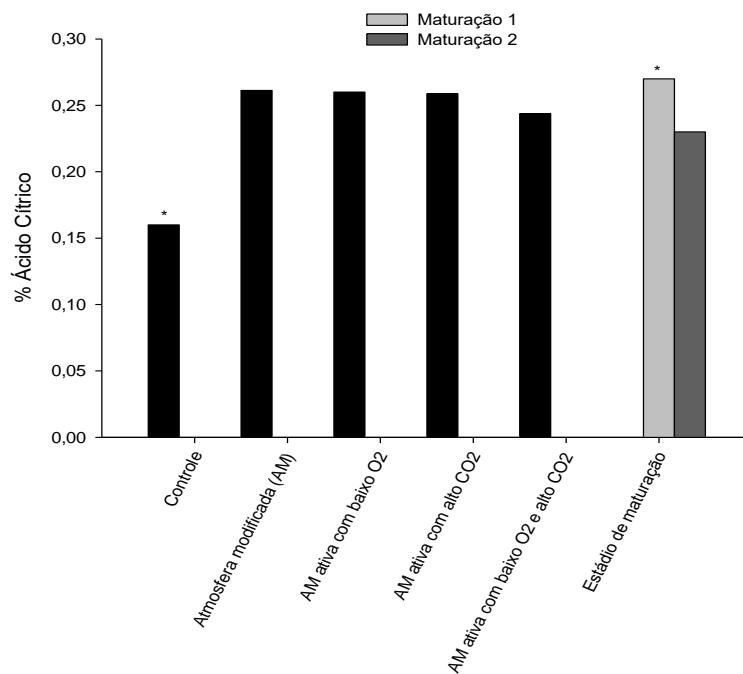
Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

A AT dos frutos que foram armazenados sob refrigeração não apresentou diferença entre as condições de armazenamento e estádios de maturação (dados não apresentados). Contudo, nos frutos expostos a temperatura ambiente por 7 dias, o tratamento controle apresentou o menor valor de AT (0,16% de ácido cítrico), diferindo dos demais tratamentos. Os frutos colhidos com 30% de cor vermelha apresentaram AT mais elevada (0,27%), independente da condição de armazenamento (Figura 17). Este comportamento é considerado normal em frutos, uma vez que durante a maturação ocorre a síntese de ácidos orgânicos e no final do amadurecimento e início da senescência ocorre uma redução dos ácidos devido ao intenso consumo destes pelo processo respiratório (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Bender et al. (2010) encontraram valores de AT 3 vezes superiores aos do presente trabalho em morangos 'Camarosa' e 'Verão' em AM com baixo O₂ e alto CO₂.

O morango geralmente sofre um aumento na AT durante o seu desenvolvimento e uma diminuição quando maduros ou sobremaduros (AZODANLOU et al., 2004). Os ácidos orgânicos são produtos intermediários do metabolismo respiratório dos frutos e são muito importantes do ponto de vista do sabor e odor, que constituem o *flavor* (TOSUN et al, 2008).

Figura 17 - Acidez titulável de morangos ‘San Andreas’ colhidos em dois estádios de maturação e mantidos em diferentes condições de armazenamento, sob temperatura ambiente durante 7 dias.



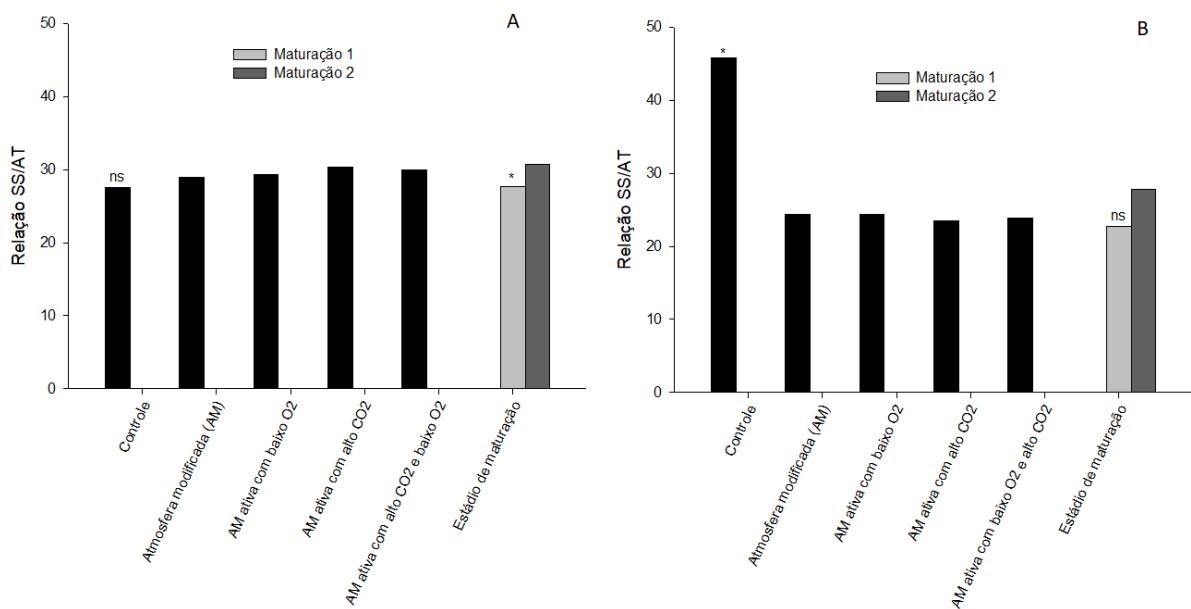
Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha.
 Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

A relação SS/AT representa o equilíbrio entre a acidez e a doçura dos frutos, sendo que quanto mais alta a relação mais agradável o sabor em morangos. A relação SS/AT não diferiu entre si nas atmosferas de armazenamento avaliadas sob refrigeração, porém os frutos mais vermelhos exibiram maiores valores de relação (Figura 18-1), devido à menor AT (Figura 17). De acordo com Soares Júnior et al. (2008), a relação SS/AT é utilizada como indicador de palatabilidade, sendo que o aumento desta relação pode significar aumento no sabor e indicar o amadurecimento de frutos.

No experimento em condições ambiente, a relação SS/AT foi maior nos frutos do tratamento controle (Figura 18-1), provavelmente devido a maturação acelerada causada pela temperatura elevada, fazendo com que ocorra diminuição na quantidade de ácidos. Os estádios de maturação não apresentaram diferença para a relação SS/AT (Figura 18).

Figura 18 - Relação sólidos solúveis/acidez titulável em morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada sendo: A – armazenamento refrigerado por 14 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e B – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.



Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha. Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os atributos de cor, como luminosidade, cromaticidade e tonalidade (h°) dos frutos armazenados em ambiente refrigerado não apresentaram diferenças entre as atmosferas de armazenamento avaliadas (dados não apresentados). Pelayo et al. (2003), trabalhando com morangos 'Diamante' e 'Selva' com atmosfera enriquecida 20 kPa de CO₂, não observaram diferenças nos atributos de cor (luminosidade, cromaticidade e tonalidade), assim como os resultados obtidos neste experimento.

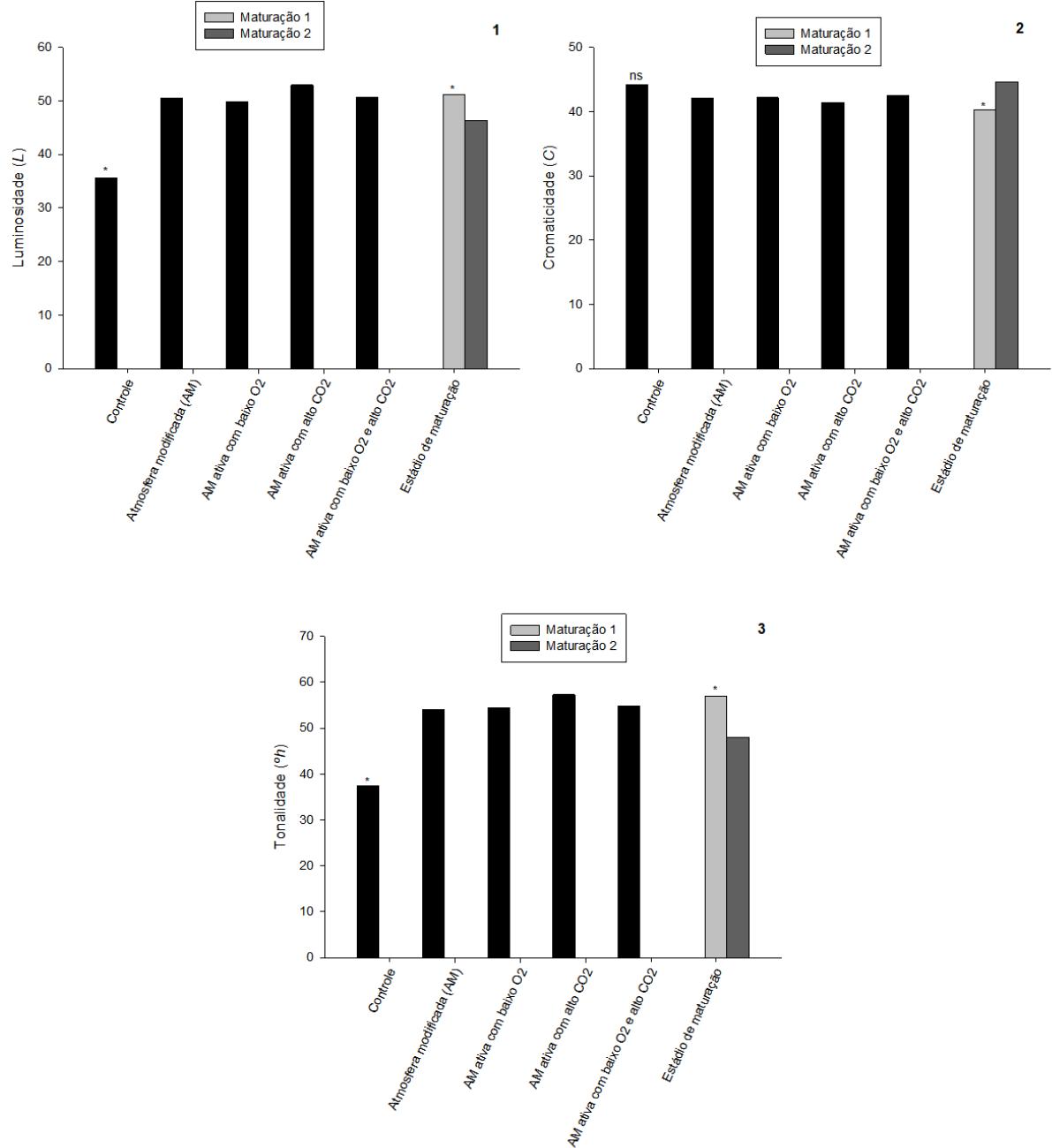
Entretanto, nos frutos armazenados em temperatura ambiente por 7 dias, os morangos do tratamento controle apresentaram menores valores de brilho (35,5), quando comparados com os armazenados em AM com a alta pressão parcial inicial de CO₂ (53,0). O mesmo comportamento foi obtido para a variável de tonalidade, onde os valores do ângulo hue foram de 37,2 no controle, e 57,3 para AM com alta pressão parcial inicial de CO₂ (Figura 19). Os resultados demonstram que os frutos submetidos a AM ativa com alta pressão parcial inicial de CO₂ em condição ambiente tem uma maior manutenção da coloração dos frutos, mantendo seu brilho e uma coloração com vermelho claro. A variável de cromaticidade não apresentaram

diferenças entre os tratamentos, confirmado os resultados observados por Júnior et al. (2012) trabalhando com morangos ‘Oso grande’ submetidos a diferentes pressões parciais de CO₂.

Quanto aos estádios de maturação na colheita, os frutos com menor porcentagem de cor vermelha apresentaram maiores valores de luminosidade e de tonalidade (50,5 e 56,0, respectivamente) (Figura 19), indicando frutos mais brilhantes e com uma coloração mais alaranjada. Porém, os valores de cromaticidade foram mais baixos (40,5), quando comparados com os frutos que foram colhidos mais vermelhos (44,5).

A cromaticidade expressa à intensidade da cor, ou seja, a saturação dos pigmentos. As cores neutras são representadas por valores próximos de zero, enquanto que as cores intensas têm valores próximos de 60 (MENDONÇA et al., 2003). Sendo assim, os frutos colhidos com um estádio de maturação mais avançado apresentam cores mais intensas que os frutos com apenas 30% de cor vermelha.

Figura 19 - Luminosidade (L), cromaticidade (C) e tonalidade (⁰h) de morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada em temperatura ambiente por 7 dias, em diferentes estádios de maturação.



Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha.

Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

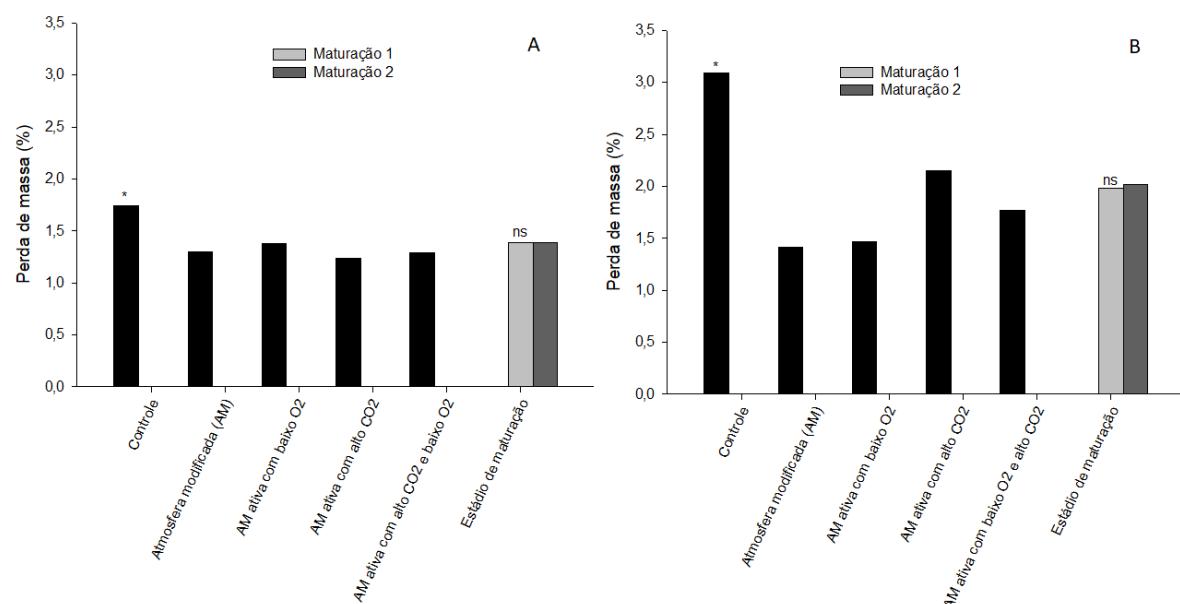
Segundo Kader (2002) perda de massa fresca é uma das causas principais de deterioração dos produtos porque resulta não só em perdas quantitativas diretas (perda do peso adequado para venda), mas também perdas em aparência (aspecto murcho e enrugado), qualidade textural (amolecimento, flacidez e redução de suculência) e qualidade nutricional. A perda de massa foi maior nos frutos do tratamento controle, em ambos os ambientes de armazenamento (Figura 20). Esse

desempenho pode ser causado pela falta de uma barreira de polietileno de baixa densidade (PEBD) para evitar a perda de água por transpiração.

Em temperatura ambiente, a AM apresentou menores valores, diferindo apenas do tratamento controle. Este por sua vez, difere estatisticamente dos demais tratamentos, exceto da atmosfera modificada ativa com baixo O₂. Entretanto, esse último também não diferiu dos demais tratamentos. Não houve efeito do estádio de maturação sobre a perda de massa fresca (Figura 20).

A perda de massa de morangos cultivar 'Oso grande' armazenados por 8 dias a 5° e 15°C foram de 5 a 8%, respectivamente (PINELI, 2009), demonstrando valores mais altos que os encontrados no presente estudo, onde os frutos do tratamento controle armazenados por 7 dias em temperatura ambiente, e refrigerado por 14 dias, seguidos de 2 dias em temperatura ambiente apresentaram perda de massa fresca de 3,1 e 1,7%, respectivamente. De acordo com García et al. (1998), os morangos perdem o valor comercial quando a perda de massa é superior a 6%.

Figura 20 - Perda de massa (%) de morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada sendo: A – armazenamento refrigerado por 14 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e B – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.



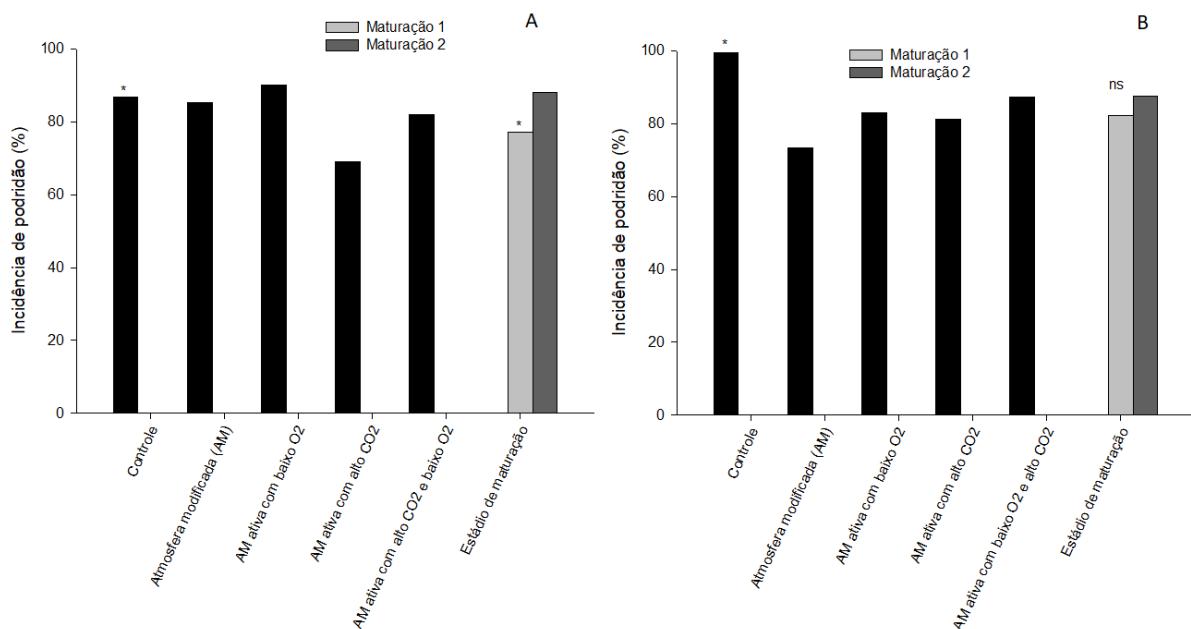
Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha.
Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro;
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Os frutos colhidos com 30% de cor vermelha exibiram, após o armazenamento refrigerado mais 2 dias em condições ambiente, menor incidência de podridões. Esses dados são influenciados pela firmeza da polpa dos frutos, que com o avanço da maturação tende a decair, deixando o fruto mais suscetível a machucados e consequentemente a infecções por fungos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A incidência de podridões, em morangos armazenados sob refrigeração, foi menor em AM ativa com alta pressão parcial inicial de CO₂, todavia diferindo apenas da AM ativa com baixa pressão parcial inicial de O₂. Segundo Júnior et al. (2012), a utilização da AC com 40% de CO₂ se mostrou eficaz na conservação de morangos 'Oso Grande' a 10°C, proporcionando a manutenção da qualidade comercial e reduzindo a incidência de podridões. Bang et al. (2018), trabalhando com curta exposição a 30 kPa de CO₂, em morangos 'Seolhyang' observaram redução da incidência de mofo cinzento quando comparado com o tratamento com ar ambiente.

A diminuição da deterioração e a melhor capacidade de armazenamento dos frutos em AM com alto CO₂ inicial se deve a uma resposta celular induzida pelo tratamento com CO₂ no fruto ou efeito inibitório direto do CO₂ no crescimento micelial e germinação de esporos (BANG et al., 2018).

Figura 21 - Incidência de podridões (%) em morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada sendo: A – armazenamento refrigerado por 14 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e B – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.



Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha.

Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

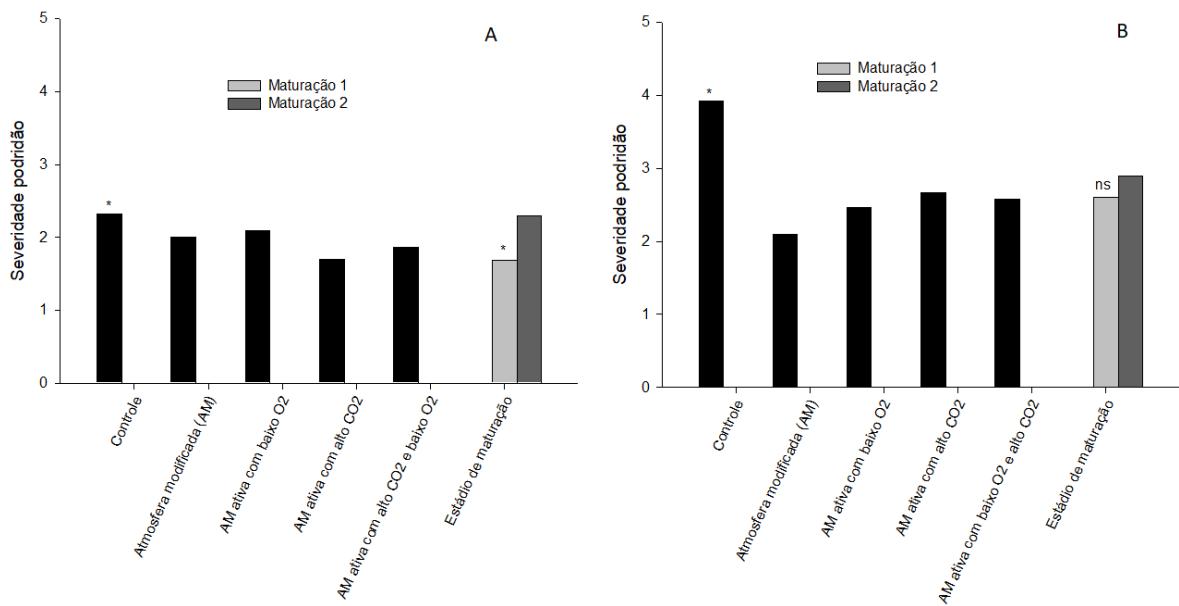
Fonte: produção do próprio autor, 2018.

A severidade de podridões em frutos armazenados em ambiente refrigerado apresentou menores valores nos frutos mantidos em AM ativa com alta pressão parcial inicial de CO₂ (1,70), do que as notas do controle (2,4) (Figura 22).

Nos frutos em ambiente refrigerado (Figura 22), os morangos com menor coloração vermelha apresentaram menores notas de severidade de podridão (1,69) do que aqueles colhidos com 75% de cor vermelha (2,30), fato que pode ser explicado pelo avanço da maturação do fruto, diminuindo sua firmeza de polpa, deixando-o suscetível a pequenas feridas que possivelmente podem se tornar portas de entrada de patógenos.

Os frutos do tratamento controle que foram mantidos em temperatura ambiente por 7 dias apresentaram os maiores valores de severidade de podridão (3,92), diferindo dos demais tratamentos (Figura 22). AAM exibiu os menores valores de severidade (2,09), tendo em média 50% dos frutos com características de podridão. Não houve diferença entre os estádios de maturação para a severidade de podridão em frutos armazenados em condições ambiente (Figura 22).

Figura 22 - Severidade de podridão em morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada sendo: A – armazenamento refrigerado por 14 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e B – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.

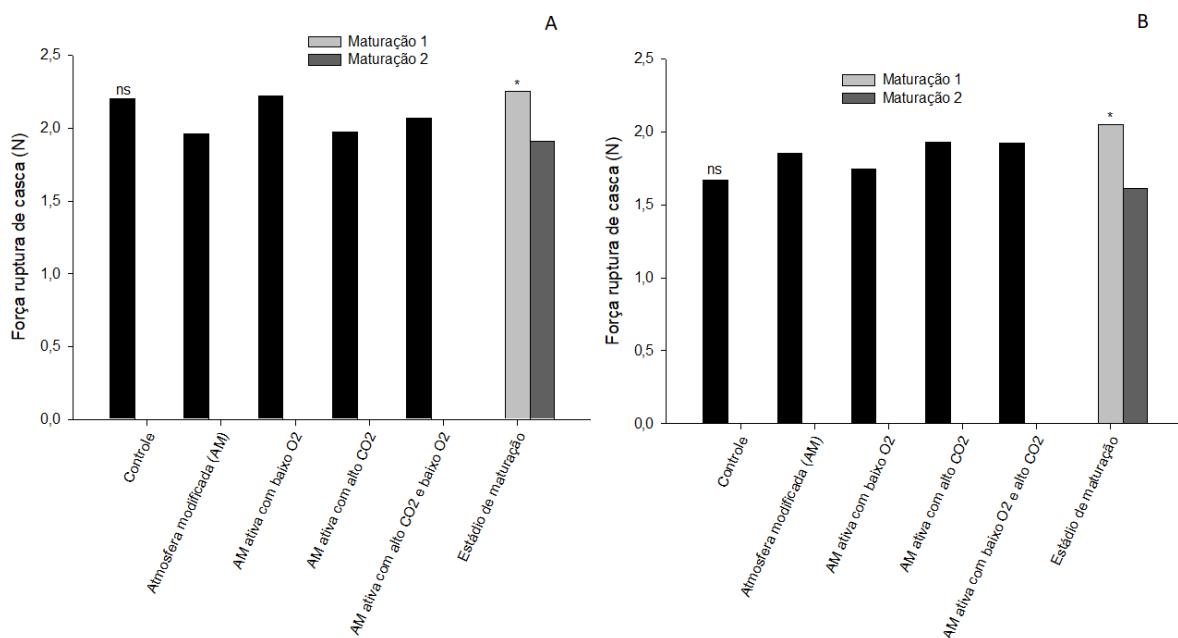


Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha. Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro; Fonte: produção do próprio autor, 2018.

As variáveis de forças para ruptura de casca e penetração da polpa não diferiam entre as atmosferas de armazenamento. Quanto ao estádio de maturação, os frutos colhidos com 30% de cor vermelha apresentaram maiores valores para estes atributos de textura (Figuras 23 e 24). Isto acontece devido a solubilização da pectina pelos frutos com maior estádio de maturação. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a pectina é um polímero que ao fazer parte da parede celular como um material cimentante, mantendo a coesão das células, é responsável pela firmeza dos frutos. Com o avanço da maturação dos frutos ela é hidrolisada e solubilizada, acarretando o amaciamento dos tecidos.

Pelayo et al. (2003), também observaram que atmosfera enriquecida com 20 kPa de CO₂ apresentou melhor manutenção da firmeza da polpa de morangos 'Selva' e 'Diamante' por 12 dias, quando armazenados a 5°C, assim como Bang et al. (2018), que obteve um atraso no amaciamento do morango durante o armazenamento a 10°C de morangos 'Seolhyang', submetidos por curto período a alta pressão parcial de CO₂. Ambos autores relataram resultados diferentes dos obtidos no presente trabalho, onde o aumento da pressão parcial de CO₂ não impediu o amaciamento dos tecidos.

Figura 23 - Força de ruptura de casca (N) para morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada sendo: A – armazenamento refrigerado por 14 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e B – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.



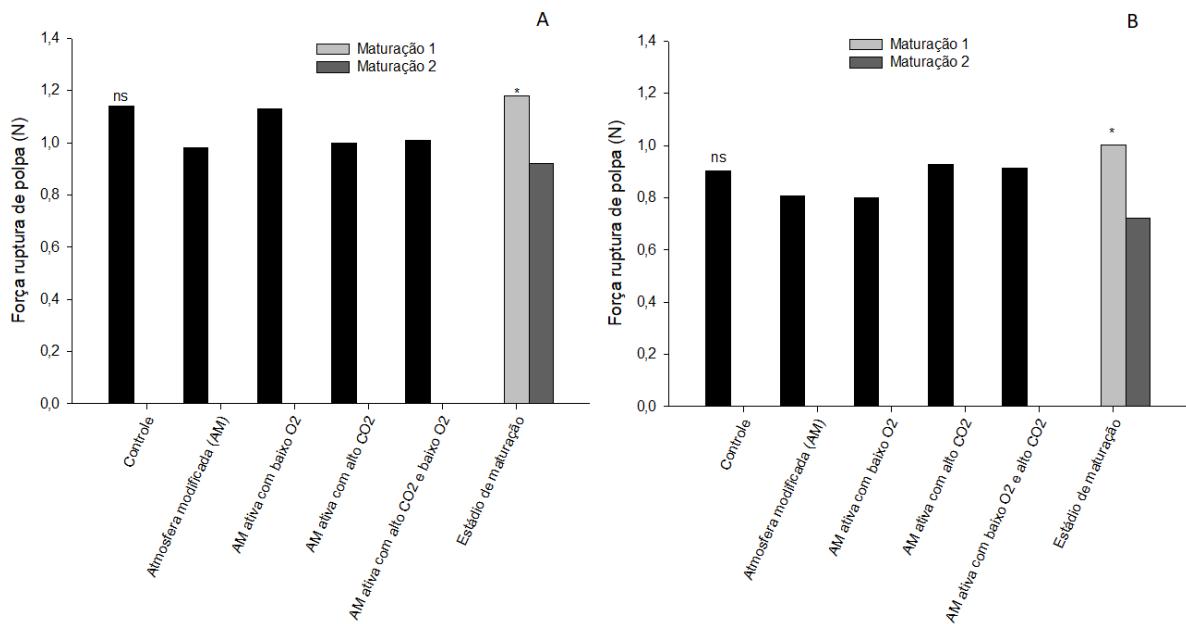
Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha.

Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Altas pressões parciais de CO₂ induzem o aumento da firmeza dos morangos, envolvendo a modificação de polímeros pécticos, como a diminuição das formas solúveis em água e o aumento das formas solúveis dos quelantes (MATSUMOTO et al., 2010), sendo esse processo irrelevante para a pressão parcial de O₂. Quando os frutos foram expostos a atmosfera enriquecida com CO₂, tanto o pH intracelular do abacate (LANGE; KADER, 1997) quanto o pH do espaço intercelular de morangos (HWANG et al., 2012) diminuíram, sugerindo uma migração do cálcio para as paredes celulares. Wang et al. (2014) concluiu que altas concentrações de CO₂ induz eficazmente o aumento rápido da firmeza dos morangos em temperaturas de 4 e 20°C, sendo associado ao acréscimo da ligação do cálcio aos materiais da parede. Contudo, os resultados do presente trabalho não estão de acordo com os obtidos por estes autores, pois os valores de força para ruptura da casca e penetração da polpa com alta pressão parcial inicial de CO₂ apresentaram valores que não diferiram dos demais tratamentos.

Figura 24 - Força de ruptura de polpa (N) para morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada sendo: A – armazenamento refrigerado por 14 dias seguidos de dois dias em temperatura ambiente; e B – armazenamento em temperatura ambiente durante 7 dias.



Maturação 1 = frutos com 30% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 75% de cor vermelha.
Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

As quantificações de compostos fenólicos e atividade antioxidante total dos frutos armazenados em 7 dias em condições ambientes não foram realizados, devido à alta incidência de podridões.

A atividade antioxidante total dos frutos que foram colhidos com 30% de cor vermelha foi maior quando armazenados em AM ativa com alta pressão parcial de CO₂ inicial, combinado ou não com baixa de O₂. Os frutos com maior grau de maturação, também apresentaram maior capacidade antioxidante quando armazenados em AM ativa com alta pressão parcial de CO₂ inicial, não diferindo apenas dos frutos acondicionados em AM (Tabela 1).

Considerando os estádios de maturação, observamos diminuição de quase 25% na quantidade de atividade antioxidante pelo método DPPH em frutos colhidos com 75% de cor vermelha em relação aos frutos colhidos com 30% de cor vermelha, após o armazenamento. O mesmo comportamento pode ser observado no método ABTS, com uma diminuição na atividade antioxidante total de mais de 30% nos frutos com maior porcentagem de cor vermelha, em relação aos colhidos com 30% de cor vermelha (Tabela 1). Segundo Zheng et al (2012), o conteúdo de compostos

fenólicos e a atividade antioxidante total depende do estádio de desenvolvimento, pois em maçãs 'Fuji' colhidas na Coréia, a atividade antioxidante e os polifenóis totais diminuíram drasticamente aos 85 dias após a plena floração (DAPF), principalmente pela redução do ácido clorogênico na polpa dos frutos. De acordo com Rotili et al. (2013), a atividade antioxidante em frutos é decorrente da ação de uma variedade de compostos que são degradados ou sintetizados durante o armazenamento, em resposta a estresses bióticos e abióticos.

Os valores de compostos fenólicos totais não diferiram entre as atmosferas de armazenamento (Tabela 1), porém diferiram entre os estádios de maturação, com os maiores valores nos frutos com 30% de cor vermelha. Os frutos da cultivar 'Oso grande' com 50% de coloração vermelha apresentaram maiores valores de compostos fenólicos quando comparados com os frutos com 100% da coloração vermelha (PINELI, 2009), corroborando os dados encontrados no presente trabalho, onde os frutos de menor estádio de maturação apresentaram valores maiores que os frutos maduros.

Os compostos fenólicos, nas plantas, atuam como componentes estruturais e pigmentantes, além de apresentarem atividade antioxidante, antimicrobiana e antiviral. O estresse causado aos frutos, em razão do armazenamento refrigerado e de mudanças nas pressões parciais de gases da atmosfera, pode ativar o metabolismo secundário das células, que é uma das rotas formadoras de compostos fenólicos (DING et al., 2006). Blanch et al. (2012) observou resultados diferentes do presente trabalho ao verificar que a exposição a curto prazo ao CO₂ (20 kPa por 3 dias) aumentou efetivamente os compostos benéficos para a saúde, que são conhecidos como compostos fenólicos, como catequina e proantocianidinas, em morango. Aaby et al. (2012) avaliou 27 cultivares diferentes de morango na Noruega, encontrando valores de compostos fenólicos totais que variam de 57 a 133 mg EAG.100 g⁻¹. O genótipo e condições ambientais, bem como diferenças relacionadas aos métodos de extração e análise utilizados nos diferentes trabalhos publicados devem ser considerados para entender e justificar os diferentes conteúdos de antioxidantes e compostos fenólicos encontrados em morangos.

Tabela 1 - Valores de atividade antioxidante total (AAT; quantificada pelos métodos DPPH e ABTS, expressa em µg de equivalente Trolox.g⁻¹ de massa fresca); compostos fenólicos totais (CFT; mg EAG.100 g⁻¹), após 12 dias de armazenamento refrigerado seguidos de dois dias em condições ambiente em morangos 'San Andreas' em dois estádios de maturação, provenientes de pomar comercial em Lages, submetidas a atmosfera modificada em armazenamento refrigerado (temperatura de ±0,5°C e 92±2 de UR).

ARMAZENAMENTO REFRIGERADO			
DPPH			
	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
Controle	2291,0 Aab	1762,7 Bb	2026,8
Atmosfera Modificada (AM)	2359,3 Aab	2006,0 Bab	2207,9
AM ativa com baixo O ₂	2086,0 Ab	1819,3 Ab	1933,6
AM ativa com alto CO ₂	2712,6 Aa	2243,5 Aa	2478,1
AM ativa com baixo O ₂ e alto CO ₂	2736,0 Aa	1700,4 Bb	2292,2
Média	2455,5	1912,3	
CV (%)	13,26	13,4	
ABTS			
Tratamentos	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
Controle	2594,4	1412,5	2003,5 ab
Atmosfera Modificada (AM)	2322,2	1600,0	2012,7 ab
AM ativa com baixo O ₂	2940,7	1194,4	1942,9 ab
AM ativa com alto CO ₂	2669,4	2038,9	2399,2 a
AM ativa com baixo O ₂ e alto CO ₂	2161,1	988,9	1658,7 b
Média	2516,3 A	1430,1 B	
CV (%)	18,0	33,6	
CFT			
Tratamentos	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
Controle	49,4	43,4	46,4 a
Atmosfera Modificada (AM)	44,8	45,2	45,0 a
AM ativa com baixo O ₂	45,4	44,2	44,8 a
AM ativa com alto CO ₂	49,2	42,4	45,8 a
AM ativa com baixo O ₂ e alto CO ₂	49,8	42,1	45,9 a
Média	47,7 A	43,4 B	
CV (%)	7,8	7,6	

Médias seguidas de pelo menos uma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, para cada parâmetro avaliado, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Na Tabela 2 podemos observar os valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol encontrados nos tratamentos após 14 dias em armazenamento refrigerado seguidos de dois dias em temperatura ambiente. Os frutos colhidos com 75% de cor vermelha exibiram maiores valores de acetato de etila em AM ativa com baixo O₂ inicial, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Por outro lado, os frutos colhidos com menor porcentagem de cor vermelha tiveram os maiores valores no tratamento controle, que diferiu estatisticamente apenas da atmosfera modificada ativa com alto CO₂.

Os estádios de maturação exibiram diferenças quando comparados os tratamentos controle, onde os frutos com 75% de cor vermelha apresentaram menores valores de acetato de etila (0,89). Porém, os frutos com 30% de cor vermelha quando submetidos a AM ativa com baixo O₂ ou com alto CO₂ demonstram uma diminuição na quantidade de acetato de etila (1,37 e 0,44) em comparação aos frutos com maior cor vermelha (3,46 e 1,17 respectivamente).

Os morangos podem produzir compostos orgânicos voláteis secundários, como acetaldeído, etanol e acetato de etila durante o armazenamento (BOVI et al., 2018). Quando esses voláteis secundários estão presentes em concentrações acima do seu limite, eles podem ter um efeito negativo sobre o sabor (PELAYO et al., 2003).

A quantificação de acetaldeído dos frutos com 30% de cor vermelha foi maior no controle (10,02), diferindo dos demais tratamentos. Os morangos com estádio de maturação mais avançado exibiram maiores valores quando submetido a AM ativa com baixas pressões parciais de O₂ (16,73), diferindo dos demais tratamentos. Entre os estádios de maturação, há diferenças significativas ao comparar os tratamentos controle e AM ativa com baixo O₂.

A produção de etanol, foi similar entre tratamentos controle e a AM (15,75 e 15,71 respectivamente) nos frutos com 30% de recobrimento com cor vermelha diferindo estatisticamente dos tratamentos com AM ativa com alto CO₂ e AM ativa com baixo O₂ associada a alto CO₂. Os frutos com 75% de cor vermelha exibiram maior produção de etanol quando submetidos a AM ativa com baixo O₂, diferindo dos demais tratamentos. Quando comparados os estádios de maturação, os frutos com 75% de cor vermelha demonstram maior geração de etanol (22,37) quando submetidos a AM ativa com baixo O₂ e alto CO₂.

Tabela 2 - Valores acetato de etila, acetaldeído e etanol após 12 dias de armazenamento e mais dois dias em condições ambiente em morangos 'San Andreas' em dois estádios de maturação, provenientes de pomar comercial em Lages, submetidas a atmosfera modificada em armazenamento refrigerado (temperatura de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e 92 ± 2 de UR).

ARMAZENAMENTO REFRIGERADO			
Tratamentos	Acetato de etila		
	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
Controle	1,50 Aa	0,89 Bb	1,19
Atmosfera Modificada (AM)	0,78 Aab	1,03 Ab	0,91
AM ativa com baixo O_2	1,37 Ba	3,46Aa	2,42
AM ativa com alto CO_2	0,44 Bb	1,17 Ab	0,81
AM ativa com baixo O_2 e alto CO_2	0,85 Aab	1,54 Ab	1,19
Média	0,99	1,62	
CV (%)	50,76	68,72	
Acetaldeído			
Tratamentos	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
	10,02 Aa	5,07 Bb	7,54
Controle	5,62 Abc	5,80 Ab	5,71
Atmosfera Modificada (AM)	7,35 Bb	16,73 Aa	12,04
AM ativa com baixo O_2	2,85 Ad	3,90 Ab	3,38
AM ativa com alto CO_2	4,84 Acd	8,39 Ab	6,61
Média	6,14	7,98	
CV (%)	43,19	67,31	
Etanol			
Tratamentos	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
	15,75 Aa	15,08 Ab	15,41
Controle	15,71 Aa	17,92 Ab	16,81
Atmosfera Modificada (AM)	11,37 Bab	59,17 Aa	35,27
AM ativa com baixo O_2	7,19 Ab	10,99 Ab	9,09
AM ativa com alto CO_2	7,33 Bb	22,37 Ab	14,85
Média	11,47	25,11	
CV (%)	38,40	82,79	

Médias seguidas de pelo menos uma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, para cada parâmetro avaliado, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: produção do próprio autor, 2018.

Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o aumento da temperatura durante o transporte, manuseio e armazenamento de produtos embalados sob AM pode

causar uma diminuição dos níveis de O₂ na atmosfera, devido à tendência de aumentar a respiração mais do que a permeabilidade a gases do filme polimérico, levando, assim, ao aumento da respiração anaeróbica e consequentemente à perda da qualidade do produto pelo metabolismo fermentativo.

Na Tabela 3, temos os resultados obtidos de morangos armazenados durante 7 dias em condições ambiente (20°C). Há interação entre os tratamentos e os estádios de maturação nas variáveis de acetato de etila e acetaldeído.

A produção de acetato de etila para os frutos com 30% de cor vermelha foi mais elevado na AM ativa com baixo O₂ inicial, diferindo dos demais tratamentos. Já para os frutos com 75% de cor vermelha, não observaram diferenças estatísticas. Ao comparar estádio de maturação na colheita, a atmosfera modificada exibiu valores três vezes mais altos com frutos 75% de cor vermelha.

Os valores de acetaldeído foram mais elevados nos frutos com estádio de maturação mais avançado, com AM ativa com baixo O₂ associada alto CO₂ inicial (124,38), diferindo dos demais tratamentos. Já para os frutos colhidos com 30% de cor vermelha, os maiores valores foram exibidos pela AM ativa com baixo O₂ inicial, também diferindo dos demais. Em ambos os estádios de maturação na colheita (30% e 75% de cor vermelha), o controle apresentou os menores valores de acetaldeído, 9,45 e 9,48, respectivamente. Os frutos tratados com AM ativa com baixo O₂ e alto CO₂ apresentaram diferenças estatísticas quando comparados os estádios de maturação.

Em morangos acondicionados em atmosfera com 20 kPa de CO₂ a 5°C foram detectados aumentos nas concentrações de acetaldeído e de etanol, sendo que estes representaram 57 e 63% dos voláteis totais, respectivamente (ZALDIVAR et al., 2007). Fernández-Trujillo et al. (2007), armazenando morango 'Jewel' em ar enriquecido com 20 kPa de CO₂ a 2°C, observaram aumento nas concentrações de acetaldeído, etanol e acetato de etila, como apresentado no presente estudo. O acúmulo do metabólico fermentativo pode ser uma resposta fisiológica ao aumento de CO₂ atmosférico (ZALDIVAR et al., 2007).

Tabela 3 - Valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol, após 7 dias em temperatura ambiente em morangos 'San Andreas' em dois estádios de

maturação, provenientes de pomar comercial em Lages, submetidos a atmosfera modificada.

TEMPERATURA AMBIENTE			
Tratamentos	Acetato de etila		
	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
Controle	1,42 Ab	2,06 Aa	1,74
Atmosfera Modificada (AM)	4,11 Bb	12,94 Aa	8,52
AM ativa com baixo O ₂	17,46 Aa	9,29 Aa	13,96
AM ativa com alto CO ₂	6,24 Aab	10,85 Aa	8,55
AM ativa com baixo O ₂ e alto CO ₂	7,07 Aab	11,62 Aa	9,02
Média	7,91	10,12	
CV (%)	88,61	49,10	
Acetaldeído			
Tratamentos	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
	9,45 Ab	9,48 Ac	9,468
Controle	32,93 Ab	56,55 Ab	44,74
Atmosfera Modificada (AM)	114,11 Aa	35,48 Abc	80,40
AM ativa com baixo O ₂	39,06 Aab	57,09 Ab	48,08
AM ativa com baixo O ₂ e alto CO ₂	48,46 Bab	124,38 Aa	80,99
Média	53,17	59,57	
CV (%)	85,00	63,98	
Etanol			
Tratamentos	30% de cor vermelha	75% de cor vermelha	Média
	17,65	70,37	44,01 b
Controle	58,74	252,57	155,65 ab
Atmosfera Modificada (AM)	637,07	203,53	451,26 a
AM ativa com baixo O ₂	123,00	175,18	149,09 ab
AM ativa com baixo O ₂ e alto CO ₂	205,87	197,87	202,44 ab
Média	229,67 A	190,99 A	
CV (%)	145,67	61,91	

Médias seguidas de pelo menos uma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, para cada parâmetro avaliado, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

O etanol não apresentou diferenças entre os frutos colhidos em diferentes estádios de maturação. A AM ativa com baixo O₂ inicial provocou aumento na produção de etanol, diferindo do controle, onde os valores foram 10 vezes mais baixos. Ponce-Valadez et al. (2008), apresentaram resultados de produção de etanol

diferentes do presente estudo, utilizando cultivar de morango 'Jewel' tratadas com 20 kPa de CO₂ e mantidas no ar durante 12 dias, observaram o aumento da produção de etanol de 0,04 mg.100 g⁻¹ para 18 mg. 100 g⁻¹, do dia zero para o quarto dia de armazenamento.

De acordo com Kluge et al (2001), os níveis demasiadamente baixos de O₂ levam os frutos à respiração anaeróbica, resultando na formação de acetaldeído e etanol, modificando o sabor e escurecendo o tecido dos frutos. Já distúrbios causados pelo excesso de CO₂ se caracterizam pelo escurecimento dos tecidos e formação de etanol. O acúmulo de acetaldeído e etanol é a resposta metabólica dos tecidos de plantas a anóxia ou severa hipóxia (ausência total ou parcial de oxigênio). Segundo Kennedy et al (1992), quando o oxigênio é limitado, o transporte de elétrons e a fosforilação oxidativa são inibidos, e a fermentação providencia um mecanismo para oxidação do piruvato.

Brackmann et.al. (2001), estudando os efeitos de armazenamento de morangos cv. Oso Grande sob AC, observaram que o uso de 20 kPa de CO₂ associado a refrigeração (0°C) propiciou boa manutenção da qualidade dos frutos por até 20 dias, não sendo verificadas alterações no sabor e no aroma.

5.5 CONCLUSÕES

A atmosfera modificada reduziu a perda de massa fresca dos frutos em ambos ambientes. Os morangos armazenados com alta pressão parcial de CO₂ inicial apresentaram melhores resultados nas variáveis de incidência e severidade de podridões, independente do estádio de maturação na colheita. As forças de ruptura de casca e penetração da polpa foi maior em frutos com grau de maturação menor.

A atividade antioxidante total foi maior para os frutos colhidos com 30% de cor vermelha, tendo um aumento quando armazenadas em atmosfera modificada ativa com alto CO₂, associadas ou não com baixo O₂. O conteúdo de compostos fenólicos totais também teve influência do grau de maturação, sendo maior nos frutos com menor estádio de maturação.

A atmosfera modificada ativa com baixo O₂ apresentou valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol mais elevados do que o tratamento com alto CO₂, em ambos graus de maturação.

6 CONCLUSÕES GERAIS

Os morangos ‘San Andreas’ submetidos ao retardo de resfriamento apresentaram maiores valores de incidência e severidade de podridão. Os frutos resfriados imediatamente pós a colheita apresentaram menor perda de massa fresca, e maiores firmezas de casca e de polpa.

Os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante tendem a reduzir com o passar do tempo de retardo de resfriamento aos 6 dias de armazenamento.

O tempo de retardo de resfriamento de morangos ‘San Andreas’ que pode ser admitido sem afetar significantemente a qualidade dos frutos e a quantidade de compostos fenólicos e atividade antioxidante é de até 6 horas após a colheita.

Os morangos armazenados com alta concentração de CO₂, apresentaram melhores resultados nas variáveis de incidência e severidade de podridões em ambos graus de maturação. As forças de ruptura de casca e penetração da polpa foi maior em frutos com grau de maturação menor.

A atividade antioxidante total foi maior para os frutos colhidos com 30% de cor vermelha, tendo um aumento quando armazenadas em atmosfera modificada ativa com alto CO₂, associadas ou não com baixo O₂. O conteúdo de compostos fenólicos totais também teve influência do grau de maturação, sendo maior nos frutos com menor estádio de maturação.

A atmosfera modificada ativa com baixo O₂ apresentou valores de acetato de etila, acetaldeído e etanol mais elevados do que o tratamento com alto CO₂, em ambos graus de maturação.

A utilização de atmosfera modificada ativa com altas concentrações de CO₂ associada com armazenamento refrigerado pode ser uma boa alternativa para um aumento da vida útil de morangos ‘San Andreas’, sem alterar as características organolépticas dos frutos, além de aumentar as concentrações da atividade antioxidante total nos frutos colhidos com 30% de cor vermelha.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AABY, K. et. al. Phenolic compounds in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits: Composition in 27 cultivars and changes during ripening. **Food Chemistry**, vol 132, p. 86–97, 2012.
- ABF. Associação Brasileira de Frutas. **Relatório Anual**, 2017.
- ALLENDE A. et. al. Impact of combined post-harvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, superatmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. **Postharvest Biology and Technology**. Vol 46, p 201–211, 2007.
- ALMENAR E. et. al. Controlled atmosphere storage of wild strawberry fruit (*Fragaria vesca* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry** vol 54, p. 86-91, 2006.
- ALVES, R.E. et. al. Colheita e pós-colheita da acerola. In: SÃO JOSÉ, A.R.; ALVES, R.E.(Ed.). **Acerola no Brasil: produção e mercado**. UESB, 1995. p.77-89.
- ANTUNES, L.E.C.; et al. Morangos tem produção crescente. **Campo & Lavoura, Anuário HF** 2017, n. 1, p.96-102,2017.
- AZODANLOU, R., et. al. Changes in flavour and texture during the ripening of strawberries. **Eur. Food Res. Technol.** vol 218, p 167–172, 2004.
- BANG, J. et. al. Integrated transcriptomic-metabolomic analysis reveals cellular responses of harvested strawberry fruit subjected to short-term exposure to high levels of carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, vol 148, p 120-131, 2018.
- BASU, A. et al. Strawberries decrease atherosclerotic markers in subjects with metabolic syndrome. **Nutrition Research**, vol 30, n.7, p.46Z-469, July 2010.
- BASU, A. et al. Strawberry As a Functional Food: An Evidence-Based Review, **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, vol 54:6, p 790-806, 2013.
- BENDER, R. J. et. al. Armazenagem de morangos cv Camarosa e cv Verão em atmosfera modificada. **Acta Sci., Agron.** Vol 32, n 2, 2010
- BLANCH, M. et. al. Increasing catechin and procyanidin accumulation in high CO₂-treated *Fragaria vesca* strawberries. **J. Agric. Food Chem.** vol 60, p. 7489–7496, 2012.
- BLANCH, M. et. al. CO₂-driven changes in energy and fermentative metabolism in harvested strawberries. **Postharvest Biol. Tec.** vol 110, p. 33–39, 2015.

BORDONABA, J. G. et al. Suitability of nectarine cultivars for minimal processing: the role of genotype, harvest season and maturity at harvest on quality and sensory attributes. **Postharvest Biology and Technology**, vol 93, p 49-60, 2014.

BOVI, G. G. et. al. Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: A review. **Biosystems Engineering**, vol 150, p 24 –39, 2016.

BOVI, G. G. et. al. Impact of modified atmosphere and humidity packaging on the quality, offodour development and volatiles of 'Elsanta' strawberries. **Food Packaging and Shelf Life**, vol 16, p 204-210, 2018.

BRACKMANN, A. et al. Armazenamento de morangos cv. Oso Grande (*Fragaria ananassa* L.) sob elevadas pressões parciais de CO₂. **Current Agricultural Science and Technology**, vol 7, n. 1, 2001.

BRACKMANN, A. et. al. Qualidade da maçã cv Gala tratada com 1-metilciclopropeno. **Ciência rural**, vol 34, p 1415-1420, 2004.

BRACKMANN, A. et. al. Aplicação de 1-metilciclopropeno e absorção de etileno em maçã da cultivar 'Royal Gala' colhida tardivamente. **Ciência rural online**, vol 103 2010.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C.; Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity. **Lebensm.- Wiss. Technol.** Vol 28, p 25-30, 1995.

CAMARGO FILHO, W.P. et. al. Estacionalidade dos preços e das quantidades de frutas olerícolas: melancia, melão e morango. **Horticultura Brasileira**, vol. 12, n. 1, p. 75, 1994.

CARVALHO, S.F. et al. Comportamento e qualidade de cultivares de morango (*Fragaria x ananassa* Duch.) na região de Pelotas-RS. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, vol 14, n.2, 176-180, 2013.

CASTRO, R.L. Melhoramento genético do morangueiro: avanços no Brasil. In: 2º SIMPOSIO NACIONAL DO MORANGO, 1º ENCONTRO DE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL. Pelotas. Anais... Embrapa Clima Temperado, 1296p, 2004.

CHITARRA M.I.F.; CHITARRA A.B.. Pós colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. FAEPE. 783p. 2005.

CRISOSTO, C. H. et. al. Understanding tree fruit quality based on consumer acceptance. **Acta Horticulturae**, vol 712, p 183-189, 2006.

DELONG, M. J. et al. The influence of crop-load, delayed cooling and storage atmosphere on post-storage quality of 'Honeycrisp'™ apples. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, vol. 81, n. 3, p. 391-396, 2006.

DING, M. et. al. Cyanidin-3-glucoside, a Natural Product Derived from Blackberry, Exhibits Chemopreventive and Chemotherapeutic Activity. **Journal of Biological Chemistry**, vol. 281, n. 25, p. 1.7359-1.7368, 2006.

DONNO, D. et al. Currants and strawberries as bioactive compound sources: determination of antioxidant profiles with hplc-dad/ms. **Journal of applied botany and food quality**, vol. 86, p.1-10, 2013.

DURNER, E. F. et. al. Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, June-bearing and ever-bearing strawberries. **Journal of the American Society for cultural Science**, vol 109, p 396-400, 1984.

EDIRISINGHE, I. et. al. Strawberry anthocyanin and its association with postprandial inflammation and insulin. **The British Journal of nutrition**, vol 106, p 13-22, 2011.

FACHINELLO, J.C. et al. Poda das plantas frutíferas. In: **Fruticultura: fundamentos e práticas**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.93-102, 2008.

FAGHERAZZI, A.F. Avaliação de cultivares de morango no Planalto Sul Catarinense. 105p (**Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal**), Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2013.

FAGHERAZZI, A.F. et al. Strawberry production progress in Brazil. **Acta Horticulturae**, vol 1156, n.1, 937-940, 2017.

FAGHERAZZI, A.F. et al. La fragolicoltura brasiliiana guarda avanti. **Rivista di Frutticoltura e di Ortofloricoltura**, vol. 6, p 20-24, 2014.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organisation Statistics Database. 2014. Produção mundial de morangos, 2018.

FERNÁNDEZ-TRUJILLO J.P.; NOCK J.F.; WATKINS C.B. Antioxidant enzyme activities in strawberry fruit exposed to high carbon dioxide atmospheres during cold storage. **Food Chemistry** vol. 104, p. 1425-1429, 2007.

FILGUEIRAS, H. A. C.; CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Armazenamento de ameixas sob refrigeração e atmosfera modificada - 2: colapso interno (internal breakdown) e textura. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 18, n. 1, p. 129-135, 1996.

FLORES-CANTILLANO, R. F. Manejo e logistica na colheita e pós-colheita na produção integrada de pêssegos. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2005. 8 p. (Embrapa Clima Temperado. **Circular Técnica, 42**).

FLORES-CANTILLANO R.F. 2005. Colheita e pós-colheita. In: PEREIRA DP; BANDEIRA DL; QUINCOZES ERF (ed). SISTEMA DE PRODUÇÃO DO MORANGO. Pelotas. *Embrapa Clima Temperado*. (Embrapa Clima Temperado. **Sistema de produção, 5**).

FONSECA S.C. et. al. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**. vol 53, p 99-119, 2002.

GARCÍA J.M. et. al. Quality of strawberries automatically packed in different plastic films. **Journal of Food Science** vol 63, p. 1037-1041, 1998.

GRIERSON, W.; WARDOWSKI, W.F. Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. **HortScience**, vol 13, p 570-574, 1978.

HENRIQUE, C.M., CEREDA, M.P.. Utilização de biofilmes na conservação pós-colheita de morango (*Fragaria Ananassa Duch*) cv IAC Campinas. **Ciênc. Tecol. Aliment.** [online]. vol.19, n.2, pp.231-233, 1999. ISSN 0101-2061.

HWANG Y.S. et al. Potential mechanisms associated with strawberry fruit firmness increases mediated by elevated pCO₂. **Hort Environ Biotechnol** vol 53, p. 52–61, 2012.

JÚNIOR, L. C. C. Atmosfera controlada na conservação de morango. 121 p (**Tese de doutorado**). Universidade de São Paulo, 2011.

JÚNIOR, L. C. C. et al. Armazenamento refrigerado de morango submetido a altas concentrações de CO₂. **Hortic. Bras. [online]**, vol.30, n.4, pp.688-694, 2012.

KADER, A.A. (Ed). Postharvest Technology of Horticultural Crops (2nd Edition). UC Publication 3311. **University of California, Division of Agriculture and Natural Resources**, 1992.

KADER A.A. Postharvest Biology and Technology: An Overview. In: **Postharvest Technology of Horticultural Crops**. 3Th Edition, pp. 279-285, 2002.

KAHLKE, C. Forced-Air Cooling to improve Berry Quality and Shelf-Life. **Cornell University. Cooperative Extension**. 2014.

KALBASI-ASHTARI, A. Effects of post-harvest pre-cooling processes and cyclical heat treatment on the physico-chemical properties of “Red Haven Peaches” and “Shahmiveh Pears” during cold storage. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, 2004.

KALINOWSKA, M. et al. Apples: content of phenolic compounds vs. variety, part of apple and cultivation model, extraction of phenolic compounds, biological properties. **Plant Physiology and Biochemistry**, vol.84, n.1, p.169- 188, 2014.

KELLY, K. et. al. A novel approach to determine the impact level of each step along the supply chain on strawberry quality. **Postharvest Biology and Technology**, vol 147, p 78-88, 2018.

KLUGE, R. A. et al. Distúrbios fisiológicos em frutos. 2001.

LAI, Y. P. et al. Environmental conditions encountered during distribution from the field to the store affect the quality of strawberry (cv. Albion). **Proc. Fla. State Hort. Soc.** vol 124, p 213–220. 2011.

LANGE D.L., KADER A.A. Elevated carbon dioxide exposure alters intracellular pH and energy charge in avocado fruit tissue. **J Am Soc Hort Sci** vol 122, p. 253–260, 1997.

LARRAURI, J.A.; RUPÉREZ, P.; SAURACALIXTO, F. Effect of drying temperature on the stability of polyphenols and antioxidant activity of red grape pomace peels. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, vol 45, n. 4, p. 1390-1393, 1997.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and Postharvest Factors Influencing Vitamin C Content of Horticultural Crops. **Postharvest Biology and Technology**, vol 20, p 207-220, 2000.

MARHUENDA, J. et. al. Phenolic Composition, Antioxidant Activity, and In Vitro Availability of Four Different Berries. **Journal of Chemistry**, vol 14, p. 7, 2016.

MARTINS, Andreia Maria Batista. **Efeito do atraso do arrefecimento na qualidade de frutos de morango e framboesa**. 2015. Tese de Doutorado.

MATAR, C. et. al. Predicting shelf life gain of fresh strawberries 'Charlotte cv' in modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology**, vol 142, p 28-38, 2018.

MATSUMOTO K. et al. Changes in firmness and pectic polysaccharide solubility in three cultivars of strawberry fruit following short-term exposure to high pCO₂. **J Food Qual** vol 33, p. 312–340, 2010.

MAZZA, G., MANITIATI, E. Introduction. Anthocyanin in fruits, vegetables and grains. **CRC Press**, vol 1, p 1-28, 1993.

MALGARIM, M. B. et al. Sistemas e condições de colheita e armazenamento na qualidade de morangos cv. Camarosa. **Rev. Bras. Frutic.**, vol. 28, n. 2, p. 185-189, 2006.

MENDONÇA, K. et al. Concentração de etileno e tempo de exposição para desverdecimento de limão "Siciliano". **Brazilian Journal of Food Technology**. vol. 6, n. 2, p 179-183, 2003.

MERCIER, S. et al. Time – temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, vol 16, p 647-667, 2017.

MILARDOVIC, S.; IVEKOVIC, D.; GRABARIC, B.S. A novel amperometric method for antioxidant activity determination using DPPH free radical. **Bioelectrochemistry**, vol 68, p. 175-180, 2006.

MITCHAM, E.J. Strawberry. In: USDA (Ed.), USDA Agriculture Handbook 66: **The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks.** USDA, p. 559–561, 2016.

MITCHELL, F.G. Cooling of horticultural commodities. In: KADER, A. A. Postharvest technology of horticultural crops. 3. ed. **Division of Agriculture and Natural Resources. Davis: University of California**, n. 3311, 2002. 295p

MOHAMMADI, H.; HANAFI, Q. Effect of different atmospheres on quality changes of kurdistan strawberry. **Journal of Food Chemistry and Nutrition**, vol 2, p 61-69, 2014.

MOLINA, A.R. A cultura do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) no estado de Santa Catarina: sistemas de produção e riscos climáticos. 195p (**Dissertação de Mestrado**), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis 2016.

MORALES, R.G.F. et. al. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica complementar em cultivo protegido. **Ambiência**, vol. 8, p.23-33, 2012.

NEVES, L. C. et. al. Determining the harvest time of camu-camu [*Myrciaria dubia* (h.b.k.) mcvaugh] using measured pre-harvest attributes. **Scientia Horticulturae** vol 186, p 15-23, 2015.

NIKKHAH, E. et al. Effect of sugar treatment on stability of anthocyanin pigments in berries. **Journal of Biological Sciences**. vol 7, p 1412-1417, 2007.

NUNES, M.C.N. et al. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. **Postharv. Biol. Technol.** vol 6, p 17–28, 1995a.

NUNES, M.C.N. et al. Effects of delays to cooling and wrapping on strawberry quality (cv. Sweet Charlie). **Food Control** vol 6, p 323–328, 1995b.

NUNES, M.C.N., EMOND, J., BRECHT, J. Quality of strawberries as affected by temperature abuse during ground, in-flight and retail handling operations. **Acta Hort.** Vol 604, p 239–246, 2003.

NUNES, M.C.N., et al. Physicochemical changes during strawberry development in the field compared with those that occur in harvested fruit during storage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**. Vol. 86, p 180-190, 2006.

NUNES, M.C.N., et al. Improvement in fresh fruit and vegetable logistics quality: berry logistics field studies. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, vol 372, p 201-213, 2014.

ORTEGA, A. M. M.; CAMPOS, M. R. S. Bioactive Compounds as Therapeutic Alternatives. **Health Benefits and Potential Applications**. p 247-264, 2019.

PASSOS, F.A. Melhoramento do morangueiro no Instituto Agronômico de Campinas. In: **SIMPOSIO NACIONAL DO MORANGO, Pouso Alegre. Anais.** Morango: tecnologia de produção e processamento. Caldas: EPAMIG-FECD, p.259-264, 1999.

PAYASI, A. et al. Biochemistry of fruit softening: an overview. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, vol.15, p.103-113, 2009.

PELAYO C. et. al. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5°C in air or air + 20 kPa CO₂. **Postharvest Biology Technolchnology** vol 27 p. 171-183, 2003.

PELLETIER, W., et al. Quality of strawberries shipped by truck from California to Florida as influenced by postharvest temperature management practices. **HortTechnol.** vol 21, p 482–493, 2011.

PENEAU, S. et al. Importance and consumer perception of freshness of apples. **Food Qual. Prefer.** Vol 17, p 9–19, 2006.

PINELI, L. L. O. Qualidade e potencial antioxidante in vitro de morangos in natura e submetidos a processamentos. 2009. 222 f. **Tese (Doutorado em Ciências da Saúde)** Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PINTO, M. S. Compostos bioativos de cultivares brasileiras de morango (*Fragaria x ananassa* Duch.): caracterização e estudo da biodisponibilidade dos derivados do ácido elágico. 138 p (**Tese de doutorado**). Universidade de São Paulo, 2008.

POLJSAK, B.; DUŠAN ŠUPUT, D.; MILISAV, I. Achieving the balance between ROS and antioxidants: when to use the synthetic antioxidants. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, vol .2013, n.1, p. 1-11, 2013.

PONCE-VALADEZ, M. et al. Differential fruit gene expression in two strawberry cultivars in response to elevated CO₂ during storage revealed by a heterologous fruit microarray approach. **Postharvest biology and technology**, vol. 51, n. 2, p. 131-140, 2009.

ROBINSON, J. E. et. al. Storage characteristics of some vegetables and fruit. **Ann Appl Biology**, vol 81, p 399, 1975.

ROTILI, M. C. C. et al. Atividade antioxidante, composição química e conservação do maracujá-amarelo embalado com filme PVC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 35, n. 4, p. 942-952, 2013.

RUAN, J.; LEE, Y.H.; YEOUNG, Y.R. Flowring and Fruiting of Day-neutral and Everbearing Strawberry Cultivars in High-elevation for Summer and Autumn Fruit Production in Korea. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, vol 54, n.2, 109-120, 2013.

RUFINO, M.S.M. et al. Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Embrapa, Comunicado Técnico**, n.127, 4 p., 2007

SALUNKE, D.K., DESAI, B.B. **Postharvest biotechnology of fruits**. Vol, II, p.105-109. 1984

SANTOS, A. M.; MEDEIROS, A. R. M. Morango – Produção. Brasília: **EMBRAPA CLIMA TEMPERADO**, 81 p, 2003.

SARRIA, S. D. Resfriamento rápido e armazenamento refrigerado do figo (ficus carica L.) 'Roxo de Valinhos' e seus efeitos na qualidade da fruta. 165p (**Tese de doutorado**), Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, 2003.

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

SEELIG, R.A. Strawberries. 3rd ed. Eashington: **United Fresch Fruit & Vegetable Association**. 1975. 24p.

SHAW, Douglas V.; LARSON, Kirk D. Strawberry plant named 'San Andreas'. **U.S. Patent n. PP19,975**, 12 de maio, 2009.

SIDDIQUI, M. W. **Preharvest modulation of postharvest fruit and vegetable quality**. 2018.

SILVEIRA, G. S. R.; GUIMARÃES, B. C. Aspectos sociais e econômicos da cultura do morangueiro. **Informe Agropecuário**, vol. 35, n. 279, p.7-10, 2014

SISTRUNK, W.A., CASH, J.N. Nonvolatile acids of strawberries. **J. Food Sci.** vol 38, p 807–809, 1973.

SOARES JÚNIOR, M. S. et al. Conservação pós-colheita de mangaba sob refrigeração e modificação da atmosfera de armazenamento. 2008.

SOUSA, M. B., CURADO, T. Colheita, pós-colheita, conservação e qualidade. In **Manual do Morangueiro**. Eds. Maria Graça Palha, INIAP/EAN, pp. 107-120, 2005.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E.; The phenolic constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. **J. Sci. Food Agric.**, v. 10, p. 63-68, 1959.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. NEPA-UNICAMP. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: NEPA-UNICAMP. 161p, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 6.ed. Porto Alegre : **Artmed**, 2017. 848p.

TERUEL, B.M. et. al. Interface homem máquina para controle de processos de resfriamento com ar forçado visando economia de energia. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, vol.38, n.3, 2008.

TIAN, M. S. et al. Responses of strawberry fruit to 1-Methylcyclopropene (1-MCP) and ethylene. **Plant Growth Regulation** vol 32 p. 83–90, 2000.

TOSUN, I.; USTUN, N.S.; TEKGULER, B. Mudanças físicas e químicas durante a maturação de frutos de amora preta. **Science Agricultural**, vol.65, n.1, p.87-90, 2008.

VAN DER STEEN, C. et. al. Combining high oxygen atmospheres with low oxygen modified atmosphere packaging to improve the keeping quality of strawberries and raspberries. **Postharvest Biology and Technology**, vol. 26, n. 1, p. 49-58, 2002.

VAZQUEZ-HERNANDEZ, M. et. al. Short-term high CO₂ treatment reduces water loss and decay by modulating defense proteins and organic osmolytes in Cardinal table grape after cold storage and shelf-life. **Scientia Horticulturae**, vol 234, p 27-35, 2018.

WANG, M.H. et. al. Potential role of pectate lyase and Ca²⁺ in the increase in strawberry fruit firmness induced by short-term treatment with high-pressure CO₂. **J. Food Sci.** vol 79, p S685–S692, 2014.

WRIGHT, W. R.; BILLETER, B. A. Marketing losses in selected fruits and vegetables at wholesale, retail, and consumer levels in the Chicago area. **USDA Marketing Research Report** N^o. 1017, 1975.

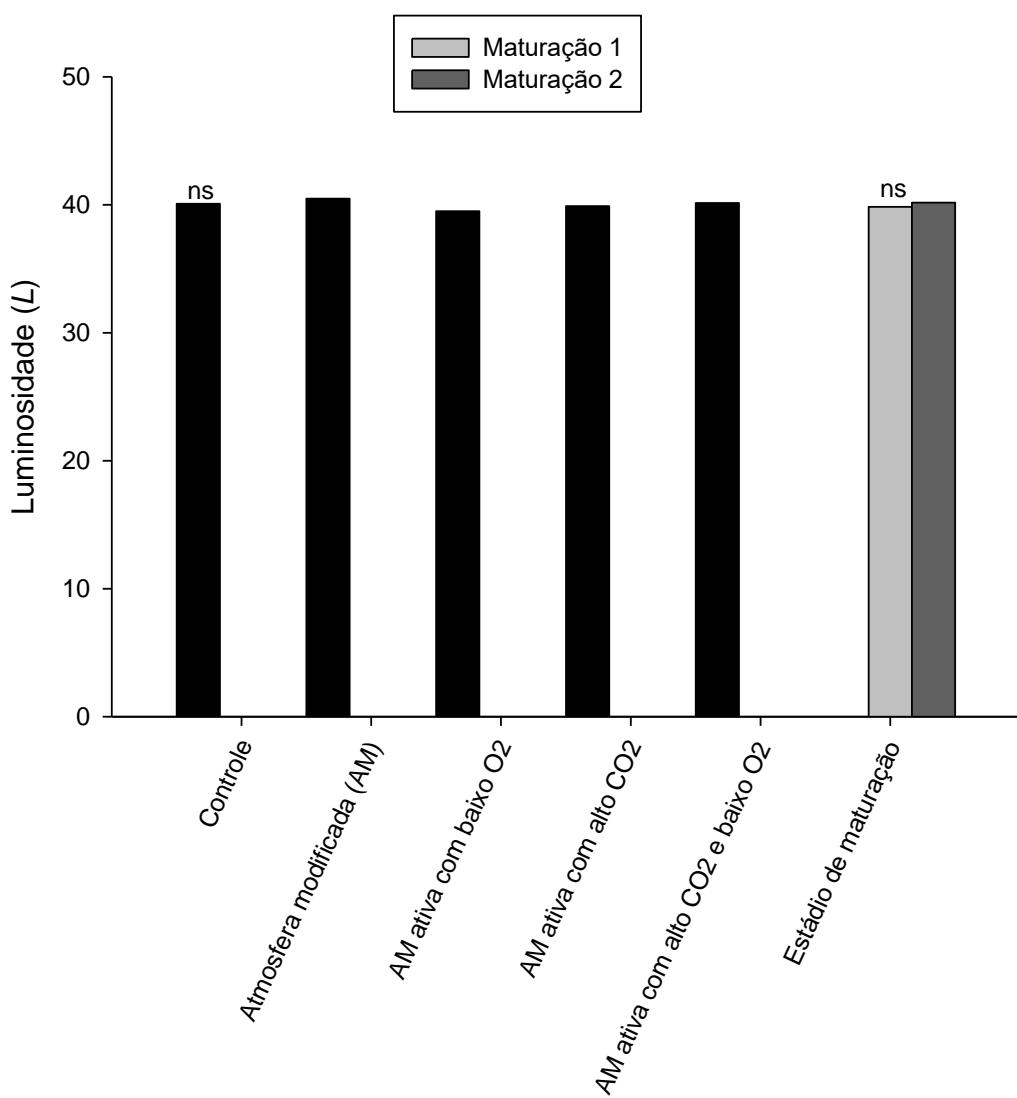
ZALDIVAR, C.P. et. al. Quality and chemical changes associated with flavor of camarosa strawberries in response to a CO₂ enriched atmosphere. **Hortscience** vol. 42, p. 299-303, 2007.

ZHENG, H. Z. et. al A profile of physicochemical and antioxidant changes during fruit growth for the utilisation of unripe apples. **Food chemistry**, vol. 131, n. 1, p. 106-110, 2012.

ZHU, Q. et. al. *In vitro* bioactivities and phytochemical profile of various parts of the strawberry (*Fragaria x ananassa* var. *Amaou*). **Journal of Functional Foods**, vol 13, p 38-49, 2015.

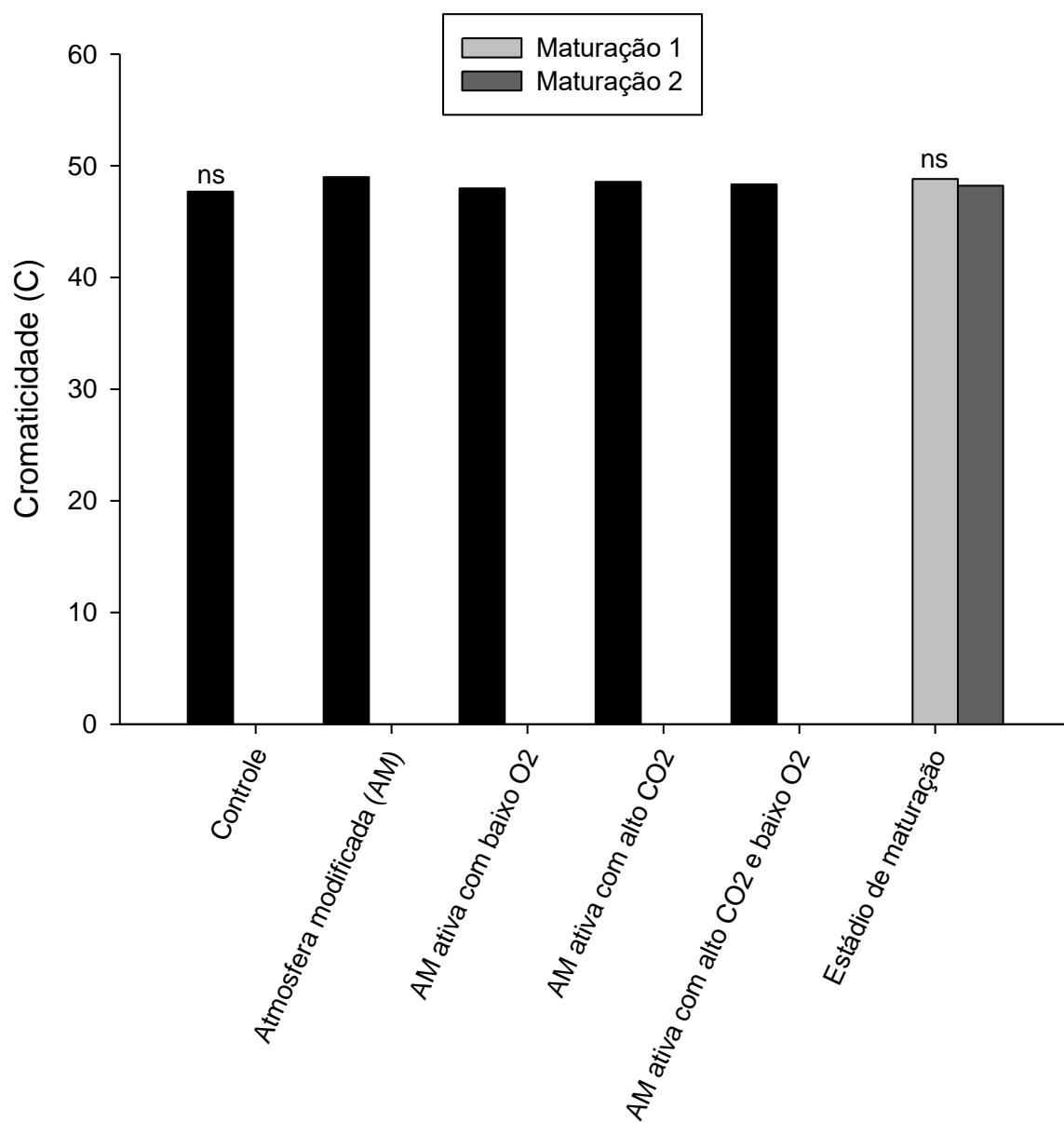
8 APÊNDICES

Apêndice 1. Luminosidade (L) de morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada em armazenamento refrigerado por 14 dias, em diferentes estádios de maturação.



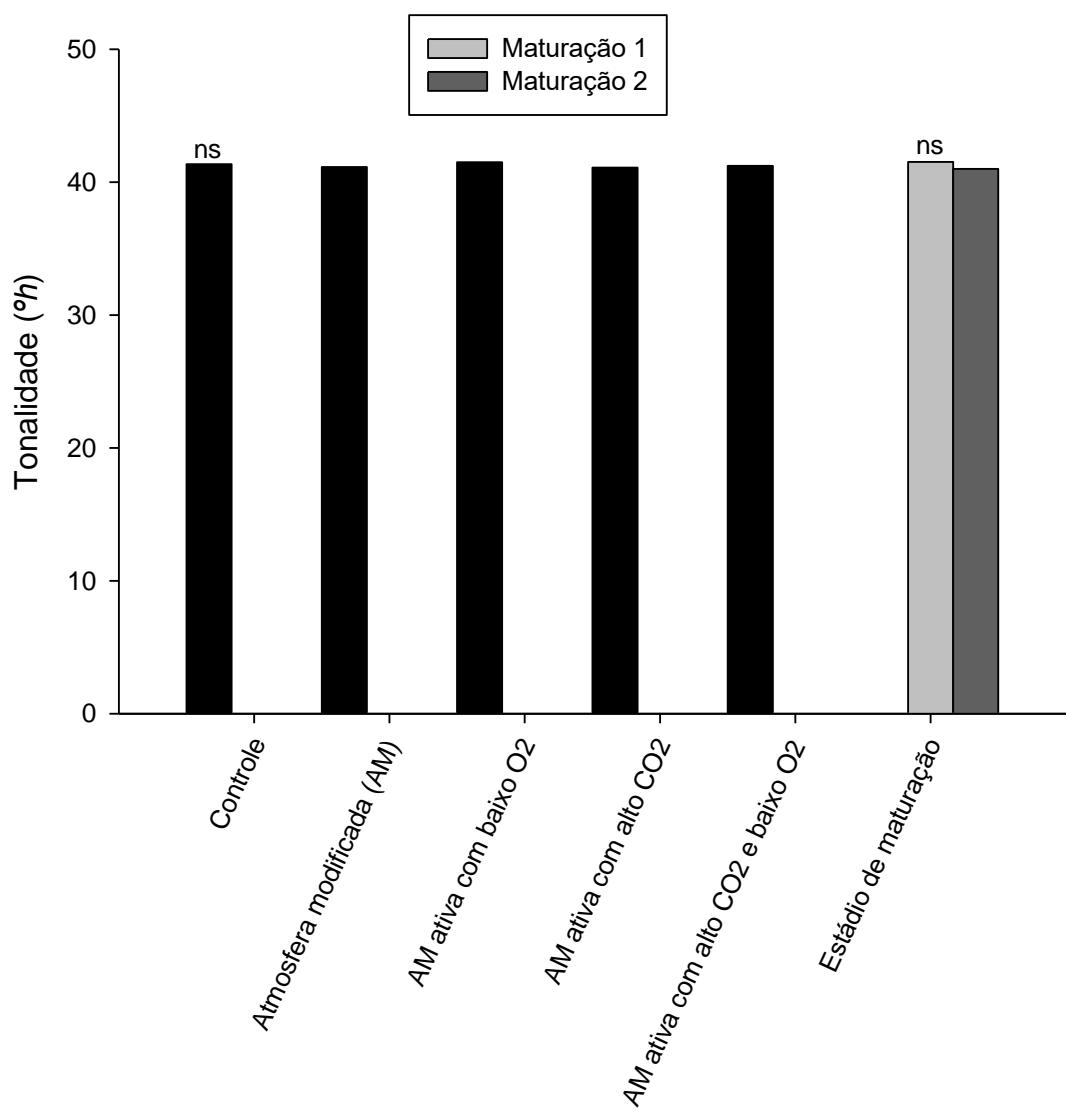
Maturação 1 = frutos com 75% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 30% de cor vermelha.
 Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 2. Cromaticidade (C) de morangos 'San Andreas' submetidos a atmosfera modificada em armazenamento refrigerado por 14 dias, em diferentes estádios de maturação.



Maturação 1 = frutos com 75% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 30% de cor vermelha.
 Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Apêndice 3. Tonalidade (%) de morangos ‘San Andreas’ submetidos a atmosfera modificada em armazenamento refrigerado por 14 dias, em diferentes estádios de maturação.



Maturação 1 = frutos com 75% de cor vermelha; Maturação 2 = frutos com 30% de cor vermelha.
Ns = não significativo; * = Significativo pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.