

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos



Tese

PROCESSAMENTO MINIMO DE MORANGOS (*Fragaria x ananassa*, Duch)
TRATADOS COM RADIAÇÃO UV-C DURANTE O CULTIVO

RAUL VICENZI

Pelotas, 2014

RAUL VICENZI
Engenheiro Agrônomo

**PROCESSAMENTO MINIMO DE MORANGOS (*Fragaria x ananassa* Duch)
TRATADOS COM RADIAÇÃO UV-C DURANTE O CULTIVO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências (Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos).

Orientador: César Valmor Rombaldi

Pelotas, 2014

Dados de catalogação na fonte:
Ubirajara Buddin Cruz – CRB 10/901
Biblioteca de Ciência & Tecnologia - UFPel

V633p

Vicenzi, Raul

Processamento mínimo de morangos (Fragaria x ananassa, Duch) tratados com radiação UV-C durante o cultivo / Raul Vicenzi. – 106f. : il. – Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Pelotas, 2014. – Orientador César Valmor Rombaldi.

1.Radiação ultra-violeta. 2.Processamento mínimo. 4.Compostos bioativos. 4.Qualidade. 5.Morango. I.Rombaldi, César Valmor. II.Título.

CDD: 664.80475

Raul Vicenzi

Processamento mínimo de morangos (*Fragaria x ananassa* Duch) tratados com radiação UV-C durante o cultivo

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 09 de junho de 2014

Banca examinadora:

Prof. Dr. César Valmor Rombaldi (Orientador)
Doutor em Biologie Moléculaire Végétale pela Ecole Nationale Supérieure
Agronomique de Toulouse

Prof. Dr. Amauri Costa da Costa
Doutor em Ciência e Tecnologia Agroindustrial pela Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Leonardo Nora
Doutor em Plant Molecular Biology and Biochemistry pela University of East Anglia

Prof. Dra. Rosane Rodrigues da Silva
Doutor em Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Campinas

Prof. Dr. Valdecir Carlos Ferri
Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

Agradecimentos

Ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Federal de Pelotas, pela minha formação acadêmica.

A todos os professores do Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial da FAEM/UFPel, em especial ao professor Dr. César Valmor Rombaldi, pela inestimável orientação, amizade e compreensão, decisivos para a conclusão deste trabalho.

A todos que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho!

Resumo

VICENZI, Raul. **Processamento mínimo de morangos (*Fragaria x ananassa*, Duch.), cv. Camarosa, tratados com radiação UV-C durante o cultivo.** 2014. 107f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

O morango é um pseudofruto não climatérico bastante aceito pelos consumidores em todo o mundo, principalmente graças a sua qualidade nutricional e sensorial. Frutas e hortaliças minimamente processadas surgiram como uma adaptação ao novo e exigente mercado consumidor, que busca nesses alimentos uma dieta com produtos naturais, que tragam benefícios à saúde aliados à praticidade e conveniência, mantendo o frescor e qualidade nutricional. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da radiação UV-C, aplicada durante o cultivo de morangueiros do cv. Camarosa, na produção de compostos bioativos e no armazenamento dos morangos minimamente processados. Os morangueiros foram cultivados em estufa e receberam tratamento com radiação UV-C ($3,7 \text{ kJ.m}^{-2-1}$) durante o ciclo produtivo. Os morangos foram colhidos no estágio de maturação comercial, minimamente processados e armazenados a 4°C . As amostras, imediatamente após o processamento e aos 2, 5 e 7 dias de armazenamento, foram submetidas às análises físico-químicas, microbiológicas e sensoriais. Não foram identificados *Salmonella* spp e coliformes termotolerantes em nenhuma das amostras analisadas, estando em conformidade com os padrões estabelecidos na legislação. O crescimento dos microrganismos mesófilos, psicrotróficos, bolores e leveduras foi mais lento, durante o armazenamento, nas frutas tratadas com radiação UV-C. Não houve diferenças entre tratamentos para as variáveis perda de massa, sólidos solúveis totais e pH, entretanto a acidez foi menor nos frutos tratados com UV-C. Nas frutas tratadas houve redução menos acentuada na firmeza de polpa durante o armazenamento. A radiação UV-C intensificou a coloração das frutas e promoveu aumento nos teores de antocianinas totais (52,88%), compostos fenólicos (13,98%), vitamina C (12,11%) e capacidade antioxidante (14,04%). Os atributos sensoriais estudados não foram influenciados pelo emprego da radiação UV-C, porém as frutas tratadas apresentaram aceitabilidade superior ao controle em relação à cor. Os resultados sugerem que a aplicação da radiação UV-C, durante o cultivo do morangueiro, pode contribuir no aumento de compostos bioativos, reduzindo suas perdas no armazenamento sem alterar a qualidade sensorial e microrbiológica de morangos minimamente processados.

Palavras-chave: radiação ultravioleta; processamento mínimo; compostos bioativos; qualidade

Abstract

VICENZI, Raul. **Minimal processing of strawberry (*Fragaria x ananassa*, Duch.), cv. Camarosa, treated with UV-C radiation during cultivation.** 2014. 107f. Thesis (Doctoring) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2014.

The strawberry is a non-climacteric pseudo fruit widely accepted by consumers worldwide, mainly due to its nutritional and sensory quality. Minimally processed fruits and vegetables have aroused as an adaptation to the new and demanding consumer market that seeks a diet with natural food products that bring health benefits combined with practicality and convenience, keeping the freshness and nutritional quality. The objective of this work was to study the influence of UV-C, applied during cultivation of strawberry cv. Camarosa in the production of bioactive compounds and storage of minimally processed strawberries. The strawberries were grown in a greenhouse and treated with UV-C (3.7 kJ.m²-1) during the production cycle. The strawberries were harvested at the commercial maturity stage, minimally processed and stored at 4 °C. The Samples immediately after processing and at 2, 5 and 7 days of storage, were subjected to physicochemical, microbiological and sensory analyzes. Not been identified *Salmonella* spp. and coliform in the samples analyzed, complying with the standards established in the legislation. The growth of mesophilic, psychrotrophic, yeasts and molds was slower during storage in fruits treated with UV-C radiation. There were no differences between treatments for the variables weight loss, soluble solids and pH, however the acidity was lower in fruit treated with UV-C. In the treated fruit was less marked reduction in firmness during storage. The UV-C radiation intensified the color of the fruits and promoted an increase of total anthocyanin content (52.88%), phenolic compounds (13.98%), vitamin C (12.11%) and antioxidant activity (14.04%). The sensory attributes evaluated were not affected by the use of UV-C, but the treated fruits were superior to the control acceptability regarding color. The results suggest that the application of UV-C during the strawberry cultivation, may contribute to the increase of bioactive compounds, reducing its losses in storage without changing the sensory and microbiological quality of minimally processed strawberries.

Keywords: ultraviolet radiation; minimal processing; bioactive compounds; quality.

Lista de Figuras

- Figura 1. Fluxograma para o processamento mínimo de morangos..... 37
- Figura 2. Variação da perda de massa (%) em morangos minimamente processados, armazenados a 4°C, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 44
- Figura 3. Variação da firmeza de polpa (N) de morangos minimamente processados, armazenados a 4°C tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 49
- Figura 4. Variação dos teores de vitamina C ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de fruta fresca) em morangos minimamente processados, armazenados a 4°C tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 53
- Figura 5. Variação nos teores de antocianinas totais (mg de cianidina-3-glicosídeo. 100 g^{-1} de fruta fresca) em morangos minimamente processados, armazenados a 4°C tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 56
- Figura 6. Variação nos teores de polifenóis totais ($\text{mg GAE} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de fruta fresca) em morangos minimamente processados, armazenados a 4°C tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 59

- Figura 7. Variação nos teores capacidade antioxidante ($\mu\text{mol TE.g}^{-1}$ de fruta fresca) em morangos minimamente processados, armazenados a 4°C tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 61
- Figura 8. Variação nos valores de L^* na coloração de morangos minimamente processados, armazenados a 4°C tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 63
- Figura 9. Variação nos valores do Croma na coloração de morangos minimamente processados, armazenados a 4°C tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 64
- Figura 10 Variação nos valores do angulo Hue ($^{\circ}\text{H}$) na coloração de morangos minimamente processados, armazenados a 4°C tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 65
- Figura 11 Variação nos valores do parâmetro a^* na coloração de morangos minimamente processados, armazenados a 4°C , tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 66
- Figura 12 Variação nos valores da taxa respiratória ($\text{mg CO}_2.\text{kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$) de morangos minimamente processados, armazenados a 4°C , tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia, pelo teste de T ($p \leq 0,05$)..... 68
- Figura 13 Índice de aceitabilidade (%) de morangos minimamente processados, armazenados por 7 dias a 4°C , tratados e não tratados com radiação UV-C no cultivo. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste T ($p \leq 0,05$) para o atributo sensorial avaliado..... 80

Lista de Tabelas

- Tabela 1. Médias de Sólidos Solúveis Totais (°Brix), Acidez Total Titulável (mg ácido cítrico. 100g⁻¹) e pH de morangos, cv. Camarosa, minimamente processados, armazenados a 4°C, tratados ou não com radiação UV-C no cultivo..... 46
- Tabela 2. Indicadores microbiológicos de morangos minimamente processados, armazenados em refrigeração (4°C), tratados ou não com radiação UV-C no cultivo..... 71
- Tabela 3. Avaliação sensorial de morangos minimamente processados, armazenados a 4 °C tratados ou não com radiação UV-C no cultivo..... 79

Sumário

1. Introdução	11
2. Revisão Bibliográfica	14
2.1 Aspectos gerais da cultura do morangueiro	14
2.2 Composição química do morango	16
2.3 Fatores que influenciam a qualidade e deterioração do fruto	19
2.4 Radiação Ultra-violeta	20
2.5 Processamento Mínimo	26
2.5.1 Fatores que influenciam na qualidade e no armazenamento de morango minimamente processado	28
3. Materiais e Métodos	35
3.1 Obtenção dos frutos	35
3.2 Processamento mínimo	36
3.3 Avaliações físico-químicas	37
3.3.1 Perda de Massa	38
3.3.2 Firmeza de polpa	38
3.3.4 pH	38
3.3.5 Acidez total titulável	38
3.3.6 Sólidos Solúveis (SST)	39
3.3.7 Compostos fenólicos totais	39
3.3.8 Antocianinas totais	39
3.3.9 Determinação de vitamina C	40
3.3.10 Atividade antioxidante	40
3.3.11 Taxa respiratória	40

3.4 Avaliações microbiológicas	40
3.4.1 Contagem de microrganismos mesófilos.....	41
3.4.2 Bolores e leveduras.....	41
3.4.3 Psicotróficos.....	41
3.4.4 <i>Salmonella</i> sp.....	41
3.4.5 Coliformes Totais e Termotolerantes.....	42
3.5 Avaliação sensorial	42
3.6 Avaliação estatística.....	43
4. Resultados e Discussão	44
4.1 Avaliação Físico-Química.....	44
4.1.1 Perda de massa, Sólidos Solúveis Totais (SST), pH e Acidez Total Titulável (ATT)	44
4.1.2 Firmeza de Polpa	49
4.1.3 Vitamina C, Antocianinas Totais, Compostos Fenólicos Totais e Capacidade Antioxidante.....	52
4.1.4 Coloração	62
4.1.5 Taxa Respiratória	67
4.2 Avaliação Microbiológica.....	70
4.3 Avaliação Sensorial.....	78
5. Conclusão	81
6. Referências Bibliográficas.....	82

1. Introdução

O morango (*Fragaria x ananassa*, Duch) é uma fruta popular em todo o mundo, principalmente graças as suas qualidades nutricional e sensorial. Além de ser apreciado como fruta fresca, também é usado em uma variada gama de produtos alimentícios e, portanto, é bastante viável sua oferta na forma minimamente processada, pronta para consumo ou utilização pelos consumidores.

Devido à sua alta perecibilidade, a comercialização e a disponibilidade de morangos são restritas, função da rápida deterioração dos frutos causada pela senescência e pelas doenças pós-colheita, que acarretam perdas consideráveis, tanto qualitativas quanto econômicas. Assim sendo, tecnologias que prolonguem sua vida útil estão sendo estudadas, dentre as quais o uso da radiação UV-C como forma de diminuir a deterioração, retardar a senescência e contribuir para a melhoria de sua qualidade nutricional.

Atualmente tem aumentado a demanda dos consumidores por alimentos de alta qualidade, em particular frutas e hortaliças, os quais devem apresentar sabor “natural” e aparência de produto fresco. Para atingir esta fatia do mercado, surgiram os produtos minimamente processados (PMP), os quais aliam as características dos produtos frescos, que remetem à qualidade em saúde e aos aspectos de praticidade de uso tão exigidos nos dias atuais, devido ao escasso tempo das pessoas destinado à preparação doméstica dos alimentos. No Brasil, essa tecnologia foi introduzida na década de 1990 e agora está tendo um aumento crescente, visando principalmente atender segmentos específicos como redes *fast food*, hotéis, restaurantes e supermercados (MORETTI, 2007).

O processamento mínimo de frutas e hortaliças favorece a deterioração mais rápida dos produtos em comparação com os produtos íntegros, particularmente devido ao crescimento microbiano e ao aumento da velocidade das reações bioquímicas e fisiológicas em função das injúrias físicas e mecânicas às quais são submetidos os tecidos vegetais durante o processamento (RICO *et al.*, 2007). Assim,

a vida útil dos PMP tende a ser muito curta e aumentar este período poderia representar uma vantagem notável para as indústrias de alimentos deste segmento e para os consumidores. As técnicas disponíveis para aumentar a vida útil destes produtos baseiam-se, fundamentalmente, no uso de higienização seguida de refrigeração e atmosfera modificada. A sanitização é o passo mais importante no processamento mínimo e sanitizantes à base de cloro são os mais utilizados, destacando-se o hipoclorito de sódio. O emprego destes produtos químicos para a sanitização também está sendo questionado, pois cresce dia-a-dia a consciência da toxicidade dos resíduos destes produtos nos alimentos, além do fato de promoverem alterações sensoriais nos mesmos.

O emprego de técnicas alternativas viáveis para substituir o cloro, com resultados que minimizem o impacto ambiental, produzindo o mesmo resultado em relação à sanitização, sem alterações sensoriais nos alimentos é aconselhável. Dentre estas tecnologias, surge o tratamento com radiação UV-C no processamento mínimo de frutas e hortaliças. A radiação UV-C pode ser utilizada como um método de desinfecção superficial de frutos, reduzindo o crescimento microbiano (MARQUENIE *et al.*, 2003; VICENTE *et al.*, 2005), assim como para retardar o amolecimento da polpa do fruto, um dos principais fatores que determinam a vida útil do produto (PAN *et al.*, 2004; STEVENS *et al.*, 2004).

A radiação UV-C é uma nova técnica de desinfecção física e, ao contrário de desinfetantes químicos, não deixa resíduos e muitos estudos têm sido feitos avaliando o efeito da sua aplicação em pós-colheita em frutas e hortaliças. Essas pesquisas indicam sua eficácia na redução da microbiota natural, podendo aumentar a vida útil de produtos minimamente processados, como alface (ALLENDE *et al.* 2006), melancia (FONSECA *et al.*, 2006; ARTÉS-HERNÁNDEZ *et al.*, 2010), manga (GONZALEZ-AGUILAR *et al.*, 2007), abacaxi (ZU *et al.*, 2009) e citrus (SHEN *et al.* 2013).

Muitos estudos relatam respostas frente à aplicação de radiação UV-C na pós-colheita de frutos e hortaliças (SHAMA & ALDERSON, 2005; LÓPEZ-MALO & PALOU, 2005; ERKAN *et al.*, 2008; POMBO *et al.*, 2011), entretanto, são poucos os estudos que tem analisado o efeito da aplicação da radiação UV-C durante o cultivo das plantas (GRIZEL, 2012; OLIVEIRA, 2013) sobre a qualidade dos frutos, tanto do ponto de vista de composição físico-química como sobre o comportamento durante o armazenamento, bem como possíveis alterações sensoriais dos produtos. Então se

espera que a aplicação da radiação UV-C em morango (cv. Camarosa), durante o cultivo, possa aumentar o teor de compostos bioativos e que contribua no armazenamento de morangos minimamente processados.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo estudar a influência da radiação UV-C, aplicada durante o cultivo de morangueiros do cv. Camarosa, na produção de compostos bioativos e no armazenamento dos morangos minimamente processados.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Aspectos gerais da cultura do morangueiro

O morangueiro pertence à família *Rosaceae* e ao gênero *Fragaria*. As variedades comercialmente mais importantes pertencem à espécie *Fragaria x ananassa* Duch, que foi obtida do cruzamento de duas espécies nativas americanas *F. virginiana* Duch e *F. chiloensis* (L.) Duch.

O morangueiro apresenta folhas que têm entre 300 a 400 estômatos/mm², um número bem maior que os de outras culturas, como por exemplo, da macieira, que possui 246 estômatos/mm². Esta característica faz com que a cultura seja muito sensível à falta de água, baixa umidade relativa, alta temperatura e intensidade e duração da luz. A planta possui flores hermafroditas, cujo cálice é formado por brácteas unidas na base e as pétalas são livres e dispostas ao redor do receptáculo proeminente o qual, após a fecundação dos pistilos, se transforma no "morango". Desta forma, os "morangos" são frutos falsos, sobre os quais se encontram os aquênios, que são os verdadeiros frutos. Portanto, o morango é um pseudofruto formado pela união de inúmeros aquênios (frutos verdadeiros), os quais são popularmente chamados de sementes.

Morango é uma fruta muito apreciada pelos consumidores de todo o mundo devido principalmente as suas qualidades sensoriais e é utilizada na forma de produto fresco, *in natura*, ou ainda, utilizado em produtos processados, sendo uma das espécies de maior expressão econômica entre as pequenas frutas (FAEDI e ANGELINI, 2010).

Aliada à qualidade sensorial, a aceitação desta fruta pelos consumidores está atrelada à composição química, pois pode proporcionar benefícios para a saúde do consumidor. Apresenta baixo valor calórico e se substâncias como ferro, potássio

ácido fólico, fibras e compostos antioxidantes, os quais estão associados à prevenção de diversas enfermidades, como câncer, colesterol e obesidade. Entre estes compostos destacam-se a vitamina C e os compostos fenólicos, principalmente ácidos fenólicos e antocianinas (AABY *et al.*, 2005; CERZO *et al.*, 2010; SEVERO *et al.*, 2011; CHEPLICK *et al.*, 2010; GIAMPIERI *et al.*, 2012).

Os indicadores da *Food and Agriculture Organization* – FAO (2014) apontam para um crescimento da produção mundial de morangos, em termos absolutos e de intensificação da produção nos tradicionais países produtores, seguidos da abertura de novos mercados potenciais nos países asiáticos. Em 2006, a produção mundial de morangos estimava-se em cerca de 4.106.670 toneladas, ocupando uma área de 271.780 hectares. Estados Unidos destaca-se como o maior produtor mundial, com 33 % da produção mundial, seguido de Espanha, Rússia, Turquia, Coreia e Polônia.

No Brasil, o cultivo comercial do morangueiro é realizado em diferentes estados, devido à adaptabilidade dos diferentes cultivares utilizados em clima subtropical e temperado, utilizando mão-de-obra quase que exclusivamente familiar. Mesmo sendo uma cultura carente de informações estatísticas precisas para o País, tem-se observado um crescimento nos números de produção devido às oportunidades no mercado interno. Contudo, o crescimento interno contrasta com a pouca expressividade dos números no mercado externo.

Atualmente a produção brasileira é estimada em cerca de 130 mil toneladas, com área ocupada de 3.700 ha (RADIN *et al.*, 2011). Os estados maiores produtores são Minas Gerais com cerca de 50 % da produção nacional, São Paulo, com 54 mil toneladas ou 30 % da produção nacional e Rio Grande do Sul, com cerca de 15 % da produção nacional, produzindo cerca de 27 mil toneladas (COSTA, 2009), sendo uma das frutas de maior importância econômica para a Serra Gaúcha e Encosta Superior do Nordeste.

Os cultivares mais plantados no Brasil são ‘Dover’, ‘IAC Campinas’, ‘1Guarani’, ‘AGF-80’, ‘Sequóia’, ‘Princesa Isabel’, ‘Oso Grande’, ‘Aromas’, ‘Chandler’, ‘Lassem’, ‘Sweet Charlie’ e ‘Camarosa’. Este último, lançada nos EUA em 1992, tem plantas de dias curtos, porém muito vigorosas, precoces e com alta produtividade. Apresenta frutas grandes, de epiderme vermelha, firmes, cônicos-achatados, com sabor e aroma agradáveis, doce e levemente ácido, sendo moderadamente suscetível ao fungo micoserela (*Mycosphaerella fragariae*), resistente a oídio (*Sphaeroteca macularis*) e tolerante a viroses (CASTRO, 2004)

2.2 Composição química do morango

Quanto à composição química média, a água é o componente mais abundante (89% a 94%), tornando-o altamente sensível à desidratação (OLÍAS *et al.*, 1998). A umidade de um alimento está relacionada com sua estabilidade, qualidade e composição, e pode afetar características do produto, como estocagem e embalagem, pois durante o armazenamento os alimentos com alta umidade irão se deteriorar mais rapidamente do que aqueles que possuem baixa umidade (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

O gosto doce do morango está relacionado com o seu conteúdo em açúcares com predomínio de glucose e frutose e em muito menor proporção xilitol, sorbitol e xilose (WANG & CAMP, 2000; BALDWIN, 2002, KADER, 1991; KALLIO *et al.*, 2000; BALDWIN, 2002; BALDWIN, 2004; PELAYO-ZALDÍVER *et al.*, 2005). Aparentemente, para que uma fruta seja sensorialmente aceitável, deve possuir um teor mínimo em SST de 7% (MITCHAM *et al.*, 1996), podendo, contudo, encontrar-se variações no intervalo de 5 a 12%, conforme o cultivar e os fatores pré-colheita aos quais a planta foi submetida durante o ciclo produtivo (KADER, 1991; PERKINS-VEAZIE, 1995).

A acidez é representada pelos ácidos orgânicos não voláteis que constituem os componentes mais abundantes, depois dos açúcares, do conteúdo total de sólidos solúveis do morango. Para além do seu papel fundamental, do ponto de vista da qualidade sensorial, os ácidos possuem importância na regulação do pH celular a nível vacuolar, influenciando a estabilidade das antocianinas, possuindo consequentemente, papel relevante na cor das frutas. O ácido mais abundante no morango maduro é o ácido cítrico (0,64% a 1,15%) representando 91% dos ácidos presentes, embora também se verifiquem quantidades consideráveis de ácido málico (9%) e, em menor proporção, de ácidos isocítrico, succínico, oxalacético, glicérico e glicólico. As variações nos ácidos málico e cítrico são responsáveis pelas diferenças de acidez entre frutos maduros e frutos excessivamente maduros.

A acidez total titulável (ATT) em frutos de morango maduros geralmente apresenta uma variação entre 0,5 g a 1,87 g de ácido cítrico por 100 g de polpa (KADER, 1991). As diferenças encontradas nos valores de ATT publicados estão

relacionadas com a cultivar e com os fatores culturais e ambientais aos quais a planta foi submetida durante a produção (SHAW, 1990).

A relação entre o teor de sólidos solúveis totais e acidez total titulável (SST/ATT) é uma das formas mais utilizadas para a avaliação do sabor, sendo mais representativa que as medidas isoladas dos teores de açúcares ou de acidez. Essa relação demonstra o equilíbrio entre esses dois componentes. Em morangos, o teor de sólidos solúveis mínimo é de 7 °Brix e a acidez titulável máxima é de 0,8 g ácido cítrico por 100 g de polpa (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

O morango possui um teor considerável de ácido ascórbico, ainda que os níveis oscilem conforme o cultivar, o estágio de maturação e as condições de cultivo (KIDMOSE *et al.*, 1996; MUNBODH e AUMJAUD, 2003). O ácido ascórbico é uma das vitaminas mais instáveis, sendo que um adequado manuseamento pós-colheita é fundamental para evitar a redução dos seus níveis (OLÍAS *et al.*, 1998; NUNES *et al.*, 1995). O teor de ácido ascórbico no morango varia de 39 mg a 89 mg.100 g⁻¹ de polpa (DOMINGUES, 2000) e depende da época do ano, estágio de maturação, cultivar, radiação, adubação, condições de cultivo e armazenamento (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

Para a nutrição humana a vitamina C é considerada um nutriente essencial por prevenir o escorbuto, doença causada por sua deficiência. Sua importância cresceu ao longo do tempo, principalmente pela descoberta de seu potencial antioxidante (SILVA e COZZOLINO, 2007). A atividade antioxidante do ácido ascórbico é causada pela facilidade de doar elétrons, tornando-o muito efetivo em sistemas biológicos. Por ser um doador de elétrons, o ácido ascórbico serve como um agente redutor para muitas espécies reativas tais como H₂O₂, OH[•], O₂^{•-} e ¹O₂, inativando-as (KAUR e KAPOOR, 2002; ASARD *et al.*, 2004).

Tanto no metabolismo de plantas quanto no de animais as funções biológicas do ácido ascórbico estão centradas nas propriedades antioxidantes da molécula. Nas plantas, além de ser componente chave do sistema antioxidante, atua também como cofator enzimático (atuando na síntese da hidroxiprolina, etileno, ácido giberélico, antocianina e outros metabólitos secundários) e ainda se sugere o envolvimento do ácido ascórbico na divisão celular (SMIRNOFF *et al.*, 2001).

O morango contém níveis expressivos de compostos antioxidantes (AABY *et al.*, 2005) entre os quais se destacam as antocianinas, os flavonóides e os ácidos fenólicos. Compostos fenólicos são compostos bioativos formados por anéis

aromáticos com um grupo hidroxila. Eles são gerados como metabólitos secundários nas plantas e nos fungos, sendo considerado um dos grupos mais importantes associados ao poder antioxidante (SIMÕES *et al.*, 2000). Nas plantas, os compostos fenólicos atuam como componentes estruturais e pigmentantes, além de possuírem atividade antioxidante, antimicrobiana e antiviral (NATELLA *et al.*, 2002; HANNUM, 2004). Estas substâncias agem na planta como compostos de defesa contra herbívoros e patógenos, possuem ação alelopática e atraem polinizadores e dispersores de sementes, além de proteger as plantas frente aos raios UV (TAIZ e ZEIGER, 2009; KEUTGEN e PAWELZIK, 2007). São muitos os benefícios deste tipo de compostos na saúde humana, principalmente associados à prevenção de algumas doenças como arteriosclerose e câncer (CHEUNG *et al.*, 2003), devido a capacidade de neutralizar a ação dos radicais livres. A atividade antioxidante total depende de fatores genéticos e das condições de crescimento da planta (WANG e LIN, 2000; WANG e CAMP, 2000; WANG *et al.*, 2002).

A cor vermelha do morango é resultado do conteúdo e do perfil das antocianinas presentes. A capacidade antioxidante das antocianinas é uma das suas mais significantes propriedades biológicas (WANG *et al.*, 1996). Portanto, as antocianinas são importantes não só em nível estético, como também do ponto de vista nutricional. A principal antocianina presente no morango é a pelargonidina-3-glicosídeo, constituindo cerca de 90% da sua composição total de antocianinas do fruto, seguido da cianidina-3-glicosídeo (GIL *et al.*, 1997; CORDENUNSI *et al.*, 2005; AYALA-ZAVALA *et al.*, 2004; SEERAM *et al.*, 2006). O teor de antocianinas aumenta durante a senescência e pós-colheita (MISZCZAK *et al.*, 1995). Diversos fatores influenciam o teor de compostos antociânicos nas plantas, tais como diferentes cultivares, níveis de adubação do solo, nutrição da planta, clima e grau de maturação (ANTTONEN *et al.*, 2006; MONTEALEGRE *et al.*, 2006). Määttä-Riihinen *et al.* (2004) encontraram teores de antocianinas em morango variando de 314 a 361 mg/kg de fruta fresca, em que a pelargonidina 3-glicosídeo foi a principal antocianina detectada no cultivar 'Johnsok', com 68%. Aproximadamente 83% de pelargonidina 3-glicosídeo, seguida de pelargonidina 3-rutinosídeo (8%) e cianidina 3-glicosídeo (7%) foram encontrados por Silva *et al.* (2007) nos cultivares de morango 'Camarosa', 'Oso Grande', 'Tudnew', 'Carisma' e 'Eris'.

Muitos são os compostos com caráter antioxidantes presentes no morango, incluindo enzimas, vitaminas, ácidos fenólicos e seus derivados, pigmentos e

carotenóides (ROESLER *et al.*, 2007), muitos dos quais provenientes do metabolismo secundário (BAGCHI *et al.*, 2004; AABY *et al.*, 2005). O caráter antioxidante, destes compostos, deve-se a capacidade de inibir e/ou de retardar a velocidade de reações oxidativas de diversos substratos, de moléculas simples até polímeros e de biosistemas complexos, através de dois mecanismos: o primeiro envolve a inibição de radicais livres que possibilitam a etapa de iniciação; e, o segundo, abrange a eliminação de radicais importantes na etapa de propagação, como alcoxila e peroxila, através da doação de átomos de hidrogênio a estas moléculas, interrompendo a reação em cadeia (SOARES, 2002; ROESLER *et al.*, 2007).

2.3 Fatores que influenciam a qualidade e deterioração do fruto

A qualidade final de determinado produto abrange propriedades sensoriais, como aparência, textura, sabor e aroma; o valor nutricional, constituintes químicos, propriedades mecânicas e funcionais, capacidade de armazenamento e defeitos (KADER, 1991; MITCHAM *et al.*, 1996; KADER, 2002). Muitos fatores influenciam a qualidade final de uma fruta e estão classificados em fatores pré-colheita e pós-colheita

Sabendo que a qualidade de uma fruta se desenvolve durante o seu período de crescimento (HEWETT, 2006) e as tecnologias pós-colheita têm como objetivo manter essa qualidade, os fatores pré-colheita assumem um papel preponderante, afetando diversos atributos de qualidade (LEES e KADER, 2000).

Fatores como a escolha do cultivar, condições climáticas de cultivo, práticas culturais, modo de produção, estágio de maturação e modo de colheita são de fundamental importância para o sucesso da cultura, encerrando um papel central na produtividade, qualidade, tempo de armazenamento e na resposta aos tratamentos pós-colheita aplicados às frutas.

Dentre os fatores pós-colheita, destacam-se a respiração e a transpiração, os quais estão relacionados com fatores intrínsecos à fruta e fatores ambientais. Das variáveis fisiológicas, a que mais impacto tem na elevada perecibilidade do morango é a taxa de respiração. A respiração é o processo metabólico pelo qual os materiais orgânicos, principalmente hidratos de carbono, são degradados em produtos mais simples com liberação de calor. Este processo fornece energia e carbono para os

processos bioquímicos da planta, tanto na manutenção da organização celular, como na integridade das membranas. A respiração é um processo que prossegue após a colheita, enquanto os tecidos vegetais permanecerem vivos, e está relacionada com a sua degradação (BRASH, 1995; KADER, 2002; SURJADINATA e CISNEROS-ZEVALLOS, 2003).

Quanto ao padrão respiratório, o morango é classificado como uma fruta não climatérica, e dessa forma não ocorre amadurecimento após a colheita e suas características sensoriais não melhoram; entretanto, há aumento na atividade respiratória, o que compromete a conservabilidade. Sabe-se que muitas frutas classificadas inicialmente como não-climatéricas apresentam respostas típicas de frutas climatéricas, no entanto, aparentemente, sem resposta autocatalítica (CHITARRA; CHITARRA, 2005; PONCE-VALADEZ *et al.*, 2009)

Frutos de morango tem vida útil curta, com elevada perecibilidade devido à elevada taxa metabólica, em especial a alta taxa respiratória e também são muito suscetíveis a danos mecânicos, deterioração microbiana e transpiração. Dentre as alterações indesejáveis mais facilmente perceptíveis durante a pós-colheita do morango estão a excessiva redução da firmeza de polpa e a deterioração causada por fungos (BAKA *et al.*, 1999; MARQUENIE *et al.*, 2002).

Seu curto período de vida útil tem limitado a comercialização deste fruto e as perdas podem chegar a 40% durante o armazenamento. Métodos de conservação adequados podem minimizar as perdas e estender a vida útil (CANER *et al.*, 2008).

2.4 Radiação ultra-violeta

A radiação ultravioleta (UV) é a fração do espectro eletromagnético com um comprimento de onda menor que o da luz visível e maior que o dos raios X, na faixa de 100 nm a 400 nm. Esta amplitude pode ser subdividida em UV-A (315 nm a 400 nm); UV-B (280 nm a 315 nm); UV-C (200 nm a 280 nm, chamado de intervalo germicida, dado que inativa eficazmente as bactérias e vírus) e UV de vácuo (10 nm a 200 nm), que pode ser absorvido por quase todas as substâncias e assim pode ser transmitido apenas no vácuo (KOUTCHMA *et al.*, 2009).

Atualmente tratamentos químicos pós-colheita para conservação de frutas e hortaliças tornaram-se menos aceitos pelos consumidores devido aos efeitos poluidores e possibilidade de presença de resíduos nos produtos. Tratamento de

baixas doses de UV-C é uma das tecnologias físicas que pode ser utilizada, sendo relativamente nova e de fácil uso, pois não produz contaminação e tem se mostrado eficaz no controle da deterioração, retardando o amadurecimento e prolongando a vida útil no armazenamento de diferentes frutas e hortaliças (D'HALLEWIN *et al* , 1999; LEMOINE *et al.*, 2007) .

Embora o uso de luz ultravioleta (UV) esteja bem estabelecido no tratamento de água, desinfecção do ar e descontaminação de superfícies, o seu uso é limitado no tratamento de alimentos e na tecnologia de pós-colheita em particular. Tratamento com radiação UV tem potencial para uso comercial como um tratamento de superfície de frutas frescas. A capacidade da radiação UV para esterilizar e retardar o crescimento microbiano na superfície de frutas recém-colhidas sem causar mudanças indesejáveis na qualidade foi recentemente reconhecido. A radiação com luz UV-C pode ser uma forma mais eficaz que o tratamento com cloro, peróxido de hidrogênio ou ozônio. Os recentes avanços na ciência e na engenharia de irradiação UV demonstraram que este tratamento é uma promessa considerável para extensão da vida útil de frutas e hortaliças frescas. Dada a sua importância, muito pouco se sabe sobre a interação da luz UV com a matéria, especialmente com uma matriz alimentar que é complexa.

A irradiação UV-C em doses baixas (0,25 kJ a 20,0 kJ.m²) afeta o DNA de microrganismos, pois ao penetrar na célula ela é absorvida pelo mesmo provocando lesões fotoquímicas, podendo induzir formação de dímeros de timina que alteram a hélice de DNA e bloqueiam a ação da DNA polimerase, impedindo a replicação das células microbianas, ocasionando a morte celular (LADO e YOUSEF, 2002; TERRY e JOYCE, 2004).

Por esta razão, o tratamento de UV-C é utilizado como um germicida ou agente mutagênico. Mas além desta atividade germicida direta, a irradiação UV-C pode articular a defesa induzida nas plantas. Assim, a irradiação UV-C pode ser aplicada em doses letais e subletais. UV-C também pode produzir um efeito negativo sobre os tecidos da planta que inclui dano estrutural do tecido, alterações na citomorfologia e permeabilidade à água de células epidérmicas interiores (LICHTSCHEIDL-SCHULTZ, 1985). No entanto, baixas doses de irradiação UV-C estimulam reações benéficas em órgãos biológicos, um fenômeno conhecido como *hormesis* (SHAMA, 2007), ou estimulação de respostas benéficas ou protetora por níveis baixos dos estressores que são de outras maneiras prejudiciais (SHAMA,

2007). Os agentes capazes de provocar estes efeitos estimuladores podem ser tanto químicos quanto físicos e incluídas entre estas últimas estão várias frações do espectro eletromagnético.

A dose de UV é um parâmetro crítico na indução dos efeitos benéficos em produtos frescos e isto é essencial para ter conhecimento do intervalo da dose, a qual induz o efeito desejado nos estudos laboratoriais. A dosagem eficaz de UV-C depende da cultura e as doses demasiadamente altas podem provocar efeitos adversos na qualidade do fruto (PERKINS-VEAZIE *et al.*, 2008) .

O objetivo do tratamento com UV-C consiste em provocar uma resposta antimicrobiana no fruto ou tecido vegetal. Baixas doses de ondas curtas de luz ultravioleta (UV-C, com comprimentos de onda entre 190 nm a 280 nm) podem controlar muitos fungos durante o armazenamento de frutas e hortaliças. Tem sido relatado que baixas doses de UV-C pode prolongar a vida pós-colheita e manter a qualidade dos frutos. Estes efeitos incluem atraso no processo de amadurecimento e senescência de frutas (LU *et al.*, 1991; LIU *et al.*, 1993; GONZALEZ-AGUILAR *et al.*, 2007; ERKAN *et al.*, 2001; COSTA *et al.*, 2006; POMBO *et al.*, 2009; SEVERO, 2012); a indução de defesa natural e elicitores contra fungos e bactérias (LERS *et al.*, 1998; D'HALLEWIN *et al.*, 1999; ALOTHMAN *et al.*, 2009; ERKAN *et al.*, 2001; MONZOCCO *et al.*, 2011); aumento do teor de compostos fenólicos e da capacidade antioxidante (CANTOS *et al.*, 2001; ERKAN *et al.*, 2008; PERKINS-VEAZIE *et al.*, 2008; JIANG *et al.*, 2010; ERKAN, WANG, WANG, 2008; WANG *et al.*, 2009; GONZÁLEZ-BARRIO *et al.*; 2009; SEVERO, 2009); alteração da expressão de transcritos de genes das enzimas que atuam na hidrólise da parede celular do morango (POMBO, *et al.*, 2011; SEVERO, 2012).

A exposição a baixas doses de radiação UV desencadeia uma série de acontecimentos bioquímicos dentro do tecido da planta, e uma série de respostas bastante distintas já foram identificadas. Algumas respostas envolvem a síntese de enzimas que têm atividade contra fungos, enquanto que outras resultam na produção de um grande número de compostos químicos, as fitoalexinas, que são inibidoras de microrganismos. Estes efeitos são produzidos pelo uso de doses muito baixas de UV, e a escala de tempo para a indução de tais eventos é medida ao longo de horas ou mesmo dias (GONZÁLEZ-BARRIO *et al.*, 2009).

A resistência à infecção pelo agente patogênico está correlacionada com a indução de mecanismos de defesa da planta (GONZALEZ-AGUILAR *et al.* 2007) e

danos no DNA (CHARLES *et al.*, 2009). Isto se manifesta através da estimulação de espécies químicas antifúngicas, como fitoalexinas (scoparone e resveratrol), flavonóides e enzimas, como quitinases e β -1,3-glucanases, as quais estão envolvidas nos mecanismos de defesa contra patógenos (EL-GHAOUTH *et al.*, 1998; POMBO, 2011). A indução dos sistemas de defesa da planta também pode desencadear o acúmulo desses compostos e outros fitoquímicos como carotenóides e vitamina C, que apresentam potencial antioxidante, melhorando a qualidade nutricional do fruto (ALOTHMAN *et al.*, 2009; GONZALEZ-AGUILAR *et al.*, 2007).

A exposição no pré-armazenamento à radiação tem sido demonstrada como uma forma de controle da deterioração fúngica em muitas frutas armazenadas (BAKA *et al.*, 1999; LU *et al.*, 1991; STEVENS *et al.*, 1990). O controle das doenças do armazenamento pela UV-C poderia resultar na indução da resistência a doenças tão bem como a morte ou inativação dos patógenos pela irradiação. Em cenouras, citros e tomates, a UV-C induziu resistência aos patógenos do armazenamento, estando relacionado com o acúmulo de fitoalexinas (BEN-YEHOSHUA *et al.*, 1992; CHARLES *et al.*, 2008; MERCIER *et al.*, 1993, 2000; RODOV *et al.*, 1992).

A exposição à UV-C atrasa o amolecimento do fruto, um dos principais fatores determinantes na vida pós-colheita (PAN *et al.*, 2004). A luz UV-C diminui a atividade das enzimas envolvidas na degradação da parede celular (expansinas, poligalacturonases, endoglicanases e pectinametilesterases) e no atraso do amolecimento em tomate (BARKA *et al.*, 2000; STEVENS *et al.*, 2004) e morango (ERKAN *et al.*, 2008; POMBO *et al.*, 2009).

A radiação UV-C também pode ser envolvida em reações de foto-oxidação nas plantas, através da produção de espécies reativas de oxigênio (EROS), como oxigênio singlete ($^1O^2$), superóxido (O^{2-}), peróxido de hidrogênio (H_2O_2), e hidroxila (OH) com efeitos deletérios às células. Os radicais livres e os superóxidos podem atacar as células das membranas, ácidos nucleicos, paredes celulares e enzimas, resultando na aceleração da senescência (KON e SCHWIMMER, 1977; GILL e TUTEJA, 2010; GECHEV e HILLE, 2012). Com isso, as plantas ativam sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos e a produção de metabólitos especializados buscando neutralizar o efeito destrutivo de EROS (JANSEN *et al.*, 2008). Segundo Severo (2009, 2012) ao ser detectado um aumento no nível de EROS, o sistema de sinalização da planta ativa enzimas responsáveis pelas vias de

transdução de sinais que manifestam mudanças celulares e fisiológicas com a finalidade de proteger a planta contra o estresse.

Apesar dos benefícios, tem havido uma aparente relutância para implementar os tratamentos horméticos com UV-C no setor de horticultura. Os fatores que devem ser considerados na realização deste foram discutidos por Shama (2007).

Praticamente em todos os estudos anteriores, as aplicações da radiação UV-C em frutas e hortaliças foram feitas após a colheita. Além disso, a estratégia que tem sido adotada até o momento tem sido a de garantir que, tanto quanto possível, toda a superfície da fruta receba exposição a UV-C. Em estudos de laboratório isto foi conseguido pela rotação manual do fruto, enquanto ele está localizado dentro do campo de UV-C (LIU *et al.*, 1993; MAHARAJ, 1999). Naturalmente, isto não seria viável em escala comercial e, por conseguinte, algum dispositivo mecânico para rolar ou rodar a fruta, de modo que nela se acumule a dose de UV requerida, seria necessário. Dispositivos deste tipo têm sido descritos e poderiam muito bem ser integrados em linhas de embalagem existentes, sujeito a disponibilidade de espaço e consideração do impacto potencial de qualquer dano físico ao fruto.

Entretanto, uma possibilidade que não recebeu investigações anteriores é tratamento dos frutos ainda na planta, ou seja, em tratamento pré-colheita, e acredita-se que esse estresse aplicado durante o cultivo possa resultar em benefícios à qualidade das frutas. Existem poucos trabalhos sobre os efeitos do UV-C sobre o crescimento das plantas. Este fato pode ser explicado, até certo ponto, porque tem sido afirmado não ser 'fisiologicamente relevante' radiação UV-C para as plantas que crescem ao sol.

Não obstante, as fontes que emitem uma variedade de comprimentos de onda UV, incluindo alguns UV-C, foram usados por Del Corso e Lercari (1997) para condicionar mudas de tomate cultivadas em estufas para transplante exterior. Bacci *et al.* (1999) tentaram simular os efeitos com outras formas de radiação e descobriram que o tratamento de plantas de tomate com UV-B, com aplicações diárias, resultou em maturação precoce e redução no tamanho dos frutos.

Schirrmacher *et al.* (2004) relatam que houve maior produção de flavonóides em espinafre quando cultivado ao ar livre em comparação com cultivo em estufa, que foi atribuída à radiação UV. Plantas de alface vermelhas cultivadas em filme altamente transmissivo à UV tinham níveis mais elevados de compostos fenólicos e

atividade antioxidante em comparação com plantas de alface cultivadas na ausência de radiação (GARCIA-MACIAS *et al.*, 2007; TSORMPATSIDIS *et al.*, 2010).

Em morangos, foi observado um aumento de compostos fenólicos individuais quando plantas de morango foram cultivadas sob filmes transparentes à radiação UV em comparação aos filmes que bloqueavam a radiação (JOSUTTIS *et al.*, 2010). Estes autores verificaram um efeito benéfico da radiação UV nos teores de flavonóides tais como quercetina 3-glicuronídeo, kaempferol 3-glicosídeo e de cianidina 3-glicosídeo. Johnson *et al.* (1999) demonstraram que a aplicação suplementar de radiação UV-B aumenta o teor de compostos voláteis em manjeriço.

Paul e Gwynn-Jones (2003) sugerem que o aumento da radiação UV em culturas protegidas pode ser explorado para aumentar a qualidade das plantas para a indústria de alimentos.

Oliveira (2013), trabalhando com morangos tratados com irradiação UV-C durante o cultivo, também observou que houve uma diminuição da produtividade e do tamanho das frutas. Por outro lado relata que houve aumento nos teores de compostos antioxidantes, polifenóis, antocianinas e ácido ascórbico bem como as frutas apresentaram menor incidência de podridões fúngicas.

Grizel (2012), avaliando o efeito da radiação UV-C durante o cultivo do morango sugere que a aplicação de radiação UV-C durante o ciclo vegetativo resulta na maturação antecipada das frutas, com maiores teores de ácido L-ascórbico, antocianinas totais e carotenóides totais e menor produtividade por planta, não influenciando o peso médio das frutas.

Entretanto, até o presente momento, a quase totalidade de estudos propõem o uso da radiação UV-C na pós-colheita de morangos e há poucos relatos na literatura sobre as características funcionais e de qualidade de morangos cultivados sob tratamento com radiação UV-C. Acredita-se que a radiação UV-C aplicada durante o cultivo do morangueiro possa promover indução do metabolismo especializado dos frutos supostamente responsáveis pela defesa contra patógenos e aumentar a síntese de fitoquímicos responsáveis pela atividade antioxidante dos morangos. Acima de tudo, o tratamento UV-C pode tornar-se uma nova forma de melhorar a qualidade funcional de diferentes frutas e hortaliças.

2.5 Processamento mínimo

Atualmente é cada vez maior a tendência dos consumidores procurarem alimentos com características sensoriais que refletem um processo de mínima intervenção da indústria, especialmente quando este alimento é uma fruta ou uma hortaliça.

Há uma consciência crescente de qualidade, particularmente em culturas hortícolas e no setor de saúde, o que exige fortemente pesquisas voltadas para a elaboração de produto com qualidade definida, a preservação da qualidade durante a comercialização, a avaliação de parâmetros de qualidade e a integração desta nos processos de produção (VALERO e SERRANO, 2010).

Dentre as soluções encontradas para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, que atendam este anseio do consumidor por produtos com qualidade e conveniência, está o processamento mínimo de vegetais (PMV). Essa tecnologia tem como objetivo fornecer ao consumidor um produto fresco e com grande conveniência, ou seja, sem cascas ou sementes e em porções individuais (ARRUDA, 2004). Portanto a tecnologia de processamento mínimo tem por objetivo satisfazer às necessidades dos consumidores de frutas e hortaliças frescas, seguindo a tendência atual de pouco tempo disponível para o preparo das refeições e que contribua para uma alimentação saudável (VANETTI, 2000).

Existem muito conceitos de produtos minimamente processados (PMP), mas segundo a INTERNATIONAL FRESH-CUT PRODUCE ASSOCIATION (IFPA, 2001) os vegetais "*fresh-cut*" ou minimamente processados são definidos como qualquer fruta ou hortaliça ou qualquer combinação destes que tenham sido fisicamente alterados a partir de sua forma original, mas continua em estado fresco. Independentemente da matéria-prima, ela deve ter sido aparada, descascada, lavada, cortada e sanitizada, sendo transformada em um produto 100% utilizável, que é posteriormente ensacado ou pré-embalado para oferecer aos consumidores um produto com conveniência e mantendo o frescor.

Para Damasceno *et al.* (2001), o processamento mínimo pode ser definido como a manipulação, preparo, embalagem e distribuição de produtos agrícolas através de procedimentos como seleção, limpeza, lavagem, descascamento e corte que não afetem as suas características sensoriais e, ao mesmo tempo, agreguem

valor, obtendo-se produtos com características de “naturais”, práticos, cujo preparo e consumo requerem menos tempo, atendendo às exigências da vida moderna

Os vegetais minimamente processados são conceituados como frutos e hortaliças modificados fisicamente, mas que mantêm o seu estado *in natura* (CANTWELL, 2000). O propósito desses alimentos é proporcionar ao consumidor produtos que aliam praticidade e comodidade, dispensando, na maioria das vezes, a operação de preparo antes de serem consumidos (MORETTI, 2001).

Esse segmento é um dos que mais cresce no mercado varejista de alimentos. No entanto, o processamento mínimo ainda necessita de estudos para superar as dificuldades tecnológicas em manter a boa qualidade sanitária, sensorial, nutricional e funcional desses produtos (SOLIVA-FORTUNY e MARTIN-BELLOSO, 2003).

O consumo internacional de frutas e hortaliças processadas minimamente está aumentando. Nos EUA, a indústria do setor movimenta valores da ordem de 10-12 bilhões de dólares por ano e, segundo as estatísticas, o comércio desses produtos é responsável por aproximadamente 10% do volume total de frutas e hortaliças comercializadas na forma fresca naquele país, projetando-se, para os próximos 10 anos algo em torno de 20% (MORETTI, 2003).

De 2006 a 2010, a categoria de frutas e hortaliças minimamente processadas aumentaram as vendas em 11% e 18% respectivamente nos EUA, devido principalmente ao desenvolvimento constante de novos produtos, alternativas de alimentos saudáveis e conveniência, mesmo tendo estes produtos um preço maior do que os frutos frescos. Em 2011, frutos minimamente processados apresentaram um aumento de 7% na oferta de novos produtos, demonstrando claramente que este aumento de consumo é contínuo (FRESHCUT, 2014).

No Brasil, o processamento mínimo de frutas e hortaliças é recente, mas já se configura como um nicho de mercado que cresce e se consolida acompanhando um fenômeno de âmbito mundial, associado com fatores decorrentes das profundas mudanças sociais, políticas e econômicas das últimas décadas, que impuseram novos hábitos, estilos e ritmos de vida à sociedade e à vida privada dos indivíduos. A venda de frutas, legumes e verduras nas grandes redes de supermercados do País é responsável por 10% a 13% do faturamento total e o segmento de vegetais minimamente processados participa com 2,9% deste total (SEBRAE, 2008).

Segundo Moretti e Sargent (2007), a taxa de crescimento anual do mercado nacional de produtos processados minimamente é de 10%. Essa taxa é devida, em

grande parte, ao aumento do mercado institucional em 150%, de 1995 a 2002, com participações significativas de redes de *fast food* e de *catering*. Também cadeias de supermercados ajudaram a absorver a produção interna de frutas e hortaliças processadas minimamente.

Verifica-se também uma grande agregação de valores dos PMP em relação a produtos hortícolas *in natura*, onde a diferença de preços da hortaliça a granel em relação à minimamente processada pode variar em 240%, para importantes produtos frescos. Por isso esse mercado é tão atraente para os produtores agrícolas atualmente.

O processamento mínimo de hortaliças é uma prática relativamente recente, que promete contribuir com a redução dos desperdícios e, como consequência, para a substancial economia de alimentos em nosso País. Assim, podem-se sintetizar as vantagens para os consumidores de produtos minimamente processados (MP): maior praticidade no preparo dos alimentos, reduzido desperdício devido ao descarte de partes indesejáveis, maior segurança na aquisição de produtos limpos e embalados, possibilidade da compra de menores quantidades, possibilidade de conhecer a procedência do produto e de escolher marcas (RODRIGUES, 1999).

2.5.1 Fatores que influenciam na qualidade e no armazenamento de morango minimamente processado

Ao contrário das técnicas de processamento de alimentos que estabilizam os produtos e aumenta sua durabilidade, o processamento mínimo aumenta a perecibilidade dos alimentos (CANTWELL, 2000).

Muitos fatores influenciam a qualidade das frutas pré-cortadas, como as condições de cultivo e as práticas culturais adotadas, o cultivar utilizado, o ponto de colheita, os métodos usados na colheita e no manuseio, os padrões de inspeção, assim como a duração e as condições de armazenamento (ALVES *et al.*, 2000).

A qualidade de produto final está diretamente relacionada com a qualidade da matéria-prima, cuja escolha deve ser pautada na sua qualidade, que em grande parte é resultante dos cuidados antecedentes à recepção na Unidade Processadora. A adoção das Boas Práticas Agrícolas (BPA) associada ao cuidado com o transporte e armazenamento pós-colheita dos alimentos, possibilita melhor produtividade na medida em que poucas frutas e hortaliças serão danificadas e deterioradas nesse

período. Além disso, pode favorecer a menor contagem microbiana, quesito fundamental para a qualidade do produto final, considerando as etapas críticas subsequentes (MORETTI, 2007; CRUZ *et al.*, 2006).

A vida útil dos vegetais minimamente processados é diretamente afetada pela cultivar que vai influenciar no rendimento, qualidade e resistência (ALVES *et al.*, 2000) e pelo estágio de maturação, uma vez que frutas imaturas geralmente têm baixo teor de açúcar e frutas muito maduras têm vida útil limitada (WATADA e QI, 1999).

A colheita de morangos deve ser realizada nas horas mais frescas do dia e as frutas devem ser colhidas no seu ponto ótimo de maturidade fisiológica, o que varia de acordo com as condições climáticas, solo e cultivar. Devem-se escolher produtos com boa aparência e sem ferimentos, manchas e não danificados por insetos e pragas (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

A recepção da matéria-prima na unidade processadora deve acontecer em local arejado e sombreado para evitar possível contaminação provinda do campo ou da área de armazenamento inicial e aumento indesejável da temperatura. Com isso, a refrigeração dessa matéria-prima deve ocorrer o quanto antes, especialmente se não for processada imediatamente (FONSECA *et al.*, 2006).

No início do processamento, a lavagem deve ser realizada com a utilização de água potável para remoção de impurezas, insetos e outras sujidades que podem estar aderidas à matéria-prima. A sanitização normalmente utiliza produtos à base de cloro ativo em concentrações que dependem do vegetal a ser processado e da contagem microbiana presente (ANDRADE *et al.*, 2007).

A lavagem e sanitização compreendem etapas essenciais na obtenção dos produtos minimamente processados com segurança sanitária. Além disso, considerando que a perda na qualidade é também influenciada pela condição sensorial, espera-se que o processamento para redução da contagem microbiana e caracterização do produto não altere a firmeza, aparência de frescor e cor das hortaliças e frutas (ALLENDE *et al.*, 2006).

Os produtos minimamente processados (PMP) apresentam maior atividade metabólica, com elevada taxa respiratória e de deterioração, o que diminui relativamente a sua vida de prateleira. Logo, técnicas adequadas de conservação devem ser adotadas no sentido de estender a vida útil, preservando sua qualidade. Refrigeração, controle de umidade, processos físicos como irradiação, adição de

substâncias químicas e embalagem em atmosfera modificada têm sido usados com frequência para preservar a qualidade desses produtos e aumentar a vida útil.

Como o objetivo do processamento mínimo de frutas e hortaliças é oferecer aos consumidores produtos muito similares aos produtos frescos, enfrenta-se dois problemas principais. O primeiro problema é que se trata de tecidos vivos, nos quais inúmeras reações químicas e bioquímicas estão ocorrendo e o segundo é que se deve minimizar ao máximo o risco de contaminação microbiológica, uma vez que compromete a segurança do alimento, bem como a qualidade final do produto, pois o crescimento microbiano pode levar a alterações físico-químicas e sensoriais (CENCI, 2011)

Frutas e hortaliças frescas são veículos de bactérias e fungos quando chegam às plantas de processamento, podendo trazer também vírus e parasitas. Os processos de lavagem em água limpa e sanitização são etapas importantes para redução do número de microrganismos no produto final. A utilização de água de qualidade inadequada tem o potencial de ser uma fonte direta de contaminação e um veículo para disseminar a contaminação localizada nos ambientes de campo, instalação ou transporte. Sempre que a água entra em contato com produtos hortícolas frescos, sua qualidade dita o potencial de contaminação patogênica. Se os patógenos sobrevivem no produto hortícola, isto pode causar doenças alimentares (GORNLY, 2001).

O intenso manuseio, juntamente com o fracionamento, cria condições favoráveis ao aumento e diversificação da microbiota, aumentando consideravelmente os riscos de veiculação de toxinfecções alimentares. A microbiologia de frutos minimamente processados é multifatorial, dependendo do tipo de fruto (pH, atividade de água, nutrientes), sua procedência, etapas de processamento (lavagem, sanitização, descascamento, corte, embalagem, temperatura de armazenamento) e condições higiênico-sanitárias do manipulador, dos equipamentos e utensílios, bem como do ambiente (VANETTI, 2004).

A maior preocupação presente sobre os PMP refere-se à segurança alimentar, desde que vários PMP são consumidos crus. Assim, cuidados devem ser tomados para evitar contaminações microbianas. Algumas pesquisas importantes incluem o desenvolvimento de melhores cultivares para o processamento mínimo, a embalagem em atmosfera modificada e técnicas de sanitização que diminuam a utilização de cloro e seus derivados (MORETTI e SARGENT, 2007).

O cloro é normalmente usado para desinfecção da superfície de frutas por meio da adição de hipoclorito de sódio (NaClO) na água de lavagem. Imersão em água contendo 50 a 200 mg.L⁻¹ de cloro ativo é comumente recomendada na literatura para frutas, tanto antes do processamento ou para as operações de pré ou pós-corte (PIROVANI *et al.*, 2006; SOLIVA-FORTUNY e MARTÍN-BELLOSO, 2003). Segundo Regis *et al.* (2006), a concentração de 150 mg.L⁻¹ é a mais efetiva na inibição do crescimento fúngico sem alterar negativamente as características sensoriais do morango.

O cloro (Cl⁺) é um potente desinfetante com forte propriedade oxidante. A solução formada, chamada de “água clorada”, consiste em uma mistura de gás cloro (Cl₂), ácido hipocloroso (HOCl) e íons hipoclorito (OCl⁻) em quantidades que variam em função do pH da água. A eficácia do cloro depende da quantidade do cloro ativo presente na solução, principalmente sob a forma de ácido hipocloroso (HOCl), que tem sua concentração aumentada à medida que o pH e a temperatura diminuem (GONZÁLEZ-AGUILAR *et al.*, 2005).

O processamento mínimo do morango, por ser este um fruto de tamanho pequeno, consiste apenas na eliminação do pedicelo e sépalas e como opção, os frutos também podem sofrer cortes em pedaços (CENCI, 2007). A etapa de corte dos frutos deve ser tal que provoque o menor dano possível na estrutura do vegetal, considerando as diversas alterações fisiológicas que desencadeia (VILAS BOAS *et al.*, 2006; GLEESON e O'BEIRNE, 2005). Após o corte é recomendado realizar a sanitização das frutas, como medida de controle microbiológico (BASTOS, 2006).

A escolha da embalagem a ser utilizada depende da combinação entre conservação do produto e seu custo, de maneira a aumentar a vida útil (SOARES; 2002). A permeabilidade das embalagens ao oxigênio (O₂) é determinante. O maior conteúdo de CO₂ e reduzido teor de O₂ pode favorecer a redução da taxa respiratória do vegetal e, com isso, as alterações bioquímicas e metabólicas ocorrem mais lentamente (MORETTI, 2007; WATADA *et al.*, 1996). Sendo assim, conhecer a combinação adequada dos teores de CO₂ e O₂ para o produto auxilia na escolha da melhor embalagem (ROJAS-GRAÜ *et al.*, 2009).

O armazenamento em baixas temperaturas é um requisito obrigatório para a conservação de vegetais minimamente processados porque reduz os efeitos fisiológicos dos ferimentos causados aos tecidos, prolongando a sua vida útil e

auxiliando na preservação de suas características de frescor (BRECHT, 2003; ANDRADE *et al.*, 2007; BASTOS, 2006).

As baixas temperaturas utilizadas durante o processamento e armazenamento contribuem para a redução da velocidade de crescimento da maioria dos microrganismos, com exceção dos psicrotóxicos, os quais encontram no ambiente refrigerado local adequado ao seu desenvolvimento (VANETTI, 2004). Por outro lado sabe-se que as temperaturas de armazenamento determinam a taxa respiratória dos vegetais armazenados e, assim, produzem mudanças na atmosfera gasosa dentro da embalagem em que estão acondicionados, influenciando o comportamento dos microrganismos. Conseqüentemente, a temperatura influi na velocidade de senescência dos produtos processados minimamente (CANTWELL, 1992).

O limite inferior de temperatura que deve ser respeitado no armazenamento de frutas e hortaliças depende de cada espécie, devendo ser evitadas faixas que provocam danos pelo frio. Para o armazenamento de minimamente processados recomenda-se temperaturas próximas a 0°C para a maioria dos produtos, porém no Brasil, por questões de economia, utilizam-se temperaturas de ± 5 °C (CANTWELL, 2000; VITTI *et al.*, 2004).

Para produtos altamente perecíveis, como morangos minimamente processados, os quais possuem uma vida útil relativamente pequena e são bastante vulneráveis a variações extremas de temperatura, a manutenção de uma temperatura adequada próxima a 0 °C é recomendada para manter o produto seguro para o consumo (BRECHT *et al.*, 2003). Porém, mesmo em temperatura e umidade relativa do ar (UR) apropriadas, 0 °C a 1 °C e 90 % a 95 % respectivamente, a vida útil de morangos minimamente processados é de apenas 7 dias (NUNES *et al.*, 1995).

Como a temperatura influencia decisivamente em todas as reações as quais estão sujeitos os frutos minimamente processados, a cadeia do frio utilizada em todo o processamento, representa um sistema eficiente para retardar a taxa respiratória e, conseqüentemente a senescência do produto minimamente processado. Contudo, o fator determinante, para cada produto, além dos cuidados durante o processamento, é o estabelecimento da temperatura mais apropriada, combinada com a embalagem que oferecerá durabilidade mais prolongada ao alimento minimamente processado (HODGES e TOIVONEN, 2008).

Frutas e hortaliças depois de colhidas são frequentemente expostas a variações de temperatura durante seu manejo, transporte, armazenamento e comercialização. Na comercialização a temperatura em torno do produto é normalmente maior que no armazenamento e no transporte (BRECHT *et al.*, 2003). Essa quebra da cadeia do frio faz com que o vegetal entre em estado de senescência mais rapidamente, diminuindo sua vida útil.

Dentre os principais processos fisiológicos que ocorrem após a colheita de frutos e hortaliças destaca-se a respiração, sendo considerado como o melhor indicador da atividade metabólica da célula e a redução de sua intensidade promove a diminuição da taxa de metabolismo como um todo (LANA e FIGNER, 2000).

A respiração consiste na decomposição oxidativa de substâncias complexas presentes nas células como amido, açúcares e ácidos orgânicos, em moléculas simples como CO₂ e H₂O, e produção de energia, caracterizando-se, portanto, pelo aumento no consumo de O₂ e liberação de CO₂ (YANG, 1984).

As frutas podem então, a partir da variação na respiração, serem classificadas em climatéricas e não-climatéricas. As frutas climatéricas apresentam um rápido e acentuado pico da respiração durante a maturação, o mamão é um exemplo. As frutas não-climatéricas apresentam maturação e amadurecimentos relativamente lentos, acompanhados de variação pouco significativa na respiração, é exemplo o abacaxi (SILVA *et al.*, 2007). O morango é uma fruta classificado como não climatérica, porém de elevada taxa respiratória (desde 6 ml CO₂.kg⁻¹.h⁻¹ a 0°C até 100 ml CO₂. kg⁻¹.h⁻¹ a 20°C) e que produz baixos níveis de etileno (< 1ul.kg⁻¹.h⁻¹ a 20°C), devendo estar no estágio ótimo de amadurecimento na colheita para o consumo, pois ao ser colhido ele perde sua capacidade de amadurecimento e passa a apresentar queda continua na taxa respiratória (MITCHAM *et al.*, 2002; DURIGAN, 2007).

O processamento mínimo torna os produtos mais perecíveis devido às operações de descascamento e corte. Nos vegetais inteiros o sistema enzimático está geralmente intacto e ativo. Neste caso, o produto deteriora-se devido ao processo de senescência natural à medida que as reservas de energia vão sendo consumidas e os produtos metabólicos vão sendo acumulados nos tecidos. Em consequência disso, os tecidos amolecem e compostos de baixo peso molecular acumulam-se, causando odores e sabores desagradáveis (CENCI, 2011).

Porém, quando os produtos vegetais são cortados, descascados ou fatiados, sua taxa metabólica aumenta, o que torna estas etapas críticas e limitam a vida útil de frutas e hortaliças processadas minimamente. Isso decorre da maior atividade metabólica das células injuriadas e do aumento da superfície exposta à atmosfera após o corte, o que facilita a penetração do oxigênio no interior das células. A atividade respiratória também aumenta com a temperatura e é função da espécie de vegetal, do seu grau de maturação, das suas condições fisiológicas e da composição gasosa da atmosfera ao seu redor. O aumento na taxa respiratória desses produtos pode variar pouco ou aumentar em mais de 100% em relação ao produto similar intacto. Portanto, o controle da respiração é essencial para os produtos processados minimamente, o que obriga a sua comercialização sob refrigeração (WILEY, 1994; SOLIVA-FORTUNY e MARTÍN-BELLOSO, 2003; CENCI, 2011).

A taxa de respiração dos tecidos vegetais aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura. Deficiências no controle de temperatura nas diferentes etapas como recepção, estocagem, processamento, armazenamento, transporte, distribuição e comercialização do produto têm repercutido negativamente na sanidade, qualidade e vida útil das frutas e hortaliças minimamente processadas.

Frutos de morangos são muito perecíveis, possuindo limitada vida útil em decorrência disso, apresentam alta taxa respiratória, aproximadamente $15 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ a 0°C , que aumenta entre 4 a 5 vezes quando a temperatura aumenta para 10°C e incrementa até 10 vezes quando a temperatura aumenta até 20°C (TUDELA *et al.*, 2003).

3. Materiais e Métodos

3.1 Obtenção dos frutos

O experimento, realizado na cidade de Pelotas (RS), foi conduzido em casa de vegetação (8m x 12m) disposta no sentido norte-sul, revestida com filme transparente de polietileno de baixa densidade (200 µm de espessura). As mudas de morangueiro, cultivar Camarosa, foram transplantadas no espaçamento de 20 cm entre plantas nos canais de cultivo e 40 cm entre linhas, resultando em 12,5 plantas m² de área útil. A composição nutritiva utilizada foi diluída para uma condutividade elétrica (CE) de 1,5 dS.m⁻¹. A condutividade da solução de recirculação foi monitorada diariamente, empregando-se um eletrocondutivímetro digital Instrutherm CDR-870, assim como o pH foi mantido entre 5,5 e 6,5 com a adição de solução de KOH 1 mol.L⁻¹ ou H₂SO₄ 1 mol.L⁻¹, conforme o caso. Quando houve variação superior a 10 % no valor da CE fez-se a reposição de nutrientes ou de água. A circulação da solução nutritiva foi feita por 15 minutos a cada 45 min totalizando 24 circulações diárias. Até 20 dias após o transplante todas as flores foram removidas de modo a proporcionar o bom crescimento vegetativo (formação de 5 a 7 folhas). A partir daí, realizaram-se as práticas culturais clássicas para o cultivo do morangueiro e, a partir da emissão dos primeiros botões florais, foram instaladas duas caixas de abelhas do tipo Jataí (*Tetragonisca angustula*) para a ocorrência da polinização.

Para a aplicação de UV-C utilizaram-se lâmpadas UV-C “Phillips®” 30 W. A distância entre as lâmpadas e a parte superior das plantas foi de aproximadamente 2 metros e a intensidade da radiação emitida pelas lâmpadas foi quantificada com um medidor de luz UV digital (RS-232 Modelo MRUR-203, “Instrutherm”), resultando em uma intensidade de 3,7 kJ.m⁻², por aplicação. A aplicação do tratamento ocorreu a partir do aparecimento das flores até a colheita, quando os frutos atingiram ¾ de

coloração vermelha na epiderme. Antes da aplicação da radiação UV-C, as caixas de abelhas eram fechadas, e às 19h, durante 10 minutos, todos os dias, até o momento da colheita, aplicou-se a radiação. Desse delineamento originaram-se dois tratamentos: T1 – controle (sem aplicação de radiação UV-C); e, T2 – aplicação de radiação UV-C. Essas condições do experimento, em especial a intensidade da irradiação e o tempo de exposição, foram estabelecidas por Oliveira (2013).

3.2 Processamento mínimo

Os morangos, em estágio de maturação comercial com a epiderme completamente vermelha, foram colhidos e imediatamente levados sob refrigeração ($\leq 10^{\circ}\text{C}$) para o laboratório de nutrição da UNIJUI, em Ijuí-RS, onde se seguiu o processamento mínimo de acordo com o fluxograma da Figura 1. Inicialmente os frutos foram selecionados visando separar os que apresentaram algum tipo de dano mecânico provocado pelo transporte. As frutas foram então minimamente processadas em ambiente refrigerado com temperatura em torno de 15°C . Primeiramente foi realizada a operação de corte do cálice e do pedúnculo, utilizando-se facas amoladas com lâmina de aço inoxidável. Em seguida, as frutas foram sanitizadas sob imersão em água destilada com temperatura variando de 4°C a 8°C , contendo hipoclorito de sódio (Sumaveg®) na concentração de 150 mg.L^{-1} de cloro ativo, por 10 minutos (CENCI *et al*, 2008). Logo após os morangos foram submetidos ao enxágue com água destilada contendo 5 mg.L^{-1} de cloro ativo com temperatura também variando entre 4°C a 8°C , por 5 minutos, sendo depois colocados em escuradores para a drenagem da água em excesso. Após a drenagem as frutas minimamente processadas foram acondicionadas em embalagens de polietileno tereftalato (PET) transparentes, com tampa do mesmo material e capacidade total de 200g. As frutas embaladas foram então colocadas em refrigeração de $4^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar de $95\%\pm 1\%$. Cada embalagem contendo 200g de morango minimamente processado foi considerada uma unidade experimental.

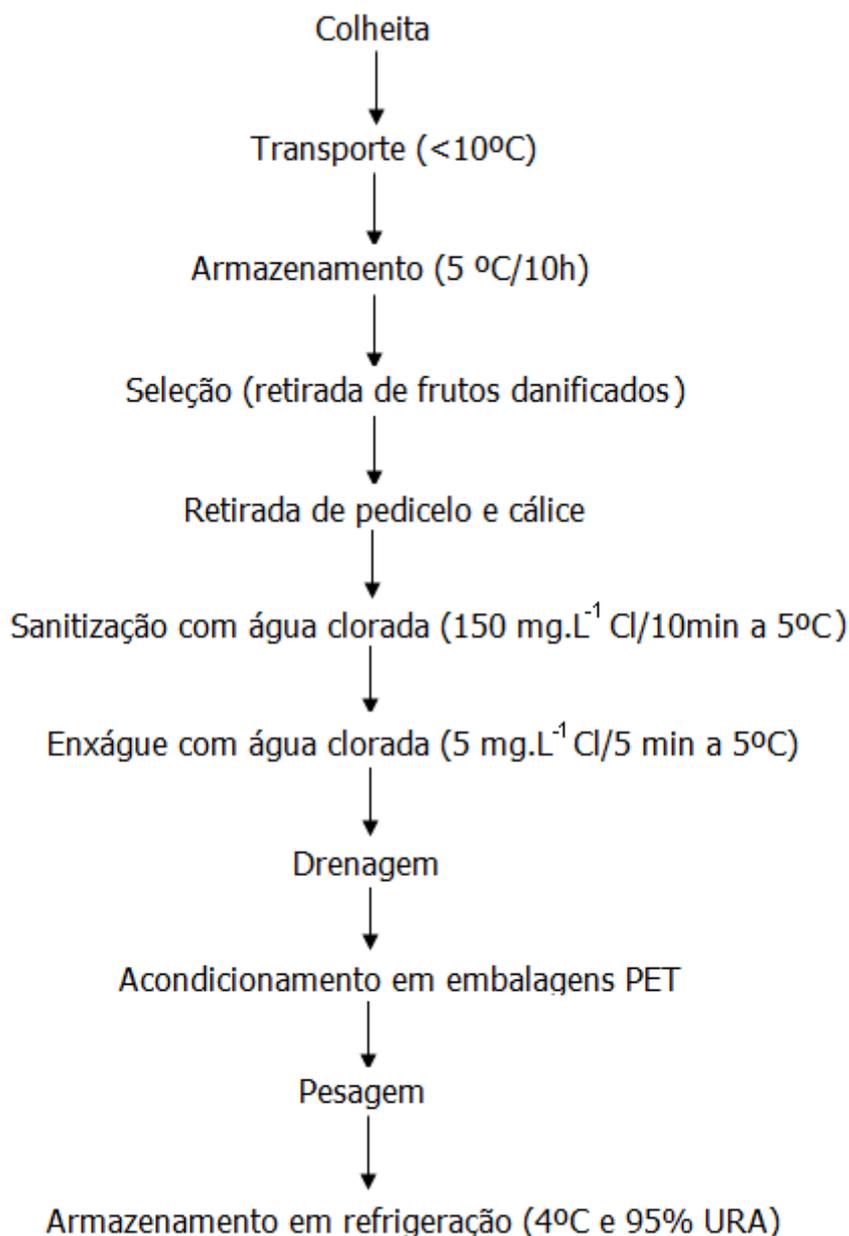


Figura 1 - Fluxograma do processamento mínimo de morangos

3.3 Avaliações físico-químicas

As análises físico-químicas do produto minimamente processado foram realizadas logo após o processamento e nos tempos 2, 5 e 7 dias de armazenamento. Utilizou-se fruto íntegro e/ou polpa obtida por meio de trituração e homogeneização em *mixer* dos morangos que compunham a unidade experimental (embalagem com 200g de morango).

3.3.1 Perda de Massa

A perda de massa foi determinada por meio da diferença entre as pesagens das embalagens contendo o produto em cada intervalo de tempo e o tempo inicial. Os resultados foram expressos em porcentagem.

3.3.2 Firmeza de polpa

A firmeza de polpa dos frutos foi medida utilizando-se penetrômetro manual com ponteira de 8 mm. Foram utilizados dez morangos de cada unidade experimental, sendo os resultados expressos em Newton (N).

3.3.3 Cor da epiderme

A coloração da epiderme dos frutos foi medida em colorímetro (Minolta Chromometer Modelo CR 410, D65, Osaka, Japan), com 8 mm de abertura no padrão CIE-L*a*b*. Para calcular o ângulo Hue (H), que define a tonalidade de cor, usaram-se os valores das coordenadas a* e b* ($H = \tan^{-1} b^*/a^*$) e para calcular o croma (C*), que define a intensidade de cor, usou-se a expressão $C^* = (b^{*2} + a^{*2})^{1/2}$. As medições foram realizadas em faces opostas de 10 frutos de cada unidade experimental.

3.3.4 pH

A leitura de pH foi realizada através de potenciômetro digital Digimed, modelo DMPH, diretamente na polpa triturada.

3.3.5 Acidez total titulável

Amostras de 10g de polpa de morango foi adicionada de 90 mL de água destilada, homogeneizada e titulada com NaOH 0,1mol.L⁻¹ até pH 8,1. Os valores foram expressos em mg de ácido cítrico.100g⁻¹ de fruta fresca.

3.3.6 Sólidos Solúveis Totais (SST)

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi determinado por meio da leitura em refratômetro digital Atago PR-101 (ATAGO Co. Ltda, Tokyo, Japão), com correção de temperatura e os resultados expressos em °Brix.

3.3.7 Compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado de acordo com o método adaptado de Rufino et al. (2007). Para a extração, 10g de polpa de morango foi adicionado de 40 mL de metanol 50% e deixado em repouso por 60 minutos, após centrifugação a 2500 x g em temperatura de 4 °C por 15 minutos o sobrenadante foi recolhido em balão de 100 mL. Ao resíduo da primeira extração, foram adicionados 40 mL de acetona 70%, homogeneizado e novamente deixado em repouso por 60 minutos. Novamente centrifugado a 2500 x g em temperatura de 4 °C por 15 minutos, recolhendo o sobrenadante e juntando ao primeiro extrato no mesmo balão volumétrico e completado o volume para 100 mL. Em tubo de ensaio foi adicionado 1 mL do extrato, 1 mL do reagente de Folin-Ciocalteu (1+3) e 2 mL de água. Após 3 minutos de repouso a solução foi neutralizada com 1 mL da solução de carbonato de sódio 30% e mantida no escuro por 2 h. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 700 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico por 100 g de fruta fresca. (mg GAE.100⁻¹).

3.3.8 Antocianinas totais

O teor de antocianinas totais foi determinado através de espectrofotometria, de acordo com método adaptado de Lee e Francis (1972). Uma (1) grama de polpa de morango foi adicionado de 25 ml de metanol acidificado com HCl 1,5N (85:15), deixado em repouso no escuro por uma hora e centrifugados a 2500 x g em temperatura de 4 °C por 15 minutos. O sobrenadante foi filtrado para balão de 50 mL e o filtro lavado com a solução extratora até descolorir completamente a polpa. O balão foi completado com a solução extratora. Do extrato obtido foram feitas as leituras em espectrofotômetro em comprimento de onda de 520 nm. O teor de antocianinas foi expresso em mg de cianidina-3-glicosídeo.100g⁻¹ de fruta fresca.

3.3.9 Determinação de vitamina C

A determinação de vitamina C foi realizada por método titulométrico de acordo com Oliveira *et al.* (2008). Em um béquer foram adicionados 10 g de polpa de morango e 50 mL do ácido metafosfórico acético, deixado repousar por 5 minutos e centrifugado em 2000 x g a 4 °C. O sobrenadante foi usado para titular 2 mL da solução de 2,6-diclorofenolindofenol (DCFI) com 18 mL de água. O ponto de viragem da titulação foi visualizado pela coloração da solução indicadora idêntica à solução da amostra. Os resultados foram expressos em $\text{mg} \cdot 100\text{g}^{-1}$ de fruta fresca.

3.3.10 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante foi determinada utilizando-se o método baseado na captura do radical DPPH de acordo com Brand-Williams *et al.* (1995) com adaptações de Kim *et al.* (2002). A extração realizada foi igual àquela utilizada para os compostos fenólicos. Em tubo de ensaio foi adicionado 0,1 mL do extrato e 3,9 mL de DPPH diluído. Após repouso de 2 h para estabilização foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 515 nm. Os resultados foram expressos em equivalente de trolox por grama de fruta fresca ($\mu\text{mol TE} \cdot \text{g}^{-1}$).

3.3.11 Taxa respiratória

A taxa respiratória foi calculada através do teor de CO_2 produzido, o qual foi quantificado através da incubação de 100 g de frutas inteiras em frasco de 550 mL durante 2h a 20 °C. Na tampa dos frascos foi colocado um septo de silicone. A leitura foi feita diretamente com auxílio de um analisador de gases da marca Oxybaby V-M[®]. O resultado foi expresso em $\text{mg de CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

3.4 Avaliações microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas nas amostras de morango coletados segundo recomendação da APHA (2002) para *Salmonella* spp, coliformes

termotolerantes, coliformes totais, bactérias aeróbias mesófilas, bactérias psicrotróficas e bolores e leveduras.

3.4.1 Contagem de microrganismos mesófilos

Cada unidade amostral de 25 g foi homogeneizada com 225 mL de peptona de caseína 0,1 % (Acumedia[®]) e as diluições decimais seriadas foram semeadas na superfície do ágar Padrão para Contagem - PCA (Oxoid[®]) e as placas foram incubadas invertidas a 35 °C ± 1 °C por 48h ± 2h. Após este período realizou-se a contagem das Unidades Formadoras de Colônias (UFC) presentes nas placas e os resultados foram expressos em log UFC.g⁻¹ de amostra.

3.4.2 contagem de bolores e leveduras

Foi realizado o plaqueamento em superfície, com auxílio de alça de Drigalski, em Ágar Batata Dextrose - BDA (Oxoid[®]), acidificado com ácido tartárico 10% (pH 3,5). Depois de secas, as placas de Petri foram incubadas a 25 °C ± 1 °C por 5 dias. Com a leitura das placas, determinou-se o número de UFC.g⁻¹ e os resultados foram expressos em log UFC.g⁻¹ de amostra.

3.4.3 Contagem de psicrotróficos

Foi utilizada a Contagem Total em Placas de psicrotróficos, seguindo-se do plaqueamento em superfície em Ágar para Contagem - PCA (Oxoid[®]), com incubação das placas a 7 °C ± 1 °C por 7 a 10 dias. A contagem destes microrganismos foi expressa em número de UFC.g⁻¹ de amostra e os resultados expressos em log UFC.g⁻¹ de amostra.

3.4.4 Pesquisa de *Salmonella* spp.

Vinte e cinco gramas de amostra foram transferidas para frascos contendo 225 mL de água peptonada tamponada (Acumedia[®]) e incubados a 35°C durante 18h à 24h. Posteriormente, foi realizado o enriquecimento seletivo em caldo Rappaport Vassiliadis - RV (Oxoid[®]), incubados a 42°C durante 24h. O

plaqueamento diferencial foi realizado por transferência com alça de platina do caldo seletivo, para superfície do ágar Xylose Lysine Desoxycholate (XLD) e ágar Brilliant-green Phenolred Lactose Sucrose – BPLS (Oxoid®) e incubados a 35 °C por 24h. As colônias típicas, incolores ou de coloração rosa translúcido ou ligeiramente opacas em ágar BPLS e vermelhas translúcidas ou com precipitado negro em ágar XLD, foram transferidas para caldo uréia, para ágar Tríplice Açúcar e Ferro - TSI (Oxoid®) e ágar Lisina e Ferro - LIA (Oxoid®) e incubadas a 35 °C por 24h. As culturas com reações típicas em caldo uréia (sem produção de uréia), TSI (amarelo na base, com ou sem produção de gás, vermelho ou inalterado no bisel e com produção de H₂S) e LIA (violeta na base e no bisel com produção de H₂S) foram submetidas ao teste sorológico. Os resultados foram expressos como presença/ausência de *Salmonella* spp. por 25 g de amostra.

3.4.5 Coliformes totais e termotolerantes

A determinação foi realizada utilizando-se a técnica do Número Mais Provável - NMP - utilizando séries de três tubos. Cada unidade amostral de 25 g foi homogeneizada com 225 mL de peptona de caseína 0,1% (Acumedia®) e as diluições decimais seriadas foram inoculadas em Caldo Lauryl Sulfate Tryptose - LST (Oxoid®). As culturas dos tubos com resultados presuntivos positivos (produção de gás) após 24h e 48h a 35 °C foram transferidas para caldo Verde Brilhante – VB (Oxoid®) e incubados a 35 °C em incubadora por 24h e 48h para confirmação da presença de coliformes totais e em caldo *Escherichia coli* - EC (Oxoid®) e incubados em banho-maria a 45 °C por 24h para confirmação da presença de coliformes termotolerantes. Os resultados foram expressos como NMP.g⁻¹ de amostra.

3.5 Avaliação sensorial

A avaliação sensorial foi realizada em cada tempo de armazenamento dos morangos minimamente processados (0, 2, 5 e 7 dias). As amostras foram avaliadas por uma equipe de 30 provadores não treinados, constituída por estudantes e funcionários do campus universitário da UNIJUI (Ijuí-RS), na faixa etária entre 18 e 50 anos. As amostras foram servidas em pratos descartáveis brancos, os quais foram dispostos de modo aleatorizado em bandeja de plástico branco, sob

iluminação natural em cabines individuais, em temperatura de 12 °C, juntamente com um copo de água e ficha para avaliação. Foi aplicado o teste de aceitabilidade com uso de escala hedônica estruturada de sete pontos (1 = desgostei muito; 4 = nem gostei/nem desgostei; 7 = gostei muito) para avaliar o produto em relação aos atributos sensoriais de cor, frescor, aroma, sabor e impressão global (ABNT, 1998). O índice de aceitabilidade sensorial (IA) foi calculado de acordo com a equação: $IA (\%) = Y * 100/Z$, onde Y = média obtida em cada atributo e Z= a nota máxima atribuída ao atributo. Foi considerado o atributo aceito sensorialmente pelos provadores quando o IA foi maior ou igual a 70%, conforme Teixeira *et al.* (1987). O protocolo junto ao Comitê local de Ética na Pesquisa da UNIJUI tem o número 0035.0.122.000-07.

3.6 Avaliação estatística

Os dados das avaliações físico-químicas e microbiológicas foram submetidos à análise de homocedasticidade, pelo teste de Hartley, e para a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk. Após o cumprimento dos pressupostos os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O delineamento utilizado foi fatorial completamente casualizado com 2 tratamentos e 4 tempos de armazenamento (2 x 4) com 4 repetições e as médias foram analisadas pelo teste T para tratamentos e análise de regressão para tempo de armazenamento, com significância de $p \leq 0,05$. Para os dados da avaliação sensorial foi adotado o delineamento em blocos completos casualizados e a ANOVA pelo teste T com significância de $p \leq 0,05$, através do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

4. Resultados e Discussão

4.1 Avaliações físico-químicas

4.1.1 Perda de massa, Sólidos Solúveis Totais (SST), pH e Acidez Total Titulável (ATT)

Os morangos minimamente processados perderam massa de forma significativa ($p < 0,05$) durante o período de armazenamento, mas não foram observadas diferenças entre os frutos tratados ou não com radiação UV-C durante o cultivo (Figura 2), onde a perda acumulada aos 7 dias de armazenamento foi de 4% para frutas de ambos os tratamentos.

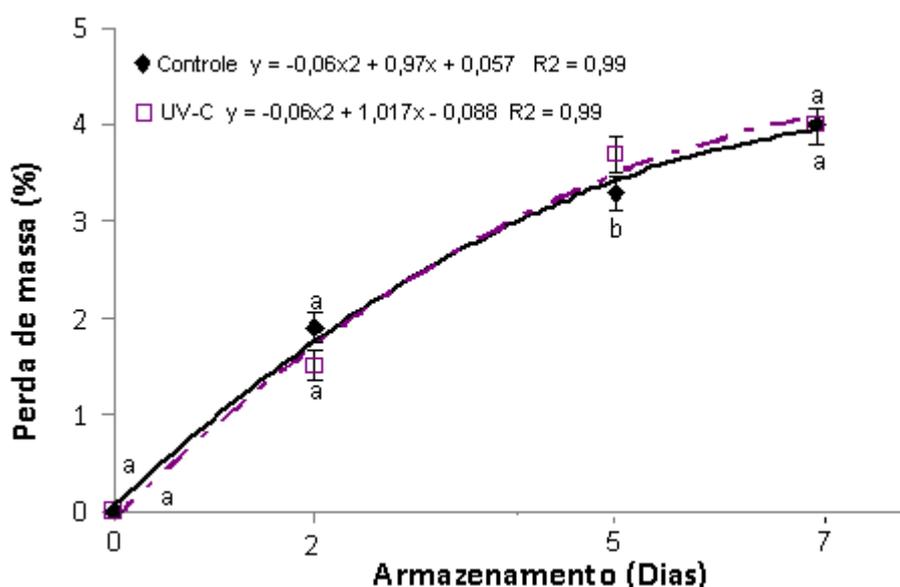


Figura 2. Variação da perda de massa (%) em morangos minimamente processados, armazenados a 4°C, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Os valores encontrados estão de acordo com aqueles citados por Azevedo (2007) que encontrou valores de 3,92% para morangos inteiros, cultivar 'Camarosa', armazenados a 4 °C, mas são inferiores aos relatados por Moraes (2005) e Costa (2009) onde a perda de massa ao 7º dia de armazenamento para morangos minimamente processados foi de 6,6% e 6,14%, respectivamente e bem inferior aos 17,1% de perda de massa em morangos inteiros encontrados por Calegario *et al* (2002), mas superiores aqueles encontrados por Cantillano *et al.* (2008) com perda de peso variando de 1% a 2% em três variedades de morangos inteiros e daqueles encontrados por Kempka *et al.* (2012) e Costa (2009) com 0,46% e 0,42% respectivamente. Este último, atribui a baixa perda de massa como consequência da variedade, nesse caso 'Dower', e também das características da embalagem. Sabe-se que a perda de massa em frutos armazenados é consequência da soma de vários fatores, destacando-se as características do produto, o tipo de embalagem, a temperatura e umidade relativa do ambiente de armazenamento.

A maior perda de massa que ocorre nos frutos processados minimamente em relação aos frutos inteiros, pode ser explicada pelo acelerado metabolismo dos frutos, com subsequente aumento da transpiração pelo tecido vegetal. A perda de água é um acelerador da senescência das frutas, acarretando uma maior rapidez na taxa de desintegração da membrana e perda do conteúdo celular e, conseqüentemente, o murchamento e a perda de suculência. A perda de massa em frutos é devida principalmente à perda de água causada pelos processos de transpiração e respiração (HERNANDEZ-MUÑOZ *et al.*, 2008) e reflete a diminuição de água e a degradação do produto durante a armazenagem, resultando em modificação de aparência e de qualidade, o que pode levar à rejeição dos consumidores (CHIUMARELLI, 2008).

O morango, principalmente na forma cortada, apresenta grande superfície exposta para a transpiração em relação ao seu peso. Além disso, não possui camada epidérmica protetora que possa dificultar a perda de água. Dessa forma, a água do interior da fruta flui para o meio ambiente, normalmente com menor umidade, causando a desidratação do produto. De acordo com García *et al.* (1998) e Cantillano e Silva (2010) a máxima perda de massa comercialmente tolerada para morangos inteiros é de 6% de sua massa na colheita, pois havendo mais do que isso o morango torna-se inaceitável comercialmente. De acordo com esse critério,

constata-se neste trabalho que as frutas apresentaram valores abaixo do tolerado até os sete dias de armazenamento a 4 °C.

Em relação às características físico-químicas (Tabela 1) pode-se observar que em frutas de ambos os tratamentos, o valor dos SST está de acordo com os valores citados em diversos estudos para morangos maduros (GARCÍA; HERRERA; MORILLA, 1996) e se manteve constante em todo o período de armazenamento. Os frutos oriundos de plantas tratadas com UV-C apresentaram valores de SST menores que os frutos controle, embora essa diferença não seja estatisticamente significativa. Estes resultados diferem daqueles encontrados por Oliveira (2013), onde os frutos que receberam radiação UV-C no cultivo apresentaram valores de SST significativamente inferiores aos frutos controle. Tsormpatsidis *et al.* (2011), trabalhando com morangos produzidos em ambiente protegido com filmes plásticos transparentes e opacos, em relação a transmissão de radiação UV, também não encontraram diferenças nos valores de SST pela influencia da radiação UV.

Josuttis *et al.* (2010) trabalhando com morangos produzidos a campo sob incidência direta da radiação UV solar e em estufas protegidas com filmes opacos em relação à transmissão de radiação UV, também não encontraram relação entre os teores de SST e a incidência de radiação UV-C.

Tabela 1 – Médias de Sólidos Solúveis Totais (°Brix), Acidez Total Titulável (mg ác. cítrico. 100g⁻¹) e pH de morangos, cv. Camarosa, minimamente processados, armazenados a 4°C, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo

Dias	SST (°Brix)		pH		Acidez	
	Controle	UV-C	Controle	UV-C	Controle	UV-C
0	7,6 aA	7,4 aA	2,7 aA	2,6 aA	0,83 aA	0,74 bA
2	7,5 aA	7,3 aA	2,5 aA	2,5 aA	0,84 aA	0,75 bA
5	7,5 aA	7,4 aA	2,5 aA	2,4 aA	0,82 aA	0,73 bA
7	7,7 aA	7,4 bA	3,3 aB	3,1 bB	0,82 aA	0,72 bA

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste T ($p \leq 0,05$).

Li *et al.* (2014) relatam que, embora a radiação UV-C aplicada em pós-colheita aumentasse os teores de SST de morangos durante o armazenamento,

este não foi diferente do controle; ressalta-se, porém, que naquele trabalho os frutos foram armazenados a 20°C.

Shen *et al.* (2013) por sua vez, encontraram valores de SST superiores, nos três primeiros dias de armazenamento, em tangerinas minimamente processadas submetidas à radiação UV-C em pós-colheita, mas no restante do período de armazenamento os valores não se diferenciaram.

Pan *et al.* (2012) observaram que em abacaxi minimamente processado e submetido à radiação UV-C em pós-colheita houve aumento significativo do teor de SST até o 3º dia de armazenamento em relação ao controle o qual posteriormente declinou também de maneira significativa. Já Charles *et al.* (2005) e Lingegowdaru (2007) descrevem que o tratamento UV em pós-colheita teve apenas um pequeno e insignificante efeito nos teores de SST de tomates durante o amadurecimento e armazenamento.

O pH dos morangos minimamente processados (Tabela 1) se manteve constante nos cinco primeiros dias de armazenamento, aumentando significativamente a partir de então, tanto para os frutos tratados com radiação UV-C como para os frutos controle, os quais diferiram entre si apenas no 7º dia de armazenamento. Mesmo resultado foi encontrado por Oliveira (2013) que não observou diferença nos valores de pH entre morangos tratados ou não com radiação UV-C na colheita. Ponce-Valdez *et al.* (2009) também verificaram que o pH se manteve constante até o 6º dia de armazenamento aumentando posteriormente. Tsormpatsidis *et al.* (2011) também não encontraram diferenças nos valores de pH de morangos tratados com radiação UV durante o cultivo. O aumento do pH durante a armazenamento pode estar relacionado com a degradação dos ácidos orgânicos como cítrico, málico e ascórbico, que ocorre naturalmente durante a senescência dos frutos (GARCIA, 1998).

Wright e Kader (1997) estudaram o comportamento de morangos minimamente processados e armazenados por 7 dias a 5°C e observaram que o pH dos morangos aumentou ao longo do período de armazenamento, em todos os tratamentos. O mesmo resultado encontrado por Tudela *et al.* (2003) que armazenaram morangos cv. 'Aroma' *in natura* sob refrigeração de 2°C e 95% UR e observaram aumento de pH durante o período de armazenamento.

A acidez dos morangos minimamente processados se manteve constante durante todo o período de armazenamento, com uma pequena queda, não

significativa, no 7º dia de armazenamento (Tabela 1). Este comportamento é semelhante ao encontrado por Moraes (2005), porém diferente do citado por Wright e Kader (1997) e Costa *et al.* (2011) que observaram redução significativa na acidez de morangos MP e armazenados por 7 dias a 5°C.

Apesar de não haver diferença significativa na acidez com o transcorrer do armazenamento, sabe-se que após a colheita, os ácidos juntamente com os açúcares, podem ser usados como substratos na respiração e conseqüentemente, o conteúdo destes componentes tende a diminuir, mesmo em temperaturas de refrigeração.

Em relação ao tratamento das plantas com radiação UV-C, percebe-se menor acidez dos frutos tratados em relação ao controle, diferentemente dos resultados relatados por Oliveira (2013), que não encontrou diferença significativa na acidez de frutos de morangos tratados ou não com radiação UV-C no cultivo, embora o comportamento nesses dois estudos seja semelhante, ou seja, os valores médios de acidez dos frutos tratados com radiação UV-C foram inferiores aos frutos não tratados.

Embora vários autores relatem o aumento da acidez quando frutos são tratados com radiação UV-C em pós-colheita e a sua manutenção durante o armazenamento, outros verificaram comportamento contrário (BAKA *et al.*, 1999, JOSUTTIS *et al.*, 2010, SHEN *et al.*, 2013). Charles *et al.* (2005) e Campos *et al.* (2011) trabalharam com tomates e observaram que a acidez titulável dos frutos tratados com UV apresentou tendência a ser menor que nos frutos controle. Pan *et al.* (2012) verificaram diminuição da acidez titulável em abacaxis minimamente processado pelo uso da radiação UV-C em pós-colheita, bem como o adiamento no aumento da acidez durante o armazenamento em relação aos frutos não irradiados e sugerem que este fato está associado à redução da contaminação por microrganismos pela radiação UV-C.

Estudos realizados por Perkins-Veazie *et al.* (2008) não demonstraram correlação entre a aplicação de UV-C em pós-colheita e a variação nos teores de acidez em mirtilos armazenados em refrigeração

Os principais ácidos presentes no morango, cítrico e málico, podem afetar diretamente o sabor, o pH celular e a coloração por antocianinas (FUMIS *et al.*, 2003; CANTILLANO, 2004) e os frutos de menor acidez geralmente são os mais apreciados pelos consumidores (CORDENUNSI *et al.*, 2003).

4.1.2 Firmeza de Polpa

Em relação à firmeza de polpa (Figura 3), ocorreu significativa redução em ambos os tratamentos durante o período de armazenamento, porém os frutos tratados com radiação UV-C durante o cultivo apresentaram uma redução menos acentuada neste parâmetro. Imediatamente após o processamento mínimo dos morangos, não houve diferença significativa em termos de valor de firmeza entre o controle e os frutos tratados com UV-C durante o cultivo. No entanto, depois do 2º dia de armazenamento os frutos que foram irradiados estavam mais firmes do que os do tratamento controle e permaneceram assim até o final do período de armazenamento. Resultados semelhantes foram encontrados também por Baka *et al.* (1999), Severo (2009), Pombo *et al.* (2009) e Li *et al.* (2014). Muitos outros autores relatam que ocorre naturalmente redução na firmeza de polpa em morango durante o armazenamento (WSZELAKI e MITCHAM, 2000; BRACKMANN *et al.*, 2011; CUNHA JUNIOR *et al.*, 2012; PONCE *et al.*, 2009)

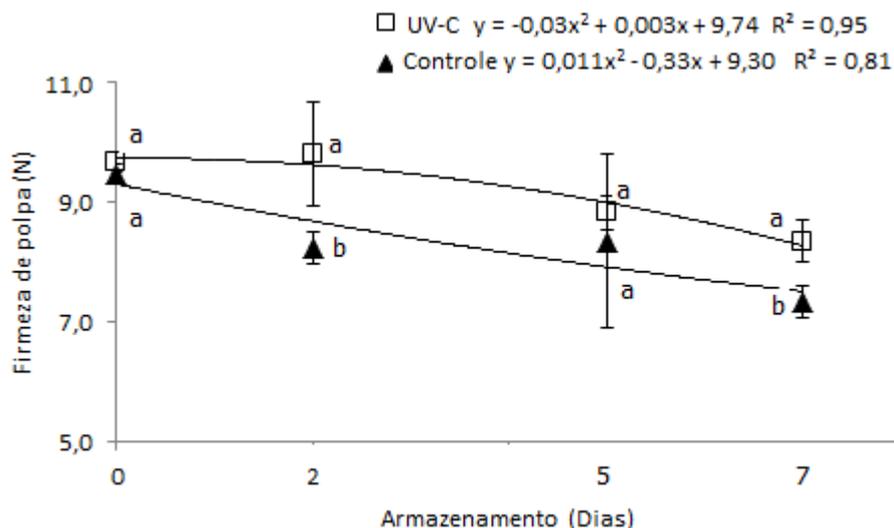


Figura 3 – Variação da firmeza de polpa (N) de morangos minimamente processados, armazenados a 4°C, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Dentre as principais mudanças que ocorrem no morango durante o período de armazenamento, está a redução da firmeza (VICENTE *et al.*, 2005). A manutenção da firmeza da polpa dos morangos é um importante atributo de qualidade a ser

observado no manejo pós-colheita. Frutos mais firmes, em geral, estão associados a melhor conservação e aspecto visual, sendo, portanto, preferidos pelos consumidores (BRACKMANN *et al.*, 2011). De acordo com Santos (1999), a firmeza da polpa e a resistência da epiderme são características de extrema importância, especialmente para as cultivares destinadas à produção de fruto para o consumo *in natura*, pois além de permitirem melhor manuseio e transporte, possibilitam a conservação das qualidades sensoriais por mais tempo.

O amolecimento considerável que os morangos sofrem durante a senescência ocorre principalmente como resultado da degradação da lamela média da parede celular do parênquima cortical das células (PERKINS-VEAZIE, 1995). Outras características que influenciam a firmeza do fruto são a força da parede celular, contato célula-célula e turgor celular (HARKER *et al.*, 1997).

Degradação da parede celular tem sido considerada o principal fator envolvido na perda de firmeza de frutas. A degradação dos componentes da parede celular está relacionada com a ação de várias enzimas (BRUMMELL & HARPSTER, 2001). No morango, estudos sobre a firmeza dos frutos de diferentes cultivares mostraram diferenças no metabolismo da parede celular, principalmente na solubilização e despolimerização da pectina (ROSLI *et al.*, 2004), e na expressão de genes modificadores de parede celular (SALENTIJN *et al.*, 2003). Além disso, foi relatada uma correlação entre uma maior expressão de alguns dos genes que expressam expansinas na fruta e uma fruta com menor firmeza (DOTTO *et al.*, 2006).

Barka *et al.* (2000) e Stevens *et al.* (2004) relataram que houve redução na firmeza de tomate durante o armazenamento, porém os frutos expostos a baixas doses de radiação UV-C em pós-colheita foram significativamente mais firmes que os frutos não irradiados, o que indica que a irradiação retarda o amolecimento dos frutos e que as atividades de enzimas degradantes da parede celular foram também diminuídas.

Segundo Pombo *et al.* (2009) a irradiação com UV-C causa atraso na perda de firmeza durante o amadurecimento de morangos armazenados e este fato está relacionado provavelmente à redução na expressão de um conjunto de genes que estão envolvidos na degradação da parede celular, durante as primeiras horas após o tratamento em pós-colheita. Outros autores sugerem que a manutenção da firmeza dos frutos pode ser associada ao efeito germicida da radiação UV-C

aplicada em pós-colheita (BAKA *et al.*, 1999; MARQUENIE *et al.*, 2002), ou ainda que o UV-C induza a biossíntese de compostos fenólicos auxiliando na manutenção da firmeza (THERESE *et al.*, 2008) e/ou produza compostos anti-fúngicos (EL GHAOUTH *et al.*, 2003) que diminuem a ocorrência de fungos que comprometem a firmeza do fruto.

Em relação a influência da aplicação de radiação UV-C sobre a firmeza de polpa, os estudos divergem. Grizel (2012) fazendo aplicação de radiação UV-C no cultivo de morangos, cv. Aromas, não encontrou diferença entre os frutos tratados e os controles, porém no cv. Albion os frutos tratados com UV-C apresentaram menor firmeza do que os frutos não tratados.

Em outro estudo com uso de radiação UV-C em morangos, cv Camarosa, durante o cultivo, a firmeza de polpa não foi alterada pela aplicação de radiação UV-C, apresentando valores de 3,45N e 3,48N para frutos tratados e não tratados com radiação UV-C, respectivamente (OLIVEIRA, 2013).

Severo (2009) relata que a firmeza dos frutos de morango diminuiu durante o armazenamento, entretanto os frutos submetidos ao tratamento com UV-C em pós-colheita apresentaram melhor manutenção da firmeza durante o armazenamento quando comparado aos frutos controle, embora não verificou relação entre manutenção da firmeza da polpa dos frutos tratados com UV-C e a expressão dos genes poligalacturonase (PG) e pectina metilesterase (PME).

Tsormpatsidis *et al.* (2011) indicam que a radiação UV afetou a firmeza dos morangos. Frutos de plantas cultivadas em ambiente protegido com uma película plástica transparente à radiação UV apresentaram firmeza de polpa 9% maior que os frutos que não receberam radiação UV. Esses autores propuseram que a radiação UV acelerou o processo de desenvolvimento de cor e os frutos atingiram a coloração de colheita numa fase mais precoce de maturidade e, portanto, apresentaram maior firmeza de polpa. Resultado semelhante foi encontrado por Ordidge *et al.* (2012), indicando que doses maiores de UV durante o crescimento das plantas aumentou a firmeza dos frutos de morango, sugerindo que os frutos eram colhidos precocemente, portanto mais firmes, em função da coloração mais intensa da epiderme, proporcionada pela maior exposição à radiação UV.

Obande *et al.* (2011) aplicaram radiação UV-C no cultivo de tomateiro e observaram que a firmeza de frutos diminuiu de forma constante ao longo do

armazenamento mas a firmeza dos frutos tratados com a dose mais elevada de UV-C diminuiu menos do que os frutos controle.

Trabalhando com abacaxi minimamente processado, Pan *et al.* (2012) demonstram que a firmeza dos frutos recém-colhidos apresentou uma tendência de queda, mas nos frutos do grupo controle a redução da firmeza foi mais rápida em comparação com os frutos que receberam radiação UV-C. Os abacaxis minimamente processados tratados com UV-C em pós-colheita mantiveram a maior firmeza de polpa do que os frutos não tratados.

4.1.3 Vitamina C, Antocianinas Totais, Compostos Fenólicos Totais e Atividade Antioxidante

O teor de vitamina C dos morangos aumentou significativamente com a aplicação de radiação UV-C durante o cultivo, apresentando valores em torno de 12 % superiores ao controle logo após a colheita, conforme Figura 4. Tanto para frutas irradiadas como para as não irradiadas houve reduções, porém não significativas, nos seus teores durante o armazenamento dos frutos MP, sendo que as perdas de vitamina C para os frutos irradiados e não irradiados foram de 13% e 9%, respectivamente, ao final de 7 dias de armazenamento.

Oliveira (2013) e Grizel (2012) também verificaram aumento nos teores de ácido ascórbico nos morangos tratados com UV-C durante o cultivo comparativamente aos frutos não tratados. Severo (2009) observou aumento nos teores de ácido ascórbico a partir do 4º dia de armazenamento nos morangos tratados com UV-C em relação as frutas não tratadas. Estes estudos também reforçam a idéia de que estímulos bióticos e abióticos moderados, durante o cultivo do morangueiro, podem contribuir para a biossíntese de ácido ascórbico.

Reduções no teor de ácido ascórbico geralmente são observadas no armazenamento dos frutos, devido ao fato de ser um antioxidante natural, fortemente envolvido em reações antioxidativas que se processam durante a maturação/senescência dos frutos, como é o caso da respiração e biodegradação de moléculas por lipoxigenases, hidroxilipases, álcool desidrogenases entre outros (PÉREZ *et al.*, 1999).

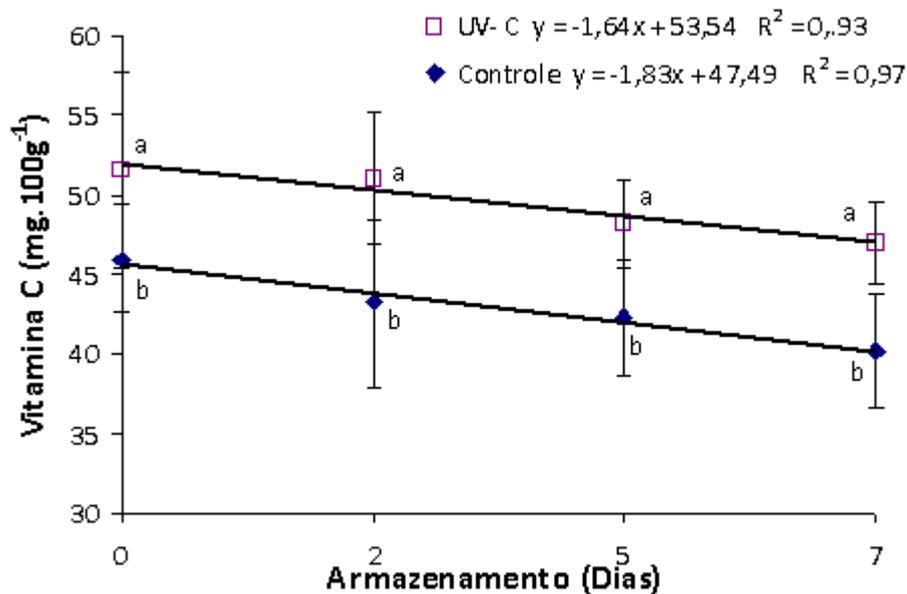


Figura 4. Variação dos teores de vitamina C ($\text{mg} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ de fruta fresca) em morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo e armazenados a 4°C . Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

O ácido ascórbico ainda não tem sua via de biossíntese totalmente elucidada, mas sabe-se que o aumento deste composto pode estar relacionado com a redução da firmeza do fruto, pois segundo Agius *et al.* (2003), existem evidências de que a biossíntese do ácido L-ascórbico, em morango, ocorre através do ácido D-galacturônico das pectinas da parede celular, sendo que estas duas variáveis parecem ser inversamente proporcionais. Porém, nesse estudo, observou-se que os frutos com maior teor de vitamina C apresentaram maior firmeza.

Costa *et al.* (2011) relatam que o processamento mínimo reduz os teores de vitamina C, em torno 8 % a 12 % em relação aos frutos inteiros, porque aumenta a superfície de exposição ao oxigênio e à luz e assim predispõe os tecidos lesionados à oxidação mais rápida do ácido ascórbico. Nesta forma de processamento a vitamina C pode servir como um excelente indicador de qualidade, porque é lábil e susceptível à degradação na presença de luz e oxigênio, de modo que o seu conteúdo pode ser afetado na fase de corte. A oxidação do ácido ascórbico pela ascorbato oxidase aumenta sob condições adversas, como altas temperaturas, presença de íons metálicos, danos físicos e químicos e com a exposição a produtos que contenham halogênios na molécula, tais como sais de cloridrato utilizados na higienização (LEE e KADER, 2000).

Comportamento semelhante em relação à redução do teor de vitamina C durante o processamento mínimo de morangos foi verificado por Holtz (2008). Segundo Garcia (1998) esta redução pode estar associada com a degradação dos ácidos orgânicos durante o processo normal de maturação e senescência.

O comportamento dos teores de vitamina C durante o armazenamento, demonstrando uma diminuição gradual no decorrer do tempo também foi verificado por Calegari *et al.* (2002), os quais observaram uma diminuição dos teores de vitamina C em amostras de morangos armazenados durante 14 dias. A determinação do conteúdo de ácido ascórbico em vegetais é importante, pois, sendo a vitamina mais susceptível à degradação, sua presença no alimento indica que provavelmente os demais nutrientes também estão sendo preservados (YAMASHITA, 2006).

Cordenunsi *et al.* (2003) verificaram uma redução de 50% nos teores de ácido ascórbico em morangos durante o armazenamento refrigerado. Consideram que estes frutos são muito propensos às perdas do nutriente após a colheita e que a aplicação de frio imediatamente após a colheita é extremamente recomendável para a sua manutenção. Cardoso *et al.* (2012) também verificou um decréscimo nos teores de vitamina C ao longo do armazenamento de morangos e consideram que essa redução pode ser atribuída à alta atividade pós-colheita da enzima ácido ascórbico oxidase ou à menor capacidade dos vegetais de sintetizar esse ácido durante o período pós-colheita.

Pan *et al.* (2012), trabalhando com abacaxi minimamente processado com aplicação de UV-C em pós-colheita, verificaram que havia uma tendência de diminuição nos teores de vitamina C, tanto nos frutos irradiados quanto nos frutos não irradiados durante o tempo de armazenamento, mas nos frutos irradiados a redução foi menor que nos frutos não irradiados e, no final do armazenamento 25% da vitamina C foi mantida no abacaxi minimamente processado tratados com UV-C, indicando que a radiação UV-C teve um impacto positivo.

O teor de ácido ascórbico diminuiu durante 7 dias de armazenamento em brócolis tratados e não tratados com radiação UV-C em pós-colheita, atingindo níveis cerca de 50% mais baixos do que os teores iniciais. No entanto, o tratamento com radiação UV-C induziu uma menor taxa de decréscimo no teor de ácido ascórbico, sendo que as amostras tratadas tinham um teor aproximadamente 14% maior do que às não tratadas, ao final do armazenamento (LEMOINE *et al.*, 2007;

LEMOINE *et al.*, 2010). Em pimentas, amostras tratadas com UV-C apresentaram menor degradação do ácido ascórbico durante o armazenamento pós-colheita a 0 °C (ANDRADE CUVI *et al.*, 2011).

Jiang *et al.* (2010) mostraram que a UV-C teve um efeito positivo sobre a manutenção do ácido ascórbico, durante o armazenamento de cogumelos. O conteúdo diminuiu tanto no controle quanto nos cogumelos tratados durante o armazenamento, atingindo níveis cerca de 50% mais baixos do que os valores iniciais. No entanto, o tratamento com UV-C induziu uma menor taxa de decréscimo. Portanto, as amostras tratadas com UV-C mostraram níveis significativamente mais elevados de ácido ascórbico do que os cogumelos controle durante o armazenamento. Vários estudos indicaram que a exposição à radiação UV-C em pós-colheita reduz o conteúdo de ácido ascórbico em algumas frutas e hortaliças, como mangas (GONZÁLEZ-AGUILAR *et al.*, 2007) e coentro (FAN, 2003). Por outro lado, o aumento nos teores de ácido ascórbico, pela exposição à radiação UV-C, também tem sido relatada em brócolis por Lemoine *et al.* (2007).

Artés-Hernández *et al.* (2010) verificaram também que houve uma redução nos teores de ácido ascórbico durante o armazenamento refrigerado de melancia minimamente processada, porém nas frutas tratadas com radiação UV-C a redução foi menos acentuada, onde as perdas para os frutos não tratados e tratados foram de 6% e entre 3 e 4%, respectivamente. Andrade Cuvi *et al.* (2011) observaram o mesmo comportamento em pimentão, no qual os teores de ácido ascórbico no início do armazenamento não era diferente entre as frutas tratadas e não tratadas com UV-C, mas nas frutas tratadas a redução nos seus teores foi menos pronunciada e, aos 21 dias de armazenamento, eram significativamente superiores em relação aos valores das frutas não tratados.

O teor de antocianinas totais foi significativamente maior nas frutas submetidas ao tratamento com UV-C em relação ao controle e aumentou durante o armazenamento para ambos os tratamentos (Figura 5). O aumento no teor de antocianinas totais pode ser relacionado com o estresse gerado pela exposição à luz UV-C, uma vez que são compostos derivados do metabolismo secundário, fortemente envolvidos na proteção ao estresse oxidativo, além de estarem envolvidos com a proteção de flores e frutos contra a radiação UV (TAIZ e ZEIGER, 2009). Condições limitantes de água, nutrientes e temperatura também podem

ocasionar acúmulo destes compostos, assim como as condições de pós-colheita (HOLCROFT e KADER, 1999; CORDENUNSU *et al.*, 2005).

Baka *et al.* (1999) também verificaram aumento nos teores de antocianinas em morangos tratados com radiação UV-C. Exposição de cerejas e maçãs vermelhas à radiação UV, no estágio pré-climatérico, também reforça a produção de antocianinas nas frutas, devido à síntese das enzimas fenilalanina amônia liase e chalcona isomerase (DONG *et al.*, 1995).

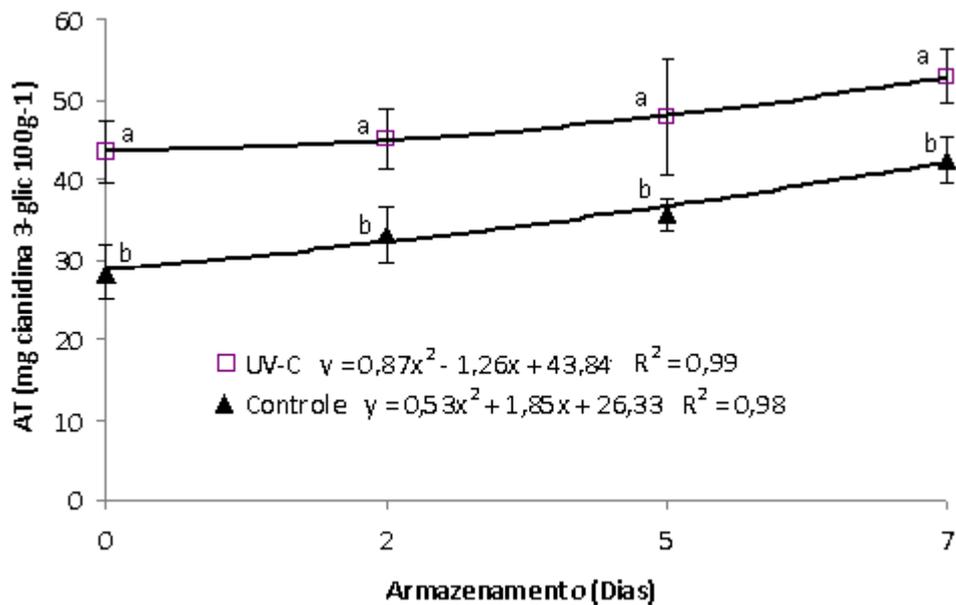


Figura 5. Variação nos teores de antocianinas totais (mg de cianidina-3- glicosídeo. 100g⁻¹ de fruta fresca) em morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo e armazenados a 4°C. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Grizel (2012) e Oliveira (2013) também verificaram aumento nos teores de antocianinas totais em morangos tratados com radiação UV-C por ocasião do cultivo. Segundo os autores, o aumento está relacionado a uma resposta da planta adaptando-se ao estresse provocado pela radiação. Severo (2011) observou aumento do transcrito do gene ANS (antocianidina sintase) da biossíntese de antocianinas, bem como maior teor desses compostos com a aplicação de radiação UV-C na pós-colheita de morango.

Azevedo (2007) verificou tendência de aumento nos teores de antocianinas ao longo do armazenamento sem, porém, diferir significativamente nos períodos de avaliação.

As antocianinas são compostos químicos instáveis e podem sofrer alterações em seus teores dependo das condições de exposição do produto, como sejam o pH, a temperatura, concentração de O₂ e/ou CO₂, presença de enzimas e a perda de água. A via biossintética das antocianinas se mantém operativa mesmo em baixas temperaturas, fomentando um aumento contínuo de antocianinas durante o período de armazenamento (CIVELLO, *et al.*, 1997; GIL *et al.*, 1997; KALT *et al.*, 1993).

Erkan *et al.* (2008) verificaram diferenças significativas no teor de antocianinas totais em morangos tratados e não tratados com radiação UV-C. As antocianinas aumentaram durante o armazenamento nos frutos tratados com radiação UV-C em relação ao controle. As principais características relacionadas à qualidade de morangos maduros são textura, sabor e teor de antocianinas (CORDENUNSI *et al.*, 2003).

As antocianinas são um grupo de compostos fenólicos compostos responsáveis pela cor vermelho a azul de muitos vegetais e proporcionam efeitos benéficos para a saúde humana (GARCIA-ALONSO *et al.*, 2004). A quantidade de antocianina é também importante para as avaliações de atratividade e maturidade de morangos. No entanto, vários estudos têm indicado que as exposições a radiação UV-C promovem a síntese de antocianinas em algumas frutas, incluindo maçãs (DONG *et al.*, 1995), cerejas doces (KATAOKA *et al.*, 1996), uvas (KATAOKA *et al.*, 2003), e pequenas frutas (VICENTE *et al.*, 2005).

Li *et al.* (2014) também encontraram aumento nos teores de antocianinas em morangos tratados com radiação UV-C em pós-colheita durante o armazenamento. Em estudo com maçãs, foi observado que a influência da radiação solar e da temperatura aumentou a síntese de antocianinas na casca, analisando-se diferentes cultivares de macieiras, sendo que os resultados mais expressivos foram observados em plantas submetidas a maiores radiações e à temperaturas próximas a 17 °C, segundo estudo de Ubi *et al.* (2006).

Grizel *et al.* (2012) verificaram tendência de manutenção nos teores de antocianinas durante o armazenamento refrigerado por 4 dias, em morangos tratados com radiação UV-C no cultivo, em relação ao controle.

Estudos precedentes demonstraram que o tratamento com radiação UV-C não teve nenhum efeito significativo sobre o conteúdo de antocianinas em uvas e romãs (LÓPEZ-RUBIRA *et al.*, 2005). No entanto, há um consenso geral de que a indução de flavonóides é considerada como uma resposta específica de aclimação, apoiando a hipótese da existência de diferentes vias de sinalização em tecidos de plantas. A partir da evidência experimental encontrado na literatura, pode-se sugerir que esta acumulação é parte de um mecanismo de proteção do tecido vegetal contra danos da radiação UV-C. Muito provavelmente, os tratamentos com radiação UV-C ativam a enzima chalcona sintetase, que catalisa o primeiro passo na biosíntese de flavonóides (SPRINGOB *et al.*, 2003).

Os teores de compostos fenólicos totais foram significativamente superiores nas frutas tratadas com radiação UV-C e reduziram de forma marcante durante o armazenamento dos morangos minimamente processados para frutas de ambos os tratamentos (Figura 6). Porém, as frutas que receberam radiação UV-C durante o cultivo apresentaram valores significativamente superiores em relação as frutas não tratadas e, ao final do experimento, apresentaram valores 25% superiores a estas.

Para Severo (2009), o teor de polifenóis totais aumentou durante o armazenamento de morangos, sendo mais pronunciado nas frutas expostas a UV-C e foi acompanhado pela maior expressão do gene Fenilalanina Amônia Liase (*PAL*) nestas frutas. Esse aumento durante o armazenamento pode ser relacionado com estresses pós-colheita e, em maiores intensidades, quando expostos à UV-C, como mecanismo de defesa (EL GHAOUTH *et al.*, 2003; TAIZ e ZEIGER, 2009). Comportamento também observado por Erkan *et al.* (2008) durante o armazenamento de morangos tratados com UV-C. Entretanto, em estudo realizado com pimenta e brócolis expostos ao UV-C, nas doses de 7 kJ.m⁻¹ e 10 kJ.m⁻¹ respectivamente, não houve efeito benéfico no teor de compostos fenólicos totais (VICENTE *et al.* 2005; COSTA *et al.* 2006), fato que pode ter ocorrido pela alta intensidade aplicada, que pode ter causado desequilíbrio metabólico no fruto.

Grizel (2012) observou que a aplicação da radiação UV-C no cultivo de morangueiros estimulou o acúmulo de compostos fenólicos totais nos frutos para a cv. 'Albion', com teores 44% acima dos observados nos frutos não tratados e não foi observado diferenças para a cv. 'Aromas'. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira (2013) para a cv. 'Camarosa'.

Allothman *et al.* (2009) verificaram que o tratamento com UV-C no pós-colheita afetou significativamente o teor de polifenóis totais em banana e goiaba, quando comparado com os controles. Observações semelhantes foram relatadas anteriormente por González-Aguilar *et al.* (2001) em manga, e Hagen *et al.* (2007) em maçãs. Segundo Frohnmeyer e Staiger (2003) e Gitz *et al.* (2004), a radiação UV provoca a acumulação de compostos fenólicos e flavonóides em plantas como um mecanismo de defesa contra a irradiação. No entanto, o aumento dos polifenóis totais (TP) e flavonóides totais (TF) também podem ser atribuídos à atividade da PAL, que é uma das enzimas chave na síntese de compostos fenólicos em tecidos vegetais.

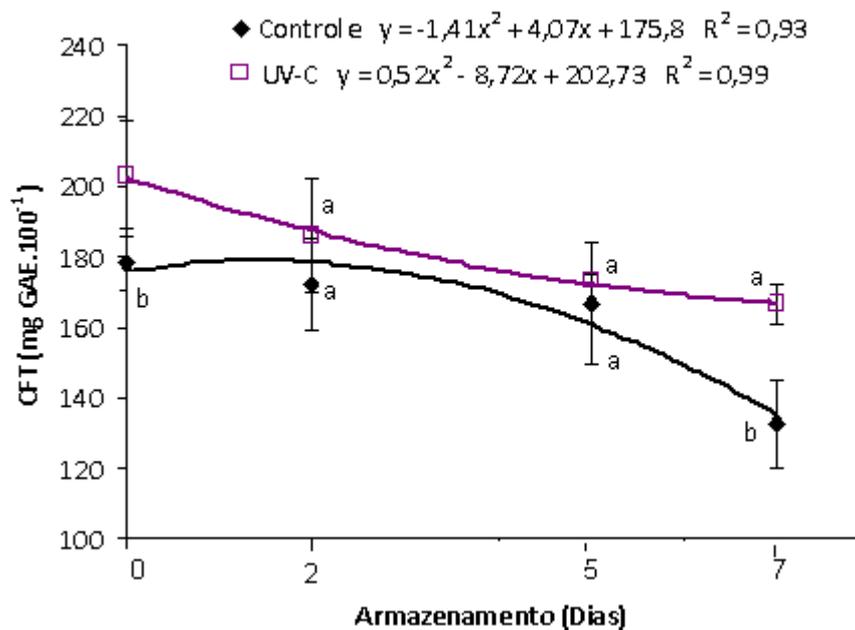


Figura 6. Variação nos teores de polifenóis totais (mg GAE.100g⁻¹ de fruta fresca) em morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo e armazenados a 4°C. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Gindri (2013) não observou diferença significativa nos compostos fenólicos, entre eles antocianinas totais e também da atividade antioxidante em uvas irradiadas com UV-C em pós-colheita, o que não era esperado, pois a literatura relata que após a exposição de uvas à UV-C, esta é absorvida pelos polifenóis levando a sua degradação. Ocorre também uma desestabilização das membranas e paredes celulares além da formação de espécies reativas de oxigênio. Esses compostos

ativam sistemas enzimáticos como o da fenilalanina amônio liase, chalcona sintase e rotas do ácido chiquímico, para a produção de fitoalexinas e compostos antioxidantes, como polifenóis (resveratrol, antocianinas), para minimizar os danos causados pelo elicitor (KOYOMA *et al.*, 2012; RIVERA-PESTRANA *et al.*, 2007, SHAMA, 2007; ZHANG *et al.*, 2012).

Artés-Hernández *et al.* (2010) verificaram que o conteúdo de compostos fenólicos diminuiu consideravelmente durante o armazenamento de melancia minimamente processada armazenada em atmosfera modificada, sem diferenças significativas entre os tratamentos. Estudos anteriores não encontraram nenhum efeito claro da radiação UV-C nos teores de fenólicos totais em mirtilos após sete dias a 5 °C (PERKINS- VEAZIE *et al.*, 2008), enquanto a UV-C aumentou o conteúdo fenólico de morango (ERKAN *et al.*, 2008). Consequentemente, os efeitos da UV- C sobre o conteúdo de compostos fenólicos não foram ainda completamente elucidado e é necessária mais investigação sobre eles.

Shen *et al.* (2013) encontraram o mesmo comportamento, relacionados aos compostos fenólicos totais, em tangerinas minimamente processadas, onde os seus teores diminuíram ao longo do armazenamento, porém em frutos tratados com radiação UV-C em pós-colheita esta diminuição foi menos acentuada.

Pode-se observar na figura 7 que a aplicação de radiação UV-C no cultivo de morangos incrementou de forma significativa a atividade antioxidante nas frutas e que houve diminuição deste parâmetro no decorrer do armazenamento, tanto nas frutas controles como naquelas tratadas com UVC, mas permanecendo a diferença em todas as épocas de avaliação. Porém, nas frutas tratadas com UV-C o decréscimo foi menos acentuado, não sendo significativa a diferença entre o início e final do armazenamento.

O decréscimo na atividade antioxidante era esperado, uma vez que houve diminuição no teor de compostos considerados responsáveis pela atividade antioxidante das frutas, como é o caso dos fenóis totais e ácido ascórbico, embora houve aumentos nos teores de antocianinas. Este comportamento corrobora com os resultados apresentados por Copetti (2010), o qual conclui que existe uma correlação negativa entre as antocianinas e a atividade antioxidante em morangos, demonstrando que as antocianinas não apresentam nenhuma relação com a atividade antioxidante do morango, porém existe uma correlação moderada e alta entre os compostos fenólicos e atividade antioxidante. Portanto, pode-se inferir que

parte da atividade antioxidante dos morangos é devido aos compostos fenólicos, dentre eles os flavanóis e outra parte deve-se a outros compostos, tais como o ácido elágico e o ácido ascórbico, já descritos em outros trabalhos (PINTO *et al.*, 2008).

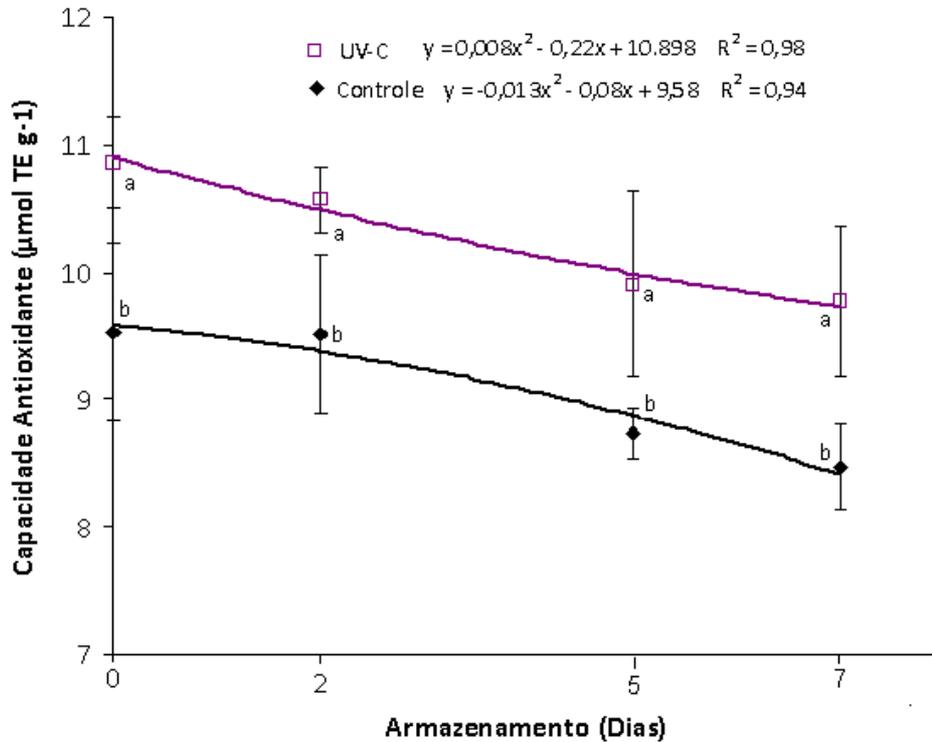


Figura 7. Variação nos teores capacidade antioxidante ($\mu\text{mol TE.g}^{-1}$ de fruta fresca) em morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo e armazenados a 4°C. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Erkan *et al.* (2008) demonstraram que a atividade antioxidante foi maior nos morango tratados com UV-C em comparação com o controle e que a atividade antioxidante esteve positivamente correlacionada com o teor de fenólicos totais, mas não com o teor de antocianina. Pinto *et al.* (2008) relatam que foi encontrada em morangos uma forte correlação entre os valores de capacidade antioxidante e compostos fenólicos totais. Wang e Lin (2000) também encontraram uma correlação linear entre os valores da atividade antioxidante e o teor total de fenólicos em amostras de morango.

Kalt *et al.* (2003) também encontraram uma relação semelhante entre atividade antioxidante, conteúdo de fenólicos totais e teor de antocianinas em mirtilos, durante o amadurecimento e o armazenamento.

Nas plantas, os flavanóis agem na proteção das células contra o excesso de radiação UV, pois se acumulam nas camadas epidérmicas das folhas e caules e absorvem intensamente a luz na região do UV, enquanto permitem a passagem contínua dos comprimentos de luz visível. Dessa forma o aumento da exposição de plantas à luz UV resulta na maior síntese desses compostos (PIETTA, 2000).

Tanto Grizel (2012) quanto Oliveira (2013) encontraram aumento nos valores da atividade antioxidante em morangos submetidas à radiação UV-C durante o cultivo em relação aos frutos controle. Estudos sugerem que o morango possui um alto nível de atividade antioxidante, a qual está relacionada com os compostos fenólicos na fruta (HEINONEN *et al.*, 1998; VINSON *et al.*, 2001).

4.1.4 Coloração

Os resultados da coloração da epiderme dos morangos minimamente processados estão expressos no espaço de Cor CIEL*a*b*, que é o sistema comumente utilizado para avaliação de cor em alimentos, e através desses parâmetros foram calculados os índices de Croma (C*) e ângulo Hue (°H).

A cor é um fator importante na percepção da qualidade do morango (HERNANDEZ-MUÑOZ *et al.*, 2006), sendo um dos atributos mais importantes para aceitação por parte dos consumidores (FAN *et al.*, 2009). A alteração da cor ocorre durante a senescência pós-colheita, fazendo com que os frutos se tornem mais vermelhos e mais escuros ao longo do tempo de armazenamento (HOLCROFT e KADER, 1999).

Segundo Calegaro *et al.* (2002) e Cantillano *et al.* (2008), a manutenção da cor dos morangos durante o armazenamento é um atributo de qualidade desejado, pois o escurecimento acentuado dos frutos compromete seu aspecto visual e, portanto, sua aceitação pelo consumidor.

O valor da coordenada L* (luminosidade) é um indicador de escurecimento dos frutos ao longo do armazenamento, que pode ser causado tanto por reações oxidativas quanto pelo aumento da concentração de pigmentos. Durante o armazenamento dos morangos MP observou-se uma redução da luminosidade tanto para o controle quanto nos frutos que receberam radiação UV-C durante o cultivo, porém sem diferenças entre os tratamentos, conforme figura 8.

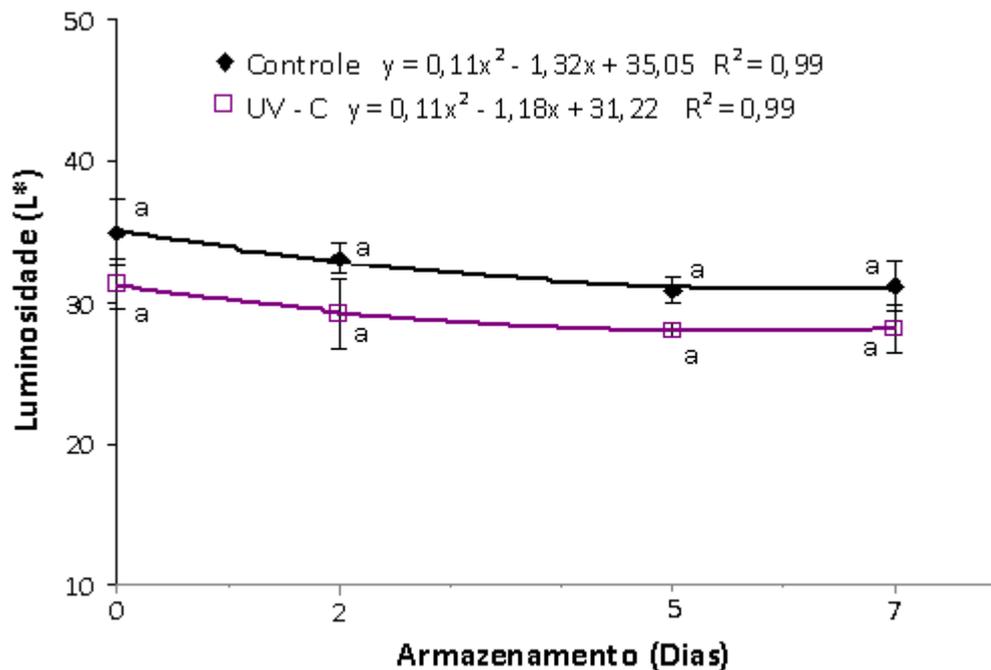


Figura 8 - Variação nos valores de L* na coloração de morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo e armazenados a 4°C. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Durante o armazenamento dos morangos MP o parâmetro croma (C^*) dos frutos se manteve praticamente constante em ambos os tratamentos, com valores maiores nos frutos que receberam UV-C durante o cultivo (figura 9). Frutas produzidas sem aplicação de UV-C apresentaram croma inferior às tratadas ao longo do armazenamento, porém sem diferenças estatísticas. Este parâmetro cromático representa a pureza ou intensidade da cor do objeto avaliado.

O ângulo Hue ($^{\circ}H$), está relacionado com a cor da epiderme e neste trabalho as frutas apresentaram queda constante nos valores de $^{\circ}H$, tanto para as frutas não tratadas, com valores variando de 32 a 25, quanto para as tratadas com UV-C durante o cultivo, com valores variando entre 26 a 23, no início e final do armazenamento, respectivamente (Figura 10). Este índice reflete a tonalidade de cor e quanto mais próximo de zero estiver o valor ($^{\circ}H = 0$) mais vermelho é a fruta, portanto as frutas que receberam radiação UV-C durante o cultivo apresentaram-se mais vermelhas, o que pode ser explicado pelo maior teor de antocianinas presentes nestas frutas, conforme já relatado. Este comportamento também pode ser relacionado com o valor do parâmetro cromático a^* (Figura 11), que representa a

intensidade de vermelho da fruta, ou seja, quanto maior for o valor de a^* mais próximo do vermelho está à superfície analisada. Neste quesito pode-se verificar que as frutas tratadas com UV-C apresentaram valores significativamente superiores às frutas não tratadas.

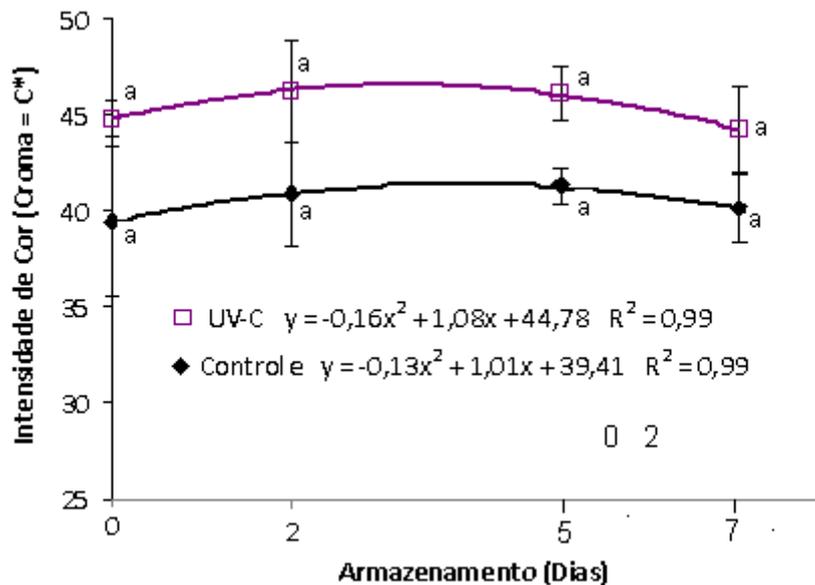


Figura 9 - Variação nos valores do Croma na coloração de morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo e armazenados a 4°C. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Aumento da coloração vermelha, indicada pelo menor $^{\circ}H$ após 14 dias de armazenamento a 5 °C e valores de L^* menores que os iniciais, indicando frutos mais escuros ao final do armazenamento também são citados por Wszelaki & Mitcham (2000). Ávila *et al* (2012) encontraram valores de L^* e $^{\circ}H$ significativamente menores em morangos após 8 dias de armazenamento a 1°C, com valores de L^* variando de 36,35 a 31,24 e valores de $^{\circ}H$ variando de 37,28 a 31,93.

Ponce *et al* (2010) observaram que durante o armazenamento houve aumento na intensidade de escurecimento dos morangos e concluem que esta alteração pode estar associada ao processo de amadurecimento que continua a ocorrer durante o armazenamento. O aumento da intensidade de escurecimento não representa necessariamente perdas de atributos sensoriais, uma vez que a cor vermelha escura em morangos também é atraente para o consumidor.

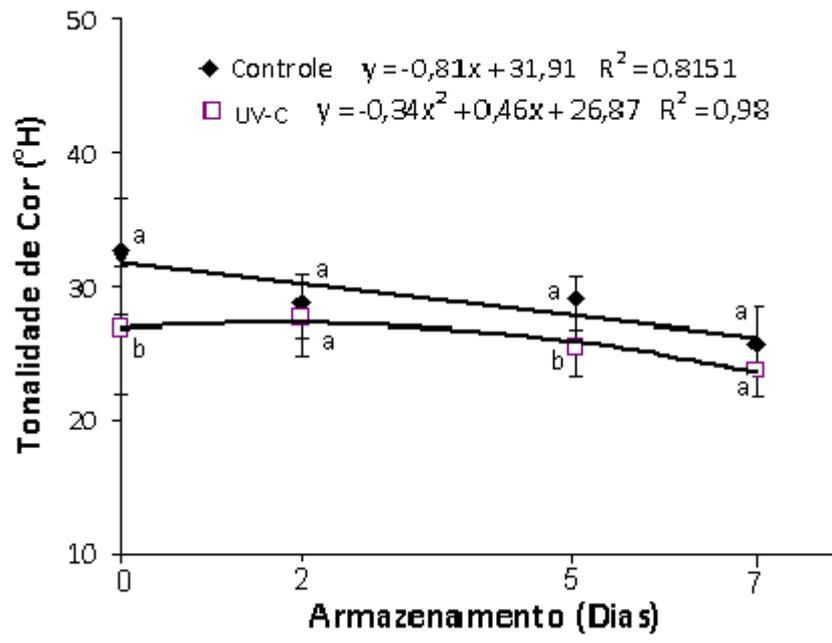


Figura 10 - Variação nos valores do ângulo Hue ($^{\circ}$ H) na coloração de morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo e armazenados a 4° C. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Cunha Junior (2012) observou tendência de aumento nos valores da luminosidade (L^*) e do ângulo de cor ($^{\circ}$ H), com a manutenção da cromaticidade (Croma), durante o armazenamento de morangos. Pelayo-Zaldívar *et al.* (2005), estudando morangos 'Diamante' e 'Selva', não observaram diferenças na luminosidade e no ângulo de cor ao longo do armazenamento refrigerado (5° C).

De acordo com Nogales-Delgado *et al.* (2013), os valores de L^* e $^{\circ}$ H são parâmetros que oferecem evidência de deterioração ou escurecimento do produto e pode determinar a aceitação ou rejeição do mesmo. Esses autores não observaram diferenças significativas no final do armazenamento refrigerado de morangos, quanto aos parâmetros L^* e $^{\circ}$ H.

Os resultados encontrados para o $^{\circ}$ Hue estão em sintonia com aqueles citados por Grizel (2012) que encontrou valores inferiores para morangos tratados com radiação UV-C durante o cultivo, concluindo que a radiação UV-C promoveu uma maior coloração avermelhada, o que estaria relacionado com o maior teor de antocianinas. Entretanto, Li *et al.* (2014) não encontraram evidências de que o tratamento de morangos com radiação UV-C em pós-colheita influenciasse nos valores do parâmetro cromático a^* .

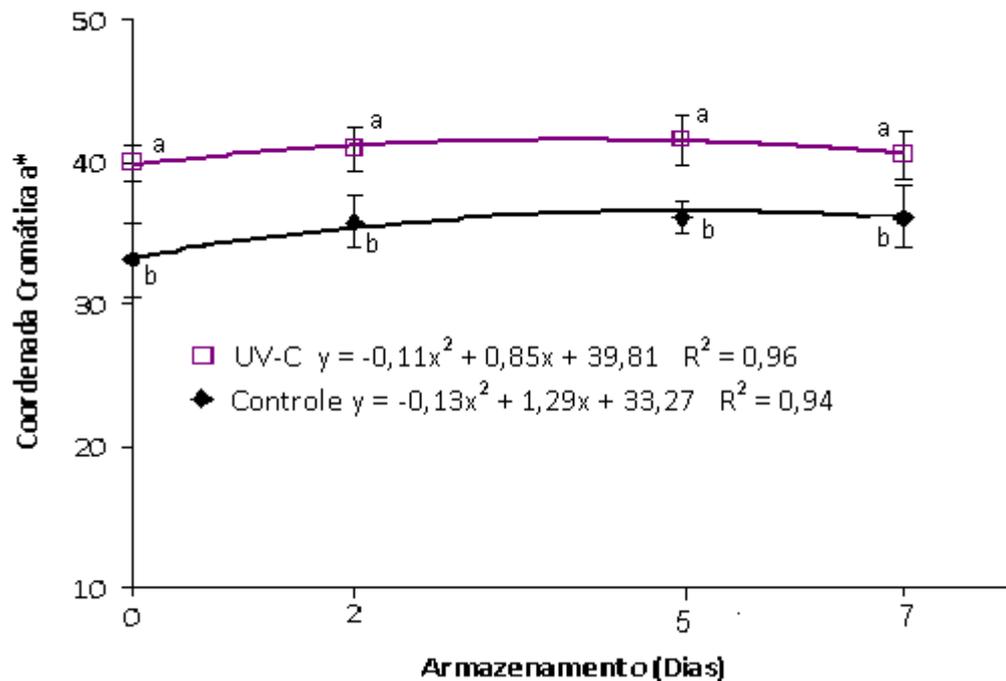


Figura 11 - Variação nos valores da coordenada cromática a* na coloração de morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo e armazenados a 4°C. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Diversos autores (ARTES-HERNANDEZ *et al.*, 2010; FONSECA e RUSHING, 2006; PERKINS-VEAZIE e COLLINS, 2004) trabalhando com melancia minimamente processada, observaram pequenas variações nos valores de Cromo, °H e L* ao final do armazenamento, e os tratamentos com radiação UV-C em pós-colheita pouco influenciaram estes fatores. Desta forma, embora com pequenas variações, os valores de L* aumentaram e os de Cromo diminuíram, indicando maior brilho e perda de saturação de cor, mudanças essas imperceptíveis sensorialmente.

Ordidge *et al.* (2012) relatam que os valores relacionados aos parâmetros cromáticos a*, L* e Cromo foram maiores, enquanto os parâmetros °Hue e b* foram menores, em frutos de morangos cultivados em estufas com filmes transparentes à radiação UV em relação aos frutos que não receberam esta radiação. Estes autores sugerem que um aumento do nível de luz UV causou um aumento na taxa de desenvolvimento de cor. Tsormpatsidis *et al.* (2011) também verificaram um aumento na coloração nos frutos de morango que se desenvolveram sob radiação UV, expressos por valores de L* e °H menores, em comparação com frutos que não receberam radiação UV durante o cultivo.

4.1.5 Taxa respiratória

A taxa respiratória, avaliada pela produção de CO₂, aumentou durante o período de armazenamento independentemente dos tratamentos. Porém, as frutas tratadas com radiação UV-C durante o cultivo, apresentaram valores superiores as frutas não tratadas no início do armazenamento e, a partir do 5º dia de armazenamento, se tornaram inferiores, apresentando valores cerca de 20% menores ao final do armazenamento, conforme Figura 12. Estes resultados sugerem que a radiação UV-C reduz o dano celular que ocorre durante o processamento e o armazenamento, mantendo assim uma melhor integridade do tecido nas amostras tratadas em comparação com os controles.

Comportamento semelhante foi encontrado por Costa *et al.* (2006), onde imediatamente após o tratamento com radiação UV-C não houve diferenças na taxa de respiração entre o controle e as flores de brócolis tratados, mas durante o armazenamento a 20°C a produção CO₂ aumentou mais acentuadamente no controle do que nos brócolis tratados com UV-C.

Os resultados encontrados neste trabalho estão também de acordo com Vicente *et al.* (2005) que encontraram taxas de respiração mais baixas em pimentões tratados com UV-C durante o armazenamento. Os resultados sugerem que o tratamento com UV-C pode ser uma maneira útil de reduzir a deterioração e manutenção da qualidade dos frutos, minimizando o processo de respiração. Resultados semelhantes também foram encontrados por Baka *et al.* (1999), onde o tratamento com UV-C causou uma redução na taxa de respiração de morangos armazenados em refrigeração e a dose de 1,0 kJ.m² foi mais inibitória no ritmo respiratório, especialmente a 13 °C. A menor taxa de respiração sugere que o tratamento com radiação UV pode retardar o processo de amadurecimento. No caso do tomate, frutos irradiados com UV-C mostraram uma redução na atividade respiratória, associada ao atraso no pico climatérico e não com a deterioração dos tecidos (Maharaj *et al.*, 1999)

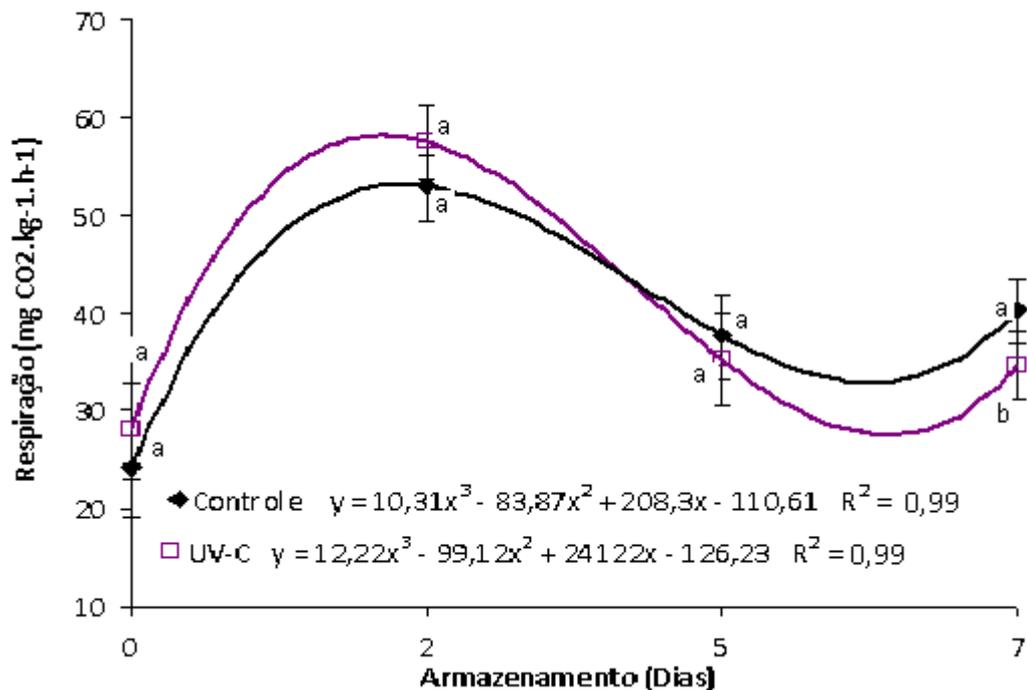


Figura 12 - Variação nos valores da taxa respiratória (mg CO₂.kg⁻¹.h⁻¹) de morangos minimamente processados, tratados e não tratados com radiação UV-C durante o cultivo, armazenados a 4°C. Barras verticais representam o desvio padrão da média. Letras minúsculas iguais indicam ausência de diferença significativa entre os tratamentos no mesmo dia pelo teste de T ($p \leq 0,05$).

Segundo Daiuto *et al.* (2013) a aplicação de radiação UV-C em frutos de abacates antecipou o pico climatérico, porém a produção de CO₂ foi menor que nos frutos não tratados, mostrando um possível efeito do tratamento UV-C na redução da atividade respiratória em abacates. Daiuto *et al.* (2010) em avaliação da taxa respiratória de frutos de abacate da cultivar 'Hass' armazenados a 10°C, também obtiveram resultados indicativos da redução da taxa de produção de CO₂ em relação aos frutos controle.

Lemoine *et al.* (2007) relatam um ligeiro aumento na taxa respiratória de brócolis imediatamente após o tratamento com UV-C, que pode ser atribuída ao efeito da radiação aplicada. Neste estudo a produção de CO₂ se manteve constante até 14 dias e em seguida aumentou. No entanto, brócolis tratados apresentaram uma atividade respiratória quase 20% menor do que o das amostras controle após 21 dias de armazenamento.

Lamikanra *et al.* (2005) indicaram redução na taxa de respiração em melão minimamente processado tratado com luz UV-C e esta se manteve reduzida durante o armazenamento. O efeito de redução da radiação UV-C sobre as taxas de

respiração poderia ser atribuído ao aumento da produção de agentes que exercem efeito fisiológico oposto ao do etileno.

Quando tecidos vegetais são naturalmente ou artificialmente danificados, a atividade respiratória aumenta. O processamento mínimo provoca injúrias nos tecidos o que causa aumento do processo respiratório. Costa *et al.* (2011) verificaram aumento na respiração dos morangos quando estes foram submetidos ao processamento mínimo em relação aos frutos inteiros não processados. Outros estudos indicam que radiação UV-C ativa vários processos biológicos em plantas superiores, incluindo a estimulação da atividade respiratória (EL-GHAOUTH e WILSON, 1995; ALLENDE *et al.*, 2006).

Depois da tensão inicial induzida pelo processamento mínimo, os tratamentos com UV-C em pós-colheita estimularam a respiração e induziram um aumento na produção de CO₂ em toda a vida útil de melancia MP, o que estava relacionado com as doses aplicadas. Para doses mais elevadas de UV-C, foi encontrada maior produção de CO₂ (ARTÉS-HERNÁNDEZ *et al.*, 2010).

Tratamentos com UV-C foram utilizados para prolongar a qualidade de alface minimamente processada e, segundo estes estudos, houve aumento da respiração que esteve associado ao aumento na dose de radiação UV-C utilizada (ALLENDE e ARTÉS, 2003; ALLENDE *et al.* 2005)

Escalona *et al.* (2010) relatam que em espinafre MP a taxa de respiração foi elevada no início do armazenamento e posteriormente diminuiu e estabilizou durante todo este período, para todos os tratamentos, porém nas amostras irradiadas a respiração foi maior, o que segundo os autores é devido ao dano aos tecidos provocado pela radiação UV-C. Essas altas taxas de respiração obtidas no início do armazenamento poderia ser explicado pelo estresse ao tecido, provavelmente causado pelo processamento.

Erkan *et al.* (2001) relataram que as taxas de respiração de fatias de abobrinha foram maiores nos tecidos irradiados do que nos não irradiados, e o aumento da taxa de respiração está correlacionada com o aumento da intensidade da taxa de radiação UV-C utilizada.

Portanto, as respostas ao estresse provocado pelos raios UV-C vão depender de vários fatores, tais como tipo de produto, forma, superfície em relação ao volume, topografia da superfície, entre outros, e deve ser estudada para cada produto e situação proposta.

4.2 Avaliação Microbiológica

A refrigeração é o principal método para controlar a velocidade de degradação de vegetais frescos porque reduz a taxa de respiração do produto (CAMERON *et al.*, 1994) e retarda a taxa de crescimento dos microrganismos (KING JUNIOR & BOLIN, 1989).

De acordo com os resultados apresentados na tabela 2, não foi detectada a presença de *Salmonella* spp. em nenhuma das amostras analisadas e a contagem de coliformes termotolerantes ficou abaixo do limite de detecção ($<1,0 \log \text{UFC.g}^{-1}$), estando de acordo com os padrões estabelecidos pela legislação brasileira e condizendo com os resultados observados por Calvo *et al.* (2004) e Mukherjee *et al.* (2004).

Na legislação brasileira não existe padrões específicos para frutos e hortaliças minimamente processados. Assim, adota-se a resolução RDC N° 12, de 2 de janeiro de 2001, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2001), que estabelece os padrões microbiológicos sanitários para frutas frescas *in natura*, sanificadas e refrigeradas, na qual consta a tolerância máxima de $5 \times 10^2 \text{ NMP.g}^{-1}$ ou UFC.g^{-1} para coliformes termotolerantes e ausência de *Salmonella sp* em 25g.

Quanto aos coliformes totais os frutos apresentaram pequena contaminação inicial, com contagens entre 1,60 e 1,85 $\log \text{UFC.g}^{-1}$ para frutos tratados com UV-C e controle, respectivamente e não foram encontrados após a etapa de sanitização, indicando que esta operação e os cuidados higiênico-sanitários tomados durante o processamento mínimo do produto foram eficazes e de fundamental importância e podem ter contribuído para que o mesmo apresentasse baixa contagem microbiana. Os resultados encontrados foram semelhantes à contaminação encontrada por Moraes (2005) e Notermans *et al.* (2004) que obtiveram contaminação abaixo de 3 $\log \text{UFC.g}^{-1}$.

A baixa contagem de coliformes totais (média de $<1,75 \log \text{UFC.g}^{-1}$) e a ausência de coliformes termotolerantes e *Salmonella* spp. nas amostras de morango podem ser atribuídas ao emprego de boas práticas agrícolas, em especial ao uso de água de boa qualidade microbiológica por ocasião do cultivo. Além disso, a presença de ácidos orgânicos na composição do morango, principalmente ácido cítrico, confere a este fruto um pH ao redor de 2 a 3,5, desfavorável ao desenvolvimento da maioria dos microrganismos, incluindo as bactérias do grupo coliformes (ICMSF,

2000; JAY, 2005; MATTIUZ *et al.*, 2004; PARK *et al.*, 2005). Gunes e Lee (1997) e Calvo *et al.* (2004) já haviam mencionado que o tipo de microbiota de frutas depende do pH de cada uma, sendo estas mais susceptíveis às bactérias resistentes à acidez e aos fungos.

Tabela 2 – Indicadores microbiológicos de morangos minimamente processados, armazenados a 4°C, com e sem tratamento com radiação UV-C durante o cultivo

Tratamento	Tempo de Armazenamento (Dias)				
	<i>In natura</i>	0	2	5	7
<i>Salmonella</i> spp. (por 25g)					
Controle	Aus	-	-	-	-
Com UV-C	Aus.	-	-	-	-
Coliformes Termotolerantes (log NMP.g ⁻¹)					
Controle	<1	-	-	-	-
Com UV-C	<1	-	-	-	-
Coliformes totais (log NMP.g ⁻¹)					
Controle	1,85 ± 0,25	<1	-	-	-
Com UV-C	1,60 ± 0,33	<1	-	-	-
Mesófilos aeróbios (log UFC. g ⁻¹)					
Controle	3,64 ± 0,11 ^a	2,20 ± 0,37 ^{aA}	2,85 ± 0,09 ^{aB}	3,03 ± 0,07 ^{aB}	3,16 ± 0,08 ^{aB}
Com UV-C	3,18 ± 0,10 ^b	1,67 ± 0,26 ^{aA}	2,25 ± 0,33 ^{bA}	2,83 ± 0,16 ^{aB}	3,04 ± 0,03 ^{bB}
Bolores e leveduras (log UFC. g ⁻¹)					
Controle	4,44 ± 0,21 ^a	2,40 ± 0,06 ^{aA}	2,95 ± 0,04 ^{aB}	3,33 ± 0,03 ^{aC}	3,62 ± 0,02 ^{aD}
Com UV-C	3,92 ± 0,12 ^b	2,00 ± 0,06 ^{bA}	2,39 ± 0,27 ^{bB}	3,08 ± 0,07 ^{bC}	3,48 ± 0,03 ^{bD}
Psicrotróficos (log UFC. g ⁻¹)					
Controle	-	2,20 ± 0,08 ^{aA}	3,01 ± 0,13 ^{aB}	3,54 ± 0,05 ^{aC}	3,54 ± 0,05 ^{aC}
Com UV-C	-	2,04 ± 0,04 ^{bA}	2,95 ± 0,09 ^{aB}	3,41 ± 0,06 ^{bB}	3,45 ± 0,03 ^{bB}

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna (teste T p<0,05) e maiúscula na mesma linha (teste Tukey p<0,05) diferem estatisticamente.

Segundo Costa *et al.* (2011) a deterioração microbiana de morangos e outras frutas de baixo pH é devido a fungos filamentosos e leveduras. As alterações microbiológicas que ocorrem no início e durante o armazenamento de frutas e outros vegetais variam de acordo com a microbiota de cada produto e estão diretamente ligados a fatores como a higiene durante o manuseio e local do processamento, temperatura, umidade relativa e qualidade da água (PORTE & MAIA, 2001).

As contagens totais de bactérias em frutas e hortaliças são utilizadas como indicativo da carga microbiana, porém não indicam se têm efeitos benéficos ou prejudiciais. Essas contagens servem como alerta das condições de higiene durante a manipulação e armazenamento, assim como dos riscos oferecidos à saúde do consumidor (ELLIOT *et al.*, 1982; SILVA *et al.*, 2001). Os morangos tratados com radiação UV-C no cultivo apresentaram uma contagem de mesófilos de 3,1 log UFC.g⁻¹, significativamente inferior aos frutos não tratados, que apresentaram contagem de 3,5 log UFC.g⁻¹. Em ambos os tratamentos, verificou-se uma redução na contagem desses microrganismos em função da sanitização no processamento mínimo, demonstrando que a concentração de cloro ativo (150 mg.L⁻¹) e o tempo de exposição (10 minutos) foram eficazes para reduzir em aproximadamente 1,4 log da população inicial. Esta redução é superior a encontrada por Holtz (2013), que observou redução menor que 1 ciclo log em relação aos frutos lavados apenas com água. Sapers *et al.* (2001) considerou que a lavagem e sanitização de frutas e hortaliças frescos podem reduzir a carga microbiana, porém não mais que 1 a 2 ciclos log, portanto é sempre melhor prevenir a contaminação dos vegetais, seguindo boas práticas agrícolas, do que depender exclusivamente do método de sanitização.

Oliveira (2013), fazendo uso da radiação UV-C no cultivo de morangos observou que a contagem de mesófilos totais era menor na superfície dos morangos tratados em relação aos não tratados, devido principalmente ao efeito germicida da UV-C e também pela potencialização na indução da síntese de metabólitos secundários, que atuam como mecanismo de defesa dos frutos.

Durante o armazenamento refrigerado houve aumento contínuo na população de bactérias mesófilas, atingindo no final do período contagem de 3,1 e 3 log UFC.g⁻¹, para os frutos não tratados e tratados com radiação UV-C, respectivamente. Esse comportamento foi função da qualidade inicial dos frutos, da população microbiana presente e dos cuidados higiênicos adotados no campo e local de armazenagem.

Considerando que esses frutos não receberam cuidados higiênicos diferenciados no campo, como por exemplo, imersão em solução sanitizante de hipoclorito de sódio logo depois de colhidos, atribui-se a exposição à radiação UV-C a diferença observada.

Observou-se nesse experimento que a população bacteriana dos morangos para ambos os tratamentos aumentou em 1,2 ciclos logarítmicos durante o armazenamento de 7 dias. Nogales-Delgado *et al.* (2013), estudando diferentes formas de sanitização em morangos, informam que a sanitização dos frutos com cloro reduziu a população de mesófilos aeróbios em cerca de 3 ciclos log e que em 8 dias de armazenamento os frutos apresentavam contagem de 3 log UFC.g⁻¹, valores semelhantes aos encontrados neste trabalho. Os valores encontrados indicaram um grau aceitável de microrganismos aeróbios mesófilos nos frutos, uma vez que segundo Elliot *et al.* (1982), níveis microbianos necessários para produzir modificações sensoriais em um alimento são superiores a 10⁶ UFC.g⁻¹.

Para a contagem de bolores e leveduras, as frutas apresentavam, antes do processamento, contagens de 4,44 e 3,92 log UFC.g⁻¹, para os não tratadas e tratadas com radiação UV-C, respectivamente. A redução da população de bolores e leveduras foi da ordem de 2 ciclos log, que está de acordo com a literatura (BERBARI *et al.*, 2001; BRUNO e PINTO, 2004), onde a redução de 1 a 2 ciclos log podem ser alcançados dependendo do produto, concentração de cloro e tempo de aplicação. Outro fator que pode influenciar a efetividade do processo de sanitização é o intervalo de tempo entre a contaminação e a sanitização do produto, pois quanto maior for esse intervalo maior será a adesão das células a superfície do produto e maior será a resistência dessas ao sanitizante (SAPERS *et al.*, 2001; KHADRE *et al.*, 2001). Durante o armazenamento a contagem de bolores e leveduras aumentou progressivamente, apresentando diferença significativa ao longo do período e ao final do armazenamento, com valores de 3,62 e 3,48 log UFC.g⁻¹, para morangos não tratados e tratados com radiação UV-C no cultivo, respectivamente. Estes valores são levemente inferiores aos encontrados por Holtz (2013) que encontrou contagem de bolores e leveduras próximas a 4 log UFC.g⁻¹ para morango orgânico MP sanitizado com cloro. Nogales-Delgado *et al.* (2013) relatam que a sanitização de morangos com cloro reduziu a população de bolores e leveduras em cerca de 2 ciclos log e que em 8 dias de armazenamento os frutos apresentavam contagem de 3 log UFC.g⁻¹, valores muito próximos aos encontrados neste trabalho. Embora não

haja limites fixados pela legislação atual para bolores e leveduras em frutas e hortaliças minimamente processadas, contagens microbianas acima de 10^6 UFC.g⁻¹ podem tornar o alimento impróprio para o consumo humano (VERZELETTI *et al.*, 2010; VITTI *et al.*, 2004)

A população de microrganismos psicrotróficos variou de 2,20 a 3,54 log UFC.g⁻¹ para os morangos não tratados com radiação UV-C e de 2,04 a 3,45 log UFC.g⁻¹ para os frutos tratados, sendo diferentes estatisticamente. O ambiente refrigerado favorece o crescimento deste grupo de microrganismos, os quais predominam neste ambiente. Nogales-Delgado *et al.* (2013) relatam que a sanitização de morangos com cloro reduziu a população em cerca de 2,5 ciclos log e que em 8 dias de armazenamento os frutos apresentavam contagem de 3,5 log UFC.g⁻¹, portanto valores muito próximos aos encontrados neste trabalho.

Vários estudos relatam o uso da radiação UV-C como uma alternativa viável para a desinfecção de frutos e hortaliças, mas praticamente todos estes estudos realizaram a aplicação da irradiação em pós-colheita, porém existem poucos relatos na literatura científica relacionando respostas tecnológicas, fisiológicas e fitossanitárias sobre a aplicação de radiação UV-C durante o cultivo de vegetais. Assim, não há conhecimento elucidado de como espécies frutícolas se comportam em relação à qualidade dos frutos, quanto à maturação, ao teor de fitoquímicos, à atividade antioxidante e à resistência a doenças.

Muitos estudos relatam respostas frente à aplicação de radiação UV-C na pós-colheita de frutos e hortaliças (SHAMA e ALDERSON, 2005; LÓPEZ-MALO e PALOU, 2005; ERKAN *et al.*, 2008; POMBO *et al.*, 2011). Como já se sabe, a radiação UV-C possui elevado poder germicida (GÓMEZ *et al.*, 2010; MANZOCCO *et al.*, 2011; CORRALES *et al.*, 2012), tendo como alvo principal o material genético (DNA/RNA) de bactérias, fungos e vírus. A radiação UV-C possui fraca penetração em produtos alimentares e por essa razão ela é particularmente utilizada para o tratamento onde as atividades microbianas e enzimáticas ocorrem na superfície dos alimentos (ESCALONA *et al.*, 2010; MANZOCCO *et al.*, 2011). Porém em vegetais pode haver alterações metabólicas, uma vez que na superfície estão expostos os pigmentos que realizam a captação de luz para a fotossíntese.

A radiação UV-C revelou-se benéfica para retardar a senescência pós-colheita de frutos e hortaliças e especialmente eficaz na inibição do crescimento de microrganismos nesses produtos (MAHARAJ *et al.*, 1999; BARKA *et al.*, 2000;

ERKAN *et al.*, 2001; MARQUENIE *et al.*, 2003; ALLENDE *et al.*, 2006; STEVENS *et al.*, 1998; VICENTE *et al.*, 2005; GOMEZ *et al.*, 2010).

Erkan *et al.* (2008) trataram morangos em pós-colheita com diferentes doses de radiação UV-C e diferentes tempos de exposição e concluíram que houve redução da deterioração microbiana nos frutos tratados. Isto pode ser um resultado de inibição direta do crescimento microbiano pela radiação UV-C, como sugeriram Allende *et al.* (2006), mas também pode ser explicado pelos diferentes tipos de estresse que o fruto passa, pois a radiação UV-C pode ativar respostas de defesa e, assim, contribuir para reduzir e retardar o crescimento do patógeno (PAN *et al.*, 2004).

Nigro *et al.* (2000) e Marquenie *et al.* (2003) inocularam esporos de *Botrytis* em morangos e encontraram uma redução na deterioração dos frutos tratados com radiação UV-C, indicando que as respostas defensivas do fruto podem ser ativadas. Segundo Oliveira (2013), esse resultado pode estar associado aos elevados teores de metabólitos secundários e a atividade enzimática da PAL apresentados pelos frutos tratados com UV-C. Supostamente, esses mecanismos podem estar atuando na defesa vegetal, entretanto, a evidência de que a radiação UV-C diminui a carga microbiana nos frutos faz acreditar que a menor incidência de podridões fúngicas ocorre principalmente devido à ação germicida desta radiação. Da mesma forma Charles *et al.* (2008) observaram aumento de resistência à *Botrytis cinerea* em tomates tratados com UV-C na pós-colheita.

De acordo com Fonseca (2006), as contagens microbianas reduzidas obtidas com a radiação UV-C em melancia MP, pode ser resultado de uma eliminação direta de uma parte da população de bactérias. Além disso, a radiação pode causar uma resposta de estresse à superfície da fruta, como foi encontrado para melões MP (LAMIKANRA *et al.*, 2002), e explica por que frutos tratados com UV-C tiveram menor contagem microbiana durante 7 dias de armazenamento refrigerado. Parece que a exposição à luz UV-C pode aumentar a eliminação de bactérias sem ter um efeito negativo sobre a qualidade do fruto. O armazenamento por mais tempo, no entanto, ocorre diminuição das diferenças entre frutas tratadas e não tratadas. Allende *et al.* (2006) verificaram que todos os grupos de microrganismos analisados foram reduzidos durante todo o período de armazenamento de alface MP em função da aplicação de baixas doses de radiação UV-C.

Segundo Artés-Hernandez *et al.* (2010), a radiação UV-C pode ser utilizada em alimentos como um tratamento de higienização de superfície, sendo tão eficaz como NaClO ou O₃. A UV-C provoca danos aos ácidos nucleicos de alguns microrganismos e afetam a sua multiplicação (NAKAJIMA *et al.*, 2004). Outra hipótese é que tratamentos de estresse abióticos, como a radiação UV-C, poderia afetar o metabolismo secundário de vegetais frescos e aumentar a síntese de fitoquímicos com potencial fisiológico (CISNEROS-ZEVALLOS, 2003). A questão crucial é encontrar a dose que prejudicaria enormemente o crescimento do patógeno sem danificar o produto (BEN-YEHOSHUA e MERCIER, 2005).

A radiação UV-C promove ligações cruzadas de aminoácidos aromáticos nas suas ligações duplas carbono-carbono (MOSELEY, 1992), a oxidação fotoquímica (BRAUN e OLIVEROS, 1997) e a formação de dímeros de pirimidina em cadeias de DNA (MILLER *et al.*, 1999). Todos esses fatores contribuem para a sua ação germicida, pois as mutações no DNA bloqueiam a transcrição e a replicação das células, comprometendo as funções celulares e muitas vezes leva-a à morte. Sabe-se que a quantidade de DNA danificado é proporcional à exposição à radiação UV-C. Sommer *et al.* (1996) relataram que os efeitos da radiação UV sobre a inativação de microrganismos depende da dose, a qual é definida como a intensidade multiplicada pelo tempo de exposição. Observou-se que mais de 90% da carga microbiana foi afetada pelos tratamentos com UV-C, uma vez que a redução de pelo menos um ciclo log foi observado após os tratamentos. No entanto, a radiação UV-C é essencialmente um tratamento de superfície e, portanto, a localização física dos microrganismos no produto e a diferente composição química deste, pode desempenhar um papel importante na eficácia da radiação UV-C na redução da carga microbiana. Yuan *et al.* (2004) verificaram que a luz UV-C foi mais eficaz na redução das populações de bactérias na superfície de maçãs do que em tomates e alface. Deve levar em conta que a maioria, se não todos os tipos de microrganismos têm um sistema de reparação do DNA que pode excisar dímeros de pirimidina. Este processo de reparação, no entanto, muitas vezes, introduz o seu próprio conjunto de mutações no DNA alvo que podem afetar a viabilidade e/ou a taxa de crescimento das células microbianas.

Pombo *et al.* (2011) trataram morango com doses horméticas de UV-C e, em seguida inocularam com uma suspensão de *B. cinerea*. Os resultados mostraram que frutas previamente irradiadas com UV-C tinham uma menor percentagem de

fruto afetada, embora as diferenças entre frutos não irradiados e irradiados não fossem evidentes nos últimos dias de armazenamento. O tratamento causou uma redução de 30 % no número de frutos infectados. Redução de deterioração microbiana em pimentões que foram tratadas com UV-C e em seguida inoculados com *B. cinerea* também foi relatado por Mercier *et al.*, (2001). Do mesmo modo, uma redução significativa de infecções foi obtido em uvas tratadas com UV-C (ROMANAZZI *et al.*, 2006). Além disso, o crescimento de fungos em morangos foi retardado usando baixas doses de UV-C (MARQUENIE *et al.*, 2002).

Isso sugere a existência de um efeito indireto de UV-C no tecido da fruta que pode incluir o desencadeamento de mecanismos de resistência ao patógeno. Por esta razão verificou-se que o tratamento com radiação UV-C em pós-colheita aumentou a expressão e atividade de várias enzimas (PAL, peroxidases, PPO, quitinases e β -1,3 -glucanases) que estão envolvidas nos mecanismos de defesa contra patógenos. Os benefícios da aplicação de uma radiação UV-C para controle ou diminuição dos danos nas frutas por *Botrytis* são, pelo menos em parte, devido ao desencadeamento da expressão de um conjunto de genes e enzimas relacionados com os mecanismos de defesa que faz com que a fruta fique menos propensa ao desenvolvimento da doença.

Tem sido relatado que tratamentos com UV-C possam induzir a resistência contra patógenos em diversas espécies (EL GHAOUTH *et al.*, 2003; NIGRO *et al.*, 2000; STEVENS *et al.*, 1998), ao aumento da atividade da enzima fenilalanina amônia liase (PAL) em várias frutas (GRIZEL, 2012; CHARLES *et al.*, 2009; NIGRO *et al.*, 2000) e também ao acúmulo de fitoalexinas, flavonóides e compostos fenólicos antifúngicos em vegetais (LIU *et al.*, 2009).

A produção de fitoalexinas, compostos antimicrobianos produzidos pelas plantas em resposta a infecção ou estímulos fisiológicos tais como a radiação UV, acredita-se ser um importante mecanismo de defesa. Uma hipótese proposta sobre o mecanismo de indução de fitoalexina supõe que em tecido normal os genes envolvidos são reprimidos. Os agentes que induzem a produção de fitoalexinas são utilizados para diminuir esses genes ou promover a sua transcrição, causando uma alteração conformacional no DNA (LANGCAKE & PRYCE, 1977).

Radiação UV-C foi utilizada em combinação com outras técnicas de conservação para manter a qualidade de produtos hortifrutícolas. A maioria destes estudos mostraram a eficácia da redução microbiana nas frutas e hortaliças

minimamente processadas usando desinfecção química, baixa doses de radiação UV-C (doses de 1 a 4 kJ.m⁻²) e armazenamento sob atmosfera modificada, sem qualquer efeito prejudicial sobre a qualidade sensorial do produto.

4.3 Avaliação sensorial

Em relação aos atributos sensoriais, houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre as amostras para o atributo cor, em função da aplicação de radiação UV-C e do tempo de armazenamento (Tabela 3). Em média, os morangos minimamente processados a partir de frutos que foram produzidos na presença de radiação UV-C tiveram notas superiores, variando de 6,30 a 6,03 ao final do armazenamento, correspondendo os termos “gostei moderadamente” na escala hedônica. As amostras que não receberam radiação UV-C apresentaram médias variando ao longo do armazenamento de 6,20 e 5,93. Estes valores levemente superiores das notas dos morangos MP irradiados refletem a maior coloração vermelha dos frutos, também indicada pela análise instrumental da cor, onde os parâmetros L*, a* e ângulo Hue foram significativamente diferentes entre as amostras.

A cor na superfície é o fator mais importante que afeta a aparência visual de morangos. Alteração na aparência de morangos durante o armazenamento também foi verificada por Kim *et al.* (2010), que verificaram que mesmo ocorrendo diminuição das notas para todos os tratamentos, as frutas tratadas com radiação UV-C mantiveram maior coloração e apresentaram notas significativamente superiores aquelas que não receberam o tratamento com UV-C.

A avaliação sensorial dos outros atributos avaliados, como aroma, frescor, sabor e impressão global dos frutos apresentaram pontuações sensoriais que diminuiriam com o aumento do tempo de armazenamento para ambos os tratamentos. Para esses atributos sensoriais, em nenhum dos tempos de avaliação foram encontradas diferenças significativas entre os frutos tratados e não tratados com radiação UV-C. No entanto, os frutos tratados com radiação UV-C apresentaram escores mais elevados do que os frutos que não foram irradiados após 7 dias de armazenagem em todos os atributos estudados.

Tabela 3 – Avaliação sensorial de morangos minimamente processados, armazenados a 4 °C, com e sem tratamento com radiação UV-C durante o cultivo.

Parâmetro Sensorial	Tratamento	Tempo de Armazenamento (Dias)			
		0	2	5	7
Cor	Controle	6,02±0,35 ^{bA}	6,05±0,49 ^{bA}	5,90±0,66 ^{aA}	5,75±0,34 ^{bA}
	UV-C	6,38±0,40 ^{aA}	6,26±0,33 ^{aA}	6,00±0,34 ^{aA}	6,03±0,41 ^{aA}
Frescor	Controle	6,70±0,44 ^{aA}	6,50±0,38 ^{aA}	6,00±0,81 ^{aB}	5,50±0,36 ^{aB}
	UV-C	6,60±0,43 ^{aA}	6,50±0,34 ^{aA}	6,20±0,35 ^{aA}	5,50±0,35 ^{aB}
Sabor	Controle	6,21±0,56 ^{aA}	6,08±0,64 ^{aA}	5,70±0,63 ^{aB}	5,55±0,74 ^{aB}
	UV-C	6,30±0,48 ^{aA}	6,20±0,63 ^{aA}	6,10±0,75 ^{aA}	5,73±0,73 ^{aB}
Aroma	Controle	6,18±0,08 ^{aA}	6,15±0,12 ^{aA}	6,08±0,09 ^{aA}	5,95±0,13 ^{aB}
	UV-C	6,32±0,21 ^{aA}	6,38±0,09 ^{aA}	6,23±0,09 ^{aA}	6,03±0,09 ^{aA}
Impressão Global	Controle	6,28±0,45 ^{aA}	6,08±0,59 ^{aAB}	5,90±0,34 ^{aB}	5,78±0,48 ^{aB}
	UV-C	6,43±0,56 ^{aA}	6,23±0,42 ^{aAB}	6,13±0,41 ^{aAB}	5,98±0,34 ^{aB}

Escala Hedônica: Nota 1 – Desgostei muito; Nota 7 – Gostei muito

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna (teste T) e maiúscula distintas na mesma linha (teste Tukey) diferem estatisticamente ($p < 0,05$).

No atributo impressão global, os frutos apresentaram média de 5,98 e 5,78, respectivamente, para os frutos tratados e não tratados com radiação UV-C após 7 dias de armazenamento, correspondendo ao termo “gostei moderadamente” na escala hedônica utilizada. Comportamento similar também foi verificado por Kim *et al* (2010), os quais não encontraram diferenças entre morangos irradiados e não irradiados com UV-C para os atributos odor e avaliação global após 12 dias de armazenamento refrigerado. Em todos os atributos houve redução das notas conferidas pelos provadores, com o aumento do tempo de armazenamento, porém nos frutos tratados com radiação UV-C esta redução foi menos acentuada.

A figura 13 apresenta o índice de aceitabilidade dos morangos minimamente processados após sete dias de armazenamento refrigerado. Este parâmetro pode indicar a intenção de consumo de um determinado produto pelos consumidores.

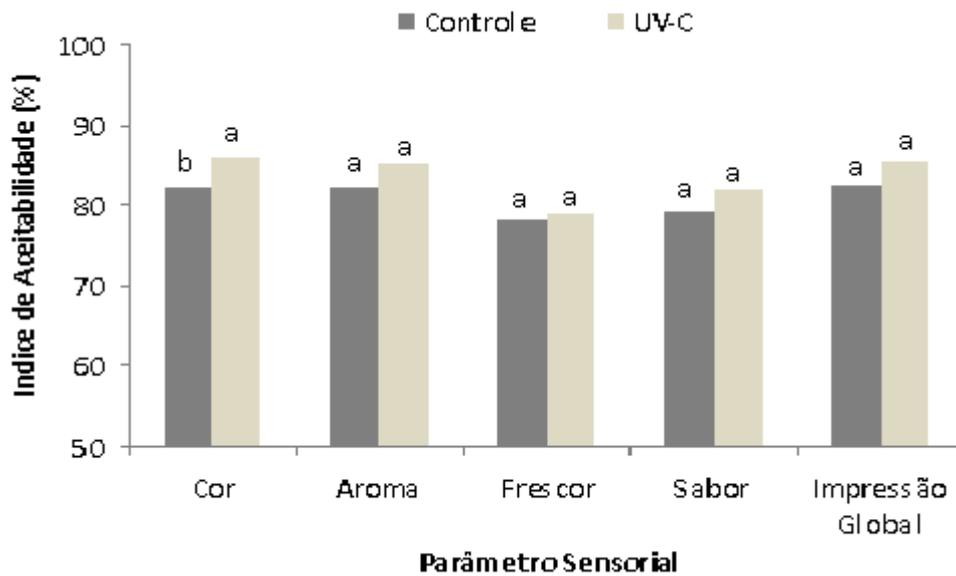


Figura 13 – Índice de aceitabilidade (%) de morangos minimamente processados, armazenados por 7 dias a 4°C, tratados e não tratados com radiação UV-C no cultivo. Colunas seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste T ($p \leq 0,05$) para o atributo sensorial avaliado.

Em relação aos atributos sensoriais avaliados, somente a cor apresentou diferença entre os frutos controle e aqueles tratados com UV-C. Observa-se que em todos os atributos avaliados o índice de aceitabilidade foi próximo ou mesmo superior a 80% e de acordo com Teixeira *et al.* (1987) para que um produto seja considerado aceito pelos consumidores em termos de suas propriedades sensoriais é necessário que obtenha um índice de aceitabilidade mínimo de 70%.

5. Conclusão

A aplicação da radiação UV-C durante o cultivo de morangueiros (cv. Camarosa) atenua as perdas de firmeza de polpa, vitamina C, compostos fenólicos totais e atividade antioxidante e estimula o acúmulo de antocianinas sem, contudo alterar a qualidade sensorial e microbiológica de morangos minimamente processados, armazenados durante sete dias em refrigeração.

6. Referências Bibliográficas

AABY, K.; SKREDE, G.; WROLSTAD, R. E. Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria ananassa*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 53, n. 10, p. 4032-404, 2005.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.141**. Escalas utilizadas em análise sensorial de alimentos e bebidas. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

AGIUS, F.; GONZÁLEZ-LAMOTHE, R.; CABALLERO, J. L.; MUNOZ-BLANCO, J.; BOTELLA, M. A.; VALPUESTA, V. Engineering increased Vitamin C levels in plants by overexpression of a D-galacturonic acid reductase. **Nature Biotechnology**. v. 21, p. 177-181, 2003.

ALLENDE, A.; ARTÉS, F. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed “Lollo rosso” lettuce. **Food Res Inter**. v. 36, n. 7, p. 739-746. 2003.

ALLENDE, A.; ARTÉS, F. Processing lines and alternative techniques to prolong the shelf life of minimally fresh processed leafy vegetables. **European Journal of Horticultural Sciences**. v. 70, n. 5, p. 231-245. 2005.

ALLENDE, A.; TOMAS-BARBERAN, F.; GIL, M. Minimal processing for healthy traditional foods. **Trends in Food Science & Technology**. v. 17, p. 513-519, 2006.

ALOTHMAN, M.; BHAT, R.; KARIM, A. A. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 10, n. 4, p. 512-516, 2009.

ALVES, R. E.; SOUZA FILHO, M.S.M.; BASTOS, M.S.R.; FILGUEIRAS, H.A.C.; BORGES, M.F. Pesquisa em processamento mínimo de frutas no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 2., 2000, Viçosa. **Palestras...** Viçosa: UFV, 2000. p.75-85.

ANDRADE, N. J. de; BASTOS, M. S. R.; ANTUNES, M. A. Higienização e sanitização. In: MORETTI, C. L. (Ed). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa: SEBRAE, p. 101-120, 2007.

ANDRADE CUVI, M. J.; VINCENTE, A. R.; CONCELLÓN, A.; CHAVES, A. R. Changes in red pepper antioxidants as affected by UV-C treatments and storage at chilling temperature. **LWT- Food Science Technology** v. 44, p. 1666-1671. 2011.

ANTTONEN, M. J.; HOPPULA, K. I.; NESTBY, R.; VERHEUL, M. J.; KARJALAINEN, R. O. Influence of fertilization, mulch color, early forcing, fruit order, planting date, shading, growing environment, and genotype on the contents of selected phenolics in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, n. 7, p. 2614-2620, 2006.

APHA - American Public Health Association. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 4th ed. Washington, DC: APHA; 2002.

ARRUDA, M. C.; JACOMINO, A. P.; SPOTO, M. H. F.; GALLO, C. R. Conservação de melão rendilhado minimamente processado sob atmosfera modificada ativa. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 53-58. 2004.

ARTÉS-HERNÁNDEZ, F.; ROBLES, P. A.; GÓMEZ, P. A.; TOMÁS-CALLEJAS, A.; ARTÉS, F. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. **Postharvest Biology and Technology**. v. 55, n. 2, p. 114-120. 2010.

ASARD, H.; MAY, J. M.; SMIRNOFF, N. Ascorbate as an antioxidant. In: BUETTNER, G. R.; SCHAFER, F. Q. **Vitamin C – Functions and Biochemistry in animals and Plants**, London: Taylor & Francis Group, p.173-188, 2004.

ÁVILA, J. M. M. de; PERAÇA TORALLES, R.; CANTILLANO, R. F. F.; RUARO PERALBA, M. C.; PIZZOLATO, T. M. Influência do sistema de produção e do armazenamento refrigerado nas características físico-químicas e no desenvolvimento de compostos voláteis em morangos. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2265-2271, 2012

AYALA-ZAVALA, J. F.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. **Swiss Society Food Science and Technology**, Zurich, v. 37, n. 6-7, p. 687-695, 2004.

AZEVEDO, S. M. C. 2007. Estudos de taxa de respiração e de fatores de qualidade na conservação de morango fresco. 225f. **Dissertação de mestrado**. Curso de Mestrado em Ciências do Consumo Alimentar. Universidade Aberta, Portugal.

BACCI, L.; GRIFONI, D.; SABATINI, F.; ZIPOLI, G. UV-B radiation causes early ripening and reduction in size of fruits in two lines of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Global Change Biol.** v. 5, p. 635–646, 1999.

BAGCHI, D.; SEN, C. K.; BAGCHI, M.; ATALAY, M. Antiangiogenic, antioxidant, and anti-carcinogenic properties of a novel anthocyanin-rich berry extract formula. **Biochemistry**, Moscou, v.69, n.1, p.75-80, 2004.

BAKA, M., MERCIER, J., CORCUFF, R., CASTAIGNE, F.; ARUL, J. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries, **Journal of Food Science**, v.64, n.6, p.1068-1072,1999.

BALDWIN, E. Fruit Flavour, Volatile Metabolism and Consumer Perceptions. In_ KNEE, M. (ed), **Fruit Quality and it's Biological Basis**. 320 p., Academic Press, Scheffield, UK. 2002.

BALDWIN, E. Flavor in **The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks**, Agriculture Handbook, 66, USDA, ARS. 2004.

BARKA, E.A., KALANTARI, S., MAKHLOUF, J., ARUL, J. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. **J. Agric. Food Chem.** v. 48, p. 667-671, 2000.

BASTOS, M. do S. R. **Frutas Minimamente Processadas: Aspectos de Qualidade e Segurança**. EMBRAPA Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE, 2006. 59 p.

BEN-YEHOSHUA, S.; RODOV, V.; KIM, J. J.; CARMELI, S. Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 40, p. 1217-1221, 1992.

BEN-YEHOSHUA, S., MERCIER, J. UV irradiation, biological agents, and natural compounds for controlling postharvest decay in fresh fruits and vegetables. In: Ben-Yehoshua, S. (Ed.), **Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality**. CRC Taylor & Francis, Boca Raton, FL, p. 265-299, 2005.

BERBARI, S. A. G.; PASCHOALINO, J. E.; SILVEIRA, N. F. A. Efeito do cloro na água de lavagem para desinfecção de alface minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 197-201, 2001.

BRACKMANN, A.; PAVANELLO, E. P.; BOTH, V.; JANISCH, D. I.; SCHMITT, O. J.; GIMÉNEZ, G. Avaliação de genótipos de morangueiro quanto à qualidade e potencial de armazenamento. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, 2011.

BRAND-WILIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. **Resolução RDC nº 12**, de 02 de janeiro de 2001. Aprova regulamento técnico sobre os padrões microbiológicos para alimentos. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12-01rda.htm>> Acesso em: 14 jan 2014.

BRAUN, A. M.; OLIVEROS, E. How to evaluate photochemical methods for water treatment. **Water Science and Technology**, v. 35, p. 17-23, 1997.

BRUMMEL, D. A.; HARPSTER, M. H. Cell wall metabolism in fruit softening and quality and its manipulation in transgenic plants. **Plant Molecular Biology** 47, p. 311-340, 2001.

BRUNO, L. M.; PINTO, G. A. S. Aplicação de cloro no preparo de hortaliças frescas para consumo doméstico. **Revista Ciência Agronômica**, v. 35, n. especial, p. 259-263, 2004.

BRECHT, J. K.; CHAU, K. V.; FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. R.; SILVA, F. M.; NUNES, M. C. N.; BENDER, R.J. Maintaining optimal atmosphere conditions for fruits and vegetables throughout the postharvest handling chain. **Postharvest Biology and Technology**, v. 27, n. 1, p. 87-101, 2003.

CALEGARO, J. M.; PEZZI, E.; BENDER, R. J. Utilização de atmosfera modificada na conservação de morangos em pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 37, n. 8, p. 1-6, 2002.

CALVO, M.; CARAZO, M.; ARIAS, M. L.; CHAVES, C.; MONGE, R.; CHINCHILLA, C. Prevalencia de *Cyclospora* sp., *Cryptosporidium* sp., *microsporidos* y

determinación de coliformes fecales en frutas y vegetales frescos de consumo crudo en Costa Rica. **Archivos Latinoamericanos de Nutrición**, Caracas, v. 54, n. 4, p. 428-432, 2004.

CAMERON, A. C.; BEAUDRY, R. M.; BANKS, N. H.; YELANICH, M. V. Modified-atmosphere packaging of blueberry fruit: modeling respiration and package oxygen partial pressures as a function of temperature. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, p. 534-539, 1994.

CAMPOS, A. J.; VIEITES, R. L.; NEVES, P.A. ROBLES, P.A.; CALERO, F. A. Ultraviolet radiation (UV-C) in characterization postharvest of tomato 'Pitenza'. **Rev. Iber. Tecnología Postcosecha**, v. 12, n. 2, p. 192-198, 2011.

CANER, C.; ADAY, M.; DEMIR, M. Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. **European Food Research and Technology**, v. 227, p. 1575-1583, 2008.

CANTILLANO R. F. F. **Fisiologia e manejo da colheita e pós-colheita de morangos**. In: Simpósio Nacional do Morango, Pelotas. Documento 124, Embrapa Clima Temperado. p. 146-160, 2004.

CANTILLANO, R. F. F. CASTAÑEDA, L. M. F.; TREPTOW, R. O.; SCHUNEMANN, A. P. P. Qualidade físico-química e sensorial de cultivares de morango durante o armazenamento refrigerado, Embrapa Clima Temperado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 75, p. 1-31, 2008.

CANTILLANO, R. F. F; SILVA, M. M. **Manuseio pós-colheita de morangos – Pelotas**: Embrapa Clima Temperado, (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 318), p. 36, 2010.

CANTOS E.; ESPIN J. C.; TOMÁS-BARBERÁN F. A. Postharvest induction modeling method using UV irradiation pulses for obtaining resveratrol-enriched table grapes: A new "Functional" fruit? **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 5052-5058, 2001.

CANTWELL, M. Postharvest handling systems: minimally processed fruits and vegetables. In: KADER, A.A. (Ed). **Postharvest technology of horticultural crops**. Davis: University of California, p. 277-281, 1992.

CANTWELL, M. The dynamic fresh-cut sector of the horticultural industry. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 2., 2000, Viçosa. **Palestras...** Viçosa: UFV, 2000.

CARDOSO, L. M.; DEUS, V. A.; SILVA, E. B.; ANDRADE JÚNIOR, V. C.; DESSIMONI-PINTO, N. A. V. Qualidade de morangos tratados. **Alimentos e Nutrição**, v. 23, n.4, p. 583-588, 2012.

CASTRO, R. L. de **Melhoramento genético do morangueiro: avanços no Brasil**. SIMPOSIO NACIONAL DO MORANGO, 2, ENCONTRO DE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL, 1. (Ed.) Raseira, et al. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. 296 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 124).

CENCI, S. A.; SILVA, O. F.; VAZ, S. G.; ROCHA, G. O.; REGIS, S. A.; CUNHA, F. Q. **Etapas do processamento mínimo do morango**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2008. (Comunicado Técnico, 110).

CENCI, S. A.; **Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças: Tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem**. Embrapa Agroindústria de Alimentos. Rio de Janeiro, RJ. 144p., 2011

CEREZO, A. B.; CUEVAS, E.; WINTERHALTER, P.; GARCIA-PARRILLA, M. C.; TRONCOSO, A. M. Isolation, identification, and antioxidant activity of anthocyanin compounds in Camarosa strawberry. **Food Chemistry**, v. 123, p. 574-582, 2010.

CHARLES, M. T.; KALANTARI, R.; CORCUFF, R.; ARUL, J. Postharvest quality and sensory evaluation of UV-treated tomato fruit. **Acta Horticulturae**, v. 682, p. 537-542, 2005.

CHARLES, M. T.; MERCIER, M. T.; MAKHLOUF, J.; ARUL, J. Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit I. Role of pre- and postchallenge accumulation of the phytoalexin-rishitin. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 10-20, 2008.

CHARLES, M. T.; TANO, K.; ASSELIN, A.; ARUL, J. Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit v. constitutive defence enzymes and inducible pathogenesis-related proteins. **Postharvest Biology and Technology**, v. 51, p. 414-424, 2009.

CHEPLICK, S. Phenolic-linked variation in strawberry cultivars for potential dietary management of hyperglycemia and related complications of hypertension. **Bioresource Technology**, v.101, n.1, p. 404-413, 2010.

CHEUNG, L. M.; CHEUNG, P. C. K.; OOI, V. E. C. Antioxidant activity and total phenolics of edible mushroom extracts. **Food Chemistry**, v. 80, n.2, p. 249-255, 2003.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 735p. 2005.

CHIUMARELLI, M., 2008. **Avaliação da vida útil de manga (*Mangifera indica* cv 'Tommy atkins') minimamente processada pré-tratada com ácido cítrico e coberturas comestíveis**. 122f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.

CISNEROS-ZEVALLOS L. The use of controlled postharvest abiotic stresses as a tool for enhancing the nutraceutical content and adding-value of fresh fruits and vegetables. **Journal of Food Science**, v. 68, p. 1560-1565, 2003.

CIVELLO, P. M.; MARTÍNEZ, G. A.; CHAVES, A. R.; AÑÓN, M. C. Heat treatments delay ripening and postharvest decay of strawberry fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 4589-4594, 1997.

COPETTI, C. 2010. Atividade antioxidante in vitro e compostos fenólicos em morangos (*Fragaria x ananassa* Duch): influência do cultivar, sistema de cultivo e período de colheita. 89f. **Dissertação de Mestrado**, Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC.

CORDENUNSI, B. R.; GENOVESE, M. I; NASCIMENTO, J. R. O.; HASSIMOTTO, N. M. A.; SANTOS, R. J.; LAJOLO, F. M. Effect of temperature on the chemical composition and antioxidant activity on three strawberry cultivars. **Food chemistry**, v. 91, p. 113-121, 2005.

CORDENUNSI, B.R., NASCIMENTO, J.R.O., LAJOLO, F.M., Physico-chemical changes related to quality of five strawberry fruit cultivars during cool storage. **Food Chemistry**, v. 83, p. 167-173, 2003.

CORRALES, M.; SOUZA, P. M.; STAHL, M. R.; FERNÁNDEZ, A. Effects of the decontamination of a fresh Tiger nut's Milk beverage (horchata) with short wave ultraviolet treatments (UV-C) on quality attributes. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. v. 13, p. 163-168, 2012.

COSTA, F. B. 2009. Fisiologia da conservação de cultivares de morangos inteiros e minimamente processados. 126f. **Tese de Doutorado**. Programa de Pós Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

COSTA, F. B.; DUARTE, P. S; PUSCHMANN, R.; FINGER, F. L. Quality of fresh-cut strawberry. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 477-484, 2011.

COSTA, L., VICENTE, A. R., CIVELLO, P. M., CHAVES, A. R., MARTINEZ, G. A. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, p. 204-210, 2006.

CRUZ, A. G.; CENCI, S. A.; MAIA, M. C. A. Quality assurance requirements in produce processing. **Trends in Food Science and Technology**, n. 17, p. 406-411, 2006.

CUNHA JUNIOR, L. C.; JACOMINO, A. P.; OGASSAVARA, F.O.; TREVISAN, M.J.; PARISI, M. C. M. Armazenamento refrigerado de morango submetido a altas concentrações de CO₂. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 688-694, 2012.

DAMASCENO, K. S. F. da S. C.; STAMFORD, T. L. M.; ALVES, M. A. Vegetais minimamente processados: uma revisão. **Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 15, n. 85, p. 20-25, 2001.

DAIUTO, E. R.; CARVALHO, L. R.; FUMES, J. Pós colheita do abacate 'Hass' submetido a radiação UV-C. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, v. 7, n. 2, p. 149-160, 2013.

DAIUTO, E. R.; VIEITES, R. V.; TREMOCOLDI, M. A.; RUSSO, V. C. Taxa respiratória de abacate 'Hass' submetido a diferentes tratamentos físicos. **Revista Iberoamericana de Tecnologia Postcosecha** v. 10, n. 2, p. 101-109, 2010.

DEL CORSO, G., LERCARI, B. Use of UV radiation for control of height and conditioning of tomato transplants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Scientia Horticulturae**, v. 71, p. 27-34, 1997.

D'HALLEWIN, G.; SCHIRRA, M.; MANUEDDU, E.; PIGA, A.; BEN-YEHOSHUA, S. Scoparone and scopoletin accumulation and ultraviolet-C induced resistance to postharvest decay in oranges as influenced by harvest date. **J. Am. Soc. Hort. Sci.** 124, 702-707, 1999

DOMINGUES, D. M. 2000. Efeito da radiação gama e embalagem na conservação de morangos "Toyonoka" armazenados sob refrigeração. 60p. **Dissertação de Mestrado**. Programa de Pós Graduação em Ciência dos Alimentos, Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Piracicaba – SP.

DONG, Y.H., MITRA, D., KOOTSTRA, A., LISTER, C., LANCASTER, J., Postharvest stimulation of skin color in Royal Gala apples. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, v. 120, p. 95-100, 1995.

DOTTO, M. C.; MARTÍNEZ, G. A.; CIVELLO, P. M. Expression of expansin genes in strawberry varieties with contrasting fruit firmness. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 44, p. 301-307, 2006.

DURIGAN, J. F.; ALVES, R. E.; SILVA, E. O. Técnicas de processamento mínimo de frutas e hortaliças e suas relações com o mercado. **Instituto Frutal**, 2007. 110p. (Coleção Cursos Frutal).

EL GHAOUTH, A.; WILSON, C.L. Biologically-based technologies for the control of postharvest diseases. **Postharvest News Information**, n.6, p.5-7, 1995.

EL-GHAOUTH, A.; WILSON, C. L.; WISNIEWSKI, M. Ultrastructural and cytochemical aspects of the biological control of *Botrytis cinerea* by *Candida saitoanain* apple fruit. **Phytopathology**. v. 88, p. 282-291, 1998.

EL-GHAOUTH, A., WILSON, C.L., CALLAHAN, A.M. Induction of chitinase β -1,3-glucanase, and phenylalanine ammonia lyase in peach fruit by UV-C treatment. **Phytopathology**, v. 93, p. 349-355, 2003.

ELLIOT, R. P.; CLARK, O. S.; LEWIS, K. H.; LUNDBECK, H.; OLSON, J. C.; SIMONSEN, B. (Eds). **Microorganismos de los alimentos**: técnicas de análisis microbiológico. 2.ed. Zaragoza, Espana: Acribia, (1982). v.1, parte 2, p. 3-14.

ERKAN, M; WANG, C.Y; KRIZEK, D. T. UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration inCucurbita pepofruit tissue. **Environmental and Experimental Botany**, v. 45, p. 1-9, 2001.

ERKAN, M.; WANG, S. Y.; WANG, C. Y. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme and decay in strawberries fruit. **Postharvest Biology and Technology**. v. 48, n. 2, p. 163-171, 2008.

ESCALONA, V. H.; AGUAVO, E.; MARTINEZ-HERNANDEZ, G. B.; ARTES, F. UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro in baby spinach. **Postharvest Biology and Technology**. v. 56, p. 233-231, 2010.

FAEDI, W.; ANGELINI, R. La Fragola. (2010). Collana, Coltura e Cultura, **Bayer Crop Science**, Ed. Script, Bologna, p. 548.

FAN, X. Sensorial, nutritional and microbiological quality of fresh cilantro leaves as influenced by ionizing radiation and storage. **Food Research International** v. 36, p. 713-719, 2003.

FAN, Y.; XU, Y.; WANG, D.; ZHANG, L.; SUN, J.; SUN, L.; ZHANG, B. Effect of alginate coating combined with yeast antagonist on strawberry (*Fragaria x ananassa*) preservation quality. **Postharvest Biology and Technology**, v. 53, p. 84-90, 2009.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: **45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**. UFSCar, São Carlos, SP, p. 255-258, 2000.

FONSECA, J. M.; RUSHING, J. W. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. **Postharvest Biology and Technology** v. 40, p. 256-261, 2006.

Food and Agriculture Organization - FAO. **Statistical of strawberry production in world**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/340/default.aspx>> Acesso em: 20 Jan. 2014.

FRESHCUT: <http://freshcut.com/index.php/magazine/article/state-of-the-fresh-cut-industry>, Acesso em 25/01/2014.

FROHNMEYER, H.; STAIGER, D. Ultraviolet-B Radiation-Mediated Responses in Plants. Balancing Damage and Protection. **Plant Physiology**, v. 133, n. 4, p. 1420-1428, 2003.

FUMIS, T. de F.; SAMPAIO, A.C.; PALLAMIN, M.L.; OLIVEIRA, O. M. de. Avaliação tecnológica de nove cultivares de morango na região de Bauru-SP. **Horticultura Brasileira**, v. 21, n. 2, 2003.

GARCIA-ALONSO, M.; RIMBACH, G.; RIVAS-GONZALO, J.C.; PASCUAL-TERESA, S. Antioxidant and cellular activities of anthocyanins and their corresponding vitisins a studies in platelets, monocytes, and human endothelial cells. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 3378-3384, 2004.

GARCIA-MACIAS, P.; ORDIDGE, M.; VYSINI, E.; WAROONPHAN, S.; BATTEY N. H.; GORDON, M. H.; HADLEY, P.; JOHN, P.; LOVEGROVE, J. A.; WAGSTAFFE, A. Changes in the flavonoid and phenolic acid contents and antioxidant activity of red leaf lettuce (Lollo Rosso) due to cultivation under plastic films varying in ultraviolet transparency. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, p. 10168-10172, 2007.

GARCÍA, J. M.; MEDINA, R. J.; OLÍAS, J. M. Quality of strawberries automatically packed in different plastic films. **Journal of Food Science**, v. 63, n. 6, p. 1037-1041, 1998.

GECHEV, T. S.; HILLE, J. Molecular basis of plant stress. **Cellular and Molecular Life Sciences**. v. 69, p. 3161-3163, 2012.

GIAMPIERI, F.; TULIPANI, S.; ALVAREZ-SUAREZ, J. M.; QUILES, J. L.; MEZZETTI, B.; BATTINO, M. The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. **Nutrition**, v. 28, p. 9-19, 2012.

GIL, M. I.; HOLCROFT, D. M.; KADER, A. A. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 45, p. 1662-67, 1997.

GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 48, p. 909-930, 2010.

GINDRI, R. V. 2013. Estudo da interação da irradiação UV-C sobre a composição fenólica, volátil e viscosidade de vinhos cabernet sauvignon e merlot. 66f. **Dissertação de Mestrado**, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS.

GLEESON, E.; O'BEIRNE, D. Effects of process severity on survival and growth of *Escherichia coli* and *Listeria innocua* on minimally processed vegetables. **Food Control**, v. 16, p. 677-685, 2005.

GITZ, D. C.; LIU-GITZ, L.; McCLURE, J. W.; HUERTA, A. J. Effects of a PAL inhibitor on phenolic accumulation and UV-B tolerance in *Spirodela intermedia* (Koch.). **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 398, p. 919-927, 2004.

GOMEZ, P.L.; ALZAMORA, S. M.; CASTRO, M. A.; SALVATORI, D. M. Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut-apple: Microorganism, color and compression behavior. **Journal of Food Engineering** . v. 98, n. 1, p. 60-70, 2010.

GONZALEZ-AGUILAR, G.A.; WANG, C.Y.; BUTA, J.G.; KRIZEK, D.T. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. **International Journal of Food Science and Technology**, v.36, p.767-773, 2001.

GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; ZAVALA-GATICA, R.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M. E. Improving postharvest quality of mango "Haden" by UV-C treatment. **Postharvest Biology and Technology**. v. 45, n. 1, p. 108-116, 2007.

GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; GARDEA, A. A.; CUAMEA-NAVARRO, F. **Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados**. Guadajarara: Ciad, p. 415-423, 2005

GONZALEZ-BARRIO, R.; VIDAL-GUEVARA, M. L.; TOMÁS-BARBERÁN, F. A.; ESPÍN, J. C. Preparation of a resveratrol-enriched grape juice based on ultraviolet C-

treated berries. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, n. 3, p. 374-382, 2009.

GORNY, J. R. A. Summary of CA and MA recommendations for selected fresh-cut fruits. In: INTERNATIONAL CONTROLLED ATMOSPHERE RESEARCH CONFERENCE, 8., 2001. Amsterdam, **Proceedings....**Amsterdam: [s. n.], 2001.

GRIZEL, G. R. 2012. Efeito da radiação UV-C durante o cultivo de morangos: Aspectos bioquímicos-fisiológicos e tecnológicos. 80f. **Dissertação de Mestrado**, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

GUNES, G.; LEE, C. Y. Color of minimally processed potatoes as affected by modified atmosphere packaging and antibrowning agents. **Journal of Food Science**, v. 62, p. 572-582, 1997.

HAGEN S. F.; BORGE G. I. A.; BENGTSSON G. B. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): effect of postharvest UV-B irradiation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 1-10, 2007.

HANNUM, S. M. Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 44, p. 1-17, 2004.

HARKER, F. R.; REDGWELL, R. J.; HELLET, I. C.; MURRAY, S.; CARTER, G. Texture of fresh fruit. **Horticulture Review**, v. 20, p. 212-224, 1997.

HEINONEN, I. M.; MEYER, A. S.; FRANKEL, E. N. Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, p. 4107-4112, 1998.

HERNANDEZ-MUÑOZ, P.; ALMENAR, E.; DEL-VALLE, V.;VELEZ, D.; GAVARA, R. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 110, p. 428–435, 2008.

HEWETT, E. An overview of preharvest factors influencing postharvest quality of horticultural products. **International Journal of Postharvest Technology and Innovation**. v. 1, n. 1, p. 4-15, 2006.

HODGES, D.; TOIVONEN, P. Quality of fresh-cut fruits and vegetables as affected by exposure to abiotic stress. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48: 155-162, 2008

HOLCROFT, D. M.; KADER, A. A. Controlled atmosphere - induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 17, n. 14, p. 19-32, 1999.

HOLTZ, S. G. 2013. Aplicação de Ozônio e Revestimentos Comestíveis em Morangos (*Fragaria x ananassa* Duch) Minimamente Processados. **Dissertação de**

Mestrado. Programa de Pós-graduação em Microbiologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

ICMSF-INTERNATIONAL COMMITTEE ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATION FOR FOOD **Microrganisms in Food**. I – Their significance and methods of enumeration. 2 ed., Toronto: University Press, 2000. 439p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físicos e químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1ª Edição Digital.

INTERNATIONAL FRESH-CUT PRODUCE ASSOCIATION. **Food safety guidelines for the fresh-cut produce industry**. 4. ed. Washington, DC, 2001. 213p.

JANSEN, M. A. K.; HECTORS, K.; O'BRIEN, N. M.; GUISEZ, Y.; POTTERS, G.: Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops? A review. **Plant Science**, v. 175, p. 449-458, 2008.

JAY, J. M. Indicadores microbiológicos de qualidade e segurança dos alimentos. In: **Microbiologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. 6. ed., cap. 20, p.413-433

JIANG, T., JAHANGIR, M. M., JIANG, Z., LU, X. AND YING, T. Influence of UV-C treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and texture of postharvest shiitake (*Lentinus edodes*) mushrooms during storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 56, p. 209-215, 2010.

JOHNSON, R. E.; PRAKASH, S.; PRAKASH, L. Efficient bypass of a thymine-thymine dimer by yeast DNA polymerase. **Science** v. 283, p. 1001-1004, 1999.

JOSUTTIS, M., DIETRICH, H., TREUTTER, D., WILL, F., LINNEMANNSTONS, L., KRUGER, E. Solar UV-B response of bioactives in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. L.): a comparison of protected and open-field cultivation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 58, p. 12692-12702, 2010.

KADER, A. (1991), Quality and its maintenance in relation to postharvest physiology of strawberry, p. 145-152 In: LUBY, A., (ed.), **The strawberry into the 21st century**, Timber Press, Portland, Oregon, EUA.

KADER, A. A. (2002), Fruits in the global market. In: **Fruit quality and its biological basis**, KNEE, M. (ed.), Sheffield Academic Press, Sheffield, Reino Unido.

KALLIO, H.; HAKALA, M.; PELKKIKANGAS, A. M.; LAPVETELAINEN, A. Sugars and acids of strawberry varieties. **European Food Research and Technology**, v. 212, n. 1, p. 81-85, 2000.

KALT, W.; PRANGE, R. K.; LIDSTER, P. D. Postharvest color development of strawberries: influence of maturity, temperature and light. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 73, p. 541-548, 1993.

KALT, W.; LAAND, C.; RYAN, D. A. J.; MCDONALD, J. E.; DONNER, H.; FORNEY, C. F. Oxygen radical absorbing capacity, anthocyanin and phenolic content of highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during ripening and storage. **Journal of American Society Horticultural Science**. v. 128, p. 917-923, 2003.

KATAOKA, I., BEPPU, K., SUGIYAMA, A., TAIRA, S. Enhancement of coloration of "Satohnishiki" sweet cherry fruit by postharvest irradiation with ultraviolet radiation. **Environmental Control in Biology**. v. 34, p. 313-319, 1996.

KATAOKA, I.; SUGIYAMA, A.; BEPPU, K. Role of ultraviolet radiation in accumulation of anthocyanin in berries of 'Gros Colman' grapes (*Vitis vinifera* L.). **Journal on the Japanese Society for Horticultural Science**. v. 72, p. 1-6, 2003.

KAUR, C.; KAPOOR ; H. C. Anti-oxidant activity and total phenolic content of some Asian vegetables. **International Journal of Food Science & Technology**; v. 37, p. 153-161, 2002.

KEMPKA, A. P.; SANTIN, L.; BETIOLO. C.; PRESTES, R.C. Desenvolvimento de cobertura à base de colágeno parcialmente hidrolisado, manitol e antimicrobianos aplicada a morangos. **Boletim CEPPA**, v. 30, n. 1, p. 53-64, 2012.

KEUTGEN, A. J.; PAWELZIK, E. Modifications of Strawberry fruit antioxidant pools and fruit quality under NaCl stress. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 55, n. 10, p. 4066- 4072, 2007

KHADRE, M. A.; YOUSEF, A. E.; KIM J. G. Microbiological aspects of ozone applications in food: a review. **Journal of Food Science**, v. 66, p. 1242-1252, 2001.

KIDMOSE, U., ANDERSEN, H. E VANGPETERSEN, O. Yield and quality attributes of strawberry cultivars grown in Denmark 1990-1991. **Fruit Varieties Journal**, v. 50, n. 3, p. 160-166. 1996.

KIM, D.-O.; LEE, K. W.; LEE, H. J.; LEE, C. Y. Vitamin C equivalent antioxidant capacity (VCEAC) of phenolics phytochemicals. **Journal of Agricultural Food and Chemistry**, Washington, v. 50, p. 3713-3717, 2002.

KIM, J. Y.; KIM, H. J.; LIM, G. O.; JANG, S. A.; SONG, K. B. Research Note. The effects of aqueous chlorine dioxide or fumaric acid treatment combined with UV-C on postharvest quality of 'Maehyang' strawberries. **Postharvest Biology Technology**. v. 56, p. 254-256, 2010.

KING JUNIOR, A. D.; BOLIN, H. R. Physiological and microbiological storage stability of minimally processed fruit and vegetables. **Food Technology**, v. 43, n. 2, p. 132-135, 1989.

KON, S.; SCHWIMMER, S. Depolymerization of polysaccharides by active oxygen species derived from a xanthine oxidase system. **Journal of Food Biochemistry**, v. 1, p. 141-144, 1977.

KOUTCHMA, T. N.; FORNEY, L. J.; MORARU, C.I. **Ultraviolet Light in Food Technology**, CRC Press, Boca Raton, p.13–20. 2009.

KOYOMA, K.; IKEDA, H.; POUDEL, P. R.; GOTO-YANAMOTO, N. Light quality affects flavonoid biosynthesis in young berries of Cabernet. **Phytochemistry**, v. 78, p. 54–64, 2012.

LADO, B.; YOUSEF, A. Alternative food preservation technologies: efficacy and mechanisms. **Microbes and Infection**, v. 4, p. 433-440, 2002.

LAMIKANRA, O.; RICHARD, O. A.; PARKER, A. Ultraviolet induced stress response in fresh cut cantaloupe. **Phytochemistry**, v. 60, n. 1, p. 27-32, 2002.

LAMIKANRA, O.; KUENEMAN, D.; UKUKU, D.; BETT-GARBER, K. L. Effect of Processing Under Ultraviolet Light on the Shelf Life of Fresh-Cut Cantaloupe Melon. **Journal of Food Science**. v.70, n.9, p.534-539. 2005.

LANA, M. M.; FINGER, F. L. **Atmosfera modificada e controlada**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia: Embrapa Hortaliças, 2000. 34p.

LANGCAKE, P.; PRYCE, P. The production of resveratrol and viniferins by grapevines in response to ultraviolet irradiation. **Phytochemistry**, v. 16, p. 1193-1196, 1977.

LEE, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of Pigment Analyses in Cranberries. **HortScience**, v. 7, n. 1, p. 83-84, 1972.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, p. 207-220, 2000.

LEMOINE, M. L.; CIVELLO, P. M.; MARTINEZ, G. A.; CHAVES, A. R. Influence of postharvest UV-C treatment on refrigerated storage of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* var. *Italica*). **Journal of the Science of Food and Agriculture**. v. 87, p. 925-1175, 2007.

LEMOINE, M. L., CHAVES, A. R., MARTINEZ, G. A. Influence of combined hot air and UV-C treatment on the antioxidant system of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*). **LWT - Food Science and Technology**. v. 43, n. 9, p. 1313-1319, 2010.

LEERS, A.; BURD, S.; LOMANIEC, E.; DROBY, S.; CHALUTZ, E. The expression of a grapefruit gene encoding an isoflavone reductase-like protein is induced in response to UV irradiation. **Plant Molecular Biology**. v. 36, p. 847-856, 1998.

LI, D.; LUO, Z.; MOU, W.; WANG, Y.; YING, T.; MAO, L. ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin contents of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 90, p. 56-62, 2014.

LINGEGOWDARU, J. 2007. Effect of UV-C hormesis on quality attributes of tomatoes during post treatment handling. In Department of Bioresource Engineering, **Master Thesis**, McDonald: McGill University.

LICHTSCHEIDL-SCHULTZ, I. Effects of UV-C and UV-B on cytomorphology and water permeability of inner epidermal cells of *Allium cepa*. **Physiologia Plantarum**. v. 63, n. 2, p. 269-276, 1985.

LIU, L. H.; ZABARAS, D.; BENNETT, L. E.; AGUAS, P.; WOONTON, B. W. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 115, p. 495-500, 2009.

LIU, J.; STEVENS, C.; KHAN, V.A.; LU, J.Y.; WILSON, C.L.; ADEYEYE, O.; KABWE, M.K.; PUSEY, P.L.; CHALUTZ, E.; SULTANA, T.; DROBY, S. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. **Journal of Food Protection**, v. 56, p. 868-72, 1993.

LOPEZ-MALO, A. P.; PALOU, E. Ultraviolet Light and Food Preservation. In: BARBOSÁ-CÁNOVAS, G. V.; TAPIA, M. S.; CANO, M. P. **Novel Food Processing Technologies**. v. 18, p. 405-421, 2005.

LÓPEZ-RUBIRA V.; CONESA, A.; ALLENDE A.; ARTÉS, F. Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. **Postharvest Biology Technology**, v. 37, p. 174-18, 2005.

LU, J.Y.; STEVENS, C.; KHAN, V. A.; KABWE, M.; WILSON, C. L.; The effect of ultraviolet irradiation on shelflife and ripening of peaches and apples. **Journal Food Quality**, v. 14, p. 299-305, 1991.

MÄÄTÄ-RIIHINEN, K. R.; KAMAL-ELDIN, A.; TÖRRÖNEN, A. R. Identification and Quantification of Phenolic Compounds in Berries of *Fragaria* and *Rubus* Species (Family *Rosaceae*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 6178-6187, 2004.

MAHARAJ, R.; ARUL, J.; NADEAU, P. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 13-23, 1999.

MANZOCCO, L.; PIEVE, S. D.; BERTOLINI, A.; BARTOLOMEOLI, I.; MAIFRENI, M.; VIANELLO, A.; NICOLI, M. C. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties. **Postharvest Biology and Technology**, v. 61, p. 165-171, 2011.

MARQUENIE, D., LAMMERTYN, J., GEERAERD, A. H., SOONTJENS, C., VAN IMPE, J. F., NICOLAI, B. M. E MICHIELS, C. W. Inactivation of conidia of *Botrytis cinerea* and *Monilinia fructigena* using UV-C and heat treatment, **International Journal of Food Microbiology**, v. 74, n. 1-2, p. 27-35, 2002.

MARQUENIE, D., MICHIELS, C. W., VAN IMPE, J. F.; SCHREVEENS, E.; NICOLAÍ, B. N. Pulsed white light in combination with UVC and heat to reduce storage rot of strawberry. **Postharvest Biology and Technology**, v. 28, p. 455-461, 2003.

MATTIUZ, B. H.; MIGUEL, A. C. A.; NACHTIGAL, J. C.; DURIGAN, J. F.; CAMARGO, U. A. Processamento mínimo de uvas de mesa sem semente. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 224-226, 2004.

MERCIER, J.; ARUL, J.; PONNAMPALAM, R.; BOULET, M. Induction of 6-methoxymellein and resistance to storage pathogens in carrot slices by UV-C. **Journal of Phytopathology**, v. 137, p. 44-54, 1993.

MERCIER, J.; ROUSSEL, D.; CHARLES, M. T.; ARUL, J. Systemic and local responses associated with UV-induced and pathogen-induced resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrot. **Phytopathology**, v. 90, n. 9, p. 981-986, 2000.

MERCIER, J.; BAKA, M.; REDDY, B.; CORCUFF, R.; ARUL, J. Shortwave ultraviolet irradiation for control of decay caused by *Botrytis cinerea* in *Bell pepper*: induced resistance and germicidal effects. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.126, p.128-33, 2001.

MILLER, R.; JEFFERY, W.; MITCHELL, D.; ELASRI, M. Bacterial responses to ultraviolet light. **American Society of Microbiology**, v. 65, n. 8, p. 535-541, 1999.

MISZCZAK, A.; FORNEY, C. F.; PRANGE, R. K. Development of aroma volatiles and color during postharvest ripening of 'Kent' strawberries. **Journal of the American Society for Horticulture Science**, v. 120, n. 4, p. 650-655, 1995.

MITCHAM, E. J.; CRISOSTO, C. H.; KADER, A. A. **Strawberry**: recommendations for maintaining postharvest quality. Davis, CA: University of California. Disponível em: <<http://rics.ucdavis.edu/postharvest2/produce/ProduceFacts/Fruit/strawberry.shtml>>. Acesso em: 20 jan. 2014.

MONTEALEGRE, R. R.; PECES, R. R.; VOZMEDIANO, J. L. C.; GASCUEÑA, J. M.; ROMERO, E. G. Phenolic compounds in skins and seeds of ten grape *Vitis vinifera* varieties grown in a warm climate. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 19, n. 6-7, p. 687-693, 2006

MORAES, I. V. M. 2005. Morango Processado Minimamente e conservado sob Refrigeração e Atmosfera Controlada. 116f. **Dissertação de Mestrado**, Programa de Pós-graduação em engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.

MORETTI, C. L. **Processamento mínimo. Cultivar-HF**, Pelotas, v.1, n.5, p. 32-33. 2001.

MORETTI, C. L. Panorama do processamento mínimo de frutas e hortaliças. In: MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças/Sebrae, 2007. p. 25-40.

MORETTI, C. L. Processo de produção. In: **Iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial: hortaliças minimamente processadas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças: SEBRAE, 2003. 133 p. il. (Série Agronegócios).

MOSELEY, B. E. B. Radiation, microorganisms and radiation resistance. In: Food irradiation and the chemist. Eds. Johnston, D. E., Stevenson, M. H., **Royal Society of Chemistry**, p. 97-108, 1992.

MUKHERJEE, A.; SPEH, D.; DYCK, E.; GONZALEZ, F. D. Preharvest evaluation of coliforms, *Escherichia coli*, *Salmonella*, and *Escherichia coli* O157:H7 in organic and conventional produce grown by Minnesota farmers. **Journal of Food Protection**, v. 67, n. 5, p. 894-900, 2004.

MUNBODH, R.; AUMJAU, B. Quality attributes of marquise strawberry variety Amas. **Food and agricultural research council**, Réduit, Mauritius. 2003.

NAKAJIMA S.; LAN, L.; KANNO, S. UV light-induced DNA damage and tolerance for the survival of nucleotide excision repair-deficient human cells. **Journal Biology Chemistry**, v. 279, p. 46674–46677, 2004.

NATELLA, F.; BELELLI, F.; GENTILI, V.; URSINI, F.; SCACCINI, C. Grape seed proanthocyanidins prevent plasma postprandial oxidative stress in humans. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 7720-7725, 2002.

NAZIR, M.; BEAUDRY, R. Atmosphere control using oxygen and carbon dioxide. In: KNEE, M. (Ed.). **Fruit quality and its biological basis**. Boca Raton: CRC Press, 2002. p. 122-156.

NIGRO, F.; IPPOLITO, A.; LATTANZIO, V.; DI VENERE, D.; SALERNO, M. Effect of ultraviolet-C light on postharvest decay of strawberry. **Journal of Plant Pathology**, v.82, p. 29-37, 2000.

NOGALES-DELGADO, S.; FERNÁNDEZ-LEÓN, A. M.; DELGADO-ADÁMEZ, J.; HERNÁNDEZ-MÉNDEZ, M. T.; BOHOYO, D. G. Effects of Several Sanitisers for Improving Quality Attributes of Minimally Processed *Fragaria vesca* Strawberry. **Czech Journal of Food Science**, v. 31, n.1, p. 49-54, 2013.

NOTERMANS, S.; ZNADVOORT-ROELOFSEN, J. S. V.; BARENDSE, A. W.; BECZNER, J. Risk profile for strawberries. **Food Protection Trends**, v. 24, n. 10, p. 730-739, 2004.

NUNES, M. C. N.; BRECHT J. K.; MORAIS A. M. M. B.; SARGENT, S. A. Physical and chemical quality characteristics of strawberries after storage are reduced by a short delay to cooling. **Postharvest Biology and Technology**, v. 6, n. 1, p. 17-28, 1995.

OBANDE, M. A.; TUCKER, G. A.; SHAMA, G. Effect of preharvest UV-C treatment of tomatoes (*Solanum lycopersicon* Mill.) on ripening and pathogen resistance. **Postharvest BiologyTechnology**, v. 62, p. 188-192, 2011.

OLÍAS, J. M.; SANZ, C.; PÉREZ, A. G. Postcosecha de la fresa de Huelva. **Princípios básicos y tecnología**. Instituto de la Grasa. CSIC. Sevilla. Espanha. 1998.

OLIVEIRA, I. R. 2013. Radiação UV-C durante o cultivo de Morangueiros (*Fragaria x ananassa Duch.*), cv. Camarosa, altera o metabolismo e a qualidade dos frutos. 80f. **Dissertação de Mestrado**, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

OLIVEIRA, R. G.; GODOY, H. T. PRADO, M. A. Otimização de metodologia colorimétrica para a determinação de ácido ascórbico em geleias de frutas. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 30, n. 1, p. 244-249, 2010

ORDIDGE, M.; GARCIA-MACIAS, P.; BATTEY, N. H.; GORDON, M. H.; JOHN, P.; LOVEGROVE, J. A.; VYSINI, E.; WAGSTAFFE, A.; HADLEY, P. Development of

colour and firmness in strawberry crops is UV light sensitive, but colour is not a good predictor of several quality parameters. **Journal of Science Food and Agriculture**, v. 92, p. 1597-1604, 2012.

PAN, J. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. **Journal of Science Food and Agriculture**, v. 84, p. 1831-1838, 2004.

PAN, YONG-GUI, ZU H. Effect of UV-C Radiation on the Quality of Fresh-cut Pineapples. **Procedia Engineering**, v. 37, p. 113-119, 2012.

PAUL, N. D.; GWYNN-JONES, D. Ecological roles of solar UV radiation: towards an integrated approach. **Trends in Ecology & Evolution**. v.18, n.1 p. 48–55. 2003.

PARK, S.; STAN, S. D.; DAESCHEL, M. A.; ZHAO, Y. Antifungal coatings on fresh strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) to control mold growth during cold storage. **Journal of Food Science**, v. 70, p. 202-207, 2005.

PELAYO-ZALDIVAR, C., EBELER, S.; KADER, A. A. Cultivar and harvest date effects on flavor and other quality attributes of California strawberries, **Journal of Food Quality**, v. 28, n. 1, p. 78-97, 2005.

PÉREZ, A. G.; SANZ, C.; OLÍAS, R.; OLÍAS, J. M. Lipoxygenase and hydroperoxide lyase activities in ripening strawberry fruits. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 47, p. 249-253, 1999.

PERKINS-VEAZIE P. Growth and ripening of strawberry fruit. **Horticultural Reviews**, v. 17, p. 267-297, 1995.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS. J. K. Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. **Postharvest Biology Technology**, v. 31, p. 159-166, 2004.

PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J. K.; HOWARD, L. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. **Postharvest Biology and Technology**, n. 47, p. 280-285, 2008.

PIETTA, P. G. Flavonoids as Antioxidants. **Journal of Natural Products**, v. 63, n. 7, p. 1035-1042, 2000.

PINTO, M. S.; LAJOLO, E. M.; GENOVESE, M. I. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.) **Food Chemistry**, v. 107, n. 4, p. 1629-1635, 2008.

PIROVANI, M. E.; GUEMES, D. R.; PIAGENTINI, A. M. Lavado desinfección com soluciones cloradas: una etapa para mejorar la calidad microbiológica de vegetales de hoja frescos cortados. In: I Simpósio Íbero-Americano de Vegetais Frescos Cortados, 2006, São Pedro, SP. **Anais...** São Pedro, SP, 2006.

POMBO, H. G. ROSLI, G. A. MARTÍNEZ AND P. M. CIVELLO. UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, Duch.). **Postharvest Biology Technology**, v. 59, p. 94-102, 2011.

POMBO, M. A.; DOTTO, M. C.; MARTÍNEZ, G. A.; CIVELLO, P. M. UV-C irradiation delays strawberry fruit softening and modifies the expression of genes involved in cell wall degradation. **Postharvest Biology Technology**, v. 1, p. 141-148, 2009.

PONCE, A. DOS R.; BASTIANI, M. I. D.; MINIM, V. P.¹; VANETTI, M. C. D. Características físico-químicas e microbiológicas de morango minimamente processado. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, v.30, n.1, p. 113-118, 2010.

PONCE-VALADEZ, M.; MOORE, S.; GIOVANNONI, J. J.; GAN, S.; WATKINS, C. B. Differential fruit gene expression in two strawberry cultivars in response to elevated CO₂ during storage revealed by a heterologous fruit microarray approach. **Postharvest Biology Technology**, v. 51, p. 131-140. 2009.

PORTE, A; MAIA, L. H. Alterações fisiológicas, bioquímicas e microbiológicas de alimentos minimamente processados. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos, B. CEPPA** v. 19, p. 105-118, 2001.

RADIN, B.; LISBOA, B. B.; WITTER, S.; BARNI, V.; REISSER JÚNIOR, C.; MATZENAUER, R.; FERMINO, M. H. Desempenho de quatro cultivares de morangueiro em duas regiões ecoclimáticas do Rio Grande do Sul. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 3, p. 287-291, 2011.

REGIS, S. A.; SILVA, O. F.; CENCI, S. A.; SOUZA, H. P.; OLIVEIRA, C. M.; VAZ, S. G.; Determinação de concentrações de sanitizantes clorados em morangos cultivar Oso Grande minimamente processados e in natura. In: III SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO E II ENCONTRO DE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL, 122-126, 2006, Pelotas, RS. **Anais...** Pelotas, RS, 2006.

RICO, D.; MARTÍN-DIANA, A. B.; FRÍAS, J. M.; BARAT, J. M.; HENEHAN, G. T. M.; BARRY-RYAN, C. Improvement in texture using calcium lactate and heat-shock treatments for stored ready-to-eat carrots. **Journal of Engineering**, v. 79, p. 1196-1206, 2007.

RIVERA-PASTRANA, D. M.; BÉJAR, A. A. G.; MARTINEZ-TELLEZ, M. A.; RIVERA-DOMINGUESZ, M.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A. Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 30, n. 4, p. 361-372, 2007.

RODOV, V., BEN-YEHOSHUA, S., KIM, J.J, SHAPIRO, B. Ultraviolet illumination induces scoparone production in kumquat and orange fruits and improves decay resistance. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, p. 788-792, 1992.

RODRIGUES, G.; ALVES, M. A.; MALUF, W. R. Hortalças minimamente processadas. **Boletim Técnico de Hortalças**, n. 31, 1ª ed., jul. 1999.

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

ROJAS-GRAÜ, M. A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Edible coatings to incorporate active ingredients to freshcut fruits: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 20, n. 10, p. 438-447, 2009.

ROMANAZZI, G.; MLIKOTA, G. F.; SMILANICK, J. L. Preharvest chitosan and postharvest UV radiation treatments suppress gray mold of table grapes. **Plant Disease**, v. 90, p. 445-450, 2006.

RONQUE E. R. V. Cultura do morangueiro: revisão e prática. Curitiba: Emater, 1998. 206p.

ROSLI, H. G.; CIVELLO, P. M.; MARTÍNEZ, G. A. Changes in cell wall composition of three *Fragaria x ananassa* cultivars with different softening rate during ripening. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 42, p. 823-831, 2004.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZJIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre DPPH. **Comunicado Técnico on line 127**. Fortaleza. 2007.

SALENTIJN, E. M. J.; AHARONI, A.; SCHAART, J. G.; BOONE, M. J.; KRENS, F. A. Differential gene expression analysis of strawberry cultivars that differ in fruit-firmness. **Physiologia Plantarum**, v. 118, p. 571-578, 2003.

SAPERS, G. M.; MILIER, R. L.; PILIZOTA, V.; KAMP, F. Shelf-life extension of fresh mushrooms (*Agaricus bisporus*) by application of hydrogen peroxide and browning inhibitors. **Journal of Food Science**. v. 66, p. 362-366, 2001.

SCHIRRMACHER, G.; SCHNITZLER, W. H.; GRABMANN, J. Determination of secondary plant metabolites and antioxidative capacity as new parameter for quality evaluation-indicated by the new Asia salad *Gynura bicolor*. **Journal of Applied Botany**, v. 78, p. 133-134, 2004.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas Estudos de mercado do SEBRAE/ESPM. **Hortaliças minimamente processadas**, 2008.

SEERAM, N. P.; ADAMS, L. S.; ZHANG, Y.; LEE, R.; SAND, D.; SCHEULLER, H. S.; HEBER, D. Blackberry, black raspberry, blueberry, cranberry, red raspberry, and strawberry extracts inhibit growth and stimulate apoptosis of human cancer cells in vitro. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 54, p. 9329-9339, 2006.

SEVERO, J., 2009. Maturação e UVC na expressão transcricional de genes envolvidos nas rotas metabólicas de parede celular, compostos fenólicos e aromas em morango. 94f. **Dissertação de Mestrado**, Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

SEVERO, J., 2012. Radiação UV-C altera a transcrição de genes e as respostas fisiológicas em tomate e morango. 122f. **Tese de Doutorado**, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas-RS.

SHAMA, G. Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. **Postharvest Biology Technology**, v. 44, p. 1-8, 2007.

SHAMA, G.; ALDERSON, P. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. **Trends in Food Science and Technology**, v.16, p.128-136, 2005.

SHAW D. Response to selection and associated changes in genetic variance for soluble solids and titratable acids content in strawberries. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, p. 839-843. 1990.

SHEN, Y.; SUN, Y.; QIAO, L.; CHEN, J.; LIU, D.; YE, X. Effect of UV-C treatments on phenolic compounds and antioxidant capacity of minimally processed Satsuma mandarin during refrigerated storage. **Postharvest Biology and Technology**. v. 76, p. 50-57, 2013.

SILVA, F. L.; ESCRIBANO-BAILON, M. T.; ALONSO, J. J. P.; RIVAS-GONZALO, J. C.; SANTOS-BUELGA, C. Anthocyanins pigments in strawberry. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 374-382, 2007.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 2.ed. São Paulo: Varela, 2001. 317p.

SILVA, P. R. Uma abordagem sobre o mercado de hortaliças minimamente processadas. **Informações Econômicas**, v. 38, n.4, 2008.

SILVA, V. L.; COZZOLINO, S. M. F. Biodisponibilidade de Micronutrientes - Vitamina C (ácido ascórbico). In: COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes** 2.ed. Barueri: Manole. p. 305-324. 2007.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J.C.P.; MENTZ, L.A.; PETROVICK, P.R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 2.ed. Porto Alegre/ Florianópolis: UFRGS e UFSC, 2000.

SMIRNOFF, N.; CONKLIN, P.L.; LOEWUS, F. A. Biosynthesis of ascorbic acid in plants: A renaissance. **Annual Review of Plant Physiology**, v.52, p.437-467, 2001.

SOARES, S. E. Phenolic acids as antioxidants. **Revista de Nutrição**, v.15, p. 71-81, 2002.

SOLIVA-FORTUNY R. C.; MARTIN-BELLOSO O. New advances in extending the shelf-life of fresh-cut fruits: a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, p. 341-353, 2003.

SOMMER, R.; HAIDER, T.; CABAJ, A.; HEIDENREICH, E.; KUNDI, M. Increased inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by protraction of UV radiation. **Applied Environmental Microbiology**, v. 62, p. 1977-1983, 1996.

SPRINGOB, J., NAKAJIMA, J. I., YAMAZAKI, M.; SAITO, K. Recent advances in the biosynthesis and accumulation of anthocyanins. **Natural Product Reports** v. 20, p. 288-303, 2003.

STEVENS, C.; KHAN, V. A.; TANG, A. Y.; LU, J. Y. The effect of ultraviolet radiation on mold rots and nutrients of stored sweet potatoes. **Journal of Food Protection**, v. 53, p. 223-226, 1990.

STEVENS, C.; LIU, J.; KHAN, V. A.; LU, J. Y.; KABWE, M. K.; WILSON, C. L.; IGWEGBE, E.C.K.; CHALUTZ, E.; DROBY, S. The effects of low-dose ultraviolet light-C treatment on polygalacturonase activity, delay ripening and *Rhizopus* soft rot development of tomatoes. **Crop Protection**, v. 23, p. 551-554, 2004.

STEVENS, C.; KHAN, V. A.; LU, J. Y.; WILSON, C. L.; PUSEY, P. L.; KABWE, M. K.; IGWEGBE, E. C. K.; CHALUTZ, E.; DROBY, S. The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. **Crop Protection**, v. 17, p. 75-84, 1998.

SURJADINATA, B. B; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Modeling Wound-induced Respiration of Fresh-cut Carrots (*Daucus carota* L.), **Journal of Food Science**, v. 68, n. 9, p. 27-35, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 4.ed. p.819, 2009.

TERRY, L. A.; JOYCE, D. C. Elicitors of induced disease resistance in postharvest. Horticultural crops: a brief review. **Postharvest Biology and Technology**, v. 32, p. 1-13, 2004.

THERESE CHARLES, M.; GOULET, A.; ARUL, J. Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit IV. Biochemical modification of structural barriers. **Postharvest Biology and Technology**, v. 7, p. 41-53, 2008.

TSORMPATSIDIS, E.; HENBEST, R. G. C.; BATTEY, N. H.; HADELY, P. The influence of ultraviolet radiation on growth, photosynthesis and phenolic levels of green and red lettuce: potential for exploiting effects of ultraviolet radiation in a production system. **Annals of Applied Biology**, v. 156, p. 357-366, 2010.

TSORMPATSIDIS, E.; ORDIDGE, M.; HENBEST, R. G. C.; WAGSTAFFE, A.; BATTEY, N. H.; HADLEY, P. Harvesting fruit of equivalent chronological age and fruit position shows individual effects of UV radiation on aspects of the strawberry ripening process. **Environmental and Experimental Botany**, v. 74, p. 178-185, 2011.

TUDELA, J. A.; HERNÁNDEZ, J. A.; GIL, M. I.; ESPÍN, J. C. L-galactono-g-lactone dehydrogenase activity and vitamin C content in fresh-cut potatoes stored under controlled atmospheres. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 4296-4302, 2003.

UBI, B. E.; HONDA, C.; BESSHO, H.; KONDO, S.; WADA, M.; KOBAYASHI, S.; MORIGUCHI, T. Expression analysis of anthocyanin biosynthetic genes in apple skin: Effect of UV-B and temperature. **Plant Science**, v. 170, p. 571-578, 2006.

VALERO, D. B.; SERRANO, M. Changes in fruit quality attributes during handling, processing, and storage. In: VALERO, D. B.; SERRANO, M. (Ed.). **Postharvest**

biology and technology for preserving fruit quality. New York: CRC Press, p. 49-68. 2010.

VANETTI, M. C. D. Controle microbiológico e higiene no processamento mínimo. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 2., 2000, Viçosa. **Palestras...** Viçosa: UFV, p. 44-52. 2000

VANETTI, M. C. D. Segurança microbiológica em produtos minimamente processados. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS, 3., 2004, Viçosa. **Palestras, Resumos e Oficinas.** Viçosa: CEE, 4. p. 30-32. 2004.

VERZELETTI, A., FONTANA, R. C., SANDRI, I. G. Avaliação da vida de prateleira de cenouras minimamente processadas. **Revista Alimentos e Nutrição**, v. 21, n. 1, p. 87-92, 2010.

VICENTE, A. R.; PINEDA, C.; LEMOINE, L.; CIVELLO, M.; MARTINEZ, G. A. CHAVES, A. R. UV-C treatments reduce decay, retain quality and alleviate chilling injury in pepper. **Postharvest Biology Technology**, v. 35, p. 69-78, 2005.

VILAS-BOAS, E. V. de B.; KADER, A. A. Effect of atmospheric modification, 1-MCP and chemicals on quality of fresh-cut banana. **Postharvest Biology and Technology**, v. 39, p. 155-162, 2006.

VINSON, J. A.; SU, X.; ZUBIK, L.; BOSE, P. Phenol antioxidant quantity and quality in foods: fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 5315-5321, 2001.

VITTI, M. C. D.; KLUGE, R. A.; GALLO, C. R.; SCHIAVINATO, M. A.; MORETTI, C. L.; JACOMINO, A. P. Aspectos fisiológicos e microbiológicos de beterraba minimamente processada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 10, p. 1027-1032, 2004.

WANG, S. Y.; LIN, H. S. Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 48, 140–146. 2000.

WANG, S.; CAMP, M. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry, **Scientia Horticulturae**, v. 85, n. 3, p. 183-199, 2000.

WANG, S. Y.; ZHENG, W.; GALLETTA, G. J. Cultural system affects quality and antioxidant capacity in strawberries, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, p. 6534–6542, 2002.

WANG, H.; CAO, G.; PRIOR, R. L. Total antioxidant capacity of fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, p. 701-705, 1996.

WANG, C. Y.; CHEN, C. T.; WANG, S. Y. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. **Food Chemistry**, v. 117, p. 426-431, 2009.

WATADA, A. E.; QI, L. Quality of fresh-cut produce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, p. 201-205, 1999.

WATADA, A. E.; KO, N. P.; MINOTT, D. A. Factors affecting quality of fresh-cut horticultural produce. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, p. 115-193, 1996.

WILEY, R. C. **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**, London, CHAPMAN e HALL, 357p., 1994.

WRIGHT, K. P.; KADER, A. A. Effect of slicing and controlled atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. **Postharvest Biology and Technology**, v. 10, n. 1, p. 39-48, 1997.

WSZELAKI, A. L.; MITCHAM, E. J. Effects of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. **Postharvest Biology Technology**, v. 20, p. 125-133, 2000.

YAMASHITA F; MATIAS, A. N.; GROSSMANN, M. V. E.; ROBERTO, S.R.; BENASSI, M. T. Embalagem ativa para brócolis minimamente processado utilizando 1-metilciclopropeno em sachê biodegradável. **Semina: Ciências Agrárias** v. 27, p. 581-586, 2006.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 35, p. 155-189, 1984.

YUAN, B. R.; SUMNER, S. S.; EIFERT, J. D.; MARCY, J. E. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. **International Journal of Food Microbiology**, v. 90, p. 1-8, 2004.

ZHANG, Z. Z. et al. Three types of ultraviolet irradiation differentially promote expression of shikimate pathway genes and production of anthocyanins in grape berries. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 57, p. 74-83, 2012.

ZU, H.; PAN, Y. G.; CHEN, W. X.; LIU, X. H.; SHAO, Y. Z. Effect of UV-C Radiation on Microbial Indexes of Fresh-cut Pineapples. **Food Science**, v. 30, p. 67-69, 2009.