

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**RADIAÇÃO GAMA, ULTRAVIOLETA (UV-C) E ATMOSFERA
CONTROLADA NA CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DE TOMATE
‘DÉBORA PLUS’ E ‘PITENZA’**

ANDRÉ JOSÉ DE CAMPOS

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Janeiro – 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**RADIAÇÃO GAMA, ULTRAVIOLETA (UV-C) E ATMOSFERA
CONTROLADA NA CONSERVAÇÃO DA QUALIDADE DE TOMATE
‘DÉBORA PLUS’ E ‘PITENZA’**

ANDRÉ JOSÉ DE CAMPOS

Orientador: Prof. Dr. Rogério Lopes Vieites

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Janeiro – 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Campos, André José de, 1978-
C198r Radiação gama, ultravioleta (UV-C) e atmosfera controlada na conservação da qualidade de tomate 'Débora Plus' e 'Pitenza' / André José de Campos. - Botucatu : [s.n.], 2008.
 x, 124 f. : il. color., tabs.

 Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008
 Orientador: Rogério Lopes Vieites
 Inclui bibliografia.

1. Tomate. 2. Físico-química. 3. Enzimas - Análise. 4. Biotivos. I. Vieites, Rogério Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "RADIÇÃO GAMA, ULTRAVIOLETA (UV-C) E ATMOSFERA CONTROLADA
NA CONSERVAÇÃO DE QUALIDADE DE TOMATE 'DEBORA PLUS' E
'PITENZA'

ALUNO: ANDRÉ JOSÉ DE CAMPOS

ORIENTADOR: PROF. DR. ROGÉRIO LOPES VIEITES

Aprovado pela Comissão Examinadora



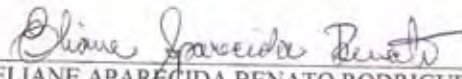
PROF. DR. ROGÉRIO LOPES VIEITES



PROF. DR. GIUSEPPINA PACE PEREIRA LIMA



PROF. DR. JOSÉ FERNANDO DURIGAN



DR. ELIANE APARECIDA BENATO RODRIGUES DA SILVA



PROF. DR. ATILA FRANCISCO MOGOR

Data da Realização: 30 de janeiro de 2008.

Aos meus pais José Joaquim de Campos e Maria Antonia de Campos, pelo incentivo, amizade, exemplo de vida e também pela confiança durante esses onze anos de vida universitária.

Dedico

Agradecimentos

A Deus, em primeiro lugar.

A minha família, pois é tudo o que eu sou.

Ao Professor Dr. Rogério Lopes Vieites, pela amizade, pela ajuda e por todos os ensinamentos durante a minha vida universitária, que com certeza me ajudaram muito na conclusão deste trabalho e de muitos outros.

Ao Professor Dr. Antonio Asensio Calderón Garcia, pelos ensinamentos, pela paciência, pelo convívio e em especial pela amizade durante o período de estágio de doutorando em Cartagena/Espanha.

Aos Professores Francisco Artés Calero, Francisco Artés-Hernandez e MariAngelis, pelos ensinamentos e pelos momentos de descontração.

Às Professoras Regina Marta Evangelista, Sarita Leonel e Giuseppina Pace Pereira, pelo incentivo e amizade durante toda a minha pós-graduação.

À coordenação do curso de pós-graduação em Energia na Agricultura, representada pelos Professores Zacharias e Marco Antonio Biaggioni, pela oportunidade recebida.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação, pela atenção e por todos os serviços que prestaram.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida durante o período de Doutorado e pela possibilidade de realização do Estágio de Doutorando no Exterior (PDEE).

A Universidad Politécnica de Cartagena/Espanha (UPCT), pela possibilidade da instalação de parte deste projeto em seus laboratórios.

Aos técnicos Edson Alves Rosa e Márcia Rossi, pela amizade, pela disponibilidade e pela grande colaboração na execução do experimento.

Aos meus amigos Erval Rafael Damatto Jr. e Jamille Casa, pela amizade e companheirismo durante toda a minha vida universitária, ajuda e incentivo nas horas difíceis e pelo bom humor.

Aos meus amigos Douglas Seijum Kohatsu, Luciana Manoel, Gláucia Cristina Moreira e Pedro Antonio Robles, pela grande ajuda durante a execução do projeto, pelas horas de descontração e amizade.

E a todos os amigos que ajudaram de alguma maneira na realização desta Tese.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS	VII
RESUMO	01
SUMMARY	03
1. INTRODUÇÃO.....	05
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	08
2.1. Caracterização da cultura.....	08
2.2. Irradiação gama	11
2.3. Irradiação ultravioleta C (UV-C).....	14
2.4. Atmosfera controlada (AC)	19
2.5. Variáveis bioativas e enzimáticas.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1. Origem, colheita e preparo dos frutos	29
3.2. Experimentos	31
3.2.1. Primeiro experimento: Radiação gama.....	31
3.2.2. Segundo experimento: UV-C	31
3.2.3. Terceiro experimento: AC.....	32
3.2.4. Quarto experimento: UV-C + AC	33
3.3. Grupos de Análises.....	35
3.4. Variáveis analisadas	36
3.5. Delineamento estatístico.....	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Primeiro Experimento: Radiação gama.....	40
4.2. Segundo Experimento: UV-C.....	47
4.3. Terceiro Experimento: AC	57
4.4. Quarto Experimento: UV-C + AC.....	68
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
6. CONCLUSÕES.....	101

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	102
APÊNDICE	118
PROTOCOLO DAS ANÁLISES BIOATIVAS E ENZIMÁTICAS.....	119

LISTA DE FIGURAS

Páginas

Figura 1. Tomates 'Débora plus' embalados e armazenados a $12\pm 1^{\circ}\text{C}$	30
Figura 2. Tomates 'Pitenza' provenientes de Mazarrón (Murcia/Espanha).....	30
Figura 3. Aplicação da irradiação ultravioleta C (UV-C).....	32
Figura 4. Aplicação da atmosfera controlada em potes plásticos ($5\% \text{O}_2:5\% \text{CO}_2$ e $5\% \text{O}_2:1\% \text{CO}_2$).....	33
Figura 5. Aplicação da atmosfera controlada em potes de vidro (ar).....	33
Figura 6. Injeção de diferentes concentrações de gases pelo Flowboard.....	35
Figura 7. Aplicação de N_2 líquido sob as amostras de tomate.....	36
Figura 8. Medição da firmeza dos tomates através da deformação em prensa.....	38

LISTA DE TABELAS	Páginas
Tabela 1. Variação média de Açúcar Total (%) em tomates ‘Débora plus’ irradiados com ^{60}Co , e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR, por 30 dias.....	41
Tabela 2. Variação média de Perda de Massa (%), Firmeza (N) e pH em tomates ‘Débora plus’ irradiados com ^{60}Co , e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR, por 30 dias.....	43
Tabela 3. Variação média de Sólidos Solúveis ($^\circ\text{Brix}$), Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g^{-1} p.f.) e Índice de Maturação em tomates ‘Débora plus’ irradiados com ^{60}Co , e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR, por 30 dias.....	44
Tabela 4. Variação média de Perda de Massa (%) e Conservação Pós-Colheita (dias) em tomates ‘Débora plus’ irradiados com ^{60}Co , e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR, por 30 dias.....	46
Tabela 5. Variação média de pH em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados à $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	48
Tabela 6. Variação média de Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g^{-1} p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados à $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	49
Tabela 7. Variação média de Carotenóides Totais ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	51
Tabela 8. Variação média de Sólidos Solúveis ($^\circ\text{Brix}$), Índice de Maturação ‘Ratio’, Polifenóis ($\text{mg eq ácido clorogênico } 100\text{g}^{-1}$ p.f.) e Capacidade Antioxidante (g^{-1}) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	53
Tabela 9. Variação média da Atividade da Peroxidase ($\text{nkat } \text{g}^{-1}$ p.f.), Atividade da Lipoxigenase ($\text{nkat } \text{g}^{-1}$ p.f.), Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.) e Ácido Ascórbico ($\mu\text{g } \text{g}^{-1}$ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados à $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	55

Tabela 10. Variação média da Atividade da Peroxidase (nkat g ⁻¹ p.f.), Licopeno (mg 100g ⁻¹ p.f.) e Ácido Ascórbico (µg g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	56
Tabela 11. Variação média de pH em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	58
Tabela 12. Variação média de Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	60
Tabela 13. Variação média da Atividade da Catalase (nkat g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	61
Tabela 14. Variação média da Atividade da Lipoxigenase (nkat g ⁻¹ pf) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	63
Tabela 15. Variação média de Firmeza (N), Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g ⁻¹ p.f.) e Atividade da Peroxidase (nkat g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	64
Tabela 16. Variação média de Carotenóides Totais (mg 100g ⁻¹ p.f.), Licopeno (mg 100g ⁻¹ p.f.) e Capacidade Antioxidante (g ⁻¹) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	65
Tabela 17. Variação média de Carotenóides Totais (mg 100g ⁻¹ p.f.), Licopeno (mg 100g ⁻¹ p.f.) e Ácido Ascórbico (µg g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	67
Tabela 18. Variação média da Firmeza (N) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	69
Tabela 19. Variação média de pH em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	71
Tabela 20. Variação média de pH em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	71

Tabela 21. Variação média de pH em tomates ‘Pitenga’, armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	71
Tabela 22. Variação média de Sólidos Solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	74
Tabela 23. Variação média de Sólidos Solúveis ($^{\circ}\text{Brix}$) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados a $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	74
Tabela 24. Variação média de Acidez Titulável ($\text{g ácido cítrico } 100\text{g}^{-1} \text{ p.f.}$) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados à $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	76
Tabela 25. Variação média do Índice de Maturação ‘Ratio’ em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados à $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	77
Tabela 26. Variação média de Carotenóides Totais ($\text{mg } 100\text{g}^{-1} \text{ p.f.}$) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	79
Tabela 27. Variação média de Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1} \text{ p.f.}$) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada à $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	80
Tabela 28. Variação média de Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1} \text{ p.f.}$) em tomates ‘Pitenga’, armazenados sob atmosfera controlada à $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	80
Tabela 29. Variação média de Capacidade Antioxidante (g^{-1}) em tomates ‘Pitenga’, irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	83
Tabela 30. Variação média de Capacidade Antioxidante (g^{-1}) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados a $12\pm 1^{\circ}\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.....	83

Tabela 31. Variação média de Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	85
Tabela 32. Variação média de Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	85
Tabela 33. Variação média de Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	85
Tabela 34. Variação média de Ácido Ascórbico Total (µg ácido ascórbico g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	88
Tabela 35. Variação média de Ácido Ascórbico (µg g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	90
Tabela 36. Variação média da Atividade da Peroxidase (nkat g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	91
Tabela 37. Variação média da Atividade da Peroxidase (nkat g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	91
Tabela 38. Variação média da Atividade da Catalase (nkat g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	94
Tabela 39. Variação média da Atividade da Lipoxigenase (nkat g ⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.....	95

RESUMO

O tomate é uma hortaliça de grande importância econômica e fonte de vitaminas e vários compostos com propriedades antioxidantes benéficas para a saúde. Em alguns produtos hortifrutícolas colhidos, a aplicação da irradiação gama, irradiação ultravioleta C (UV-C) ou de atmosferas controladas (AC) tem inibido o desenvolvimento de podridões. Mas até agora se desconhece o efeito da radiação UV-C, sozinha ou combinada com AC, sobre atributos básicos do amadurecimento e qualidade do tomate colhido. O presente trabalho teve por objetivos avaliar o efeito da irradiação gama, irradiação ultravioleta C (UV-C) e atmosfera controlada (AC) na conservação do tomate 'Débora plus' e 'Pitenza', verificando as variáveis de qualidade: físicos, físico-químicos, químicos, bioativos e enzimáticos. Foram utilizados os tomates 'Débora plus' e 'Pitenza', sendo provenientes da região de Botucatu/SP – Brasil e da região de Cartagena – Espanha, respectivamente. Após a colheita, os tomates de Botucatu foram transportados para o laboratório de frutas e hortaliças, pertencente ao Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP – Campus de Botucatu, SP; enquanto os de Cartagena foram imediatamente transportados ao Laboratório de Postrecolección e Refrigeración (Planta Piloto) do Departamento de Ciencia y Tecnología Agrária da Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica – Universidad Politécnica de Cartagena/Espanha, aonde se mantiveram a 12°C até a manhã seguinte. Posteriormente em cada Laboratório, os tomates foram selecionados quanto ao tamanho, injúrias, defeitos, aparência, visando uniformizar o lote. Para melhor

quantificar o efeito isolado das diferentes técnicas de conservação: radiação gama, irradiação ultravioleta (UV-C) e atmosfera controlada do tomate in-natura e o efeito combinado da irradiação ultravioleta (UV-C) e atmosfera controlada, o presente trabalho foi dividido em 4 experimentos. No primeiro experimento foram utilizados tomates 'Débora plus' submetidos ao efeito isolado da irradiação gama, como: testemunha; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 kGy. No segundo experimento foram utilizados tomates 'Pitenga' submetidos ao efeito isolado da irradiação ultravioleta (UV-C), como: testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻². No terceiro experimento foram utilizados tomates 'Pitenga' submetidos ao efeito isolado da atmosfera controlada (AC), como: Ar (testemunha), AC1 (5%O₂:5%CO₂) e AC2 (5%O₂:1%CO₂). E no quarto experimento foram utilizados tomates 'Pitenga' submetidos ao efeito combinado das doses de irradiação ultravioleta (UV-C) com as atmosferas controladas (AC). As avaliações foram divididas dentro de 3 grupos: Grupo Controle: perda de massa fresca e avaliação da conservação pós-colheita. Grupo Destrutivo: firmeza, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), índice de maturação 'Ratio', pH, vitamina C, açúcares totais, peroxidase, catalase, polifenóis, capacidade antioxidante, licopeno, carotenóides e lipoxigenase. Grupo Sensorial: aroma e aparência. Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey (P<0,05). Nas condições em que os experimentos foram realizados, os resultados permitem concluir que em relação às doses de irradiação gama utilizadas, a maior dose 1,2 kGy foi o tratamento que melhor se adequou as variáveis estudadas, proporcionando a maior conservação pós-colheita do tomate 'Débora plus' durante o experimento; entre as doses de irradiação UV-C, o tratamento 4,54 kJ m⁻² proporcionou os maiores resultados para as variáveis em comparação as demais doses, evidenciando efeito positivo da irradiação UV-C sobre a qualidade do tomate 'Pitenga'; para as atmosferas controladas, o tratamento ar foi o ambiente de armazenamento que apresentou a maior manutenção das qualidades do tomate 'Pitenga', verificando que a diminuição do O₂ e o aumento do CO₂ não surtiram efeito sobre as variáveis analisadas; em relação ao efeito combinado das doses de irradiação UV-C com o armazenamento em atmosfera controlada, os tratamentos testemunha e 7,19 kJ m⁻² combinados com a atmosfera ar proporcionaram os melhores resultados durante o experimento na manutenção das características do tomate.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum*, características físico-químicas, bioativos, enzimas.

GAMMA RADIATION, ULTRAVIOLET (UV-C) AND CONTROLLED ATMOSPHERES IN 'DÉBORA PLUS' AND 'PITENZA' TOMATO QUALITY CONSERVATION. Botucatu, 2008. 124 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: ANDRÉ JOSÉ DE CAMPOS

Adviser: ROGÉRIO LOPES VIEITES

SUMMARY

Tomato is a great economic importance vegetable and source of vitamins and several compounds with antioxidant properties favorable for health. In some harvested products, the application of gamma irradiation, ultraviolet irradiation C (UV-C) or controlled atmospheres (CA) has inhibited the rotten development. But so far, the radiation UV-C is unknown alone or with CA on ripeness basic attributes and quality of the harvested tomato. This work has as aim, to evaluate the effect of gamma irradiation, ultraviolet irradiation C (UV-C) and controlled atmospheres (CA) in the conservation of 'Débora Plus' and 'Pitenga' tomato verifying the quality variables: physical, physico-chemical, chemical, bioactive and enzymatic. 'Débora Plus' and 'Pitenga' tomatoes from the region of Botucatu, SP, Brazil and the region of Cartagena, Spain, were used, respectively. After the crop, the tomatoes from Botucatu were transported to the vegetable and fruit laboratory of the Department Gestão e Tecnologia Agroindustrial, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP – Campus de Botucatu, SP; while the tomatoes from Cartagena were immediately transported to the Laboratorio de Postrecolección y Refrigeración (Planta Piloto) of the Departament de Ciencia y Tecnologia Agrária da Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronomica – Universidad Politécnica de Cartagena, Spain, where they were kept in 12°C until the following morning. Afterwards, in each laboratory, the tomatoes were selected by the size, injuries, defects, appearance, aiming to uniform the portion. To quantify better the isolated effect of the different techniques of conservation: gamma irradiation, ultraviolet irradiation C (UV-C) and controlled atmosphere of the *in-natura* tomato and the combined

effect of the ultraviolet irradiation (UV-C) and the controlled atmosphere, this work was divided into 4 experiments. On the first experiment, 'Débora Plus' tomatoes were used and subjected to the isolated effect of gamma irradiations, such as: 0.3; 0.6; 0.9 and 1.2 kGy. On the second experiment, 'Pitenza' tomatoes were used and subjected to the isolated effect of the ultraviolet irradiation (UV-C), such as: control; 2.27; 4.54 and 7.19 kJ m⁻². On the third experiment, 'Pitenza' tomatoes were used and subjected to the controlled atmosphere (CA), such as: Air (control), AC1 (5%O₂:5%CO₂) and AC2 (5%O₂:1%CO₂).. And on the fourth experiment, 'Pitenza' tomatoes were used and subjected to the combined effect of the ultraviolet irradiation (UV-C) measure with the controlled atmosphere (CA). The evaluation was divided into 3 groups: Control Group: the loss of crisp mass and the evaluation of the postharvest conservation; Destructive Group: firmness, soluble solids (SS), titratable acidity (TA), ripeness index 'Ratio', pH, vitamin C, total sugar, peroxidase, catalase, polyphenols, antioxidant capacity, lycopene, carotenoids and lipoxygenase and Sensorial Group: aroma and appearance. The statistical layout was totally casualized in factorial plans. The averages were compared by the Tukey test (P<0,05). The results may conclude that, in terms of the used gamma irradiation measures, the larger measure 1,2 kGy was the treatment that fitted better to the studied variables allowing the greatest results to the variables in comparison to the other measures, showing up the positive effect of UV-C irradiation on the quality of 'Pitenza' tomato; to the controlled atmospheres, the treatment by air was the stockpile environment which showed the greatest maintenance of 'Pitenza' tomato quality, verifying that the O₂ decrease and the CO₂ increase did not have effects on the analyzed variables; in terms of the combined effect of UV-C irradiation measures with the stockpile in controlled atmosphere, the control treatment and 7,19 kJ m⁻² combined with the air atmosphere allowed the greatest results during the experiment in the maintenance of the tomatoes features.

Keywords: *Lycopersicon esculentum*, physic-chemical characteristics, bioactive, enzymes.

1. INTRODUÇÃO

É sabido que as perdas pós-colheita podem alcançar altos níveis dependendo das espécies, métodos de colheita, duração do armazenamento, condições da comercialização, etc (Allende e Artés, 2003). A maioria dos fatores limitantes no armazenamento de frutas e vegetais frescos são: senescência, deterioração por microrganismos e transpiração (Maharaj et al., 1999).

Os tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.), de igual forma que a maior parte das frutas e hortaliças, se caracterizam por seu elevado conteúdo em água e em consequência apresentam forte tendência à perda de massa, provocando murchamento e enrugamento, sendo suscetíveis à invasão por microrganismos e a lesões por danos mecânicos. Junto a esses fatores fundamentais podem incidir outros, tanto biológicos ou intrínsecos aos tomates (atividade respiratória, produção de etileno, mudanças na composição e danos internos), como ambientais (temperatura, umidade relativa, composição da atmosfera e concentração de etileno) (Nuez, 2001). Por isso, grande atenção vem sendo dispensada à conservação pós-colheita de frutos e hortaliças, visto que as perdas dos produtos após a colheita atingem índices entre 25% e 60% nos países em desenvolvimento (Coelho, 1994).

Um processo de tratamento tecnológico, que tem sido desenvolvido nos últimos 40 anos, que promete a redução de perdas pós-colheita e estender a vida de prateleira de frutas e hortaliças altamente perecíveis é a irradiação gama. A viabilidade econômica, tecnológica e de segurança da irradiação de alimentos tem sido comprovada em

vários países no mundo. Muitas décadas de extensas pesquisas científicas internacionais têm mostrado que o uso correto da irradiação em alimentos não apresenta risco para a saúde (Andreski, 1984). O uso de irradiação ionizante tem sido aplicado a uma grande variedade de alimentos incluindo peixes, aves, frutos do mar, grãos, frutas e hortaliças, nozes e especiarias (Glidewell et al., 1993).

Muitos produtos químicos usados como tratamentos pós-colheita causam problemas ecológicos ou são potencialmente prejudiciais para humanos. Com o aumento do interesse dos consumidores sobre resíduos nos frutos e vegetais, eles têm sido progressivamente restritos em muitos países. Por essa razão, um método alternativo e seguro de controle precisa ser desenvolvido (Artés, 1995). A irradiação ultravioleta tem sido proposta como método possível para a desinfecção superficial de pequenos frutos (Phillips e Barkai-Golan, 1991; Islam et al., 1998; De Cal e Melgarejo, 1999). O efeito da luz ultravioleta (UV-C, $\lambda = 254\text{nm}$) pode ser explicado de duas maneiras. Há o efeito direto nos patógenos pois danifica o DNA, a UV-C pode induzir a mecanismos de resistência em diferentes frutos contra os patógenos (Liu et al., 1993; Nigro et al., 1998).

O armazenamento em atmosfera controlada (AC) pode ser definido como um armazenamento sob uma atmosfera que é diferente do ar e pode diminuir a taxa de deterioração do produto, mas pode também provocar suficiente tempo para os patógenos crescerem (Hotkiss e Banco, 1992). Dos três gases mais usados na AC, o CO_2 é o mais importante porque tem significativa e direta atividade antimicrobiana devido à alteração da função da membrana celular incluindo efeitos na absorção dos nutrientes, inibição das enzimas ou diminuição na taxa de reações das enzimas e mudanças nas propriedades físico-químicas das proteínas (Farber, 1991).

É usada no aumento da vida de prateleira de frutas e hortaliças. A diminuição do nível de O_2 e/ou aumento do nível de CO_2 podem reduzir a respiração, retardar o amadurecimento, diminuir a produção de etileno, retardar o amolecimento, diminuir as alterações dos compostos associados com o amadurecimento, com isso resultando na extensão da vida de prateleira (Farber, 1991).

O presente trabalho teve por objetivos avaliar o efeito da irradiação gama, irradiação ultravioleta (UV-C) e atmosfera controlada na conservação do tomate

'Débora plus' e 'Pitenza', analisando-se variáveis de qualidade físicas, físico-químicas, químicas, bioativas e enzimáticas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização da cultura

O tomate é uma planta perene de porte arbustivo que se cultiva como anual. A planta pode desenvolver-se de forma rasteira, semi-ereta e ereta, e o crescimento é limitado nas variedades determinadas e ilimitado nas variedades indeterminadas, podendo chegar, nestas últimas, a 10 m em um ano (Rick, 1978). A ramificação é geralmente simpodial, com os eixos sucessivos se desenvolvendo a partir da gema axilar do eixo precedente e a gema terminal dando lugar a inflorescência ou a ramos abortivos. As folhas são compostas por 7 a 9 folíolos e uma filotaxia de 2/5. A inflorescência é um dicásio composto geralmente por 4 a 12 flores. O fruto é uma baga de forma globular, ovóide ou achatada cujo peso oscila, segundo variedade, entre 5 g e 500 g. O fruto está unido à planta por um pedicelo com um engrossamento articulado que contém a capa de abscisão. A separação do fruto na colheita pode realizar-se pela zona de abscisão ou pela zona peduncular de união ao fruto. A planta desenvolve-se bem em uma ampla faixa de latitudes, tipos de solos, temperaturas e métodos de cultivo e é moderadamente tolerante a salinidade. Prefere ambientes quentes, com boa iluminação e drenagem (Nuez, 2001).

Tomates são amplamente consumidos ao redor do mundo. Eles são uma boa fonte de vitamina C, vitamina E, ácido fólico, potássio e metabólitos secundários, como *b*-caroteno, licopeno e compostos fenólicos. O valor nutritivo médio do tomate por 100

g de produto comestível é composto por: resíduos 6%; matéria seca 6,2 g; energia 20 kcal; proteínas 1,2 g; fibra 0,7 g; cálcio 7 mg; ferro 0,6 mg; caroteno 0,5 mg; tiamina 0,06 mg; riboflavina 0,04 mg; niacina 0,6 mg; vitamina C 23 mg; valor nutritivo médio (VNM) 2,39 e VNM por 100 g de matéria seca 38,5 (Grubben, 1977).

A quantidade e qualidade dos fito-químicos detectados nos frutos de tomate são sabidas e depende consideravelmente do genótipo e das condições ambientais (Crozier et al., 1997; Raffo et al., 2002; Gahler et al., 2003; Giuntini et al., 2005).

A pós-colheita se inicia no momento da separação do produto comestível de seu meio por ato deliberado, com a intenção de utilizá-lo como alimento e termina quando o mesmo é submetido ao processo de preparação para o consumo final (Chitarra & Chitarra, 1990).

A qualidade de um fruto, seja para ser consumido fresco ou processado, depende de numerosos fatores que ocorrem tanto antes como após a colheita. Além das características genéticas de cada cultivar, do clima, solo e tratamentos fitossanitários, as condições de colheita e manuseio são igualmente importantes na manutenção das características do produto (Coelho, 1994). Segundo Deshpande & Salunkhe (1964), outro fator que influencia a qualidade dos frutos para serem consumidos frescos ou processados é a maturidade no momento da colheita.

Uma das dificuldades na produção de tomate é a alta perecibilidade natural do fruto maduro, exigindo sua rápida comercialização após a colheita. A obtenção de tomates firmes poderia aumentar muito o tempo de comercialização, viabilizando a produção numa região e seu consumo em outra mais distante.

A utilização do híbrido ‘Débora plus’, pertencente ao grupo Santa Cruz é altamente viável. Resende (1996) relata que híbridos F1 de tomateiro do grupo Santa Cruz são bastantes promissores, com valores expressivos para características de interesse econômico, como produção e número de frutos comerciáveis, possuindo também maior firmeza, resistência a doenças, estabilidade e performance em relação às variações climáticas.

O tomate ‘Pitzena’ é um tomate liso, redondo, extraordinariamente firme e de uma cor atrativa. Esta variedade apresenta um tamanho pequeno e uma pele fina é apreciado pelo consumidor, por seu sabor e textura, além de possuir uma melhor conservação. Colhe-se em ramilhete ou racimo e está disponível no mercado durante todo o ano, já que se

adapta ao cultivo em diferentes regiões do mundo. É um fruto de cor vermelha intensa quando está maduro, muito rico quanto às propriedades culinárias e nutritivas, pois fornece vitaminas A e C. Numerosas investigações demonstram sua capacidade para prevenir certos tipos de enfermidades, como o câncer, devido à presença de licopenos. É um excelente antioxidante e depurador de produtos tóxicos, muito recomendado em dietas de emagrecimento (Enza Zaden España, 2007). Devido a isso, os tomates do tipo “longa-vida” e “extrafirmes” têm mostrado expansão em ritmo acelerado, sobretudo nas zonas de produção do sudeste e do sul. Esses tomates são portadores de determinadas características genéticas, que alteram a expressão de uma ou mais enzimas atuantes no processo de amadurecimento/amolecimento do fruto. Desse modo, é possível retardar o processo de senescência dos frutos depois de colhidos, reduzindo as elevadas perdas que, em geral, ocorrem na fase pós-colheita com os tomates convencionais.

A qualidade dos frutos do tomateiro é muito importante, principalmente do ponto de vista comercial. Características como tamanho, formato, firmeza e coloração do fruto, bem como sua aparência geral, são determinantes para a preferência do consumidor. Nos programas de melhoramento do tomateiro, os principais aspectos estudados são: o aumento da produção, a resistência a pragas e doenças e a melhoria da qualidade dos frutos. Esta última está associada, entre outros aspectos, à maior conservação natural dos frutos na pós-colheita, e pode ser conseguida por meio da produção de frutos híbridos F1 com maior firmeza, associados a uma melhor coloração (Andrade Jr. et al, 2001).

Um fator de grande importância na conservação de frutos, e que atualmente vem sendo entendido como sinônimo de “*longa vida*” por algumas empresas é a firmeza dos mesmos. Porém, vida de prateleira e firmeza são dois fatores distintos e dependem tanto do emprego de locos gênicos mutantes para amadurecimento lento como do "background" genético utilizado (Andrade Jr. et al, 2001).

Segundo Melo et al (1988), as cultivares híbridas de tomateiro apresentam vantagens sobre as cultivares de polinização aberta sob diferentes aspectos. Em geral, o emprego de híbridos F1 proporciona aumentos na produção de 25% a 40%, maturação mais precoce, melhor uniformidade de frutos, maior vigor inicial e desenvolvimento, resistência a doenças e capacidade de adaptação mais ampla. Porém, as limitações que mais dificultam a utilização de híbridos F1 de tomateiro no Brasil estão relacionadas com as exigências de mercado quanto ao formato e tamanho de fruto.

Os fatores mais limitantes no armazenamento de frutas e vegetais frescos são a senescência, infecção fungica e transpiração. Senescência é o processo onde as reações anabólicas são suprimidas pelas mudanças degradativas podendo levar a morte e diminuição da planta (Brady, 1987). A produção de etileno acelera as mudanças bioquímicas e fisiológicas que ocorrem durante o amadurecimento, podendo levar à senescência (Leshem et al., 1986). Sob condições ambientes, o tomate (fruto climatérico) amadurece rapidamente antes de se tornar excessivamente macio e durável no mercado (Davies et al., 1981). Baixa temperatura é efetiva no atraso da senescência, enquanto altas condições de umidade reduzem as perdas pela transpiração. Entretanto, no caso do tomate, não é possível explorar baixas temperaturas devido a injúria pelo frio (Morris, 1982).

2.2. Radiação gama

A irradiação de alimentos é o tratamento dos mesmos através de um determinado tipo de energia. O processo consiste em submetê-los, já embalados ou a granel, a uma quantidade minuciosamente controlada de radiação, por um tempo prefixado, com objetivos determinados (GCIIA, 1991).

A irradiação é uma alternativa de controle, tendo como principal interesse a redução ou retardo dos danos causados por doenças, atuando como fungicida ou inseticida. Contudo, é também utilizada como método de conservação, prolongando o armazenamento pelo retardo do amadurecimento e do brotamento de alguns produtos. Mesmo seu efeito sendo apenas momentâneo, não tendo poder residual (Chitarra & Chitarra, 1990), há sérias restrições ao uso da irradiação por parte dos consumidores (Cia, 2000).

De acordo com O'Beirne (1989), citado por Vieites (1998), no processo de irradiação de alimentos apenas os raios gama entram em contato com o alimento, sem qualquer contaminação radioativa. As doses de irradiação são quantificadas em termo de energia absorvida pelo produto irradiado. A dose de um gray (Gy) corresponde à absorção de um joule por quilograma. As doses normalmente aplicadas aos alimentos situam-se entre 0,1 e 7,0 kGy.

Segundo Chitarra & Chitarra (1990), o uso da irradiação tem alguns inconvenientes, pois dependendo da dosagem, pode provocar escurecimento, perda de firmeza, aparecimento de depressões superficiais, amadurecimento anormal e perda de aroma e sabor nos produtos.

As irradiações podem ser eletromagnéticas como raios gama e raios x, ou elétrons acelerados. Os raios gama provêm da desintegração espontânea de radionuclídeos (Calore, 2000). O tratamento envolve a exposição do produto a uma fonte de radiação, ou seja, a uma fonte de isótopos, utilizando ^{60}Co ou ^{137}Cs . O produto é exposto por um período suficiente para que ocorra absorção da dose requerida de raios gama ou raios x (Chitarra & Chitarra, 1990).

Apenas estas duas fontes, ^{60}Co ou ^{137}Cs , são consideradas para uso comercial, devido à produção de raios gama de energias adequadas, sendo que a fonte de ^{60}Co é a que tem maior aceitação, por se apresentar na forma metálica e ser insolúvel em água, proporcionando maior segurança ambiental (Ehlermann, 1990; FAO, 1996)

O número de microorganismos destruídos por uma determinada dosagem de radiação depende, principalmente do número de partículas ionizantes pelas quais o material é bombardeado. As elevadas doses de radiação requeridas para a completa destruição dos mesmos são em geral fitotóxicas, o que torna o tratamento insatisfatório (Chitarra & Chitarra, 1990).

É importante salientar que os constituintes de nutrientes, enzimas, vitaminas e proteínas toleram bem a radiação. Hidratos de carbono sofrem modificações importantes; nos lipídios ocorrem fenômenos de oxidação, conferindo ao alimento paladar rançoso. O alimento ideal para ser irradiado, no sentido de comestibilidade, é o que tem baixo teor de água, glicídeos e gorduras (Empresa Brasileira de Radiação, 1985).

A United Fresh Fruit – Vegetable Association (1986) cita que alguns critérios devem ser observados para se utilizar radiações ionizantes no manuseio pós-colheita de frutas e hortaliças: o hospedeiro precisa ter tolerância mais elevada do que o inseto ou microorganismo; o tratamento requerido deve ser tão ou mais econômico que outros tratamentos efetivos; o tratamento deve ser compatível com os aspectos legais estabelecidos pelas autoridades sanitárias, isto é, deve ser inócuo à saúde do consumidor; deve-se observar a legislação vigente do país importador.

A irradiação ionizante tem sido aplicada a uma grande variedade de alimentos, incluindo peixes, mariscos, aves, frutos do mar, grãos, frutas e hortaliças, nozes e especiarias (Glidewell et al., 1993).

Wang (1999) relata que a irradiação, como tratamento suplementar à refrigeração, é benéfica em reduzir a perda de umidade, prevenir a germinação e estender a vida de armazenamento dos frutos.

Vieites (1998) constatou que em tomates irradiados com as doses 0,0; 0,3; 0,6 e 1,0 kGy, mantidos tanto em condições de refrigeração quanto de ambiente apresentaram aumento no teor de sólidos solúveis e no "Ratio", com decréscimo no teor de acidez titulável. Os frutos irradiados com a dose 0,3 kGy mostraram as menores perdas de massa fresca, a menor perda da coloração verde da casca, o menor índice de doença e a menor firmeza. Verificou-se escaldadura nos tomates que receberam a dose de 0,6 kGy, porém, os frutos do tratamento com a dose de 1,0 kGy não apresentaram estas manchas na casca, mesmo sendo a maior dose.

Domingues (2000), procurando conservar morangos 'Toyonoka', utilizou radiação gama em quatro doses (0,0; 1,5; 2,0 e 2,5 kGy) e dois tipos de embalagem (caixas de polietileno perfuradas com e sem filme plástico de PVC transparente envolvendo-as). Os frutos foram avaliados em quatro períodos de armazenamento (1, 8, 15 e 22 dias) a 3-6°C e 55% UR. O autor verificou que as altas doses de irradiação diminuiriam o conteúdo de vitamina C. A dose de 1,5 kGy não diferiu da testemunha, porém as doses de 2,0 e 2,5 kGy sofreram perdas significativas. A textura também foi afetada pela elevação das doses de radiação, sendo que apenas a de 2,5 kGy diferiu estatisticamente da testemunha.

Segundo Cia et al. (2007), que trabalharam com irradiação gama em mamão, verificaram que as diferentes doses de irradiação aparentemente não tiveram efeito adverso na qualidade do fruto. Foi observado que os frutos tratados com 0,75 kGy e 1 kGy exibiram maior acidez titulável e pH mais baixo que os frutos do controle, após o período de armazenamento. Frutos irradiados e não irradiados exibiram amadurecimento normal com relação a sólidos solúveis, mudança na coloração, firmeza e aparência geral. Foi observado que o processo de irradiação não prejudicou a qualidade do alimento. A concentração de sólidos solúveis foi constante após o período de armazenamento e não foi influenciada pelas

diferentes doses de irradiação. Estas doses também resultaram em uma textura firme do fruto no estágio completo de amadurecimento (7 dias a 25°C).

D’Innocenzo & Lajolo (2001) relataram que a firmeza do fruto irradiado (0,5 kGy) foi mantido com o mínimo de 2 dias a mais que o fruto não irradiado e também teve uma taxa mais lenta de amolecimento.

2.3. Ultravioleta (UV-C)

Radiação UV constitui a parte do espectro eletromagnético compreendido entre luz visível e raio-X. Este é formalmente levado como incluindo todos os comprimentos de ondas de entre 10 nm a 400 nm. Além disso, todos menos os comprimentos de onda de UV mais curtos são não-ionizantes. O espectro UV tem sido subdividido em parte nas bases das características da radiação e em parte por quem emprega também a UV na indústria, medicina e universidade. Os comprimentos de ondas da UV mais curtos são tipicamente referidos como ‘UV vácuo’ devidos a eles serem fortemente absorvidos pelo ar. As outras importantes divisões são UV-A: 315–400 nm, UV-B: 280–315 nm e UV-C: 100–280 nm. Os mais longos tem sido referidos como ‘UV germicida’. Os comprimentos de ondas mais curtos do espectro UV são também mais energéticos e todos que previamente proporcionam efeitos benéficos têm sido relacionados aos comprimentos de ondas da região da UV-C.

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 medição das doses de UV em estudos prévios envolvendo produtos frescos tem invariavelmente sido feitos usando radiômetros. Um radiômetro é um aparelho que mede intensidade como uma função do comprimento de onda. Radiômetro possui dois componentes: um aparelho seletivo, que isola parte do espectro da medida, e um detector fotossensível (Phillips, 1983).

Tratamento com baixas doses de UV também tem sido proposto como método para o atraso da senescência e amadurecimento em pêssegos, maçãs (Lu et al., 1991) e tomates (Liu et al., 1993). Outra aplicação, não usual, é na produção de alimentos funcionais.

Geralmente UV-C é prejudicial, mas pode produzir efeitos benéficos em culturas hortícolas sob doses baixas, um fenômeno conhecido como “hormesis” ou estimulação de respostas benéficas por níveis baixos dos estressores que são de outras maneiras prejudiciais (Calabrese et al., 1987). A diminuição dos efeitos benéficos com a idade da planta e no caso de determinadas culturas, elas são mais suscetíveis às reduções em resistência a doença do que quando amadurecem (Mercier et al., 1993b).

A exposição no pré-armazenamento à radiação ultravioleta de onda curta (UV-C) tem sido mostrada como um controle da deterioração fúngica em muitas commodities armazenadas (Baka et al., 1999; Lu et al., 1987, 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, induziu resistência aos patógenos do armazenamento pela UV-C estando relacionado com a acumulação de fitoalexinas (Ben-Yehoshua et al., 1992; Charles et al., 2001; Mercier et al., 1993b, 2000; Rodov et al., 1992). A exposição à UV-C atrasa o amolecimento do fruto, um dos principais fatores determinantes na vida pós-colheita do fruto (Pan et al., 2004). Barka et al. (2000), encontrou que a luz UV-C diminui a atividade das enzimas envolvidas na degradação da parede celular e no atraso do amolecimento em tomate. Segundo Liu et al. (1993) e Maharaj (1995), a exposição a baixas doses de radiação UV-C tem sido reportado pela redução da deterioração pós-colheita em tomates. Consideração do efeito da irradiação UV-C no produto fresco é complicado pelo fato que esta porção do espectro UV é diretamente letal aos microrganismos—donde vem o termo ‘germicida’. A graduação na qual as doses baixas da UV-C darão lugar na inativação direta dos microrganismos são difíceis de comentar de modo geral. Gardner e Shama (2000) demonstraram que a topografia superficial desempenha um papel importante na determinação da sobrevivência dos organismos depois da exposição à UV-C.

A aplicação correta das doses é de nenhuma maneira trivial, pois exceder a dose de UV ótima dará lugar, inevitavelmente, a dano ao produto. Isto é porque os pesquisadores, no conjunto, tenderam a aumentar as doses de UV aplicado aos produtos

frescos com incrementos relativamente grandes para obter respostas facilmente identificáveis. Entretanto, houveram algumas exceções: Dhallewin et al. (2000) demonstraram que doses de UV-C de $0,5 \text{ kJ m}^{-2}$ eram ótimas na redução do decaimento em pomelo, mas que as doses de $1,5 \text{ kJ m}^{-2}$ podiam causar escurecimento do córtex e necrose dos tecidos. Gonzalez-Aguilar et al. (2001) demonstraram que para as mangas uma dose de $4,93 \text{ kJ m}^{-2}$ era benéfica enquanto que uma dose dessa quantidade revelou duas vezes a evidencia do dano. Baka et al. (1999) trataram morangos com UV-C as doses de $0,25$ e $1,0 \text{ kJ m}^{-2}$ e divulgaram que a dose mais alta era prejudicial à fruta. Inversamente, a dose baixa conduzirá a uma falta de entregar a vantagem máxima da inversão feita no equipamento e pode dar lugar a vida útil ou a perda reduzida na qualidade. Qualquer processo comercial dará lugar inevitavelmente à entrega de uma distribuição de doses aos itens individuais do produto. Está claro que estas precauções teriam que ser tomadas para determinar não somente a dose máxima, mas também os limites mais baixos e superiores da dose.

Uma consideração adicional no uso correto da dose UV é revelada pelo trabalho de Dhallewin et al. (2000), que mostraram que a dose de UV ótima era dependente da época da colheita. O Grapefruit colhido antes de ser comercialmente maduro foi mais facilmente danificado pela exposição ao UV-C do que os frutos colhidos na meia ou no fim da estação. Isto teria conseqüências óbvias e requereria uma provisão apropriada variando a dose de UV dentro dos limites de uso.

Um tratamento pós-colheita que possa ser adicionado à refrigeração para preservar a fruta e os vegetais é o uso da radiação ultravioleta artificial (UV-C), não-ionizante. A literatura sobre a UV-C artificial é relacionada primeiramente a sua atividade germicida na escala de 200-280 nm (com emissão de 254 nm), tão bem quanto à mutação bacteriana (Kleczkowski, 1968; World Health Organization, 1979). A radiação UV-C é usada, principalmente, como um tratamento de superfície porque penetra somente 50-300 nm no tecido (Jagger, 1965). Os estudos têm mostrado que a UV-C ajuda na produção de fitoalexinas, compostos importantes na resistência de doenças em muitos sistemas, como o resveratrol em vinhos de uva (Langcake e Pryce, 1977) e o hydroxyphaseollin nos hipocótilos da soja (Bridge & Klarman, 1973). A resistência induzida também foi observada em cebolas 'Walla walla' (Lu et al., 1987), fatias da batata (Cheema & Haard, 1978), batatas doces (Stevens et al., 1990) e fatias de cenoura (Mercier et al., 1993a,b). A exposição de culturas

hortícolas à luz UV-C foi considerada como uma alternativa possível aos fungicidas químicos para o controle de doenças pós-colheita. A radiação UV-C também foi relatada no atraso do amadurecimento dos frutos climatérios como maçãs e pêssegos (Lu et al., 1991), mas os mecanismos biológicos de como tais mudanças ocorrem não foram descritas.

O DNA é uma das mais importantes moléculas-alvo para os efeitos da UV-C (Mitchell & Clarkson, 1984). Quando o DNA absorve a radiação UV, um número de lesões fotoquímicas resulta, por exemplo, na dimerização da timina, com uma perda resultante na atividade biológica do DNA (Caldwell, 1981). A luz UV também pode ser envolvida em reações de foto-oxidação nas plantas, através da produção de radicais livres com efeitos deletérios. Os radicais livres e os superóxidos podem atacar as células das membranas, ácidos nucléicos, paredes celulares e enzimas, resultando na aceleração da senescência (Kon & Schwimmer, 1977; Leshem et al., 1986).

Um bom procedimento para reduzir o risco microbiológico envolvido com o consumo de frutas e de vegetais frescos inclui a redução ou a eliminação da contaminação externa usando as técnicas de superfície de descontaminação (Yaun et al., 2004). Diversos estudos in-vitro demonstraram a eficiência da radiação UV-C na inibição microbiana (Gardner & Shama, 2000). Abshire & Dunton (1981) expuseram diversos microrganismos aos tratamentos UV-C e demonstraram que a intensidade UV baixa penetrou suficientemente através dos frascos de polietileno com suspensão salina para obter destruição total de 10⁶ ou 10⁷ células por mL em períodos de tempo muito curtos. Adicionalmente, muitos investigadores demonstraram que a radiação UV-C foi eficaz na inibição do crescimento dos diferentes microrganismos, presentes em produtos alimentícios (Abshire & Dunton, 1981; Bintsis et al., 2000; EL-Ghaouth & Wilson, 1995; Sommer et al., 1996, 2000) e alguns deles demonstraram a eficiência da radiação UV-C para reduzir o crescimento microbiano em frutas e vegetais (Marquenie et al., 2003; Stevens et al., 1998; Vicente et al., 2005).

Tratamentos com baixas doses de UV-C tem sido usadas, principalmente para reduzir a incidência e a severidade de doenças na pós-colheita (Stevens et al., 1996; Nigro et al., 1998, 2000), mas efeitos fisiológicos benéficos em tecidos vegetais, como retardo de algumas mudanças associadas ao amadurecimento (Barka et al., 2000b; Baka

et al., 1999) e redução das desordens fisiológicas (González-Aguilar et al., 2004; Vicente et al., 2005) tem sido relatadas.

Segundo Stevens et al. (2004), os frutos tratados com UV-C mostraram-se significativamente mais firmes que os não tratados (controle), para o mesmo estágio de maturação, o que é similar a aqueles apresentados por Liu et al. (1993). O processo de amadurecimento em tomates envolve mudanças que poderiam influenciar o desenvolvimento de doenças e o aumento a suscetibilidade dos frutos e vegetais durante o amadurecimento: frutos exibindo avançada maturidade associada com uma redução na firmeza, resultando em alta suscetibilidade a podridões no armazenamento; e aumento da suscetibilidade da parede celular da planta ao ataque das enzimas pécicas do patógeno (Eckert, 1978).

De acordo com Maharaj et al. (1999), o tempo de armazenamento e as doses de irradiação afetam significativamente a firmeza dos frutos, pois com aumento do armazenamento houve perda na firmeza. O fruto controle exibiram aumento no amolecimento com o armazenamento, quando comparado aos frutos tratados com irradiação UV. Depois de 28 dias de armazenamento, as médias de firmeza do controle foram 3,7 e 24,4 kJ m⁻² foram 9,9; 15,6 e 17,1 N, respectivamente. As doses 3,7 e 24,4 kJ m⁻² proporcionaram frutos mais firmes que o controle.

De acordo com Charles et al. (2005), observaram aumento significativo no pH dos frutos de tomate 'Trust' tratados com UV do quarto dia até o final do período de armazenamento. No período de armazenamento a 13°C não foram observadas diferenças significativas entre os frutos tratados com UV quando comparados com o controle, para sólidos solúveis. A acidez titulável, expressa em ácido cítrico, dos frutos tratados com UV tenderam a ser menor que o fruto controle, com diferença significativa observada apenas no 7º dia após o tratamento.

2.4. Atmosfera controlada (AC)

O armazenamento pela Atmosfera Controlada (AC) consiste no prolongamento da vida pós-colheita de produtos, através da modificação dos gases no meio de armazenamento, em sistema hermético. Como a composição normal da atmosfera encontra-se em torno de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, 0,03% de gás carbônico e pequenas percentagens de outros gases, a atmosfera controlada baseia-se principalmente em modificar as concentrações de O₂ e CO₂ deixando em níveis desejáveis, considerando que o N₂ é um gás inerte. O princípio básico é diminuir a percentagem de O₂ e aumentar a de CO₂ (Chitarra & Chitarra, 1990).

Os limites de tolerância a teores elevados de CO₂ e baixos de O₂ variam grandemente entre as espécies e também entre variedades de um mesmo produto hortícola (Herner, 1987; Larsen & Watkins, 1995). Os benefícios promovidos pela AC dependem da espécie do fruto, cultivar, idade fisiológica (estádio de maturação), qualidade inicial, concentração de O₂ e CO₂ e temperatura e tempo de exposição a estas condições (Kader et al., 1989; Yahia, 1998). A exposição de um fruto a níveis de O₂ ou CO₂ abaixo ou acima, respectivamente, de seu limite de tolerância, resultará em estresse aos tecidos do mesmo, manifestado por vários sintomas como, amadurecimento irregular, iniciação e/ou agravamento de certos distúrbios fisiológicos, desenvolvimento de sabor e odor desagradáveis e, aumento da suscetibilidade a doenças (Kader, 1986; Pesis et al., 1986; Loughheed, 1987; Kader et al., 1989).

As concentrações de O₂ e CO₂ requeridas para inibir o desenvolvimento e/ou germinação de esporos variam com a espécie do fungo, mas, geralmente a diminuição no nível de O₂ de 21% para 5% tem pouco efeito sobre a germinação de esporos ou crescimento micelial, sendo necessário níveis de O₂ abaixo de 1% e/ou níveis de CO₂ acima de 10% para suprimir, significativamente, o desenvolvimento de fungos. Entretanto, nem todos os frutos e hortaliças toleram tais concentrações sem que apresentem distúrbios fisiológicos (Sommer, 1982; Kader et al., 1989; Barkai-Golan, 1990). Tomate, batata-doce, alface, alcachofra, maçã, pêra e uva são produtos sensíveis a altas concentrações de CO₂, sendo, portanto armazenados com concentração de CO₂ geralmente inferiores a 2% (Lana & Finger, 2000).

Sendo os frutos e hortaliças produtos vivos que respiram, maturam, amadurecem e morrem, as condições utilizadas para a sua embalagem devem permitir a continuidade de seu processo vital de forma normal. Os materiais de embalagem além de proteger os produtos contra injúrias devem isolá-los de condições adversas de temperatura, umidade e acúmulo de gases, entre outros (Chitarra & Chitarra, 1990).

As operações de embalagem não melhoram a qualidade do produto e apenas os melhores produtos devem ser embalados. Produtos infectados ou estragados tornam-se fonte de contaminação ou infecção para os sadios, além de reduzir a qualidade da comercialização. Do mesmo modo, a embalagem não substitui a refrigeração. A qualidade será mantida quando as boas condições de embalagem forem associadas com boas condições de transporte e armazenamento (Chitarra & Chitarra, 1990).

As condições ideais de armazenamento variam largamente de produto para produto e correspondem as condições nas quais estes podem ser armazenados pelo maior espaço de tempo, sem perda apreciável de seus atributos de qualidade, tais como: sabor, aroma, textura, cor e conteúdo de água (Mosca et al, 1999).

Temperatura, umidade relativa e composição da atmosfera de armazenamento determinam, em grande parte, o limite máximo de vida útil pós-colheita dos produtos hortícolas. Alterações nas concentrações dos gases respiratórios, com a redução no oxigênio e o aumento no nível de dióxido de carbono, podem estender a conservação de frutas e hortaliças (Lana & Finger, 2000).

Os fatores primários, que atuam na manutenção da qualidade e extensão do período pós-colheita dos frutos, são a ótima maturidade na colheita, a ausência de danos mecânicos, o uso de procedimentos de sanitização e ótimas condições de temperatura e umidade relativa durante o armazenamento. Os fatores secundários incluem a modificação das concentrações de O_2 , CO_2 e/ou C_2H_4 na atmosfera ao redor do fruto, a níveis diferentes daqueles encontrados em armazenamento sob atmosfera normal. Este processo é conhecido como atmosfera controlada (AC) ou modificada (AM) (Kader et al., 1989).

O aumento dos níveis de CO_2 e a redução dos níveis de O_2 podem retardar o amadurecimento dos frutos, reduzir a taxa de respiração e de produção de etileno, e desacelerar várias alterações metabólicas ligadas ao amadurecimento, como amolecimento dos frutos (Zagory & Kader, 1988). Entretanto, a deterioração pós-colheita é causada por vários

fatores além da respiração, entre os quais: alterações metabólicas, como mudanças bioquímicas relacionadas com o metabolismo respiratório, a biossíntese e ação de etileno e alterações da composição química; danos mecânicos; perda de água; desordens fisiológicas e deteriorações patológicas. Todos esses processos podem ser afetados direta ou indiretamente pela modificação da atmosfera (Lana & Finger, 2000).

Wills et al. (1979, 1982 e 1990), indicaram que o estresse atmosférico ou armazenamento em atmosfera controlada retardou o amadurecimento dos frutos e vegetais após curto prazo de exposição.

Artés et al. (1998), trabalhando com atmosfera modificada observaram altos valores de sólidos solúveis e acidez titulável tem sido relatado para tomates 'Daniela', outro cultivar longa-vida, e também para o tomate 'Durinta'. Uma diferença significativa em sólidos solúveis foi observado a 2°C e 10°C, por 7 e 10 dias. Uma redução significativa na acidez titulável foi observada sob todas as condições de armazenamento, temperatura, tempo e tratamentos, tão bem quanto às interações.

Kim et al. (2007), utilizando atmosfera controlada em manga, relataram que a acidez titulável foi avaliada como um indicador adicional do estágio de amadurecimento do fruto. A diminuição da acidez das mangas é devido ao uso do ácido cítrico como substrato respiratório. Além de tudo a acidez titulável diminuiu para todos os tratamentos de verde maduro para o estágio totalmente maduro. O armazenamento pela atmosfera controlada evitou o declínio da acidez titulável observada para o ar durante as duas semanas iniciais de armazenamento a 10°C. Jacobi et al. (2000) observaram que a acidez diminuiu gradualmente com o amadurecimento.

Perkins-Veazie & Collins (2004), empregaram atmosfera modificada em melancia e observaram que o pH aumentou lentamente após 2 dias de armazenamento na 'Sugar Shack' e após 7 dias de armazenamento na 'Summer Flavor 800'. O conteúdo de sólidos solúveis declinou lentamente após 2 dias para a melancia 'Sugar Shack' e após 7 dias de armazenamento para a melancia 'Summer Flavor 800'.

Klieber et al. (1996), observaram que um dia de estresse atmosférico não teve efeito na firmeza, sólidos solúveis, acidez titulável e pH do tomate. A média da firmeza do fruto foi 1,7 N; dos sólidos solúveis foi 4,0°Brix; da acidez titulável foi 0,9 g ácido cítrico 100g⁻¹ p.f. e do pH foi 4,2.

Allende et al. (2007) mostraram que o armazenamento em super atmosfera O₂ e atmosfera enriquecida com CO₂ tiveram efeito benéfico na retenção da vitamina C nos primeiros dias de armazenamento, onde o conteúdo de vitamina C dos morangos armazenados sob atmosfera modificada ativa foi similar às amostras armazenadas em ar, no começo do armazenamento.

2.5. Variáveis bioativas e enzimáticas

Graças ao aspecto da sua estrutura, carotenóides têm muitas funções na natureza. Uma de suas maiores funções é para a proteção do aparato fotossintético no excesso de luz (Teramura & Ziska, 1996; Strid et al., 1990; Middleton & Teramura, 1993). Outra função muito importante dos carotenóides é a função antioxidante, que é uma das razões para o elevado uso dos carotenóides na indústria de alimentos, além do efeito da coloração (Paust, 1991; Baker & Gunther, 2004). Carotenóides podem atuar de maneira preventiva, pois podem inibir a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) pela reação direta com o oxigênio, ou, se radicais são criados, eles eliminam a atuação destes (Burton & Ingold, 1984; Haila, 1999; Palozza & Krinsky, 1992).

Os carotenóides vão desaparecendo numa taxa muito mais baixa que as clorofilas (Young et al., 1990). Esta diferença na taxa da degradação provavelmente reflete a persistência do aparato foto-protetor dos carotenóides, a qual dissipa o excesso de energia da radiação e protege contra o dano causado por radicais livres (Demmig-Adams, 1990; Procházková & Wilhelmová, 2007).

Segundo Muratore et al. (2005), o conteúdo de carotenóides aumentou com o tempo de armazenamento para todas as embalagens investigadas. Segundo Chen & Djuric (2001) observaram que os carotenóides não atuaram como antioxidantes em membranas biológicas e sugeriram que, os carotenóides são sensíveis a degradação por radicais livres.

Baixo O₂ ambiente retarda a perda de carotenóides e a degradação da clorofila nos estádios de tomate (Goodenough e Thomas, 1981; Nakhasi et al., 1991). Yahia et al. (2007), trabalhando com tomates ‘Rhapsody’ observaram que a clorofila a e b diminuem

similarmente durante o armazenamento, mas ambos foram completamente degradados apenas em frutos armazenados a 20°C. Sozzi et al. (1996) mostraram uma diminuição no conteúdo de clorofila durante o armazenamento de tomates.

Licopeno é um importante antioxidante em frutos vermelhos maduros e esta diminuição faria estes frutos mais sensíveis ao estresse oxidativo. Em outras palavras, licopeno é considerado um poderoso agente anticancerígeno (Ansari & Gupta 2004; Tapiero et al. 2004).

Segundo Malacrida et al. (2005), o estágio de amadurecimento do tomate 'Micro-tom' foi monitorado pela medição do conteúdo do pigmento no pericarpo. A diminuição na acumulação de licopeno e carotenóides que ocorreu durante o amadurecimento normal foi observado nos frutos que amadureceram com ou sem o tratamento de pré-resfriamento. Este efeito foi mais notório no conteúdo de licopeno do fruto vermelho pré-resfriado, a qual foi quatro vezes menor que o conteúdo dos frutos vermelhos que amadureceram na planta. Em frutos de tomate, os cloroplastos diferenciam dentro de carotenóides, com o licopeno sendo o principal carotenóide responsável pela cor vermelha em tomates maduros. Diferenças nas mudanças da cor foram observadas durante a transição no amadurecimento de tomates que foram pré-resfriados. O conteúdo de carotenóides, particularmente o conteúdo de licopeno, foi muito menor nos frutos pré-resfriados que nos outros frutos.

Segundo Yahia et al. (2007), frutos armazenados a 4°C desenvolveram pouco licopeno, enquanto o armazenamento a 20°C aumentou a concentração deste pigmento. O conteúdo de licopeno em armazenamento a 20°C foi similar ao fruto controle e ao exposto a 34°C, e sendo levemente menor em frutos expostos a 38°C. O armazenamento a 4°C não previne a degradação da clorofila, mas inibe otimamente a acumulação de carotenóides e licopeno, e também o desenvolvimento normal da cor vermelha do tomate.

Sozzi et al. (1996) relataram um aumento no conteúdo de licopeno em tomates, entretanto, o desenvolvimento de licopeno diminuiu com o aumento da temperatura. Cheng et al. (1988) observaram que armazenamento a 38°C ou mais inibiu a síntese de licopeno em tomates.

De acordo com Perkins-Veazie & Collins (2004), o conteúdo total de licopeno não modificou significativamente em qualquer cultivar armazenada por 2 dias a 2°C, mas foi reduzido após 7 dias de armazenamento (6 e 11% de perda de licopeno total para ‘Summer Flavor 800’ e ‘Sugar Shack’, respectivamente). Perda de licopeno pode ter ocorrido pelo corte, vazamento de líquido ou alto CO₂.

Altos níveis de antioxidantes podem proteger as células frente ao estresse oxidativo, portanto, do ponto de vista fisiológico quanto maiores os níveis deste composto, melhor. Do ponto de vista alimentar, também se busca alimentos com maiores níveis de antioxidantes, mas, não se pode confundir capacidade antioxidante com níveis de antioxidantes. Em alguns casos a concentração muito baixa de um composto pode exercer efeito benéfico, mas quando se eleva muito a concentração deste composto, o efeito pode ser prejudicial, pois o composto atua como pro-oxidante. Em resumo, e como regra geral, pode-se dizer que a maior capacidade antioxidante/níveis de compostos antioxidantes promoverá maior proteção e maior valor alimentar.

Segundo Chanjirakul et al. (2006), os valores da capacidade antioxidante para framboesa ficaram na faixa de 53,52 a 83,13 após 7 dias de armazenamento e de 50,32 para 81,71 após 14 dias de armazenamento.

Costa et al. (2006), trabalhando com UV-C em brócolis observaram que imediatamente após o tratamento o brócolis tratado teve maior capacidade antioxidante que o brócolis controle. A capacidade antioxidante foi mantida durante o armazenamento até o 4º dia e depois disso diminuiu em amostras controle.

Muitos estudos têm mostrado que os compostos polifenóis geralmente diminuem em frutos climatérios, como tomates, bananas, mangas e goiabas durante o amadurecimento (Haard & Chism, 1996; Lakshminarayana et al., 1970; Mitra & Baldwin, 1997; Selvaraj & Kumar, 1989).

Os compostos fenólicos nos frutos e vegetais podem produzir efeitos benéficos por eliminar radicais livres (Chun et al., 2003). Deste modo, os compostos fenólicos podem ajudar na proteção das células contra o dano oxidativo causado pelos radicais livres (Wada & Ou, 2002).

Kim et al. (2007), trabalhando com atmosfera controlada em manga observaram que o fruto exibiu uma apreciável e consistente diminuição em polifenóis totais e

capacidade antioxidante durante o amadurecimento. No relatado por Chanjirakul et al. (2006), o conteúdo de fenóis totais foi variável em extratos de framboesa tratada com diferentes compostos voláteis naturais.

Segundo Costa et al. (2006), os fenóis totais em brócolis aumentaram após o tratamento com UV-C. Durante o armazenamento a 20°C, os fenóis totais aumentaram tanto no brócolis tratado quanto no controle. Entretanto, o incremento foi maior no caso do brócolis não tratado.

Muitos autores relataram que os compostos fenólicos, foram menores em morangos tratados com super atmosfera O₂ e atmosfera controlada contendo CO₂ enriquecido quando comparada com frutos armazenados em ar (Gil et al., 1997; Pérez e Sanz, 2001; Zheng et al., 2007). Este fenômeno tem sido explicado como uma demora do processo de amadurecimento do fruto causado pela super atmosfera O₂ e atmosfera com CO₂ enriquecido (Kader, 1995; Wszelaki & Mitcham, 2000).

Pelayo et al. (2003) observaram que diferenças não significativas foram encontradas nos níveis de fenóis totais do morango em relação a atmosfera de armazenamento.

Vitamina C, incluindo ácido ascórbico e ácido dehidroascórbico, é um dos mais importantes fatores de qualidade nutricional em muitas culturas hortícolas e possui muitas atividades biológicas principais no corpo humano (Lee & Kader, 2000). O ácido ascórbico é a principal forma ativa enquanto o ácido dehidroascórbico é um produto de oxidação que também exibe atividade biológica. O ácido dehidroascórbico pode converter-se para ácido ascórbico no corpo humano, por isso sendo importante determinar ambas as concentrações (Wills et al., 1984).

Yahia et al. (2007), o nível de ácido ascórbico foi maior no controle do que nos frutos aquecidos, e foram geralmente maiores a 20°C que a 4°C. Não existiram diferenças nos níveis de ácido ascórbico total no controle para fruto armazenado a 4° e 20°C.

Chanjirakul et al. (2006), que trabalharam com framboesa, observaram que o ácido ascórbico em todos os tratamentos diminuiu quando armazenado por longo período. Segundo Muratore et al. (2005), o conteúdo de vitamina C mostrou inicialmente um leve aumento durante o tempo de armazenamento. Este comportamento

detectado foi de acordo com os resultados encontrados por Raffo et al. (2002), quem estudou a evolução de muitos grupos químicos durante a maturação de produtos similares.

Allende et al. (2007), trabalhando com morangos observaram que o conteúdo de vitamina C foi mantido durante o armazenamento em amostras tratadas e não tratadas, embora reduções foram observadas no final do armazenamento em amostras tratadas com UV-C em Ar e atmosfera modificada ativa, tão bem quanto em morangos não tratados armazenados em atmosfera modificada ativa. Ácido ascórbico foi a principal forma de vitamina C em todas as amostras tratadas e não tratadas durante o armazenamento (87% ácido ascórbico e 13% ácido dehidroascorbico).

Peroxidases são enzimas onipresentes, que tem diversas funções bioquímicas nas plantas e são envolvidas nas respostas das plantas ao estresse. Sendo também importantes em alguns tecidos animais e em microrganismos. Os ensaios da atividade da peroxidase envolvem o uso de vários doadores de hidrogênio, como: guaiacol, pirogallol, mesidina, citocromo c, ácido úrico e dihidroxifenil-alanina. Os ensaios mais frequentes usam o guaiacol (Whitaker, 1994).

Guaiacol peroxidase é uma enzima peroxidase encontrada em animais, plantas e tecidos de microrganismos, a qual pode catalisar oxirredução entre peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e vários outros redutores (Hiraga et al., 2001). Sendo a enzima mais utilizada para determinar a peroxidase.

Segundo Yahia et al. (2007), a atividade da peroxidase diminuiu nos tomates. Os frutos armazenados a 4°C tiveram maior atividade que aqueles armazenados a 20°C. O tempo de armazenamento, temperatura de armazenamento, tratamento e as interações têm efeito significativo na atividade da peroxidase.

Wang (1995) relatou que baixas temperaturas aumentam a atividade da peroxidase em abóbora.

Segundo Mondal et al. (2004), as atividades da catalase e peroxidase foram maiores em tomates longa-vida do que nos comuns, em todos os estádios de amadurecimento do fruto. A atividade da peroxidase foi completamente maior no longa-vida que nos de vida útil curta e apresentaram diminuição apenas durante o amadurecimento. Estes resultados correlacionam bem com o progressivo aumento no estresse oxidativo durante o desenvolvimento do fruto.

A catalase tem sido associada com a resistência ao frio em plantas e frutos (Kerdnaimongkol & Woodson 1999; Lafuente et al. 2004, Sala & Lafuente 1999). A catalase é uma enzima muito importante para a eliminação do peróxido de hidrogênio e para reduzir o risco que supõe para a célula a acumulação deste agente oxidante.

Segundo Malacrida et al. (2005), a atividade da catalase aumentou o dobro no tomate pré-resfriado. Esta alta atividade da catalase diminuiu levemente no estágio amarelo e durante o amadurecimento comercial. No amadurecimento na planta, a atividade da catalase diminuiu rapidamente, de um valor inicial de $1,2 \text{ Ua mg}^{-1}$ de proteína, no estágio verde, para um valor treze vezes menor no estágio amarelo e um valor 31 vezes menor no estágio vermelho. Yahia et al. (2007) observaram que a atividade da catalase foi maior nos frutos aquecidos do que nos controle e aumentou em fruto armazenado a 4°C , mas diminuiu em frutos armazenados a 20°C . O armazenamento a 4°C tem maior atividade da catalase que os armazenados a 20°C . Temperatura de armazenamento, tratamento e todas as interações têm efeito significativo na atividade da catalase.

Segundo Zacchini & Agazio (2004), a atividade da catalase não foi afetada pela irradiação UV-C nos calos de tabaco. A não indução da catalase foi também encontrada por Ait Barka (2001) depois de um tratamento com UV-C. Mazza et al. (2001) encontraram aumento na atividade da catalase, com a exposição a irradiação solar UV-B em cevada.

Lipoxigenase é uma enzima que tem mostrado aumento dos seus valores em muitos ambientes com estresse abiótico, como: sal (Ben-Hayyim et al., 2001), calor (Mondal et al., 2003), osmótico (Aziz & Larher, 1998), seca (Sofa et al., 2004), baixa concentração de oxigênio (Larrigaudiere et al., 2001) e também estresse biótico (Bestwick et al., 2001). Além da ativação da lipoxigenase, em tecidos da planta, tem sido relatado que os tratamentos UV-C induzem a ativação da lipase (Maisie et al., 2004; Barka et al., 2000a), ativação de várias enzimas que fazem parte do controle do estresse oxidativo (Barka, 2001) e da indução programada da morte celular (Spiteller, 2003).

Segundo Mondal et al. (2004), a atividade da lipoxigenase aumenta em tomates durante o amadurecimento, de 18 e 35 unidades para 80 e 130 unidades em variedades longa-vida (14 – 15 dias) e de vida curta (7 – 8 dias), passando da coloração verde para o estágio vermelho maduro.

Durante a senescência da planta, ocorre o aumento da lipoxigenase, enquanto as atividades da catalase e da peroxidase se reduzem, resultando em concomitante declínio na capacidade de excluir os radicais livres (Dhindsa et al., 1981). O aumento do estresse oxidativo, que provavelmente resultou nas baixas atividades destas enzimas, é necessário para facilitar muitas das mudanças metabólicas associadas com a maturação e o amadurecimento de tomates.

González-Aguilar et al. (2007), trabalhando com UV-C em manga observaram que frutos controles e tratados com UV-C apresentaram aumento entre 3 a 4 vezes da atividade da lipoxigenase durante as primeiras 24 horas. Posteriormente, a atividade da lipoxigenase permaneceu estável com um leve aumento do começo até o fim do período de armazenamento. Mudanças não significativas da lipoxigenase foram encontradas entre 2.46 e 4.93 kJ m⁻², durante o período de armazenamento. Depois de 16 horas, os frutos tratados com UV-C mostraram altos níveis de lipoxigenase do começo até o fim do armazenamento, quando comparados aos controles.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Origem, colheita e preparo dos frutos

Foram utilizados os tomates ‘Débora plus’ (Figura 1) e ‘Pitenza’ (Figura 2), provenientes da região de Botucatu/SP – Brasil e da região de Cartagena – Espanha, respectivamente. O híbrido ‘Débora plus’ (longa-vida), é considerado como padrão de boa conservação pós-colheita no grupo Santa Cruz, devido a serem frutos firmes. A altitude da região de Botucatu é de aproximadamente 786 m, com latitude 22°51’ sul, longitude 48°26’ oeste de Greenwich, temperatura média no mês mais quente 23,2°C e no mais frio 16,9°C, precipitação média anual de 1447 mm e a evapotranspiração média anual de 692 mm. A variedade comercial ‘Pitenza’ (longa-vida), foi cultivada em estufa, sob o clima mediterrâneo de Mazarrón (Murcia/Espanha) e colhido em janeiro. A altitude da região de Cartagena é de 0 m, com latitude de 38°norte, longitude 1°oeste, temperatura media anual de 18°C e precipitação media anual de 350 mm. Após a colheita, em Botucatu, os tomates foram transportados para o Laboratório de Frutas e Hortaliças, do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP – Campus de Botucatu, SP; enquanto em Cartagena, eles foram imediatamente transportados ao Laboratório de Postrecoleccion e Refrigeración (Planta Piloto) do Departamento de Ciencia y Tecnologia Agrária da Escuela Técnica Superior de Ingenieria Agronomica – Universidad Politécnica de Cartagena/Espanha, aonde foram mantidos a 12°C até a manhã seguinte.

Nos laboratórios, os tomates foram selecionados quanto ao tamanho e defeitos, visando uniformizar o lote.



Figura 1. Tomates 'Débora plus' embalados e armazenados a $12\pm 1^{\circ}\text{C}$.



Figura 2. Tomates 'Pitenza' provenientes de Mazarrón (Murcia/Espanha).

3.2. Experimentos

Para melhor quantificar o efeito isolado das diferentes técnicas de conservação: radiação gama, irradiação ultravioleta (UV-C) e atmosfera controlada, assim como o efeito combinado da irradiação ultravioleta (UV-C) com a atmosfera controlada, o presente trabalho foi dividido em 4 experimentos.

3.2.1. Primeiro experimento: Radiação gama

Os tratamentos a que os tomates ‘Débora plus’, “in-natura”, foram submetidos visando quantificar o efeito da radiação gama foram: testemunha; 0,3 (5 min 30 seg); 0,6 (11 min); 0,9 (16 min 30 seg) e 1,2 kGy (22 min). A aplicação da radiação gama foi realizada na Empresa Brasileira de Radiação (EMBRARAD), localizada em Cotia – SP, onde os tomates, colocados em bandejas de poliestireno expandido envoltas por filme plástico, receberam a aplicação de raios gama do irradiador “JS7500”, que tem como fonte o ⁶⁰Cobalto e taxa de 3,2 kGy h⁻¹. Após os tomates serem submetidos aos tratamentos, eles foram transportados para Botucatu dentro de caixas de poliestireno expandido, onde foram armazenados em B.O.D, a 12±1°C e 85-90% de UR, por 30 dias.

3.2.2. Segundo experimento: UV-C

Os tratamentos a que os tomates ‘Pitzenza’, “in-natura”, foram submetidos visando quantificar o efeito da irradiação ultravioleta (UV-C) (Figura 3) foram: testemunha; 2,27 (1 min); 4,54 (2 min) e 7,19 kJ m⁻² (3 min 10 seg). A radiação UV-C foi aplicada sobre uma rede de nylon a uma distancia fixa de 15 cm, tanto pela parte superior como pela inferior, em um protótipo construído pelo Grupo de Postrecolección e Refrigeración do Departamento de Ciencia y Tecnologia Agrária, da Escuela Técnica Superior de Ingenieria Agronomica/UPCT - Espanha. Este equipamento consta de duas bancadas com 18 refletores de aço inoxidável que suportam lâmpadas germicidas sem filtro (TUV 36W/G36 T8, Philips, Holanda). Uma bancada está suspensa horizontalmente sobre o suporte dos produtos a irradiar e a outra está colocada abaixo deste. As doses são reguladas com a distancia entre as bancadas e o suporte dos produtos e o tempo de exposição, e foram determinadas com um radiômetro (VLX 254 Vilber Lourmat, Marne la Vallée, France),

comprovando-se que ambos os lados receberam a mesma intensidade de radiação UV-C (López-Rubira et al., 2005). Os tomates, após serem submetidos ao tratamento, foram armazenados em câmara fria, a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% de UR, por 21 dias.

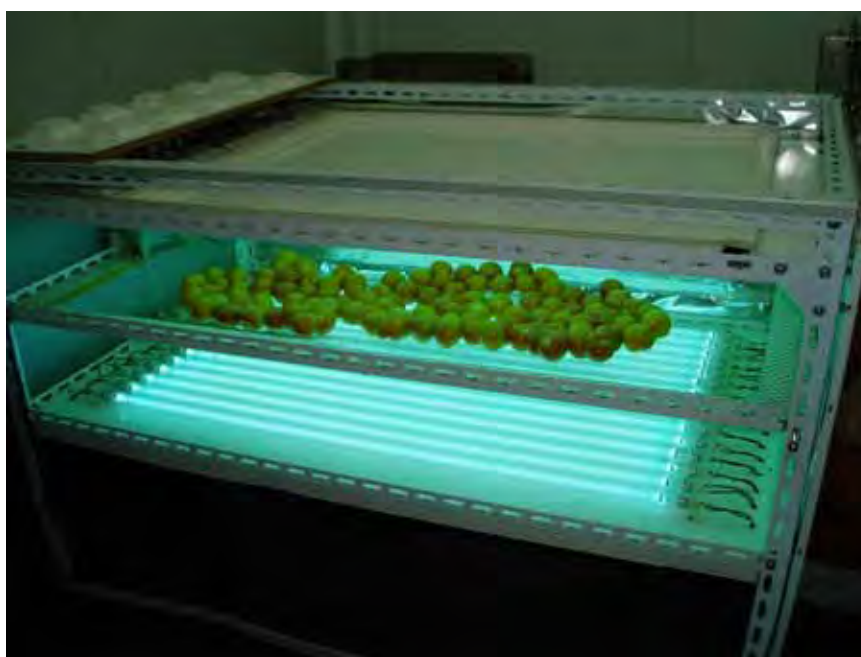


Figura 3. Aplicação da irradiação ultravioleta C (UV-C).

3.2.3. Terceiro experimento: AC

Os tratamentos a que os tomates ‘Pitenga’, “in-natura”, foram submetidos visando quantificar o efeito da atmosfera controlada (AC) (Figura 4 e 5) foram: Ar (testemunha), AC1 ($5\%O_2:5\%CO_2$) e AC2 ($5\%O_2:1\%CO_2$). A aplicação da atmosfera controlada foi realizada no laboratório de Postrecolección e Refrigeración, onde os tomates foram alojados no interior de 12 potes, sendo 6 de plástico (11 litros) e 6 de vidro (3 litros), pelos quais ocorreu a passagem de um fluxo contínuo e umidificado de 30 ml/min de diferentes concentrações de gases (O_2 e CO_2) através de três Flowboard, um para cada atmosfera. Após os tomates serem submetidos ao tratamento, foram armazenados em câmara fria, a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% de UR, por 21 dias.



Figura 4. Aplicação da atmosfera controlada em potes plásticos (5% O₂:5% CO₂ e 5% O₂:1% CO₂).



Figura 5. Aplicação da atmosfera controlada em potes de vidro (ar).

3.2.4. Quarto experimento: UV-C + AC

Os tratamentos a que os tomates ‘Pitenga’, “in-natura”, foram submetidos visando avaliar o efeito combinado da irradiação ultravioleta (UV-C) e atmosfera controlada (AC) foram:

- Ar com alta Umidade Relativa, nas doses: 0; 2,27; 4,54; 7,19 kJ m⁻²;
- Atmosfera Controlada com 5%O₂:5%CO₂, nas doses: 0; 2,27; 4,54; 7,19 kJ m⁻²;
- Atmosfera Controlada com 5%O₂:1%CO₂, nas doses: 0; 2,27; 4,54; 7,19 kJ m⁻².

A radiação UV-C foi aplicada sobre uma rede de nylon a uma distancia fixa de 15 cm, tanto pela parte superior como pela inferior, em um protótipo construído pelo Grupo de Postrecolección e Refrigeración do Departamento de Ciencia y Tecnologia Agrária, da Escuela Técnica Superior de Ingenieria Agronomica/UPCT - Espanha. Este equipamento consta de duas bancadas de 18 refletores de aço inoxidável que suportam lâmpadas germicidas sem filtro (TUV 36W/G36 T8, Philips, Holanda). Uma bancada está suspensa horizontalmente sobre o suporte dos produtos a irradiar e a outra está colocada abaixo deste. As doses são reguladas com a distancia entre as bancadas e o suporte dos produtos e o tempo de exposição, e foram determinadas com um radiômetro (VLX 254 Vilber Lourmat, Marne la Vallée, France), comprovando-se que ambos os lados receberam a mesma intensidade de radiação UV-C (López-Rubira et al., 2005).

A aplicação da atmosfera controlada foi realizada também no laboratório de Postrecolección e Refrigeración, onde os tomates, já irradiados, foram alojados no interior de 48 potes (24 de plástico (11 litros) e 24 de vidro (3 litros)) pelos quais ocorreu a passagem de um fluxo continuo umidificado de 30 ml/min de diferentes concentrações de gases (O₂ e CO₂) através de três Flowboard (Figura 6), um para cada atmosfera. Após os tomates serem submetidos aos tratamentos, foram armazenados em câmara fria, a 12±1°C e 90-95% de UR, por 21 dias.

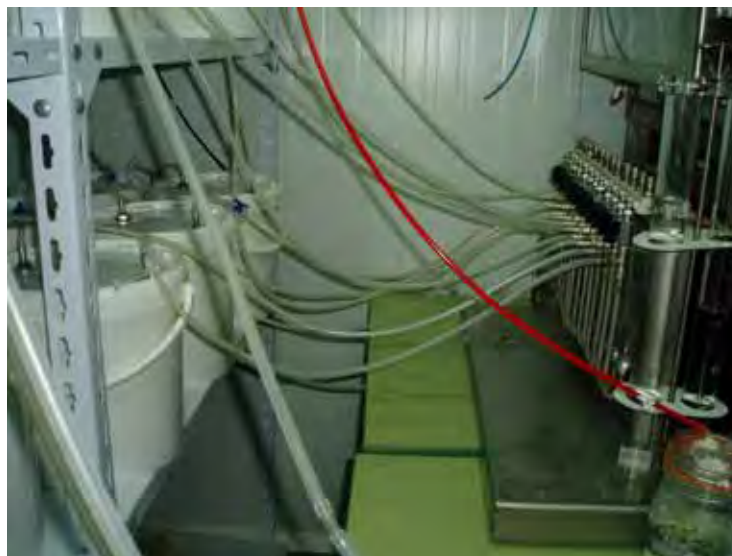


Figura 6. Injeção de diferentes concentrações de gases pelo Flowboard.

3.3. Grupos de análises

Grupo Controle: Foram realizadas análises como perda de massa fresca e avaliação da conservação pós-colheita dos tomates em função da sua qualidade comercial. Este grupo constituiu-se de 10 tomates para cada tratamento, os quais foram numerados e mantidos intactos. O intervalo de amostragem foi de 5 dias, num período de 30 dias, com exceção para a conservação pós-colheita onde foram deixados os tomates por um período maior em função da sua qualidade.

Grupo Destrutivo: Este grupo foi utilizado para as análises físicas, físico-químicas, químicas, bioativas e enzimáticas, como: firmeza, sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT), índice de maturação “Ratio”, pH, vitamina C, açúcares totais, peroxidase, catalase, polifenóis, capacidade antioxidante, licopeno, carotenóides e lipoxigenase. No primeiro experimento foram utilizados 21 tomates por tratamento, com 3 tomates representando 3 repetições, em cada dia de análise, por tratamento, as quais foram realizadas para os tomates ‘Débora plus’ a cada 5 dias, num período de 30 dias (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias); enquanto que nos demais experimentos foram utilizados 36 tomates por tratamento, com 3 tomates por repetição e 3 repetições em cada dia de análise, por tratamento, as quais foram realizadas para os tomates ‘Pitenza’ a cada 7 dias, num período de 21 dias (0, 7, 14 e 21 dias). Para as análises bioativas e

enzimáticas os tomates foram mantidos em N₂ líquido (Figura 7), foram posteriormente pulverizados em moinho e armazenados a -80°C.



Figura 7. Aplicação de N₂ líquido sob as amostras de tomate.

3.4. Variáveis analisadas:

Perda de massa fresca do tomate ‘Débora plus’: Os tomates foram pesados a cada 5 dias em balança, OWALABOR, com carga máxima de 2000 g e divisão de 10 mg, considerando o peso inicial de cada unidade, com os resultados expressos em percentagem;

Conservação pós-colheita do tomate ‘Débora plus’: foi avaliado pelo número de dias em que os tomates se conservaram em função da sua qualidade comercial;

Firmeza: no tomate ‘Débora plus’ foi determinada pelo uso do texturômetro (STEVENS – LFRA texture analyser) com a distância de penetração de 15 mm e velocidade de 2,0 mm/seg., utilizando-se o ponteiro TA 9/1000. Procedendo-se a leitura em lados opostos da seção equatorial dos tomates, sendo que o valor obtido para se determinar à firmeza em gramas/força, foi definido como a máxima força requerida para que uma parte do ponteiro penetre no tomate; no tomate ‘Pitenga’ foi determinada mediante ensaio de deformação em prensa (Instron, Ibertest S.A.E. Madrid, España) (Figura 8). Utilizou-se uma carreira de 2 mm,

a uma velocidade constante de 15 mm/min. E determinou-se a resistência a deformação da amostra expressada em N, com a leitura em lados opostos da seção equatorial dos tomates;

Sólidos solúveis (SS): foi realizada através da leitura refratométrica direta, em graus Brix, com refratômetro tipo Palette de marca ATAGO PR-32, segundo recomendação de Tressler & Joslyn (1961);

Acidez titulável (AT): o conteúdo de acidez titulável, expresso em gramas de ácido cítrico por 100 gramas de polpa, foi determinado através da titulação de massa conhecida de polpa homogeneizada e diluída com água destilada ou bidestilada, com solução padronizada de hidróxido de sódio a 0,1 M, tendo como indicador a fenolftaleína (Association of Official Analytical Chemists, 1980), seguindo o recomendado por Pregnotatto & Pregnotatto (1985);

Índice de maturação 'Ratio': foi determinado pela relação entre o teor de sólidos solúveis e a acidez titulável (Tressler & Joslyn, 1961);

pH: foi realizado por potenciometria utilizando-se o potenciômetro Analyser, modelo pH 300, conforme técnica descrita por Pregnotatto & Pregnotatto, 1985;

Vitamina C: nos tomates 'Débora plus' as amostras para a determinação do teor de ácido ascórbico total foram obtidas pela adição de 30mL de ácido oxálico a 30g de polpa, sendo congeladas em seguida. O conteúdo de ácido ascórbico total foi determinado a partir de 10g da polpa, por titulação com DFI – 2,6 diclorofenolindofenol a 0,01N, com resultados expressos em mL de ácido ascórbico 100 mL⁻¹ de polpa (MAPA, 2006). Para a determinação dos teores de ácido ascórbico e ácido ascórbico total dos tomates 'Pitenza' utilizou-se a metodologia descrita por Aroca et al. (2003) e Leipner et al. (1997) (Apêndice);

Acúcares totais em tomate 'Débora plus': foi determinado pela metodologia descrita por Somogyi e adaptada por Nelson (1944) com leitura espectrofotométrica em MICRONAL B 382, a 535 nm, sendo os resultados expressos em percentagem;

Peroxidase em tomate 'Pitenza': foi determinada espectrofotometricamente pela metodologia descrita por Imberty et al. (1984), utilizando-se como substrato o TMB (Apêndice);



Figura 8. Medição da firmeza dos tomates através da deformação em prensa.

Compostos Antioxidantes em tomate ‘Pitenga’: a medida da capacidade antioxidante, polifenóis, licopeno e carotenóides foram determinados espectrofotometricamente segundo o descrito por Marigo (1973) e Davuluri et al. (2005), respectivamente (Apêndice);

Enzima antioxidante em tomate ‘Pitenga’: a atividade da catalase foi determinada por método espectrofotométrico, como descrito por Azevedo et al. (1998) (Apêndice);

Enzimas prooxidantes em tomate ‘Pitenga’: o ensaio cinético da atividade lipoxigenase foi determinada segundo o protocolo descrito por Shook et al. (2001), em um meio de reação composto por 1 parte de solução de substrato e 25 partes de tampão fosfato potássico a 200 mM e pH 6.5. A solução de substrato foi composta por 7.5 mM de ácido linoleico e 0.5 % (p/v) de Tween 20. A 2,5 mL deste meio de reação se adicionou 0.1-0.5 mL de extrato enzimático e as mudanças na absorbância se registraram 234 nm durante 3 min, a 30°C (Apêndice);

3.5. Delineamento estatístico

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado. No Primeiro experimento foi utilizado um esquema fatorial 5 x 7 (doses x tempo), no Segundo foi utilizado um esquema fatorial 4 x 4 (doses x tempo), no Terceiro um esquema fatorial 3 x 4 (gases x tempo) e no Quarto um esquema fatorial 4 x 3 x 4 (doses x gases x tempo). Sendo 3 repetições por dia de análise para cada tratamento. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Primeiro Experimento: Radiação gama

Açúcares Totais

Observou-se para os teores de açúcares totais interação dupla significativa entre os fatores doses x tempo (Tabela 1). Para as médias das doses de irradiação gama dentro dos dias de análise (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias), verificou-se que dentro do 5º dia o tratamento 0,6 kGy proporcionou as maiores médias desta variável diferindo das demais doses estudadas, com exceção para as doses 0,3 kGy e testemunha; para o 10º e 25º dia a testemunha foi a que evidenciou as maiores médias de açúcar total em relação às demais doses, diferindo somente do 0,9 kGy no 10º dia e das doses 0,3 e 0,6 kGy para o 25º dia; no caso do 30º dia o tratamento 0,3 kGy propiciou as maiores médias diferindo somente da dose 0,6 kGy; e dentro dos demais dias não foi verificada diferença estatística entre os tratamentos.

Em relação às médias gerais da irradiação gama, o tratamento testemunha obteve a maior média de açúcar total diferindo somente das doses 0,6 e 0,9 kGy, mas não diferindo das demais doses estudadas, por esse motivo não permitiu verificar efeito positivo da interação entre os valores obtidos, discordando do observado por Frateschi (1999), onde em pesquisa com goiabas irradiadas, obteve maiores médias de açúcar total para as doses 0,3 e 0,6 kGy após 21 dias de armazenamento.

Tabela 1. Variação média nos teores de Açúcares Totais (%) em tomates ‘Débora plus’ irradiados com (^{60}Co) e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR, por 30 dias.

Tratamentos	Açúcares Totais (%)					
	testemunha	0,3 kGy	0,6 kGy	0,9 kGy	1,2 kGy	Média
0 dia	2,77 ABCa	2,77 ABa	2,77 ABa	2,77 Aa	2,77 Aa	2,77 a
5 dias	3,15 Aa	2,86 Aab	3,18 Aa	2,28 ABCc	2,38 ABbc	2,77 ab
10 dias	2,93 ABa	2,90 Aa	2,73 ABa	2,12 BCb	2,58 ABab	2,65 ab
15 dias	2,57 BCa	2,55 ABCa	2,29 BCa	2,46 ABCa	2,73 Aa	2,52 bc
20 dias	2,28 CDa	2,20 Ca	2,08 CDa	2,50 ABCa	2,33 Aba	2,28 c
25 dias	2,62 ABCa	2,01 Cb	2,01 CDb	2,57 ABa	2,24 ABab	2,29 c
30 dias	1,79 Dab	2,25 BCa	1,67 Db	1,99 Cab	2,16 Bab	1,97 d
Média	2,59 A	2,50 AB	2,39 B	2,38 B	2,45 AB	

Letras minúsculas comparam médias de doses de irradiação gama para cada dia de análise (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação gama (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

As médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação gama (testemunha; 0,3; 0,6; 0,9 e 1,2 kGy), observou-se que dentro da testemunha e da dose 0,6 kGy o 5º dia de análise levou às maiores médias diferenciando estatisticamente do 15º dia até o final do período de armazenamento; para a dose 0,3 kGy o 10º dia de análise proporcionou maiores médias de açúcares totais diferenciando do 20º dia em diante; e dentro das demais doses de irradiação gama o dia inicial proporcionou as maiores médias para esta variável diferindo apenas do último dia de análise. Após o observado, verificou-se que com o passar dos dias de análise ocorreu redução nos valores de açúcares totais para todas as doses estudadas. Dados esses concordantes com Singh et al. (1984) e Singh & Chauhan (1982), que também observaram, em goiabas, decréscimo nos teores de açúcares totais com o amadurecimento.

Os valores médios para açúcar total encontrados neste experimento variaram de 1,97 % a 2,77 %, sendo semelhantes aos relatados por Lojudice et al. (1995), que trabalhando com tomates ‘San Marzano’ encontraram valores entre 2,2 e 3,2 %.

Perda de Massa, Firmeza e pH

Na Tabela 2, referente às variáveis perda de massa, firmeza e pH, observou-se a não ocorrência da interação dupla significativa entre os fatores doses x tempo, evidenciando somente diferença estatística entre os dias de análise.

A porcentagem de perda de massa acumulada ao longo do período de armazenamento foi aumentando significativamente e no 30º dia os valores chegaram a 5,70 %, o que é concordante com Vieites (1998), que trabalhou com tomate ‘Débora’ e também observou a ocorrência de perda gradual nos frutos de todos os tratamentos irradiados ou não irradiados. A perda de massa dos frutos ao longo do armazenamento é devida principalmente ao processo de transpiração e no caso do tomate, por ser um fruto climatérico, essa perda é devida também à taxa de respiração (Sigrist, 1992; Ronque, 1998).

No caso da firmeza do tomate ‘Débora plus’ no decorrer dos dias avaliados, observou-se que o dia inicial proporcionou as maiores médias desta variável diferindo dos demais dias, onde com o passar do período de armazenamento, evidenciou-se redução desta firmeza dos frutos do início ao final dos 30 dias de avaliação, sendo essa redução provavelmente devido ao processo de amadurecimento do fruto. Resultados semelhantes encontrados por Cia et al. (2007), onde trabalhando com irradiação gama em mamão observaram que os frutos exibiram amadurecimento normal ao longo do período de armazenamento. Concordando também com Vieites (1998) e Kader (1986), onde verificaram perda da consistência dos frutos durante o armazenamento.

Na variável pH, observou-se aumento deste no decorrer dos dias, onde as maiores médias encontradas foram para os 30º e 25º dias, sendo semelhante ao encontrado por Moreira (2005). Esse aumento provavelmente é devido a relação inversa entre a acidez titulável e o pH (Chitarra & Chitarra, 1990), onde neste experimento as médias de acidez, principalmente das doses irradiadas, mostraram queda ao longo do período de armazenamento.

Tabela 2. Variação média na Perda de Massa acumulada (%), Firmeza (N) e pH em tomates ‘Débora plus’ irradiados com ^{60}Co e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR, por 30 dias.

Dias de Análise	Perda de Massa (%)	Firmeza (N)	pH
0 dia	0,00 F	41,28 A	4,33 C
5 dias	1,14 E	13,97 B	4,48 B
10 dias	1,97 DE	14,38 B	4,46 B
15 dias	2,88 CD	12,39 BC	4,40 BC
20 dias	3,84 BC	10,73 BC	4,46 B
25 dias	4,77 AB	11,98 BC	4,60 A
30 dias	5,70 A	9,70 C	4,70 A

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Sólidos Solúveis, Acidez Titulável e Índice de Maturação

Na Tabela 3, referente às variáveis sólidos solúveis, acidez titulável e índice de maturação, verificou-se a não ocorrência da interação significativa entre os fatores doses x tempo, evidenciando somente diferença estatística entre os dias de análise.

Os teores de sólidos solúveis ao longo dos dias de análise, observou-se que o 5º dia mostrou as maiores médias desta variável diferindo apenas do 15º dia. Mesmo o tomate sendo um fruto climatérico, não foi observado aumento ou redução do teor de sólidos solúveis no decorrer do armazenamento, concordando com Cia et al. (2007), que verificaram que a concentração total de sólidos solúveis foi constante após o período de armazenamento, não sendo influenciada pelas diferentes doses de irradiação. Isto discorda de Chitarra & Chitarra (1990), que afirmam que os sólidos solúveis apresentam tendência de aumento com o amadurecimento devido ao aumento do teor de açúcares simples. E discordando também de Perkins-Veazie & Collins (2004), onde observaram que o conteúdo de sólidos solúveis declinou lentamente após dois dias para a melancia ‘Sugar Shack’ e após sete dias de armazenamento na ‘Summer Flavor 800’.

Tabela 3. Variação média nos teores de Sólidos Solúveis (°Brix), Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g⁻¹ p.f.) e Índice de Maturação em tomates ‘Débora plus’ irradiados com ⁶⁰Co e armazenados a 12±1°C e 85-90% UR, por 30 dias.

Dias de Análise	Sólidos Solúveis (°Brix)	Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g⁻¹ p.f.)	Índice de Maturação ‘Ratio’
0 dia	4,43 AB	0,39 A	11,48 B
5 dias	4,79 A	0,33 AB	14,63 AB
10 dias	4,56 AB	0,32 AB	14,85 A
15 dias	4,29 B	0,38 A	13,01 AB
20 dias	4,69 AB	0,35 AB	13,61 AB
25 dias	4,58 AB	0,32 AB	14,41 AB
30 dias	4,39 AB	0,27 B	16,19 A

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Em relação à variável acidez titulável, verificou-se que o dia inicial proporcionou as maiores médias diferindo dos demais dias, onde com o passar do período de armazenamento evidenciou-se ligeira redução da acidez dos frutos do início ao final dos 30 dias de avaliação. Concordando com Vieites (1998), quando trabalhou com tomates irradiados; mas discordando do relatado por Frateschi (1999), onde observou aumento nos níveis de acidez titulável no final do período de armazenamento. Na maioria dos frutos, é comum observar redução de acidez durante o amadurecimento, devido ao uso dos ácidos orgânicos como fonte de energia (Chitarra & Chitarra, 1990; Gama et al., 1991; Brody, 1996), fato esse observado neste experimento.

O índice de maturação aumentou ao longo do armazenamento, semelhante ao encontrado por Vieites (1998). Esse aumento é provavelmente devido à redução da acidez titulável, pois o teor de sólidos solúveis fica praticamente constante ao longo do armazenamento. Os valores para índice de maturação ou ‘Ratio’ encontrados neste experimento se encontram entre 11,48 e 16,19, sendo ligeiramente superiores aos relatados por Mencareli & Saltveit (1988).

Perda de Massa e Conservação Pós-colheita

Às variáveis perda de massa e conservação pós-colheita, observou-se a não ocorrência da interação dupla significativa entre os fatores doses x tempo, evidenciando somente diferença estatística entre as doses de irradiação gama (Tabela 4).

Em relação à porcentagem de perda de massa entre as doses estudadas, verificou-se que os tratamentos 0,9 e 1,2 kGy proporcionaram a menor porcentagem de perda ao longo do experimento diferindo das demais doses, permitindo observar que as maiores doses de irradiação promovem as menores perdas desta variável, indicando correlação positiva com a irradiação gama e discordando do observado por Vieites (1998) que trabalhando com tomate 'Débora', observou que a dose 0,3 kGy foi mais efetiva na redução da perda de massa. E discordando também do verificado por Maxie et al. (1971), onde relataram que a irradiação pode aumentar a permeabilidade de membranas, incrementar a atividade metabólica e romper ligações intercelulares, além de aumentar a transpiração através da cutícula, aumentando a perda de massa.

Para a conservação pós-colheita do tomate 'Débora plus', observou-se que a dose 1,2 kGy propiciou o maior período de conservação, diferindo das demais doses, com exceção apenas para a dose 0,3 kGy.

Nas condições que o experimento foi instalado, a maior dose de irradiação gama manteve por maior período a aparência aceitável do fruto em relação aos demais tratamentos avaliados. Fato esse concordante com Chitarra & Chitarra (1990) no qual citam que a aparência é de vital importância no aceite ou rejeição de frutos e hortaliças. E discordante do citado por Vieites (1998), onde observou que a dose 0,3kGy conservou por mais tempo os tomates em relação as demais doses.

Tabela 4. Variação média de Perda de Massa (%) e Conservação Pós-Colheita (dias) em tomates ‘Débora plus’ irradiados com ^{60}Co e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 85-90% UR, por 30 dias.

Tratamentos	Perda de Massa (%)	Conservação Pós-colheita (dia)
testemunha	3,29 AB	46,00 B
0,3 kGy	2,94 AB	47,50 AB
0,6 kGy	3,74 A	45,90 B
0,9 kGy	2,02 C	44,90 B
1,2 kGy	2,51 BC	53,00 A

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.2. Segundo Experimento: UV-C

pH

De acordo com a Tabela 5, referente ao pH, observou-se que houve interação significativa entre os fatores doses x tempo. As médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), permitiu verificar que a dose $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$ levou às maiores médias deste parâmetro em todos os dias de avaliação, diferenciando significativamente do tratamento $2,27 \text{ kJ m}^{-2}$, que evidenciou as menores médias durante todo o período avaliado.

Em relação às médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, observou-se que dentro da testemunha o primeiro dia de análise obteve as maiores médias diferenciando estatisticamente apenas do 21º dia; para a dose $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$ o 7º dia proporcionou maiores médias de pH diferenciando somente do 14º dia; no caso do $7,19 \text{ kJ m}^{-2}$ verificou-se que aos 21 dias do experimento ocorreu efeito significativo, onde este obteve maiores médias em comparação ao dia inicial e ao 7º dia; e em relação as médias dos dias dentro da dose $2,27 \text{ kJ m}^{-2}$ não foi observada diferença significativa entre os dias avaliados. Após esses resultados, o tratamento $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$ obteve as maiores médias de pH durante todos os dias de avaliação, evidenciando interação entre a irradiação UV-C e esta variável, mesmo não sendo observado aumento do pH no decorrer do experimento.

Tabela 5. Variação média de pH em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	pH				
	testemunha	2,27 kJ m ⁻²	4,54 kJ m ⁻²	7,19 kJ m ⁻²	Média
0 dia	4,54 Aa	4,32 Ab	4,62 ABa	4,38 Cb	4,47 a
7 dias	4,46 ABbc	4,36 Ac	4,67 Aa	4,48 Bb	4,49 a
14 dias	4,50 ABa	4,38 Ab	4,57 Ba	4,57 ABa	4,50 a
21 dias	4,40 Bb	4,39 Ab	4,64 ABa	4,59 Aa	4,50 a
Média	4,48 B	4,36 C	4,62 A	4,51 B	

Letras minúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os resultados apresentados discordam do verificado por Charles et al. (2005), que observaram aumento significativo no pH dos frutos de tomate ‘Trust’ tratados com UV, a partir do quarto dia de armazenamento.

Os valores médios de pH deste experimento variaram de 4,36 a 4,62. De modo geral o pH em tomates varia de 4,0 e 4,6 nos frutos maduros e 4,5 e 5,2 nos frutos amadurecidos (Chaudhry & Farooqi, 1970; Esteves, 1981; Mowlah & Itoo, 1983; Chyau et al., 1992). No entanto, segundo Rathore (1976), os valores de pH possuem variação mais ampla, indo de 3,34 a 6,20.

Acidez titulável

Na Tabela 6, referente à acidez titulável, observou-se a interação dupla significativa entre os fatores doses x tempo. Com relação às médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), verificou-se a ocorrência de diferença estatística significativa em todos os dias de análise.

No dia inicial, o tratamento 2,27 e 7,19 kJ m⁻² proporcionaram as maiores médias, em relação às demais doses estudadas.

Tabela 6. Variação média de Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C e armazenados à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g ⁻¹ p.f.)				Média
	testemunha	2,27 kJ m ⁻²	4,54 kJ m ⁻²	7,19 kJ m ⁻²	
0 dia	0,38 Bbc	0,50 Aa	0,36 Ac	0,49 Aab	0,43 a
7 dias	0,48 ABa	0,43 ABab	0,36 Abc	0,31 Bc	0,39 a
14 dias	0,46 ABa	0,44 ABa	0,39 Aab	0,30 Bb	0,40 a
21 dias	0,51 Aa	0,37 Bb	0,36 Ab	0,32 Bb	0,39 a
Média	0,46 A	0,43 A	0,37 B	0,36 B	

Letras minúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Do 7º dia até o final do experimento a testemunha foi a que evidenciou as maiores médias de acidez titulável em relação as demais doses, com exceção para os dias 7º e 14º, onde não foi observada diferença na dose 2,27 kJ m⁻².

O tratamento testemunha obteve as maiores médias de acidez durante todos os dias de avaliação, com exceção apenas para o dia inicial, onde ainda as doses de irradiação UV-C não tinham proporcionado efeito nos tomates. Por esse motivo, provavelmente ocorreu interação entre a irradiação UV-C e esta variável no decorrer do experimento. Este fato é semelhante ao relatado por Charles et al. (2005), que trabalharam com tomate ‘Trust’ observaram que a acidez titulável dos frutos tratados com UV tendeu a ser menor que no fruto controle, com diferença significativa observada apenas no 7º dia após o tratamento.

Em relação às médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, observou-se que na testemunha, o ultimo dia de análise obteve as maiores médias diferenciando estatisticamente apenas do dia inicial; para as doses 2,27 e 7,19 kJ m⁻² o primeiro dia de análise proporcionou maiores médias de acidez titulável diferenciando somente do 21º dia; com exceção para a dose 7,19 kJ m⁻² onde foi observada diferença entre o dia inicial e os demais dias; no caso do 4,54 kJ m⁻² não foi observada diferença significativa entre os dias avaliados, evidenciando apenas manutenção da acidez do início até o final no.

O observado está de acordo com Artés et al. (1999), que observou redução significativa na acidez titulável sob todas as condições de armazenamento,

temperatura, tempo e tratamentos, tão bem quanto às interações. Concordando também com Jacobi et al. (2000), onde verificou que a acidez das mangas foi gradualmente diminuindo com o amadurecimento.

A acidez titulável foi avaliada como indicador adicional do estágio de amadurecimento do fruto para cada tratamento. A diminuição da acidez ocorre devido à utilização do ácido cítrico como substrato respiratório (Kim et al., 2007), fato semelhante ao observado neste e no experimento anterior.

Os valores médios obtidos neste experimento se encontram na faixa entre 0,36 a 0,46 g ácido cítrico 100g⁻¹ p.f., sendo ligeiramente superiores aos encontrados por Artés et al. (1999), que encontraram valores entre 0,16 a 0,40 g ácido cítrico 100ml⁻¹ p.f. para frutos da cultivar longa-vida Durinta.

Carotenóides totais

Graças ao aspecto da sua estrutura, os carotenóides têm muitas funções na natureza. Uma de suas maiores funções é para a proteção do aparato fotossintético no excesso de luz (Teramura & Ziska, 1996; Strid et al., 1990; Middleton & Teramura, 1993). Outra função muito importante é a antioxidante, que é uma das razões para o elevado uso dos carotenóides na indústria de alimentos, além do efeito da coloração (Paust, 1991; Baker & Gunther, 2004).

Os carotenóides podem atuar de maneira preventiva: podem inibir a formação de espécies reativas de oxigênio (ROS) pela reação direta com o oxigênio, ou, se radicais são criados, eles eliminam a atuação destes (Burton & Ingold, 1984; Haila, 1999; Palozza & Krinsky, 1992).

Na Tabela 7 verifica-se que houve interação dupla significativa entre os fatores doses x tempo.

Tabela 7. Variação média de Carotenóides Totais (mg 100g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Carotenóides Totais (mg 100g ⁻¹ p.f.)				
	testemunha	2,27 kJ m ⁻²	4,54 kJ m ⁻²	7,19 kJ m ⁻²	Média
0 dia	3,66 Ac	5,05 ABb	6,17 Aa	6,08 ABab	5,24 a
7 dias	3,92 Ac	5,11 ABb	5,10 Ab	6,35 Aa	5,12 ab
14 dias	3,43 Ab	5,22 Aa	5,67 Aa	4,97 Ca	4,82 ab
21 dias	3,56 Ab	4,02 Bb	5,74 Aa	5,17 BCa	4,62 b
Média	3,64 C	4,85 B	5,67 A	5,64 A	

Letras minúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando-se as médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), observa-se que as doses 7,19 e 4,54 kJ m⁻² foram as que proporcionaram as maiores médias desta variável ao longo do tempo de avaliação, diferenciando significativamente do tratamento 2,27 kJ m⁻² e testemunha, com exceção apenas para o 7º dia onde apenas a dose 7,19 kJ m⁻² evidenciou as maiores médias diferindo das demais. Em relação ao observado podemos afirmar que com o aumento das doses de irradiação UV-C ocorreu também o aumento dos valores médios de carotenóides totais, evidenciando seu efeito positivo.

Para as médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, observou-se que dentro do 2,27 kJ m⁻² o 14º dia levou às maiores médias diferenciando estatisticamente apenas do 21º dia; dentro da dose 7,19 kJ m⁻² o 7º dia proporcionou maiores médias de pH diferenciando do 14º e 21º dias; e em relação as doses 4,54 kJ m⁻² e testemunha não foram observadas diferenças significativas entre os dias analisados. Esse fato mostrou que com o passar dos dias ocorreu ligeira perda dos carotenóides totais durante todo o experimento, sendo mais evidente na testemunha do que nos tratamentos irradiados. Isto concorda com o observado por Malacrida et al. (2006), que relatou a diminuição na acumulação de carotenóides que ocorreu durante o amadurecimento normal, sendo observado nos frutos que amadureceram tanto com ou sem o tratamento de pré-resfriamento.

O armazenamento a baixas temperaturas não previne a degradação da clorofila, mas inibe o acúmulo de carotenóides e licopeno, e também o desenvolvimento normal da cor vermelha do tomate (Yahia et al., 2007). Os carotenóides vão desaparecendo

numa taxa muito mais baixa que as clorofilas (Young et al., 1990), fato esse observado neste experimento. Esta diferença na taxa da degradação provavelmente reflete a persistência do aparato fotoprotetor dos carotenóides, a qual dissipa excessiva energia de radiação e protege contra o dano causado por radicais livres (Demmig-Adams, 1990). Entretanto, Chen & Djuric (2001) questionaram se carotenóides podem atuar como antioxidantes em membranas biológicas e sugerem que, os carotenóides são sensíveis a degradação por radicais livres.

Sólidos Solúveis, Índice de Maturação, Polifenóis e Capacidade Antioxidante

Em relação às variáveis sólidos solúveis, índice de maturação, polifenóis e capacidade antioxidante, referente a Tabela 8, verificou-se a não ocorrência da interação dupla significativa entre os fatores doses x tempo, evidenciando somente diferença estatística entre as doses de irradiação UV-C.

Para o teor de sólidos solúveis do tomate 'Pitenga', observou-se que o tratamento $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$ evidenciou as maiores médias desta variável diferindo apenas da dose $7,19 \text{ kJ m}^{-2}$, discordando do observado por Charles et al. (2005), que verificaram que durante o período de armazenamento a 13°C não foram observadas diferenças significativas nos teores de sólidos solúveis entre os frutos tratados com UV comparados com o controle. Os valores encontrados para sólidos solúveis se encontram entre 4,35 e $5,00^{\circ}\text{Brix}$, sendo ligeiramente superiores aos encontrados por Artés et al. (1999), que mostraram valores entre 3,8 e $4,6^{\circ}\text{Brix}$.

Analisando a variável índice de maturação 'Ratio', verificou-se que a dose $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$ mostrou as maiores médias em relação aos demais tratamentos, com exceção apenas para o tratamento $7,19 \text{ kJ m}^{-2}$, onde evidenciou-se efeito positivo das doses de irradiação UV-C sobre esta variável, o que é concordante com Quiroga & Fraschina (1997), que verificaram correlações significativas entre o índice de maturação durante o experimento.

Tabela 8. Variação média de Sólidos Solúveis (°Brix), Índice de Maturação ‘Ratio’, Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g⁻¹ p.f.) e Capacidade Antioxidante (g⁻¹) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Sólidos Solúveis (°Brix)	Índice de Maturação ‘Ratio’	Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.)	Capacidade Antioxidante (g ⁻¹)
testemunha	4,58 AB	10,08 C	103,38 A	70,58 A
2,27 kJ m ⁻²	4,76 AB	11,10 BC	95,73 A	62,88 AB
4,54 kJ m ⁻²	5,00 A	13,42 A	58,64 B	59,65 B
7,19 kJ m ⁻²	4,35 B	12,41 AB	99,72 A	60,25 B

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os valores para esta variável se encontram entre 10,08 e 13,42, sendo semelhantes aos relatados por Lojudice et al. (1995) e Mencareli & Saltveit (1988); mas estando abaixo do encontrado por Artés et al. (1999), que trabalharam com tomate ‘Durinta’ e evidenciaram valores na faixa de 11,50 a 23,70.

No caso dos polifenóis, observou-se que o tratamento 4,54 kJ m⁻² proporcionou as menores médias para esta variável diferindo dos demais tratamentos, onde a testemunha foi a que evidenciou as maiores médias em comparação aos demais. Concordando com Costa et al. (2006), onde os fenóis totais aumentaram após o tratamento com UV-C a 20°C, tanto no brócolis tratado quanto no controle, entretanto, o incremento foi maior no caso do brócolis não tratado. E também com o relatado por Allende et al. (2007), que observaram que os compostos fenólicos do morango foram reduzidos após o tratamento com UV-C.

E para a variável capacidade antioxidante, verificou-se perda desta capacidade nos tomates com o aumento da dose aplicada, onde a testemunha evidenciou as maiores médias diferindo dos demais, com exceção apenas para a dose 2,27 kJ m⁻². Por esse motivo, a irradiação UV-C provavelmente não causou efeito positivo na manutenção da capacidade antioxidante. Sendo diferente do observado por Douillet-Breuil et al. (1999) e Adrian et al. (2000), onde descreveram aumento nos níveis antioxidantes em resposta à exposição a UV.

Atividade da Peroxidase, Atividade da Lipoxigenase, Licopeno e Ácido Ascórbico

Para as variáveis atividade da peroxidase, atividade da lipoxigenase, licopeno e ácido ascórbico, na Tabela 9, verificou-se a não ocorrência da interação dupla significativa entre os fatores doses x tempo, evidenciando somente diferença estatística entre as doses de irradiação UV-C.

Na atividade da peroxidase, observou-se que o tratamento 2,27 kJ m⁻² mostrou as maiores médias desta variável diferindo significativamente somente da dose 7,19 kJ m⁻². Discordando do observado por Costa et al. (2006), que verificaram que o efeito da UV-C foi evidente somente no final do armazenamento, mostrando os maiores valores de peroxidase para o tratamento controle após 6 dias a 20°C.

No caso da atividade da lipoxigenase, evidenciou-se que a dose 4,54 kJ m⁻² propiciou as maiores médias diferindo dos demais tratamentos, discordando do relatado por González-Aguilar et al. (2007), que verificaram que mudanças não significativas da lipoxigenase foram encontradas entre 2.46 e 4.93 kJ m⁻² durante o período de armazenamento.

Analisando a variável licopeno, verificou-se que conforme aumenta a dose de irradiação UV-C aplicada aumenta também os valores médios para licopeno, onde a dose 4,54 kJ m⁻² proporcionou as maiores médias em comparação aos demais. Discordando do observado por Perkins-Veazie & Collins (2004), onde relatou que o conteúdo total de licopeno não modificou significativamente em qualquer cultivar armazenada por 2 dias a 2°C. O licopeno é considerado um poderoso agente anticancerígeno (Ansari e Gupta 2004; Tapiero et al. 2004) e, em relação aos dados observados neste experimento a dose 4,54 kJ m⁻² provavelmente aumentaria esta qualidade nutricional.

No teor de ácido ascórbico observou-se que a dose 2,27 kJ m⁻² mostrou as maiores médias para esta variável diferindo estatisticamente da testemunha e da dose 4,54 kJ m⁻², mas não diferenciando da dose mais alta. Os valores encontrados para ácido ascórbico se encontram entre 167,00 a 216,93 µg g⁻¹ p.f., sendo superior ao encontrado por Castro et al. (2007); mas semelhante ao relatado por Abushita et al. (2000) e Arias et al. (2000).

Tabela 9. Variação média da Atividade da Peroxidase (nkat g⁻¹ p.f.), Atividade da Lipoxigenase (nkat g⁻¹ p.f.), Licopeno (mg 100g⁻¹ p.f.) e Ácido Ascórbico (µg g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C e armazenados à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Atividade da Peroxidase (nkat g ⁻¹ p.f.)	Atividade da Lipoxigenase (nkat g ⁻¹ p.f.)	Licopeno (mg 100g ⁻¹ p.f.)	Ácido Ascórbico (µg g ⁻¹ p.f.)
testemunha	460,75 A	538,15 B	1,97 C	174,90 B
2,27 kJ m ⁻²	529,68 A	412,22 B	2,81 B	216,93 A
4,54 kJ m ⁻²	428,53 AB	764,37 A	3,32 A	167,00 B
7,19 kJ m ⁻²	338,47 B	394,60 B	3,22 A	183,59 AB

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Atividade da Peroxidase, Licopeno e Ácido Ascórbico

Com base na Tabela 10, referente às variáveis atividade da peroxidase, licopeno e ácido ascórbico evidenciou-se somente diferença estatística entre os dias de análise.

Para a variável atividade da peroxidase do tomate ‘Pitenza’, verificou-se que aos 7 dias de avaliação ocorreu as menores médias, que diferiram significativamente apenas do dia inicial. Sendo observado redução da atividade do dia inicial até o 7º dia de armazenamento, onde posteriormente manteve-se praticamente constante os valores da atividade da peroxidase. Fato similar verificado por Yahia et al. (2007), onde observou que a atividade da peroxidase diminuiu nos frutos de tomate ao longo das 4 semanas de armazenamento, e por Mondal et al. (2004), que observaram que a atividade da peroxidase apresentou apenas diminuição marginal durante o amadurecimento.

No caso do licopeno, observou-se diminuição do início ao final do armazenamento, onde o dia inicial proporcionou as maiores médias, diferindo estatisticamente apenas do último dia, sendo verificado que a irradiação UV-C não promoveu efeito positivo na manutenção do licopeno no decorrer dos dias de análise. Discordando do obtido por Yahia et al. (2007), onde observou que o armazenamento a 20°C aumentou a concentração de licopeno. E discordando também de Sozzi et al. (1996), onde relataram aumento no conteúdo de licopeno em tomates. Mas concordando com o observado por Malacrida et al. (2006), que

Tabela 10. Variação média da Atividade da Peroxidase (nkat g^{-1} p.f.), Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.) e Ácido Ascórbico ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C e armazenados à $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Dias de análise	Atividade da Peroxidase (nkat g^{-1} p.f.)	Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.)	Ácido Ascórbico ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.f.)
0 dia	522,17 A	3,05 A	194,59 AB
7 dias	385,50 B	2,85 AB	200,54 A
14 dias	429,35 AB	2,78 AB	183,57 AB
21 dias	420,41 AB	2,65 B	163,72 B

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

relatou a diminuição na acumulação de licopeno durante o amadurecimento normal.

Para a variável ácido ascórbico, observou-se que o 7º dia mostrou as maiores médias diferindo estatisticamente apenas do último dia, evidenciando perda do ácido ascórbico do 7º dia até o final do experimento, dados esses semelhantes ao encontrado por Castro et al. (2007).

4.3. Terceiro Experimento: AC

pH

Na Tabela 11, referente a variação de pH, observou-se interação dupla significativa entre os fatores gases x tempo. Verificando as médias das atmosferas controladas dentro dos dias de análise, verificou-se que não ocorreu oscilação muito grande dos valores médios deste parâmetro durante o período avaliado, mas mesmo assim ocorreu diferença significativa nos 7º e 21º. Dentro do 7º dia o tratamento 5%O₂:5%CO₂ propiciou as maiores médias de pH, diferenciando das demais atmosferas, com exceção para o ar; no caso do 21º dia a atmosfera ar evidenciou as menores médias diferenciando do 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂.

Não se observou nenhuma tendência das médias de pH para com as atmosferas estudadas, evidenciando a pouca influência da atmosfera nesta variável. Lima (2005), relatou que independente da atmosfera aplicada notou-se tendência de redução dos valores de pH.

Para as médias dos dias de avaliação dentro das atmosferas controladas, observou-se diferença estatística dentro de todas as atmosferas, sendo que o início e o 7º dia apresentaram as maiores médias para pH, diferindo dos demais dias avaliados, com

Tabela 11. Variação média de pH em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	pH			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
0 dia	4,54 Aa	4,54 Aa	4,54 Aa	4,54 b
7 dias	4,32 Ba	4,40 Ba	4,22 Bb	4,31 d
14 dias	4,62 Aa	4,60 Aa	4,62 Aa	4,61 a
21 dias	4,38 Bb	4,51 ABa	4,52 Aa	4,47 c
Média	4,47 A	4,51 A	4,48 A	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dia de avaliação (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada atmosfera controlada (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

exceção das atmosferas 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂, onde estes dois dias não diferiram do último dia.

Em relação às atmosferas utilizadas, foi possível visualizar uma tendência entre os dias de análise, onde os valores obtidos oscilaram do início ao término dos 21 dias de análise, sendo os maiores valores encontrados no início e no 7º dia e os menores valores encontrados no 14º e 21º dias. Discordando do observado por Cia (2002), onde trabalhando com caqui verificou que os níveis de pH mantiveram-se praticamente constantes durante o período de avaliação. Discordando também do relatado por Perkins-Veazie & Collins (2004), onde observaram para duas variedades de melancia sob atmosfera modificada que o pH aumentou lentamente após 2 dias de armazenamento para ‘Sugar Shack’ e após 7 dias de armazenamento para a ‘Summer Flavor 800’.

Os valores médios de pH obtidos neste experimento se encontram na faixa de 4,31 a 4,61, estando de acordo com o indicado por Chaudhry & Farooqi (1970), Esteves (1981), Mowlah & Itoo (1983) e Chyau et al. (1992), onde encontraram de um modo geral que o pH dos frutos variam de 4,0 a 4,6 nos frutos maduros e 4,5 a 5,2 nos frutos amadurecidos.

Polifenóis

Com base na Tabela 12, verificou-se a interação dupla significativa entre os fatores gases x tempo. Analisando as médias das atmosferas controladas dentro dos dias de análise, observou-se diferença entre todos os dias de avaliação, com exceção para o dia inicial. Dentro do 7º dia o tratamento ar proporcionou as maiores médias de polifenóis diferenciando das demais atmosferas; para o 14º dia as atmosferas com 5%O₂ propiciaram as maiores médias desta variável; e dentro do 21º dia a atmosfera com 5%CO₂ evidenciou as maiores médias, diferindo somente do ar. Em relação ao observado, não ficou claro qual atmosfera proporcionou as maiores médias de polifenóis, mas analisando as médias gerais para as atmosferas, verificou-se ligeira tendência ao 5%O₂:5%CO₂.

Para as médias dos dias de análise dentro das atmosferas, verificou-se diferença significativa dentro de todas as atmosferas. Para a atmosfera ar o dia inicial evidenciou as maiores médias diferindo somente do 14º dia; dentro da atmosfera 5%O₂:5%CO₂ o 21º dia mostrou as maiores médias diferindo apenas do 7º dia; e dentro da última atmosfera avaliada o primeiro dia de análise propiciou as maiores médias de polifenóis durante o período de armazenamento, mas não diferindo estatisticamente do 14º dia.

Com relação as médias observadas, verificou-se a ocorrência de queda brusca nos valores de polifenóis logo após o dia inicial e posteriormente essa variável aumentou até o último dia de armazenamento; essa queda foi mais visível nas atmosferas com 5%O₂, em contrapartida foram essas que mostraram maior recuperação dos polifenóis na continuação do período de armazenamento. Muitos estudos têm mostrado que os compostos polifenólicos geralmente diminuem em frutos climatérios, como tomates, bananas, mangas e goiabas durante o amadurecimento (Haard & Chism, 1996; Lakshminarayana et al., 1970; Mitra & Baldwin, 1997; Selvaraj & Kumar, 1989). Da mesma maneira, mudanças significativas foram observadas por Kim et al. (2007), ao trabalhar com manga em três atmosferas controladas, observando que o fruto exibiu uma apreciável e consistente diminuição nos polifenóis totais durante o amadurecimento.

Tabela 12. Variação média nos teores de Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g⁻¹ p.f.) em tomates 'Pitenza', armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.)			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
0 dia	106,76 Aa	106,76 Aa	106,76 Aa	106,76 a
7 dias	92,91 Aa	47,35 Bb	55,19 Bb	65,15 c
14 dias	61,14 Bb	94,35 Aa	97,66 Aa	84,38 b
21 dias	94,01 Aa	116,62 Aa	46,68 Bb	85,77 b
Média	88,70 AB	91,27 A	76,57 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dia de avaliação (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada atmosfera controlada (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Os compostos fenólicos nos frutos e vegetais podem produzir efeitos benéficos por eliminar radicais livres (Chun et al., 2003). Deste modo, os compostos fenólicos podem ajudar na proteção das células contra o dano oxidativo causado pelos radicais livres (Wada & Ou, 2002), fato não observado neste trabalho ao longo do período de armazenamento.

As médias dos teores de polifenóis encontrados neste trabalho, variaram entre 65,15 a 106,76 mg eq ácido clorogênico 100g⁻¹ p.f., sendo valores abaixo do encontrado por Odriozola-Serrano et al. (2007) e Martínez-Valverde et al. (2002).

Catalase

Com relação a atividade da catalase, Tabela 13, observou-se interação significativa entre os fatores atmosferas x tempo. Para as médias das atmosferas controladas dentro dos dias de análise, verificou-se a ocorrência de diferença significativa apenas dentro do 21º dia, onde a atmosfera 5%O₂:5%CO₂ proporcionou as maiores médias e diferenciou-se estatisticamente do ar, mas não diferiu da 5%O₂:1%CO₂, enquanto que dentro dos demais dias de análise não foi observado efeito significativo para as médias obtidas.

Tabela 13. Variação média da Atividade da Catalase (nkat g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Atividade da Catalase (nkat g ⁻¹ p.f.)			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
0 dia	168,28 Aa	168,28 Aa	168,28 Aa	168,28 a
7 dias	204,13 Aa	168,44 Aa	143,96 Aa	172,18 a
14 dias	191,74 Aa	182,21 Aa	220,90 Aa	198,29 a
21 dias	126,59 Ab	258,29 Aa	193,98 Aab	192,95 a
Média	172,69 A	194,31 A	181,78 A	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dia de avaliação (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada atmosfera controlada (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nas médias dos dias de análise dentro das atmosferas, observou-se a não ocorrência de diferença estatística significativa entre os dias de análises para todas as atmosferas estudadas. Mesmo não sendo significativo, com base nas médias gerais obtidas, observou-se ligeiro aumento da atividade da catalase até o 14º dia.

A atividade catalítica da catalase é independente do pH na faixa de 3 a 9. Acima do pH 9 e abaixo do pH 3 ocorre diminuição na atividade da enzima. Em pHs alcalinos a enzima dissocia dentro de subunidades, enquanto em valores de pH ácido o grupo protoamina dissocia para proteínas (Whitaker, 1994). Como neste estudo, o pH dos tomates se encontravam na faixa de 4,31 a 4,61, provavelmente explica a não influência do pH na atividade da catalase, sendo influenciado pelas atmosferas utilizadas e pelos 21 dias de armazenamento. Discordando do observado por Malacrida et al. (2006), onde trabalhando com tomates cultivar ‘Micro-tom’ observaram que a atividade da catalase diminuiu levemente no estágio amarelo e durante todo o amadurecimento comercial, e de Yahia et al. (2007), onde verificaram que a atividade da catalase no armazenamento diminuiu com o aumento da temperatura até 20°C. Relatando também que a temperatura de armazenamento, tratamento e todas as interações têm efeito significativo na atividade da catalase.

As médias obtidas neste experimento para a atividade da catalase se encontram entre 168,28 a 198,29 nkat g⁻¹ p.f., sendo abaixo do relatado por Mondal et al. (2004), que observaram valores entre 250 e 300 nkat g⁻¹.

Lipoxigenase

Na Tabela 14, referente à lipoxigenase, pode-se verificar interação dupla significativa entre os fatores atmosferas x tempo. Observando as médias das atmosferas controladas dentro dos dias de análise, evidenciou-se a ocorrência de diferença significativa apenas dentro do 14º dia, onde a atmosfera 5%O₂:5%CO₂ mostrou as maiores médias para a atividade da lipoxigenase, enquanto que nos demais dias de análise não foi observado efeito significativo das médias obtidas.

Em relação à média geral obtida para a atmosfera 5%O₂:1%CO₂, observou-se que este tratamento proporcionou os menores valores para a atividade da lipoxigenase no decorrer do experimento, onde provavelmente este evidenciou maior manutenção da qualidade do fruto.

Para as médias dos dias de análise dentro das atmosferas, observou-se diferença significativa para esta variável somente dentro da atmosfera 5%O₂:5%CO₂, onde verificou-se aumento da atividade da lipoxigenase do 7º dia até o 14º dia, ocorrendo posteriormente queda da atividade da lipoxigenase aos 21 dias; enquanto que dentro das demais atmosferas não foi observada diferença estatística significativa.

Pelos dados obtidos nesse estudo, verificou-se aumento da lipoxigenase somente dentro da atmosfera 5%O₂:5%CO₂, indo do valor 406,96 para 1053,39 nkat g⁻¹ p.f., isso provavelmente foi devido a alta concentração de CO₂ nesta atmosfera, ocasionando distúrbios ao tomate. As médias dos valores da atividade da lipoxigenase, oscilaram entre 378,03 a 684,94 nkat g⁻¹ p.f., sendo similares aos encontrados na literatura do tomate (Cabibel & Nicolas, 1992; Gould, 1992; Shook et al., 2001).

Segundo Whitaker (1994) existe no mínimo três efeitos da ação da lipoxigenase em alimentos: destruição dos ácidos gordurosos, linoleico, linolenico e ácido araquidônico; radicais livres produzidos que danificam outros compostos, incluindo vitaminas e proteínas; e desenvolvem sabores e odores desagradáveis; fato esse observado nesse experimento para a atmosfera 5%O₂:5%CO₂ aos 14 dias de análise.

Tabela 14. Variação média da Atividade da Lipoxigenase (nkat g⁻¹ pf) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Atividade da Lipoxigenase (nkat g ⁻¹ pf)			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
0 dia	463,54 Aa	463,54 Ba	463,54 Aa	463,54 b
7 dias	445,63 Aa	406,96 Ba	440,78 Aa	431,12 b
14 dias	638,49 Ab	1053,39 Aa	362,94 Ac	684,94 a
21 dias	459,82 Aa	401,366 Ba	272,93 Aa	378,03 b
Média	501,87 AB	581,31 A	385,05 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dia de avaliação (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada atmosfera controlada (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Firmeza, Acidez Titulável e Atividade da Peroxidase

Em relação às variáveis firmeza, acidez titulável e atividade da peroxidase, Tabela 15, verificou-se a não ocorrência da interação dupla significativa entre os fatores gases x tempo, evidenciando somente diferença estatística entre os dias de análise.

Para a firmeza do tomate ‘Pitenza’ entre os dias de análise, observou-se que o dia inicial mostrou as maiores médias desta variável diferindo dos demais dias, onde observou-se redução da firmeza até o 14º dia, sendo essa redução provavelmente devida ao processo de amadurecimento do fruto. Concordando com Vieites (1998) e Kader (1986), onde verificaram perda da consistência dos frutos durante o armazenamento, e discordando do observado por Klieber et al. (1996), que trabalharam com tomate ‘Bermuda’ observaram que o estresse atmosférico não teve efeito na firmeza.

No caso da variável acidez titulável, verificou-se que o 7º dia proporcionou as maiores médias diferindo dos demais dias, com exceção apenas do último dia de análise. Com o passar do período de armazenamento evidenciou-se ligeira oscilação da acidez dos frutos do início ao final dos 21 dias de avaliação, sendo similar ao observado por Klieber et al. (1996), mas discordante de Vieites (1998) e do relatado por Kim et al. (2007), Jacobi et al. (2000) e Frateschi (1999).

Tabela 15. Variação média de Firmeza (N), Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g⁻¹ p.f.) e Atividade da Peroxidase (nkat g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Dias de análise	Firmeza (N)	Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g ⁻¹ p.f.)	Atividade da Peroxidase (nkat g ⁻¹ p.f.)
0 dia	13,18 A	0,38 B	431,99 B
7 dias	10,96 B	0,48 A	620,73 A
14 dias	10,10 B	0,37 B	483,32 AB
21 dias	10,59 B	0,41 AB	442,57 B

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

E para a atividade da peroxidase, observou-se que aos 7 dias de avaliação ocorreu as maiores médias desta variável diferindo significativamente do dia inicial e do 21° dia. Não sendo observado aumento ou redução da atividade ao longo do período de armazenamento, evidenciando somente um pico desta atividade aos 7 dias. Fato não verificado por Yahia et al. (2007), onde observou que a atividade da peroxidase diminuiu nos frutos de tomate ao longo das 4 semanas de armazenamento, sendo similar também ao encontrado por Mondal et al. (2004), onde observou que a atividade da peroxidase apresentou apenas diminuição marginal durante o amadurecimento, sendo maior nos tomates longa-vida que nos de vida útil curta.

Carotenóides Totais, Licopeno e Capacidade Antioxidante

Com base na Tabela 16, referente às variáveis carotenóides totais, licopeno e capacidade antioxidante, observou-se a não ocorrência da interação significativa entre os fatores atmosferas x tempo, evidenciando a diferença estatística entre os dias de análise.

Em relação aos carotenóides totais do tomate ‘Pitenza’ entre os dias de análise, evidenciou-se que o dia inicial mostrou as menores médias desta variável diferindo dos demais dias, onde observou aumento do dia inicial até o final do período avaliado, sendo

Tabela 16. Variação média de Carotenóides Totais (mg 100g⁻¹ p.f.), Licopeno (mg 100g⁻¹ p.f.) e Capacidade Antioxidante (g⁻¹) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Dias de análise	Carotenóides Totais (mg 100g ⁻¹ p.f.)	Licopeno (mg 100g ⁻¹ p.f.)	Capacidade Antioxidante (g ⁻¹)
0 dia	3,66 B	2,00 B	77,13 A
7 dias	4,64 A	2,70 A	53,92 B
14 dias	5,29 A	3,08 A	58,16 B
21 dias	5,34 A	3,14 A	57,36 B

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

esse aumento provavelmente devido ao processo de amadurecimento do fruto combinado com as atmosferas controladas. Concordando com Muratore et al. (2005), que trabalhando com tomate cultivar ‘Iride’ observaram que o conteúdo de carotenóides aumentou com o tempo de armazenamento em todas as embalagens investigadas. E também com Goodenough & Thomas (1981) e Nakhasi et al. (1991), que verificaram que baixas concentrações de O₂ ambiente retarda a perda de carotenóides nos diferentes estádios do tomate.

No caso do licopeno, verificou-se aumento do início ao final do armazenamento, onde o dia inicial proporcionou as menores médias, diferindo estatisticamente dos demais, concordando com Yahia et al. (2007), que observaram que o armazenamento a 20°C aumentou a concentração de licopeno até 0,4 g kg⁻¹, e também com Sozzi et al. (1996), que relataram aumento no conteúdo de licopeno em tomates. Discorda do observado por Malacrida et al. (2006), que relataram diminuição no acúmulo de licopeno durante o amadurecimento normal, e também de Perkins-Veazie & Collins (2004), que indicaram que o conteúdo total de licopeno não foi modificado significativamente em qualquer cultivar armazenada por 2 dias a 2°C.

A capacidade antioxidante, indica a perda desta capacidade nos tomates após o dia inicial e por esse motivo, as atmosferas controladas provavelmente não causaram efeito na manutenção da capacidade antioxidante durante os dias de análise. Isto é diferente do observado por Sanchez-Mata et al. (2003) e Tian et al. (2004), que trabalharam com manga e relataram que o armazenamento sob atmosfera controlada foi mais efetivo na prevenção ou redução do decaimento do fruto, por essa razão, a capacidade antioxidante estável durante o armazenamento foi uma ajuda adicional da atmosfera controlada.

Carotenóides Totais, Licopeno e Ácido Ascórbico

Na Tabela 17, referente às variáveis carotenóides totais, licopeno e ácido ascórbico, evidenciou-se a não ocorrência da interação significativa entre os fatores atmosferas x tempo, evidenciando somente diferença estatística entre as atmosferas controladas.

Com relação aos carotenóides totais, observou-se que a atmosfera ar mostrou as maiores médias desta variável diferindo estatisticamente das demais, com exceção da atmosfera 5%O₂:1%CO₂, onde quanto maior a porcentagem de CO₂ menor os valores médios encontrados para carotenóides totais. Discordando do observado por Goodenough & Thomas (1981) e Nakhasi et al. (1991), que verificaram que baixas concentrações de O₂ ambiente retardam a perda de carotenóides nos diferentes estádios do tomate.

Para o licopeno verificou-se que o tratamento ar proporcionou as maiores médias, diferindo estatisticamente das demais atmosferas, com exceção para 5%O₂:1%CO₂, sendo similar ao acontecido para carotenóides totais, pois com a medida desta variável, obtemos: licopeno, clorofila a e clorofila b. Discordando do relatado por Perkins-Veazie & Collins (2004), onde observaram que o conteúdo total de licopeno não modificou significativamente nos frutos das cultivares estudadas e armazenadas por dois dias a 2°C.

E para ácido ascórbico, evidenciou-se que a atmosfera ar mostrou as maiores médias desta variável diferindo somente da atmosfera controlada 5%O₂:1%CO₂. Dados similares aos relatados por Yahia et al. (2007), onde trabalhando com tomates 'Rhapsody', observou que os frutos armazenados em Ar, a 20°C, proporcionou os maiores níveis de ácido ascórbico.

Tabela 17. Variação média de Carotenóides Totais ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.), Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.) e Ácido Ascórbico ($\mu\text{g } \text{g}^{-1}$ p.f.) em tomates ‘Pitzenza’, armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Carotenóides Totais ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.)	Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.)	Ácido Ascórbico ($\mu\text{g } \text{g}^{-1}$ p.f.)
Ar	5,24 A	3,05 A	194,59 A
5% O₂:5% CO₂	4,28 B	2,44 B	174,66 AB
5% O₂:1% CO₂	4,68 AB	2,70 AB	158,20 B

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.4. Quarto Experimento: UV-C + AC

Firmeza

Com base na Tabela 18, referente a firmeza, observou-se que não houve interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x tempo. Para as médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise, verificou-se que a testemunha obteve as maiores médias no dia inicial e no 7º dia, diferenciando significativamente dos demais tratamentos, com exceção apenas para o 7º dia, onde a testemunha não diferiu da dose 4,54 kJ m⁻²; e dentro dos demais dias de análise não foi evidenciada diferença estatística entre as doses.

O tempo de armazenamento e as doses de irradiação afetam significativamente a firmeza dos frutos. Com o aumento do armazenamento, ocorre perda na firmeza (Maharaj et al., 1999), caso esse não observado para esta análise.

Verificando as médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, podemos inferir que ocorreu diferença estatística significativa somente dentro da testemunha e da dose 2,27 kJ m⁻², onde dentro da testemunha o dia inicial propiciou as maiores médias de firmeza diferindo do 14º e 21º dias; no caso da dose 2,27 kJ m⁻², o dia que proporcionou as maiores médias foi o 14º diferindo apenas do 7º dia. Dentro das demais doses de irradiação não foi observada diferença significativa entre as médias.

Tabela 18. Variação média da Firmeza (N) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Firmeza (N)				
	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	Média
testemunha	13,18 Aa	12,70 Aab	10,79 Abc	9,45 Ac	11,53 a
2,27 kJ m ⁻²	10,96 Bab	10,44 Bb	12,50 Aa	10,74 Aab	11,16 ab
4,54 kJ m ⁻²	10,10 Ba	10,85 ABa	11,14 Aa	11,36 Aa	10,86 ab
7,19 kJ m ⁻²	10,59 Ba	9,92 Ba	10,67 Aa	10,54 Aa	10,43 b
Média	11,21 A	10,98 A	11,28 A	10,52 A	

Letras minúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Neste trabalho observou-se que não ocorreu influência das doses de irradiação UV-C nos valores de firmeza, com exceção apenas para a manutenção destes, durante o armazenamento, onde a testemunha mostrou os frutos mais firmes até a metade do experimento, o que não foi observado por Stevens et al. (2004), onde frutos tratados com UV-C mostraram que foram significativamente mais firmes que os não tratados (controle), para o mesmo estágio de maturidade. Resultados foram similares a aqueles apresentados por Liu et al. (1993), onde a firmeza aumentou seguindo o tratamento UV-C. Sendo similares também ao verificado por Maharaj et al. (1999), onde o fruto controle exibiu aumento do amolecimento com o armazenamento quando comparado aos frutos tratados com irradiação UV. Depois de 28 dias de armazenamento, as médias de firmeza do controle; 3,7 e 24,4 kJ m⁻² foram 9,9; 15,6 e 17,1 N respectivamente.

O processo de amadurecimento em tomates envolve mudanças que poderiam influenciar o desenvolvimento de doenças e o aumento a suscetibilidade dos frutos e vegetais durante o amadurecimento: frutos exibindo avançada maturidade, associada com uma redução na firmeza, resulta em alta suscetibilidade a podridões no armazenamento; e aumento da suscetibilidade da parede celular da planta ao ataque das enzimas pécticas do patógeno (Eckert, 1978), fato não observado neste experimento.

pH

Nas Tabelas 19, 20 e 21, referente ao parâmetro pH, observou-se a ocorrência de interação tripla significativa entre os fatores doses x atmosferas x tempo.

Para a Tabela 19, verificou-se interação significativa entre os fatores doses x gases. Verificando-se as médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5% CO₂ e 5%O₂:1% CO₂), observou-se que o tratamento 4,54 kJ m⁻² proporcionou as maiores médias em todas as atmosferas avaliadas significativamente diferentes das demais doses, principalmente da dose 2,27 kJ m⁻² que obteve as menores médias durante o experimento.

Analisando as médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), verificou-se que somente dentro do tratamento 4,54 kJ m⁻² ocorreu diferença significativa entre as atmosferas, onde o 5%O₂:1%CO₂ proporcionou os maiores valores médios de pH em relação as demais, não sendo observada diferença dentro das demais doses estudadas, observando-se interação entre a dose de irradiação UV-C 4,54 kJ m⁻² com as atmosferas. Entre as atmosferas estudadas, não foi observado diferença entre os valores, evidenciando que independente da atmosfera utilizada os valores médios de pH não se alteram. Fato esse discordante do relatado por Lima (2005), onde independente da atmosfera aplicada notou-se tendência de redução dos valores de pH.

Na Tabela 20, pode-se observar interação significativa entre os fatores doses x tempo. As médias das doses de irradiação UV-C, dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), indicam que o 4,54 kJ m⁻² levou às maiores médias em todos os dias de avaliação, diferenciando significativamente dos demais tratamentos, onde o tratamento 2,27 kJ m⁻², levou às menores médias durante todo o período. Observou-se ligeira influencia das doses de irradiação UV-C sobre o pH do tomate.

Tabela 19. Variação média de pH em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	pH			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
testemunha	4,48 Ba	4,48 Ca	4,48 Ca	4,48 c
2,27 kJ m ⁻²	4,36 Ca	4,37 Da	4,34 Da	4,36 d
4,54 kJ m ⁻²	4,62 Ab	4,61 Ab	4,67 Aa	4,63 a
7,19 kJ m ⁻²	4,51 Ba	4,52 Ba	4,53 Ba	4,52 b
Média	4,49 A	4,49 A	4,50 A	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 20. Variação média de pH em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	pH				Média
	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	
testemunha	4,54 Ba	4,46 Bb	4,50 Bab	4,40 Cc	4,48 c
2,27 kJ m ⁻²	4,31 Db	4,37 Ca	4,39 Ca	4,36 Cab	4,36 d
4,54 kJ m ⁻²	4,61 Aa	4,66 Aa	4,63 Aa	4,64 Aa	4,63 a
7,19 kJ m ⁻²	4,47 Cc	4,50 Bbc	4,55 Bab	4,56 Ba	4,52 b
Média	4,48 B	4,50 AB	4,52 A	4,49 B	

Letras minúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 21. Variação média de pH em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	pH			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
0 dia	4,47 Ab	4,51 Aa	4,48 Bab	4,48 b
7 dias	4,49 Aa	4,50 ABa	4,50 ABa	4,50 ab
14 dias	4,50 Aa	4,51 Aa	4,54 Aa	4,52 a
21 dias	4,50 Aa	4,46 Bb	4,50 ABa	4,49 b
Média	4,49 A	4,49 A	4,50 A	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dia de avaliação (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada atmosfera controlada (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando as médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, observou-se que dentro da testemunha o primeiro dia de análise obteve as maiores médias diferenciando estatisticamente dos demais, com exceção apenas para o 14º dia; para a dose $2,27 \text{ kJ m}^{-2}$ o 7º dia proporcionou maiores médias de pH diferenciando somente do dia inicial; no caso do $7,19 \text{ kJ m}^{-2}$ observou-se que aos 21 dias do experimento ocorreu efeito significativo, onde este obteve maiores médias em comparação aos demais dias de análise; e em relação as médias dos dias dentro da dose $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$ não foi observada diferença significativa. Isto é discordante do verificado por Charles et al. (2005), que observaram aumento significativo do pH em tomates 'Trust' tratados com UV, do quarto dia até o final do período de armazenamento.

Na Tabela 21, verifica-se a interação estatística significativa entre os fatores atmosferas x tempo. Observando as médias das atmosferas controladas dentro dos dias de análise, verifica-se que não ocorreu oscilação muito grande dos valores médios desta variável durante o período avaliado, mas ocorrendo diferença significativa em pelo menos dois dias. Dentro do dia inicial o tratamento $5\%O_2:5\%CO_2$ propiciou as maiores médias, diferenciando apenas da atmosfera Ar; e no caso do 21º dia as atmosferas ar e $5\%O_2:1\%CO_2$ mostraram as maiores médias, diferenciando do $5\%O_2:5\%CO_2$.

Para as médias dos dias de avaliação dentro das atmosferas, observou-se diferença estatística somente dentro das atmosferas $5\%O_2:5\%CO_2$ e $5\%O_2:1\%CO_2$, onde aos 14 dias de análise verificou-se os maiores valores. Apesar de ser observado diferença significativa, os valores de pH pouco variaram durante o experimento, sendo mais baixos no início e no final do período de armazenamento. Concordando com o observado por Cia (2002), onde trabalhando com caqui verificou que os níveis de pH mantiveram-se praticamente constantes durante o período de avaliação. Sendo diferente do observado por Perkins-Veazie & Collins (2004), em duas variedades de melancia sob atmosfera modificada, em que o pH aumentou lentamente após 2 dias de armazenamento para a 'Sugar Shack' e após 7 dias de armazenamento para a 'Summer Flavor 800'.

Os valores médios de pH obtidos neste experimento se encontram na faixa de 4,36 a 4,63, estando de acordo com o encontrado por Chaudhry & Farooqi (1970), Esteves (1981), Mowlah & Itoo (1983) e Chyau et al. (1992), onde encontraram que o pH dos frutos variam de 4,0 a 4,6 nos frutos maduros e de 4,5 a 5,2 nos frutos amadurecidos.

Sólidos Solúveis

Nas Tabelas 22 e 23, referentes ao teor de sólidos solúveis, não se observou interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação estatística significativa entre os fatores doses x gases e doses x tempo.

Para a Tabela 22, foi verificada a interação fatorial doses x gases. Analisando as médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que a dose 4,54 kJ m⁻² proporcionou as maiores médias dentro das atmosferas 5%O₂:5%CO₂ e ar, diferenciando significativamente das demais doses, com exceção da atmosfera ar, onde diferiu somente da dose 7,19 kJ m⁻², não sendo observada diferença significativa entre as doses para a atmosfera 5%O₂:1%CO₂. Observando-se as médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), verificou-se que ocorreu diferença significativa entre as atmosferas apenas dentro da dose 4,54 e 7,19 kJ m⁻², onde a atmosfera 5%O₂:5%CO₂ evidenciou as maiores médias de sólidos solúveis diferenciando somente da atmosfera 5%O₂:1%CO₂, enquanto nas demais doses não foi observada essa significância. Por esses motivos, em relação à atmosfera controlada, somente aquela com maior quantidade de CO₂ foi possível observar alguma interação, não sendo, portanto influenciada pelo efeito combinado com a irradiação UV-C.

Com base na Tabela 23, foi verificada interação significativa entre os fatores doses x tempo. Para as médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), observou-se dentro do 7º e 14º dias que a dose 4,54 kJ m⁻² propiciou as maiores médias deste parâmetro diferenciando significativamente da dose 2,27 kJ m⁻² e testemunha, no caso do 7º dia e 14º dias respectivamente; dentro do dia inicial a dose 2,27 kJ m⁻² evidenciou as maiores médias diferindo da testemunha e da dose 7,19 kJ m⁻²; e no caso do ultimo dia analisado a testemunha proporcionou as maiores médias deste parâmetro diferindo somente da maior dose de irradiação UV-C.

Analisando as médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, observou-se que ocorreu diferença estatística significativa dentro das doses 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻², onde o dia inicial evidenciou as maiores médias de sólidos solúveis

Tabela 22. Variação média de Sólidos Solúveis (°Brix) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Sólidos Solúveis (°Brix)			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
testemunha	4,58 ABa	4,58 Ba	4,58 Aa	4,58 b
2,27 kJ m ⁻²	4,76 ABa	4,71 Ba	4,52 Aa	4,66 ab
4,54 kJ m ⁻²	5,00 Aa	5,27 Aa	4,45 Ab	4,90 a
7,19 kJ m ⁻²	4,35 Bab	4,70 Ba	4,21 Ab	4,42 b
Média	4,67 A	4,81 A	4,44 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 23. Variação média de Sólidos Solúveis (°Brix) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Sólidos Solúveis (°Brix)				
	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	Média
testemunha	4,50 Ba	4,83 ABa	4,33 Ba	4,66 Aa	4,58 b
2,27 kJ m ⁻²	5,32 Aa	4,40 Bb	4,62 ABb	4,33 ABb	4,66 ab
4,54 kJ m ⁻²	4,94 ABab	5,08 Aa	5,08 Aa	4,51 ABb	4,90 a
7,19 kJ m ⁻²	4,80 Ba	4,58 ABab	4,23 Bbc	4,06 Bc	4,42 b
Média	4,89 A	4,72 AB	4,56 BC	4,39 C	

Letras minúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

em relação aos demais dias, com exceção apenas para a dose 4,54 kJ m⁻², onde diferiu somente do 21º dia, não sendo observada diferença entre os dias de análise dentro da testemunha.

Após esses resultados, pode-se dizer que a irradiação UV-C provavelmente possui efeito positivo no teor de sólidos solúveis que é constituído por açúcares e ácidos orgânicos, por proporcionar as maiores médias em relação à testemunha. Concordando com o relatado por Artés et al. (1998), onde encontraram altos valores de sólidos solúveis para tomates ‘Daniela’, cultivar longa-vida, e também para a cultivar Durinta. Os valores encontrados neste experimento foram entre 4,39 e 4,90°Brix, sendo ligeiramente superiores aos encontrados por Artés et al. (1999), que verificaram valores entre 3,8 e 4,6°Brix.

Acidez titulável

Verificando a Tabela 24, referente à acidez titulável, não se observou interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x tempo. Para as médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), observou-se que dentro do dia inicial o tratamento 2,27 kJ m⁻² evidenciou as maiores médias de acidez titulável em relação as demais doses estudadas. A partir do 7º dia em diante a testemunha evidenciou as maiores médias desta variável em relação às demais doses.

Com base no observado, o tratamento testemunha proporcionou as maiores médias desta variável ao longo do armazenamento, sendo provavelmente devido à interação entre a irradiação UV-C e a acidez titulável, onde quanto maior a dose aplicada menor a acidez obtida. Fato semelhante ao relatado por Charles et al. (2005), que trabalhando com tomate cultivar ‘Trust’ observou que a acidez titulável dos frutos tratados com UV tenderam a ser menor que o fruto controle, com diferença significativa observada apenas no 7º dia após o tratamento.

Nas médias dos dias de análise, dentro das doses de irradiação UV-C, verificou-se que dentro da testemunha o primeiro dia de análise obteve as menores médias diferenciando estatisticamente dos demais dias, onde o 21º dia obteve as maiores médias; dentro das doses 2,27 e 7,19 kJ m⁻² o dia inicial propiciou maiores médias de acidez titulável diferenciando estatisticamente dos demais dias; e para a dose 4,54 kJ m⁻² não foi observada diferença significativa entre os dias avaliados, evidenciando apenas manutenção da acidez do início até o final do período avaliado.

Neste estudo, somente a testemunha mostrou aumento dos valores de acidez durante o experimento, enquanto que os demais tratamentos evidenciaram queda ou manutenção desta variável ao longo do período de armazenamento, observando interação positiva entre a UV-C e a acidez titulável, concordando com Artés et al. (1999), que observaram redução significativa em acidez titulável sob todas as condições de armazenamento, temperatura, tempo e tratamentos, tão bem quanto às interações, e com o relatado por Jacobi et al. (2000), onde verificou que a acidez de mangas foi gradualmente

Tabela 24. Variação média de Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Acidez Titulável (g ácido cítrico 100g ⁻¹ p.f.)				Média
	testemunha	2,27 kJ m ⁻²	4,54 kJ m ⁻²	7,19 kJ m ⁻²	
0 dia	0,38 Bb	0,48 Aa	0,37 Ab	0,41 Ab	0,41 a
7 dias	0,48 Aa	0,39 Bb	0,38 Ab	0,35 Bb	0,40 a
14 dias	0,46 Aa	0,39 Bb	0,38 Abc	0,34 Bc	0,39 a
21 dias	0,51 Aa	0,38 Bbc	0,39 Ab	0,34 Bc	0,40 a
Média	0,46 A	0,41 B	0,38 C	0,36 C	

Letras minúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

diminuindo com o amadurecimento.

A acidez titulável foi avaliada como indicador adicional do estágio de amadurecimento do fruto para cada tratamento. A diminuição da acidez ocorre devido à utilização do ácido cítrico como substrato respiratório (Kim et al., 2007), fato observado neste experimento.

Os valores médios obtidos neste estudo se encontram na faixa entre 0,36 a 0,46 g ácido cítrico 100g⁻¹ p.f., sendo ligeiramente superiores aos encontrados por Artés et al. (1999), que encontraram valores entre 0,16 a 0,40 g ácido cítrico 100ml⁻¹ p.f. em tomates da cultivar longa-vida Durinta.

Índice de Maturação ‘Ratio’

Com relação ao índice de maturação ‘Ratio’, Tabela 25, não se observou interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x tempo. Nas médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), pode-se observar que o tratamento 4,54 kJ m⁻² evidenciou as maiores médias desta variável em relação às demais doses estudadas dentro de todos os dias analisados, com exceção ao último dia onde a dose

Tabela 25. Variação média do Índice de Maturação ‘Ratio’ em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Índice de Maturação ‘Ratio’				
	testemunha	2,27 kJ m ⁻²	4,54 kJ m ⁻²	7,19 kJ m ⁻²	Média
0 dia	11,75 Ab	11,25 Ab	13,41 Aa	11,96 Aab	12,09 a
7 dias	10,04 Bb	11,27 Ab	13,39 Aa	12,99 Aa	11,92 a
14 dias	9,36 Bc	11,68 Ab	13,36 Aa	12,51 Aab	11,73 ab
21 dias	9,15 Bb	11,38 Aa	11,53 Ba	12,01 Aa	11,02 b
Média	10,08 C	11,39 B	12,92 A	12,37 A	

Letras minúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

7,19 kJ m⁻² mostrou as maiores médias; dentro dos dias início, 7º e 14º o tratamento 4,54 kJ m⁻² diferiu significativamente das doses 2,27 kJ m⁻² e testemunha; e no caso do último dia a dose 7,19 kJ m⁻² diferiu somente da testemunha.

Do 7º dia em diante a testemunha foi a que evidenciou as menores médias desta variável em relação aos demais no decorrer do armazenamento, isso sendo devido provavelmente à interação entre a irradiação UV-C e o índice de maturação ‘Ratio’.

Para as médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, observou-se que dentro da testemunha o primeiro dia de análise obteve as maiores médias diferenciando significativamente dos demais dias, onde o último dia obteve as menores médias; dentro da dose 4,54 kJ m⁻² o 21º dia propiciou menores médias desta variável diferenciando estatisticamente dos demais dias avaliados; e para as doses 2,27 e 7,19 kJ m⁻² não foi verificada diferença estatística significativa entre os dias analisados, evidenciando apenas manutenção do ‘Ratio’ do início até o final do período avaliado. Discordando do observado por Quiroga & Frascina (1997), onde verificaram correlações significativas entre o índice de maturação durante o experimento.

Em relação aos resultados obtidos, verificou-se que somente a testemunha mostrou diminuição dos valores médios para índice de maturação no decorrer do armazenamento, enquanto que os demais tratamentos evidenciaram manutenção desta variável ao longo do período estudado, observando interação positiva entre a UV-C e o índice de maturação ‘Ratio’.

Os valores médios encontrados para esta variável estão entre 10,08 e 12,92, estando abaixo dos encontrados por Artés et al. (1999), onde trabalhando com tomate 'Durinta' evidenciou valores para 'Ratio' na faixa de 11,50 a 23,70. E semelhantes ao encontrado por Loiudice et al. (1995).

Carotenóides totais

Com base na Tabela 26, referente aos carotenóides totais, não se observou interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x gases. Verificando as médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que as doses 4,54 e 7,19 kJ m⁻² evidenciaram as maiores médias deste composto antioxidante para as atmosferas ar e 5%O₂:5%CO₂ diferenciando estatisticamente da testemunha; no caso da última atmosfera estudada somente a maior dose de irradiação, ou seja, a 7,19 kJ m⁻² propiciou as maiores médias diferindo das demais; para todas as atmosferas a testemunha foi a que evidenciou as menores médias para carotenóides. Isso foi também observado para licopeno, pois com a medida de carotenóides totais, obtemos: licopeno, clorofila a e clorofila b.

No caso das clorofilas não foram obtidos valores significativos já que os tomates se encontravam totalmente vermelhos. Fato similar foi encontrado por Yahia et al. (2007), onde tanto a clorofila a e b foram completamente degradados nos frutos armazenados a 20°C. E discordando do observado por Sozzi et al. (1996) que mostraram uma diminuição no conteúdo de clorofila durante o armazenamento de tomates, mas não ocorrendo degradação completa.

Os carotenóides vão desaparecendo numa taxa muito mais baixa que as clorofilas (Young et al., 1990). Esta diferença na taxa da degradação provavelmente reflete a persistência da parte foto-protetora dos carotenóides, a qual dissipa excessiva energia de radiação e protege contra o dano causado por radicais livres (Demmig-Adams, 1990).

Tabela 26. Variação média de Carotenóides Totais ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Carotenóides Totais ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.)			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
testemunha	3,64 Ca	3,64 Ba	3,64 Ca	3,64 c
2,27 kJ m ⁻²	4,85 Ba	4,39 Aa	4,58 Ba	4,61 b
4,54 kJ m ⁻²	5,67 Aa	4,83 Ab	4,55 Bb	5,02 a
7,19 kJ m ⁻²	5,47 Aa	4,76 Ab	5,32 Aa	5,18 a
Média	4,91 A	4,41 B	4,52 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Para as médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), observou-se que ocorreu diferença significativa entre as atmosferas dentro das doses de irradiação 4,54 e 7,19 kJ m⁻², onde o ar proporcionou as maiores médias deste parâmetro diferindo da atmosfera 5%O₂:5%CO₂; com exceção aos tratamentos testemunha e 2,27 kJ m⁻² onde não foi evidenciado diferença significativa. Fato semelhante ocorrido também com licopeno, onde provavelmente se mantém melhor em doses de irradiação UV-C mais elevadas e atmosferas com maior quantidade de oxigênio e menores concentrações de gás carbônico.

Licopeno

Analisando as Tabelas 27 e 28, referente a licopeno, não se observou interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x gases e gases x tempo.

Para a Tabela 27, foi observada a interação fatorial doses x gases. Verificando as médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que as doses 4,54 e 7,19 kJ m⁻² evidenciaram as maiores médias deste composto antioxidante independente da atmosfera estudada, sendo diferentes significativamente dos tratamentos 2,27 kJ m⁻² e testemunha, onde essa foi a que obteve as

Tabela 27. Variação média de Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada à $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.)			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
testemunha	1,97 Ca	1,97 Ca	1,97 Ca	1,97 c
2,27 kJ m ⁻²	2,81 Ba	2,35 Bb	2,60 Bab	2,58 b
4,54 kJ m ⁻²	3,32 Aa	2,76 Ab	2,88 ABb	2,99 a
7,19 kJ m ⁻²	3,22 Aa	2,71 Ab	3,10 Aa	3,01 a
Média	2,83 A	2,45 C	2,64 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 28. Variação média de Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.) em tomates ‘Pitenza’, armazenados sob atmosfera controlada à $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Licopeno ($\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ p.f.)			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
0 dia	3,05 Aa	2,44 Ab	2,70 ABb	2,73 A
7 dias	2,85 ABa	2,60 Aa	2,55 ABa	2,66 AB
14 dias	2,78 ABa	2,35 Ab	2,87 Aa	2,67 AB
21 dias	2,65 Ba	2,40 Aa	2,44 Ba	2,49 B
Média	2,83 A	2,45 C	2,64 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dia de avaliação (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

menores médias. Nesse aspecto percebe-se que as maiores doses de irradiação UV-C proporcionaram maior manutenção do licopeno ao longo do experimento, juntamente com as atmosferas de armazenamento.

Em relação às médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), verificou-se que ocorreu diferença significativa entre as atmosferas dentro de quase todas as doses de irradiação, onde o ar proporcionou as maiores médias de licopeno em relação a atmosfera 5%O₂:5% CO₂; com exceção apenas ao tratamento testemunha onde não foi evidenciado diferença.

Na Tabela 28, verifica-se a interação estatística significativa entre os fatores gases x tempo. Observando as médias das atmosferas controladas dentro dos dias de análise, verifica-se a ocorrência de diferença significativa dentro do dia inicial e do 14º, onde a

atmosfera ar proporcionou as maiores médias diferenciando estatisticamente do 5%O₂:5%CO₂, enquanto que dentro dos demais dias de análise não foi observada efeito significativo das médias obtidas. Para as médias dos dias de análise dentro das atmosferas, observa-se que o dia inicial dentro da atmosfera ar propiciou as maiores médias de licopeno em relação ao último dia de análise, mas não diferindo entre os demais dias; enquanto que dentro da atmosfera 5%O₂:1%CO₂ o 14º dia foi o que promoveu as maiores médias deste composto antioxidante diferindo do 21º dia.

Em relação aos dados obtidos, percebe-se que com o passar do período de armazenamento ocorre a perda do licopeno chegando a valores mais baixos no último dia de análise. Discordando do obtido por Yahia et al. (2007), que observaram que o armazenamento a 20°C aumentou a concentração de licopeno até 0,4 g kg⁻¹, mas concordando com o observado por Malacrida et al. (2006), que relataram a diminuição na acumulação de licopeno que ocorreu durante o amadurecimento normal. Este efeito normalmente é mais notório no conteúdo de licopeno do fruto vermelho pré-resfriado na pós-colheita, em comparação ao conteúdo dos frutos vermelhos que amadurecem na planta. Essa diminuição também ficou evidente em relação à atmosfera de conservação, onde provavelmente o licopeno se mantém melhor em atmosferas com maior quantidade de oxigênio e menores concentrações de gás carbônico.

Em contrapartida Sozzi et al. (1996) relataram aumento no conteúdo de licopeno em tomates, entretanto, o desenvolvimento de licopeno diminuiu com o aumento da temperatura. Cheng et al. (1988) observaram que temperatura de armazenamento de 38°C ou mais inibiu a síntese de licopeno no tomate. Neste trabalho, observou-se que a quantidade de licopeno ficou entre 1,97 a 3,01 mg 100g⁻¹, qual foi menor que aquela relatada por Arias et al. (2000), que obtiveram concentrações acima de 12,2 mg 100g⁻¹.

O licopeno é um importante antioxidante em frutos vermelhos maduros e esta diminuição faz estes frutos mais sensíveis ao estresse oxidativo. Em outras palavras, licopeno é considerado um poderoso agente anticancerígeno (Ansari & Gupta 2004; Tapiero et al. 2004) e, neste aspecto nossos resultados indicam a diminuição desta qualidade nutricional.

Capacidade Antioxidante

Analisando as Tabelas 29 e 30, referente a capacidade antioxidante, observou-se que não houve interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x gases e doses x tempo.

Para a Tabela 29, verificou-se a interação fatorial doses x gases. Nas médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que a testemunha proporcionou as maiores médias deste composto antioxidante dentro de todas as atmosferas avaliadas, diferenciando estatisticamente das demais doses, em contrapartida a dose 7,19 kJ m⁻² obteve as menores médias para este parâmetro, onde observou-se que as doses de irradiação não foram efetivas para a capacidade antioxidante do fruto, com base nos dados obtidos, sendo diferente do verificado por Costa et al. (2006), onde imediatamente após o tratamento com UV-C o brócolis tratado teve maior capacidade antioxidante que o brócolis controle.

Observando as médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), verificou-se que ocorreu diferença significativa entre as atmosferas apenas dentro da dose 2,27 e 7,19 kJ m⁻², onde a atmosfera ar evidenciou as maiores médias de capacidade antioxidante diferenciando somente da atmosfera 5%O₂:1%CO₂, enquanto nas demais não foi observada essa significância.

Em relação ao estudado, pode-se perceber que a atmosfera ar possui efeitos benéficos com relação à capacidade antioxidante do tomate, pois promove as maiores médias e uma melhor manutenção destes valores em relação as doses estudadas. Sendo diferente do observado por Sanchez-Mata et al. (2003) e Tian et al. (2004), que trabalhando com manga relataram que o armazenamento por atmosfera controlada foi mais efetiva na prevenção ou redução do decaimento do fruto, por essa razão, a capacidade antioxidante estável durante o armazenamento foi uma ajuda adicional da atmosfera controlada.

Tabela 29. Variação média de Capacidade Antioxidante (g^{-1}) em tomates ‘Pitenza’, irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Capacidade Antioxidante (g^{-1})			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
testemunha	70,57 Aa	70,57 Aa	70,57 Aa	70,57 a
2,27 kJ m ⁻²	62,88 ABa	56,55 Ba	45,34 Cb	54,92 bc
4,54 kJ m ⁻²	59,65 Ba	60,62 Ba	59,24 Ba	59,84 b
7,19 kJ m ⁻²	59,42 Ba	52,73 Bab	48,10 Cb	53,42 c
Média	63,13 A	60,12 A	55,81 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 30. Variação média de Capacidade Antioxidante (g^{-1}) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Capacidade Antioxidante (g^{-1})				Média
	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	
testemunha	77,13 Aa	76,03 Aa	68,16 Aab	60,96 Ab	70,57 a
2,27 kJ m ⁻²	53,92 Ba	56,40 Ba	58,25 ABa	51,12 Aa	54,92 bc
4,54 kJ m ⁻²	58,16 Ba	60,70 Ba	63,35 Aa	57,14 Aa	59,84 b
7,19 kJ m ⁻²	54,25 Ba	55,77 Ba	48,08 Ba	55,56 Aa	53,42 c
Média	60,86 AB	62,22 A	59,46 AB	56,20 B	

Letras minúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 30, verifica-se a interação estatística significativa entre os fatores doses x tempo. Para as médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), observou-se que a testemunha obteve as maiores médias em quase todos os dias de análise, diferenciando significativamente dos tratamentos 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻², com exceção para o 14º dia, onde foi observada diferença somente para com o maior valor de irradiação e exceção também para o 21º dia, pois não foi observado efeito significativo entre as médias, discordando do observado por Douillet-Breuil et al. (1999) e Adrian et al. (2000), onde descreveram aumento nos níveis antioxidantes em resposta a exposição pela UV.

Analisando as médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, observou-se que ocorreu diferença estatística significativa somente dentro da testemunha, onde o dia inicial propiciou os maiores valores deste composto antioxidante em

relação ao 21º dia, não diferindo dos demais dias. Isso ocorreu devido ao processo de amadurecimento, onde ocorre queda da capacidade antioxidante do fruto ao longo do período de conservação, sendo essa queda mais brusca na testemunha por não ter o efeito da irradiação UV-C, onde este atua na manutenção por mais tempo desta capacidade. Fato observado por Lana & Tijskens (2005), onde observaram que a atividade antioxidante do tomate foi afetada pelo estadio de amadurecimento do fruto e tempo de armazenamento. Estas observações concordam com o relatado por Kim et al. (2007), onde trabalhando com manga observaram que o fruto exibiu apreciável e consistente diminuição na capacidade antioxidante durante o amadurecimento.

Os valores da capacidade antioxidante para este experimento foram entre 53,42 a 70,57 g⁻¹, sendo semelhantes ao encontrado por Chanjirakul et al. (2006), onde observou que os valores da capacidade antioxidante para framboesa ficaram na faixa de 53,52 a 83,13 após 7 dias de armazenamento e de 50,32 para 81,71 após 14 dias de armazenamento.

Polifenóis

Analisando as Tabelas 31, 32 e 33, referente aos polifenóis, pode-se observar que houve interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo.

Na Tabela 31, podemos verificar a interação significativa entre os fatores doses x gases. Analisando as médias das doses de irradiação UV-C dentro das três atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que a testemunha proporcionou as maiores médias deste composto antioxidante. Dentro da atmosfera ar a testemunha diferenciou significativamente somente do tratamento 4,54 kJ m⁻² e no caso das atmosferas controladas 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂, a testemunha diferenciou dos tratamentos 2,27 e 7,19 kJ m⁻², mas não diferenciando significativamente do tratamento 4,54 kJ m⁻².

Verificando as médias das atmosferas controladas dentro das quatro doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), verificou-se que dentro da testemunha não foi observada diferença estatística significativa entre as atmosferas; para as doses 2,27 e 7,19 kJ m⁻² a atmosfera ar proporcionou maiores médias de polifenóis, diferindo

Tabela 31. Variação média de Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.)			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
testemunha	103,45 Aa	103,45 Aa	103,45 Aa	103,45 a
2,27 kJ m ⁻²	95,79 Aa	53,64 Cb	52,97 Bb	67,47 c
4,54 kJ m ⁻²	58,64 Bb	97,96 Aa	94,99 Aa	83,86 b
7,19 kJ m ⁻²	99,79 Aa	81,36 Bb	53,49 Bc	78,21 b
Média	89,42 A	84,10 B	76,22 C	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 32. Variação média de Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.)				
	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	Média
testemunha	106,84 Aa	106,71 Aa	99,50 Aa	100,73 Aa	103,45 a
2,27 kJ m ⁻²	65,12 Ca	64,33 Ca	74,04 Ba	66,38 Ca	67,47 c
4,54 kJ m ⁻²	84,42 Ba	80,95 Ba	88,94 Aa	81,15 Ba	83,86 b
7,19 kJ m ⁻²	85,81 Ba	84,99 Ba	69,75 Bb	72,29 BCb	78,21 b
Média	85,55 A	84,24 A	83,06 A	80,14 A	

Letras minúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 33. Variação média de Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenga’, armazenados sob atmosfera controlada à 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Polifenóis (mg eq ácido clorogênico 100g ⁻¹ p.f.)			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
0 dia	88,73 Aa	91,32 Aa	76,60 Ab	85,55 a
7 dias	88,99 Aa	88,54 ABa	75,20 Ab	84,24 a
14 dias	94,30 Aa	77,17 Cb	77,70 Ab	83,06 a
21 dias	85,65 Aa	79,37 BCab	75,39 Ab	80,14 a
Média	89,42 A	84,10 B	76,22 C	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dia de avaliação (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de dias de análise para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

dos demais tratamentos e no caso da dose $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$ a atmosfera $5\% \text{O}_2:5\% \text{CO}_2$ diferenciou estatisticamente do tratamento ar, mas não diferenciando do $5\% \text{O}_2:1\% \text{CO}_2$.

Diferenças não significativas foram encontradas nos níveis de fenóis totais do morango em relação à atmosfera de armazenamento (Pelayo et al., 2003). Discordando também do observado por Gil et al. (1997), Pérez & Sanz (2001) e Zheng et al. (2007), onde relataram que os compostos fenólicos, foram menores em morangos tratados com super atmosfera O_2 e atmosfera controlada contendo CO_2 enriquecido quando comparada com frutos armazenados em Ar. Este fenômeno tem sido explicado como uma demora do processo de amadurecimento do fruto causado pela alta concentração de O_2 ou CO_2 (Kader, 1995; Wszelaki & Mitcham, 2000).

Na Tabela 32, observa-se a interação estatística significativa entre os fatores doses x tempo. Para as médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), pode-se verificar que a testemunha obteve as maiores médias em todos os dias de avaliação, diferenciando significativamente dos demais tratamentos, com exceção apenas aos 14 dias de análise onde a testemunha não diferenciou estatisticamente do tratamento $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$.

Analisando as médias dos dias de análise dentro das quatro doses de irradiação UV-C, observou-se diferença estatística somente dentro da maior dose ($7,19 \text{ kJ m}^{-2}$), onde o primeiro dia de avaliação proporcionou maiores médias deste composto antioxidante diferenciando dos demais, com exceção apenas para o 7º dia. Em relação ao observado, verificou-se que o tratamento testemunha proporcionou as maiores médias de polifenóis em relação as doses estudadas, observando interação significativa com as atmosferas, onde provavelmente a irradiação não proporcionou efeito significativo para polifenóis. Discordando de Costa et al. (2006), onde os fenóis totais aumentaram após o tratamento com UV-C a 20°C , tanto no brócolis tratado quanto no controle, entretanto, o incremento foi maior no caso do brócolis não tratado. Mas concordando com o relatado por Allende et al. (2007), onde observou que o tratamento com luz UV-C não teve efeito durável na síntese de compostos fenólicos de morango, sendo este parâmetro reduzido após o tratamento com UV-C.

Com base na Tabela 33, verifica-se a interação significativa entre os fatores gases x tempo. Analisando as médias das atmosferas controladas dentro dos dias de análise, observa-se que o ar proporcionou as maiores médias de polifenóis em todos os dias de análise, diferenciando apenas da atmosfera 5%O₂:1%CO₂, a qual obteve menores médias, com exceção apenas ao 14º dia, onde a atmosfera ar diferenciou significativamente também da atmosfera 5%O₂:5%CO₂.

Para as médias dos dias de avaliação dentro das atmosferas, verifica-se diferença significativa somente dentro da atmosfera 5%O₂:5%CO₂, onde o primeiro dia obteve as maiores médias diferenciando dos demais, com exceção apenas ao 7º dia, pois não proporcionou diferença significativa. Dentro das demais atmosferas não foram observadas nenhum efeito significativo da interação. Ocorrendo uma ligeira queda nos valores de polifenóis durante o período de armazenamento, mesmo não sendo observada diferença estatística significativa.

Muitos estudos têm mostrado que os compostos polifenólicos geralmente diminuem em frutos climatéricos, como tomates, bananas, mangas e goiabas durante o amadurecimento (Haard & Chism, 1996; Lakshminarayana et al., 1970; Mitra & Baldwin, 1997; Selvaraj & Kumar, 1989). Da mesma maneira, mudanças significativas foram observadas por Kim et al. (2007), onde trabalhando com manga em três atmosferas controladas, observou que o fruto exibiu apreciável e consistente diminuição em polifenóis totais durante o amadurecimento, fato esse também observado neste experimento.

Ácido ascórbico total

Ácido ascórbico total (vitamina C) (Tabela 34), incluindo ácido ascórbico e ácido dehidroascórbico, é um dos mais importantes fatores de qualidade nutricional em muitas culturas hortícolas e possui muitas atividades biológicas principais no corpo humano (Lee & Kader, 2000). O ácido ascórbico é a principal forma ativa enquanto o ácido dehidroascórbico é um produto de oxidação que também exibe atividade biológica.

Tabela 34. Variação média de Ácido Ascórbico Total (μg ácido ascórbico g^{-1} p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Ácido Ascórbico Total (μg ácido ascórbico g^{-1} p.f.)			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
testemunha	426,20 Aa	426,20 Aa	426,20 Aa	426,20 A
2,27 kJ m ⁻²	430,88 Aa	412,37 ABb	395,93 Bc	413,06 B
4,54 kJ m ⁻²	423,65 Aab	409,84 Bb	428,43 Aa	420,64 AB
7,19 kJ m ⁻²	422,01 Aa	426,17 Aa	418,56 Aa	422,25 AB
Média	425,68 A	418,64 AB	417,28 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);

Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O ácido dehidroascórbico pode se converter para ácido ascórbico no corpo humano, por isso sendo importante determinar ambas as concentrações (Wills et al., 1984). A vitamina C é capaz de eliminar os radicais livres e evitar o estresse oxidativo (Klopotek et al., 2005), por esse motivo sendo importante a sua determinação nos frutos de tomate.

Para a Tabela 34, referente ao parâmetro ácido ascórbico total, não se observou interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x gases.

Analisando as médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), verificou-se que dentro da atmosfera 5%O₂:5%CO₂ a dose 4,54 kJ m⁻² proporcionou as menores médias deste parâmetro, em contrapartida as maiores foram obtidas pela testemunha e pela dose 7,19 kJ m⁻²; dentro da atmosfera 5%O₂:1%CO₂ a dose 2,27 kJ m⁻² evidenciou as menores médias para ácido ascórbico total diferenciando das demais doses; e no caso do ar não foi encontrada diferença significativa entre as doses avaliadas, discordando do observado por Allende et al. (2007), que observou reduções do conteúdo de vitamina C em amostras tratadas com UV-C em ar e em atmosfera modificada ativa no final do armazenamento, tão bem quanto em morangos não tratados armazenados em atmosfera modificada ativa.

Na avaliação doses de irradiação UV-C dentro dos gases não possível visualizar qual atmosfera obteve os melhores resultados. Os valores médios obtidos neste

estudo, para ácido ascórbico total, variaram pouco, evidenciando boa manutenção da vitamina C do início ao final do experimento, obtendo valores entre 413,06 a 426,20 μg ácido ascórbico g^{-1} p.f. Concordando com o relatado por Allende et al. (2007), onde verificou que o conteúdo de vitamina C foi mantido durante o armazenamento em amostras tratadas e não tratadas.

Nas médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m^{-2}), observou-se que dentro da dose 2,27 kJ m^{-2} a atmosfera Ar promoveu as maiores médias de ácido ascórbico total diferenciando das demais; no caso da dose 4,54 kJ m^{-2} a atmosfera 5%O₂:1%CO₂ proporcionou as maiores médias diferindo somente da 5%O₂:5%CO₂ e para as demais doses não foi observado diferença estatística entre as atmosferas. Nesse caso ocorreu o contrário ao observado para ácido ascórbico, pois não foi possível perceber o efeito combinado das doses de irradiação UV-C na atmosfera controlada.

Sendo observadas apenas ligeiras oscilações durante o experimento, mas não evidenciando acréscimo ou decréscimo deste parâmetro no decorrer do período de avaliação, diferente do observado por Muratore et al. (2005), onde verificou que o conteúdo de vitamina C inicialmente mostrou leve aumento durante o período de armazenamento, este comportamento detectado foi de acordo com os resultados encontrados por Raffo et al. (2002), que estudou a evolução de muitos grupos químicos durante a maturação de produtos similares.

Ácido ascórbico

De acordo com a Tabela 35, referente ao ácido ascórbico, observou-se que não houve interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x gases.

Para as médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que dentro da atmosfera Ar a dose 2,27 kJ m^{-2} proporcionou as maiores médias deste parâmetro diferenciando estatisticamente das demais doses; no caso das demais atmosferas a testemunha foi a que evidenciou as maiores médias de ácido ascórbico diferenciando da dose 4,54 kJ m^{-2} .

Tabela 35. Variação média de Ácido Ascórbico ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a $12\pm 1^\circ\text{C}$ e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Ácido Ascórbico ($\mu\text{g g}^{-1}$ p.f.)			Média
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	
testemunha	174,90 Ba	174,90 Aa	174,90 Aa	174,90 A
2,27 kJ m ⁻²	216,93 Aa	159,79 ABb	142,01 Bb	172,91 A
4,54 kJ m ⁻²	167,00 Ba	136,07 Bb	135,98 Bb	146,35 B
7,19 kJ m ⁻²	183,59 Ba	161,82 ABab	148,71 ABb	164,71 A
Média	185,60 A	158,15 B	150,40 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Observando as médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), verificou-se que ocorreu diferença significativa entre as atmosferas dentro da dose 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻², onde a atmosfera ar propiciou as maiores médias de ácido ascórbico diferenciando das demais atmosferas, enquanto que dentro da testemunha não foi observada essa significância.

Com base nesses resultados, observou-se o efeito combinado das doses de irradiação UV-C na atmosfera controlada, onde essas auxiliaram na obtenção das maiores médias de ácido ascórbico pelo ar em relação as demais atmosferas. Dados similares aos relatados por Yahia et al. (2007), onde trabalhando com tomates ‘Rhapsody’, observou que os frutos armazenados em Ar a 20°C proporcionou os maiores níveis de ácido ascórbico.

O conteúdo de ácido ascórbico obtido neste experimento esta na faixa entre 146,35 e 185,60 $\mu\text{g g}^{-1}$. Sendo similar com o relatado por Abushita et al. (2000) e Arias et al. (2000), mas menor que o encontrado por Zapata & Dufour (1992) e Yahia et al. (2007).

Peroxidase

Com base nas Tabelas 36 e 37, referente a atividade da peroxidase, observou-se que não houve interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x gases e doses x tempo.

Tabela 36. Variação média da Atividade da Peroxidase (nkat g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Atividade da Peroxidase (nkat g ⁻¹ p.f.)			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
testemunha	460,75 Aa	460,75 ABa	460,75 Aa	460,75 a
2,27 kJ m ⁻²	529,68 Aa	382,69 BCb	508,91 Aa	473,76 a
4,54 kJ m ⁻²	427,70 ABa	515,35 Aa	426,06 Aa	456,37 a
7,19 kJ m ⁻²	338,47 Ba	340,34 Ca	398,66 Aa	359,16 b
Média	439,15 A	424,78 A	448,59 A	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 37. Variação média da Atividade da Peroxidase (nkat g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenga’ irradiados com UV-C, e armazenados a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Atividade da Peroxidase (nkat g ⁻¹ p.f.)				
	0 dia	7 dias	14 dias	21 dias	Média
testemunha	431,99 Ba	450,04 Aa	433,19 ABa	527,78 Aa	460,75 a
2,27 kJ m ⁻²	620,73 Aa	365,88 Ab	525,30 Aa	383,13 BCb	473,76 a
4,54 kJ m ⁻²	516,65 ABa	432,07 Aa	437,70 ABa	439,06 ABa	456,37 a
7,19 kJ m ⁻²	442,57 Ba	362,25 Aab	348,57 Bab	283,23 Cb	359,16 b
Média	502,98 A	402,56 B	436,19 B	408,30 B	

Letras minúsculas comparam médias de dias de análise para cada dose de irradiação UV-C (linha);
Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada dia de análise (coluna);
Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Na Tabela 36, foi verificada a interação fatorial doses x gases. Nas médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que dentro da atmosfera ar o tratamento 2,27 kJ m⁻² propiciou as maiores médias de peroxidase diferenciando significativamente do tratamento 7,19 kJ m⁻², mas não sendo observada diferença para com os demais; no caso do 5%O₂:5%CO₂ o tratamento 4,54 kJ m⁻² obteve as maiores médias deste parâmetro, diferenciando somente das doses 2,27 e 7,19 kJ m⁻² e dentro da atmosfera 5%O₂:1%CO₂ não foi observada diferença significativa entre as doses estudadas. Analisando as médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), observou-se que ocorreu diferença significativa entre as atmosferas somente dentro da dose 2,27 kJ m⁻², onde a

atmosfera ar evidenciou maiores médias desta enzima, sendo diferente estatisticamente da 5%O₂:5%CO₂; enquanto que dentro das demais doses não foi observado diferença significativa entre as atmosferas.

Peroxidasas são enzimas onipresentes que tem diversas funções bioquímicas nas plantas e são envolvidas nas respostas das plantas ao estresse, sendo também importantes em alguns tecidos animais e em microrganismos. Os ensaios da atividade da peroxidase envolvem o uso de vários doadores de hidrogênio, como: guaiacol, pirogalol, mesidina, citocromo C, ácido úrico e dihidroxifenil-alanina, entre outros. Os ensaios mais freqüentes usam o guaiacol (Whitaker, 1994), sendo o mesmo usado para neste trabalho.

Em relação à Tabela 37, pode-se observar interação estatística significativa entre os fatores doses x tempo. Para as médias das doses de irradiação UV-C dentro dos dias de análise (0, 7, 14 e 21 dias), verifica-se que o 2,27 kJ m⁻² obteve as maiores médias deste parâmetro no dia inicial e no 14º, diferenciando significativamente do tratamento 7,19 kJ m⁻², onde essa dose proporcionou as menores médias durante todo o experimento, com exceção apenas ao dia inicial; em contrapartida dentro do 21º dia a testemunha foi a que apresentou as maiores médias diferenciando dos tratamentos 2,27 e 7,19 kJ m⁻².

Verificando as médias dos dias de análise dentro das doses de irradiação UV-C, observou-se que ocorreu diferença estatística significativa somente dentro das doses 2,27 e 7,19 kJ m⁻², onde o dia inicial propiciou os maiores valores da atividade da peroxidase em relação ao último dia avaliado.

Isto é devido provavelmente ao processo de amadurecimento, onde ocorre redução desta enzima ao longo da vida útil do tomate. Fato observado por Yahia et al. (2007), onde verificou que a atividade da peroxidase diminuiu nos frutos de tomate ao longo das 4 semanas de armazenamento, ocorrendo também efeito significativo desta atividade no tempo de armazenamento, temperatura de armazenamento, tratamento e nas interações, sendo similar também ao encontrado por Mondal et al. (2004), que observaram que a atividade da peroxidase apresentou apenas diminuição durante o amadurecimento sendo completamente maior nos tomates longa-vida que nos de vida útil curta. Estes resultados correlacionam bem com o progressivo aumento no estresse oxidativo durante o desenvolvimento do fruto.

Catalase

Com relação a catalase, Tabela 38, pode-se observar que não houve interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x gases. Analisando as médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que a dose 7,19 kJ m⁻² proporcionou as maiores médias desta enzima antioxidante dentro de todas as atmosferas, diferindo significativamente da testemunha, com exceção apenas para a atmosfera ar pois não foi observada diferença estatística entre as doses.

Sendo observado que quanto maior a dose de irradiação UV-C maior o valor da catalase obtido, isso dentro das atmosferas com 5%O₂, devido provavelmente ao efeito combinado entre esses dois métodos. Discordando do observado por Zacchini & Agazio (2004), onde verificaram que a atividade da catalase não foi afetada pela irradiação UV-C nos calos de tabaco. A não indução da catalase foi também encontrada por Ait Barka (2001) depois de um tratamento com UV-C em tomate. Dados parecidos com o observado por Mazza et al. (2001), onde encontraram aumento da atividade da catalase seguido da exposição a irradiação solar UV-B em cevada.

A catalase tem sido associada com a resistência ao frio em plantas e frutos (Kerdnaimongkol & Woodson 1999; Lafuente et al. 2004, Sala & Lafuente 1999), por esses motivos com o aumento das doses utilizadas estaríamos também aumentando essa resistência. Para as médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), verificou-se que ocorreu diferença significativa entre as atmosferas apenas dentro da dose 7,19 kJ m⁻², onde as atmosferas 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂ propiciaram as maiores médias de catalase diferenciando da atmosfera ar, enquanto que dentro das demais doses não foi evidenciada diferença significativa.

Os valores médios obtidos neste experimento para a catalase se encontram entre 168,56 a 211,94 nkat g⁻¹ pf, onde não foi observada diminuição da atividade da catalase com o decorrer do experimento.

Tabela 38. Variação média da Atividade da Catalase (nkat g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Atividade da Catalase (nkat g ⁻¹ p.f.)			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
testemunha	168,56 Aa	168,56 Ba	168,56 Ba	168,56 b
2,27 kJ m ⁻²	188,47 Aa	169,22 Ba	193,76 ABa	183,82 ab
4,54 kJ m ⁻²	196,73 Aa	186,54 Ba	207,88 Aba	197,05 ab
7,19 kJ m ⁻²	164,65 Ab	249,23 Aa	221,94 Aa	211,94 a
Média	179,60 A	193,39 A	198,03 A	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A atividade catalítica da catalase é independente do pH na faixa de 3 a 9. Acima do pH 9 e abaixo do pH 3 ocorre uma diminuição na atividade da enzima. Em pHs alcalinos a enzima dissocia dentro de subunidades, enquanto em valores de pH ácido o grupo protoamina dissocia para proteínas (Whitaker, 1994). Como neste trabalho o pH dos tomates se encontravam na faixa de 4,36 a 4,63, provavelmente explica a não influência do pH na atividade da catalase durante o armazenamento, sendo influenciado somente pelas doses de irradiação UV-C. Estes resultados discordam do observado por Malacrida et al. (2006), onde trabalhando com tomates ‘Micro-tom’ observaram que a atividade da catalase diminuiu levemente no estágio amarelo e durante todo o amadurecimento comercial, e de Yahia et al. (2007), onde verificaram que a atividade da catalase no armazenamento diminuiu com o aumento da temperatura até 20°C, e relatando também que a temperatura de armazenamento, tratamento e todas as interações têm efeito significativo na atividade da catalase.

Lipoxigenase

Verificando a Tabela 39, referente a atividade da lipoxigenase, não se observou interação tripla significativa entre os fatores doses x gases x tempo. Somente ocorrendo interação significativa entre os fatores doses x gases.

Tabela 39. Variação média da Atividade da Lipoxigenase (nkat g⁻¹ p.f.) em tomates ‘Pitzenza’ irradiados com UV-C, e armazenados sob atmosfera controlada a 12±1°C e 90-95% UR, por 21 dias.

Tratamentos	Atividade da Lipoxigenase (nkat g ⁻¹ p.f.)			
	Ar	5% O ₂ :5% CO ₂	5% O ₂ :1% CO ₂	Média
testemunha	538,15 Ba	538,15 Ba	538,15 Aa	538,15 B
2,27 kJ m ⁻²	420,55 Ba	363,95 Ca	362,16 Ba	382,22 C
4,54 kJ m ⁻²	764,37 Ab	916,46 Aa	408,97 ABc	696,60 A
7,19 kJ m ⁻²	394,60 Ba	399,77 BCa	335,47 Ba	376,61 C
Média	529,42 A	554,58 A	411,19 B	

Letras minúsculas comparam médias de atmosferas controladas para cada dose de irradiação UV-C (linha);
 Letras maiúsculas comparam médias de doses de irradiação UV-C para cada atmosfera controlada (coluna);
 Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Analisando as médias das doses de irradiação UV-C dentro das atmosferas (ar, 5%O₂:5%CO₂ e 5%O₂:1%CO₂), observou-se que a dose 4,54 kJ m⁻² proporcionou as maiores médias da atividade da lipoxigenase dentro das atmosferas ar e 5%O₂:5%CO₂, diferenciando significativamente das demais doses; no caso da atmosfera 5%O₂:1%CO₂ a testemunha foi a que apresentou as maiores médias diferenciando somente das doses 2,27 e 7,19 kJ m⁻² mas não diferenciando da dose 4,54 kJ m⁻².

Observando as médias das atmosferas controladas dentro das doses de irradiação UV-C (testemunha; 2,27; 4,54 e 7,19 kJ m⁻²), verificou-se que ocorreu diferença significativa entre as atmosferas somente dentro da dose 4,54 kJ m⁻², onde a atmosfera 5%O₂:5%CO₂ propiciou as maiores médias desta enzima prooxidante diferenciando das atmosferas Ar e 5%O₂:1%CO₂, enquanto que dentro das demais doses não foi observada diferença significativa.

Existem no mínimo três efeitos da ação da lipoxigenase em alimentos: destruição dos ácidos gordurosos, linoleico, linolenico e ácido araquidônico; os radicais livres produzidos danificam outros compostos, incluindo vitaminas e proteínas; e desenvolvem sabores e odores desagradáveis (Whitaker, 1994), sendo esse último efeito verificado neste experimento.

As médias obtidas desta variável foram maiores para a dose 4,54 kJ m⁻² em todas as atmosferas utilizadas, com exceção da atmosfera 5%O₂:1%CO₂, onde provavelmente foi a dose que pior se adequou as combinações dos gases estudados, não sendo

observado aumento ou diminuição dos valores de lipoxigenase no decorrer do experimento, somente ocorrendo oscilações dos valores durante este período. Discordando do relatado por Mondal et al. (2004), onde observaram que a atividade da lipoxigenase aumenta em tomates durante o amadurecimento, sendo de 18 e 35 unidades para 80 e 130 unidades em variedades longa-vida (14 – 15 dias) e variedades de vida curta (7 – 8 dias) passando da coloração verde para o estágio vermelho maduro, respectivamente.

Os valores médios se encontram entre 376,61 e 696,60 nkat g⁻¹. Estes valores estão concordando com o relatado pela literatura do tomate (Cabibel & Nicolas, 1992; Gould, 1992; Shook et al., 2001).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No primeiro experimento, referente à irradiação gama em tomates 'Débora plus', observou-se que o tratamento testemunha apresentou as maiores médias para açúcar total em relação às demais doses; os tomates da dose 0,6 kGy evidenciaram as maiores perdas de massa durante o período avaliado; os tomates do tratamento 0,9 kGy proporcionaram as menores perdas de massa durante todo o experimento, mas em contrapartida evidenciou menor período de conservação e porcentagem de açúcar total do tomate 'Débora plus' em comparação aos demais; no caso da dose 1,2 kGy foi evidenciado a maior conservação pós-colheita do tomate; e para o tratamento 0,3 kGy não foi verificado efeito positivo ou negativo com nenhuma variável estudada.

Em relação ao efeito dos dias de análise sobre as variáveis analisadas para o tomate 'Débora plus', verificou-se que para a porcentagem de açúcar total ocorreu queda do início ao final do experimento; para a porcentagem de perda de massa observou-se aumento dessa perda no decorrer dos dias avaliados; no caso da firmeza dos tomates evidenciou-se perda desta característica ao longo do período estudado; para a variável pH observou-se aumento deste do início ao final do experimento; para sólidos solúveis as maiores médias encontradas foram no 5º dia; em relação à acidez titulável o 30º dia evidenciou as

menores médias; e para o índice de maturação 'Ratio' as maiores médias foram verificadas no último dia de avaliação.

Para as demais variáveis analisadas no primeiro experimento, como: vitamina C e análise sensorial (aroma e aparência), não foram observadas diferenças significativas para os fatores doses de irradiação gama e dias de análise, e nem interação entre eles.

No segundo experimento, referente à irradiação UV-C em tomates 'Pitenza', verificou-se que o tratamento testemunha apresentou as maiores médias para acidez titulável, polifenóis e capacidade antioxidante em relação aos demais tratamentos e os menores valores para carotenóides totais, licopeno e índice de maturação 'Ratio'; os tomates da dose 2,27 kJ m⁻² evidenciaram as menores médias para pH durante o experimento e os maiores valores para atividade da peroxidase e ácido ascórbico; o tratamento 4,54 kJ m⁻² para os tomates 'Pitenza' evidenciou as maiores médias de pH, carotenóides totais, sólidos solúveis, índice de maturação 'Ratio', atividade da lipoxigenase e licopeno durante o período avaliado, mas em contrapartida proporcionou as menores médias para polifenóis, capacidade antioxidante, ácido ascórbico e um dos menores teores de acidez titulável; e os tomates da dose 7,19 kJ m⁻² apresentaram as menores médias para acidez titulável, sólidos solúveis, atividade da peroxidase e atividade da lipoxigenase.

Em relação ao efeito dos dias de análise sobre as variáveis analisadas para o tomate 'Pitenza' do segundo experimento, observou-se que para os carotenóides totais ocorreu perda deste no decorrer dos dias avaliados; no caso da atividade da peroxidase verificou-se que o dia inicial apresentou as maiores médias em relação aos demais dias; para a licopeno do tomate ocorreu queda deste do início até o final do experimento; e em relação ao ácido ascórbico o 7º dia evidenciou as maiores médias desta variável em comparação aos demais dias.

Para as demais variáveis analisadas no segundo experimento, como: firmeza, ácido ascórbico total e atividade da catalase, não foram observadas diferenças significativas para os fatores doses de irradiação UV-C e dias de análise, e nem interação entre eles.

No terceiro experimento, referente ao armazenamento em atmosfera controlada dos tomates 'Pitenza', observou-se que o tratamento ar evidenciou as maiores

médias para carotenóides totais, licopeno e ácido ascórbico em relação as demais atmosferas; os tomates do tratamento 5%O₂:5%CO₂ apresentaram as maiores médias para polifenóis e atividade da lipoxigenase durante o experimento e os menores valores para carotenóides totais e licopeno; e a atmosfera 5%O₂:1%CO₂ mostrou as menores médias para polifenóis, atividade da lipoxigenase e ácido ascórbico.

Com base no efeito dos dias de análise sobre as variáveis analisadas para o tomate 'Pitenga' do terceiro experimento, verificou-se que para pH e atividade da lipoxigenase o 14º dia evidenciou as maiores médias; no caso dos polifenóis observou-se que o dia inicial apresentou as maiores médias em relação aos demais dias; para a firmeza do tomate o dia inicial apresentou as maiores médias ocorrendo queda deste ao longo do período avaliado; em relação à acidez titulável o 14º dia evidenciou as menores médias desta variável em comparação aos demais dias; para a atividade da peroxidase o 7º dia mostrou as maiores médias desta variável em comparação aos demais dias avaliados; no caso dos carotenóides totais e licopeno foi verificado aumento destes do início até o final do experimento; e para a capacidade antioxidante o dia inicial proporcionou os maiores valores desta variável em relação aos demais dias.

Para as demais variáveis analisadas no terceiro experimento, como: sólidos solúveis, índice de maturação e ácido ascórbico total, não foram observadas diferenças significativas para os fatores atmosferas controladas e dias de análise, e nem interação entre eles.

No quarto experimento, referente à irradiação UV-C em tomates 'Pitenga', observou-se que o tratamento testemunha mostrou as maiores médias para firmeza, acidez titulável, capacidade antioxidante, polifenóis, ácido ascórbico total e ácido ascórbico em relação às demais doses e os menores valores para índice de maturação 'Ratio', carotenóides totais, licopeno e atividade da catalase; os tomates da dose 2,27 kJ m⁻² apresentaram as maiores médias para atividade da peroxidase durante o experimento e os menores valores para pH, polifenóis e ácido ascórbico total; os tomates do tratamento 4,54 kJ m⁻² evidenciaram as maiores médias de pH, sólidos solúveis, índice de maturação 'Ratio' e atividade da lipoxigenase durante o período avaliado, mas em contrapartida proporcionaram as menores médias para ácido ascórbico; enquanto que os tomates da dose 7,19 kJ m⁻² apresentaram as menores médias para firmeza, acidez titulável, capacidade antioxidante,

atividade da peroxidase e atividade da lipoxigenase no decorrer do experimento e os maiores valores para carotenóides totais, licopeno e atividade da catalase.

Em relação ao armazenamento em atmosfera controlada dos tomates 'Pitenga' do quarto experimento, verificou-se que a atmosfera ar evidenciou as maiores médias para carotenóides totais, licopeno, capacidade antioxidante, polifenóis, ácido ascórbico total e ácido ascórbico em relação aos demais tratamentos; os tomates do tratamento 5%O₂:5%CO₂ mostraram as maiores médias para sólidos solúveis e atividade da lipoxigenase durante o experimento e as menores médias para carotenóides totais e licopeno; e a atmosfera 5%O₂:1%CO₂ apresentou as menores médias para sólidos solúveis, capacidade antioxidante, polifenóis, ácido ascórbico total, ácido ascórbico e atividade da lipoxigenase.

Com base nos dias de análise sobre as variáveis avaliadas para o quarto experimento, observou-se que para pH o 14º dia propiciou as maiores médias desta variável; no caso dos sólidos solúveis, índice de maturação 'Ratio' e licopeno observou-se que o dia inicial apresentou as maiores médias em relação aos demais dias, ocorrendo queda destes valores do início até o final do experimento; em relação à capacidade antioxidante o 7º dia evidenciou as maiores médias desta variável em comparação aos demais dias; para a atividade da peroxidase o dia inicial mostrou as maiores médias desta variável.

6. CONCLUSÕES

Nas condições em que os experimentos foram realizados, os resultados permitem concluir que:

- Na radiação gama com ^{60}Co a dose de 1,2 kGy foi a mais indicada, proporcionando maior conservação pós-colheita do tomate 'Débora plus';
- Na radiação UV-C a dose de $4,54 \text{ kJ m}^{-2}$ foi a mais indicada na manutenção da qualidade do tomate 'Pitenga';
- Não ocorreu efeito direto nas modificações das concentrações de O_2 e CO_2 sobre a qualidade e conservação do tomate 'Pitenga';
- Não ocorreu efeito direto na combinação das doses de radiação UV-C com o armazenamento em atmosfera controlada na manutenção da qualidade do tomate 'Pitenga'.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSHIRE, R.L.; DUNTON, H. Resistance of selected strains of *Pseudomonas aeruginosa* to low-intensity ultraviolet radiation. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.41, p.1419-1423, 1981.

ABUSHITA, A.A.; DAOOD, H.G.; BIACS, P.A. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. **J. Agric. Food. Chem.**, v.48, p.2075-2081, 2000.

ADRIAN, M. et al. Stilbene content of mature *Vitis vinifera* berries in response to UV-C elicitation. **J. Agric. Food Chem.**, v.48, p.6103-6105, 2000.

AIT BARKA, E. Protective enzymes against reactive oxygen species during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits in response to low amounts of UV-C, Aust. **J. Plant Physiol.**, v.28, p.785-791, 2001.

ALLENDE, A.; ARTÉS, F. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'lollo rosso' lettuce. **Food Res. Int.**, v.36, p.739-746, 2003.

ALLENDE, A. et al. Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, superatmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. **Postharvest Biol. Technol.**, v.46, p.201-211, 2007.

ANDRADE JR., V.C. et al. Avaliação do potencial agrônômico e da firmeza pós-colheita de frutos em híbridos de tomateiro. **Cienc. Agrotec.**, v.25, p.489-502, 2001.

ANSARI, M.S.; GUPTA, N.P. Lycopene: a novel drug therapy in hormone refractory metastatic prostate cancer. **Urol. Oncol.**, v.22, p.415-420, 2004.

ARIAS, R. et al. Quality comparison of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) ripened on and off the vine. **J. Food Sci.**, v.65, p.546-548, 2000.

- ARTÉS, F. Innovaciones en los tratamientos físicos modulados para preservar la calidad hortofrutícola en la postrecolección. I. Pretratamientos térmicos. **Rev. Esp. Cienc. Tecnol. Aliment.**, v.35, p.45-64, 1995.
- ARTÉS, F.; SÁNCHEZ, E.; TIJSKENS, L.M.M. Quality and shelf life of tomatoes improved by intermittent warming. **Lebensm. Wiss. Technol.**, v.31, p.427-431, 1998.
- ARTÉS, F. et al. Keeping quality of fresh-cut tomato. **Postharvest Biol. Technol.**, v.17, p.153-162, 1999.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemists: fruits and fruits products.** Washington, 1980. cap.22, p.359-373.
- AZEVEDO, R.A. et al. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiol. Plant.**, v.104, p.280-292, 1998.
- AZIZ, A.; LARHER, F. Osmotic stress induced changes in lipid composition and peroxidation in leaf discs of *Brassica napus* L. **J. Plant Pathol.**, v.153, p.754-762, 1998.
- BAKA, M. et al. Photochemical treatment to improve storability of fresh strawberries. **J. Food Sci.**, v.64, p.1068-1072, 1999.
- BAKER, R.; GUNTHER, C. The role of carotenoids in consumer choice and the likely benefits from their inclusion into products for human consumption. **Trends Food Sci.**, v.15, p.484-488, 2004.
- BARKA, E.A. et al. Impact of UVC irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. **J. Agric. Food Chem.**, v.48, p.667-671, 2000a.
- BARKA, E.A. et al. Effects of UV-C irradiation on lipid peroxidation markers during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits. **Aust. J. Plant Physiol.**, v.27, p.147-152, 2000b.
- BARKA, E.A. Protective enzymes against reactive oxygen species during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits in response to low amounts of UV-C. **Aust. J. Plant Physiol.**, v.28, p.785-791, 2001.
- BARKAI-GOLAN, R. Postharvest disease suppression by atmospheric modifications. In: CALDERON, M.; BARKAI-GOLAN, R. (Eds.). **Food preservation by modified atmospheres.** Boca Raton: CRC Press, 1990. p.237-264.
- BEN-HAYYIM, G. et al. Preferential induction of a 9-lipoxygenase by salt-tolerant cells of *Citrus sinensis* L. Osbeck. **Planta**, v.212, p.367-375, 2001.

- BEN-YEHOSHUA, S. et al. Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. **J. Agric. Food Chem.**, v.40, p.1217-1221, 1992.
- BESTWICK, C.S. et al. Characterization of and changes to pro- and anti-oxidant enzymes activities during the hypersensitive reaction in lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Plant Sci.**, v.161, p.497-506, 2001.
- BINTSIS, T.; LITOPOULOU-TZANETAKI, E.; ROBINSON, R.K. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry-a critical review. **J. Sci. Food Agric.**, v.80, p.637-645, 2000.
- BRADY, C.J. Fruit ripening. **Annu. Rev. Plant Physiol.**, v.38, p.155-178, 1987.
- BRIDGE, M.A.; KLARMAN, W.L. Soybean phytoalexin, hydroxy-phaseolin, induced by ultraviolet irradiation. **Phytopathology**, v.63, p.606-609, 1973.
- BRODY, A.L. **Envasado de alimentos em atmosferas controladas, modificadas y a vacio**. Zaragoza: Acribia, 1996. 220p.
- BURTON, G.; INGOLD, K. b-Carotene: an unusual type of lipid antioxidant. **Science**, v.224, p.569-573, 1984.
- CABIBEL, M.; NICOLAS, J. Lipoxygenase from tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* L.) partial purification, some properties and in vitro cooxidation of some carotenoid pigments. **Sci. Aliments**, v.11, p.277-290, 1992.
- CALABRESE, E.J.; MCCARTHY, M.E.; KENYON, E. The occurrence of chemically induced hormesis. **Health Phys.**, v.52, p.531-541, 1987.
- CALDWELL, M.M. Plant response to solar ultraviolet radiation. In: LANGE, O.L. et al. (Eds.). **Physiological plant ecology**. New York: Springer, 1981. v.1, p.170-194.
- CALORE, L. **Conservação pós-colheita de pêssegos 'biuti' irradiados e armazenados com e sem refrigeração**. 2000. 90f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.
- CASTRO, S.M. et al. Effect of thermal blanching and of high pressure treatments on sweet green and red bell pepper fruits (*Capsicum annum* L.). **Food Chem.**, v.107, p.1436-1449, 2007.
- CHANJIRAKUL, K. et al. Effect of natural volatile compounds on antioxidant capacity and antioxidant enzymes in raspberries. **Postharvest Biol. Technol.**, v.40, p.106-115, 2006.

- CHARLES, M.T. et al. Induction of resistance to gray mold and accumulation of the phytoalexin rishitin in postharvest tomato fruit by UV treatment. **Phytopathology**, v.2, p.104-110, 2001.
- CHARLES, M.T. et al. Postharvest quality and sensory evaluation of uv-treated tomato fruit. **Acta Hortic.**, v.682, p.537-542, 2005.
- CHAUDHRY, T.M.; FAROOQI, M.A.R. Chemical composition of guava and banana fruits grown in Hyderabad region. **Pak. J. Sci. Ind. Res.**, v.13, p.111-113, 1970.
- CHEEMA, A.S.; HAARD, N.F. Induction of rishitin and lubimin in potato tuber discs by non-specific elicitors and the influence of storage conditions. **Physiol. Plant Pathol.**, v.13, p.233-240, 1978.
- CHEN, G.; DJURIC, Z. Carotenoids are degraded by free radicals but do not affect lipid peroxidation in unilamellar liposomes under different oxygen tensions. **FEBS Lett.**, v.505, p.151-154, 2001.
- CHENG, T.S. et al. The effect of high temperature storage on ripening of tomatoes. **J. Plant Physiol.**, v.132, p.459-464, 1988.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 293p.
- CHUN, O.K.; KIM, D.O.; LEE, C.Y. Superoxide radical scavenging activity of the major polyphenols in fresh plums. **J. Agric. Food Chem.**, v.51, p.8067-8072, 2003.
- CHYAU, C.C.; CHEN, S.Y.; WU, C.M. Differences of volatile and nonvolatile constituents between mature and ripe guava (*Psidium guajava* Linn.) fruits. **J. Agric. Food Chem.**, v.40, p.846-849, 1992.
- CIA, P. et al. Efeito da irradiação na conservação de uva 'itália'. **Rev. Bras. Frutic.**, v.22, n. esp., p.62-67, 2000.
- CIA, P. **Efeito de atmosfera modificada no controle de podridões pós-colheita e na qualidade de caqui cv. Fuyu**. 2002. 122f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.
- CIA, P. et al. Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. **Postharvest Biol. Technol.**, v.43, p.366-373, 2007.
- COELHO, A.H.R. Qualidade pós-colheita de pêssegos. **Inf. Agropecu.**, v.17, n.180, p.31-39, 1994.

- COSTA, L. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. **Postharvest Biol. Technol.**, v.39, p.204-210, 2006.
- CROZIER, A. et al. Quantitative analysis of the flavonoid content of commercial tomatoes, onions, lettuce, and celery. **J. Agric. Food Chem.**, v.45, p.590-595, 1997.
- DAVIES, J.N.; HOBSON, G.E.; MCGLASSON, W.B. The constituents of tomato fruit: the influence of environment, nutrition and genotype. **CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.**, v.15, p.205-280, 1981.
- DAVULURI, G.R. et al. Fruit-specific RNAi-mediated suppression of DET1 enhances carotenoid and flavonoid content in tomatoes. **Nat. Biotechnol.**, v.23, p.890-895, 2005.
- DE CAL, A.; MELGAREJO, P. Effects of long-wave UV light on *Monilinia* growth and identification of species. **Plant Dis.**, v.83, p.62-65, 1999.
- DEMMIG-ADAMS, B. Carotenoids and photoprotection in plants: a role for the xanthophyll zeaxanthin. **Biochim. Biophys. Acta**, v.1020, p.1-24, 1990.
- DESHPANDE, P.B.; SALUNKHE, D.K. Effects of maturity and storage on certain biochemical changes in apricots and peaches. **Food Technol.**, v.18, p.85-88, 1964.
- DHALLEWIN, G. et al. Ultraviolet C irradiation at 0.5 kJ. M⁻² reduces decay without causing damage or affecting postharvest quality of star ruby grapefruit (*C. paradisi* Macf.). **J. Agric. Food Chem.**, v.48, p.4571-4575, 2000.
- DHINDSA, R.S.; PLUMB-DHINDSA, P.; THORPE, T.A. Leaf senescence correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. **J. Exp. Bot.**, v.32, p.93-101, 1981.
- D'INNOCENZO, M.; LAJOLO, F.M. Effect of gamma irradiation on softening changes and enzyme activities during ripening of papaya fruit. **J. Food Biochem.**, v.25, p.425-438, 2001.
- DOMINGUES, D.M. **Efeito da radiação gama e embalagem na conservação de morangos 'Toyonoka' armazenados sob refrigeração**. 2000. 60f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- DOUILLET-BREUIL, A.C. et al. Changes in phytoalexin content of various *Vitis* Spp. in response to ultraviolet-C elicitation. **J. Agric. Food Chem.**, v.47, p.4456-4461, 1999.
- ECKERT, J.W. Pathological diseases of fresh fruits and vegetables. In: MILNER, H. (Ed.). **Postharvest biology and biotechnology**. Westport, Conn.: Food & Nutrition Press, 1978. p.161-175.

EL-GHAOUTH, A.; WILSON, C.L. Biologically based technologies for the control of postharvest diseases. **Postharvest News Inf.**, v.6, p.5-11, 1995.

EHLERMANN, D.A.E. Food irradiation. In: SPIESS, W.E.L.; SCHUBERT, A. **Engineering and food: preservation processes and related techniques**. London: Elsevier Applied Science, 1990. v.2, p.760-773.

EMPRESA BRASILEIRA DE RADIAÇÃO. Preservação de alimentos por radiação. **Bol. Embrarad**, Cotia, v.5, p.1-4, 1985.

ENZA ZADEN ESPAÑA, S.L. **Tomate ‘pitenza’, la perfección en ramo**. 2007. Disponível em: <<http://www.frutas-hortalizas.com/FichaProducto.php?idEmpresa=15087&idProducto=3443#>>. Acesso em: 15 ago. 2007.

ESTEVES, M.T.C. **Características físicas, físico-químicas e químicas de frutos de cultivares de goiabeira (*Psidium guajava* L.)**. 1981. 65f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1981.

FAO. Agricultural Services Division. **Food irradiation: a guidebook**. 2.ed. Rome, 1996. 232p.

FARBER, J.M. Microbiological aspects of modified atmosphere packaging-a review. **J. Food Prot.**, v.54, p.58-70, 1991.

FRATESCHI, P.W.B. **Radiação gama com cobalto-60 na conservação pós-colheita de goiaba branca (*Psidium guajava* L.)**. 1999. 141f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

GAHLER, S.; OTTO, K.; BOHM, V. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. **J. Agric. Food Chem.**, v.51, p.7962-7968, 2003.

GAMA, F.S.N. et al. Aditivos e embalagens de polietileno na conservação do maracujá-amarelo armazenado em condições de refrigeração. **Pesqui. Agropecu. Bras.**, v.26, p.305-310, 1991.

GARDNER, D.W.M.; SHAMA, G. Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. **J. Food Prot.**, v.63, p.63-70, 2000.

GIL, M.I.; HOLCROFT, D.M.; KADER, A.A. Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. **J. Agric. Food Chem.**, v.45, p.1662-1667, 1997.

GIUNTINI, D. et al. Changes in carotenoid and ascorbic acid contents in fruits of different tomato genotypes related to the depletion of UV-B radiation. **J. Agric. Food Chem.**, v.53, p.3174-3181, 2005.

- GLIDEWELL, S.M. et al. Detection of irradiated food: a review. **J. Sci. Food Agric.**, v.61, p.281-300, 1993.
- GONZALEZ-AGUILAR, G.A. et al. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. **Int. J. Food Sci. Technol.**, v.36, p.767-773, 2001.
- GONZÁLEZ-AGUILAR, G.; WANG, C.Y.; BUTA, G.J. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. **J. Sci. Food Agric.**, v.84, p.415-422, 2004.
- GONZÁLEZ-AGUILAR, G.A.; ZAVALETA-GATICA, R.; TIZNADO-HERNÁNDEZ, M.E. Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. **Postharvest Biol. Technol.**, v.45, p.108-116, 2007.
- GOODENOUGH, P.W.; THOMAS, T.H. Biochemical changes in tomatoes stored in modified gas atmospheres. I. Sugars and acids. **Ann. Appl. Biol.**, v.98, p.507-510, 1981.
- GOULD, W.A. **Tomato production, processing & technology**. 3.ed. Baltimore: CTI Publications, 1992. 535p.
- GRUBBEN, G.J.H. Tropical vegetables and their genetic resources. Rome: FAO, International Board Plant Genetic Resource, 1977. 176 p.
- GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS - GCIIA. **A irradiação de alimentos: ficção ou realidade**. Roma, 1991. 38p.
- HAARD, N.F.; CHISM, G.W. Characteristics of edible plant tissues. In: FENNEMA, O.R. (Ed.). **Food chemistry**. 3.ed. New York: Marcel Dekker, 1996. p.943-1011.
- HAILA, K. **Effects of carotenoids and carotenoid-tocopherol interaction on lipid oxidation in vitro**. 1999. 138 f. Academic Dissertation. Department of Applied Chemistry and Microbiology, University of Helsinki, Helsinki, 1999
- HERNER, R.C. High effects in plant organs. In: WEICHAMNN, J. **Postharvest physiology of vegetables**. New York: Marcel Dekker, 1987. p.239-253.
- HIRAGA, S. et al. A large family of class III plant peroxidases. **Plant Cell Physiol.**, v.42, p.462-468, 2001.
- HOTCKISS, J.H.; BANCO, M.J. Influence of new packaging technologies on the growth of microorganisms in produce. **J. Food Prot.**, v.55, p.815-820, 1992.
- IMBERTY, A.; GOLDBERG, R.; CATESSON, A.M. Tetramethylbenzidine and p-phenylenediamine-pyrocatechol for peoxidase histochemistry and biochemistry: two new, non-carcinogenic chromogens for investigating lignification process. **Plant Sci. Lett.**, v.35, p.103-108, 1984.

- ISLAM, S.Z.; HONDA, Y.; SONHAJI, M. Phototropism of conidial germ tubes of *Botrytis cinérea* and its implication in plant infection processes. **Plant Dis.**, v.82, p.850-856, 1998.
- JACOBI, K.K.; MACRAE, E.A.; HETHERINGTON, S.E. Effects of hot air conditioning of 'Kensington' mango fruit on the response to hot water treatment. **Postharvest Biol. Technol.**, v.21, p.39-49, 2000.
- JAGGER, J. Photoprotection from far ultraviolet effects in cells. In: DUCHESNE, J. (Ed.). **The structure and properties of biomolecules in biological systems**. New York: Interscience, 1965. p.548-601. (Advances in chemical physics, 7).
- KADER, A.A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables. **Food Technol.**, v.40, p.99-103, 1986.
- KADER, A.A.; ZAGORY, D.; KERBEL, E.L. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Crit. Rev. Food Sci Nutr.**, v.28, p.1-30, 1989.
- KADER, A.A. Regulation of fruit physiology by controlled: modified atmospheres. **Acta Hort.**, v.398, p.59-70, 1995.
- KERDNAIMONGKOL, K.; WOODSON, W. Inhibition of catalase by antisense RNA increases susceptibility to oxidative stress and chilling injury in transgenic tomato plants. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, v.124, p.330-336, 1999.
- KIM, Y.; BRECHT, J.K.; TALCOTE, S.T. Antioxidant phytochemical and fruit quality changes in mango (*Mangifera indica* L.) following hot water immersion and controlled atmosphere storage. **Food Chem.**, v.105, p.1327-1334, 2007.
- KLECZKOWSKI, A. Methods of inactivation by UV radiation. **Methods Virol.**, v.4, p.93-138, 1968.
- KLIEBER, A.; RATANACHINAKORN, B.; SIMONS, D.H. Effects of low oxygen and high carbon dioxide on tomato cultivar 'Bermuda' fruit physiology and composition. **Sci. Hortic.**, v.65, p.251-261, 1996.
- KLOPOTEK, Y.; OTTO, K.; BÖHM, V. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins, and antioxidant capacity. **J. Agric. Food Chem.**, v.53, p.5640-5646, 2005.
- KON, S.; SCHWIMMER, S. Depolymerization of polysaccharides by active oxygen species derived from a xanthine oxidase system. **J. Food Biochem.**, v.1, p.141-144, 1977.
- LAFUENTE, M.T.; SALA, J.M.; ZACARIAS, L. Active oxygen detoxifying enzymes and phenylalanine ammonia-lyase in the ethylene-induced chilling tolerance in citrus fruit. **J. Agric. Food Chem.**, v.52, p.3606-3611, 2004.

- LAKSHMINARAYANA, S.; SUBHADRA, N.V.; SUBRAMANYAM, H. Some aspects of developmental physiology of mango fruit. **J. Hortic. Sci.**, v.45, p.133-142, 1970.
- LANA, M.M.; FINGER, F.L. **Atmosfera modificada e controlada**: aplicação na conservação de produtos hortícolas. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia/Embrapa Hortaliças, 2000. 34p.
- LANA, M.M.; TIJSKENS, L.M.M. Effects of cutting and maturity on antioxidant activity of fresh-cut tomatoes. **Food Chem.**, v.97, p.203-211, 2006.
- LANGCAKE, P.; PRYCE, P. The production of resveratrol and viniferins by grapevines in response to ultraviolet irradiation. **Phytochemistry**, v.16, p.1193-1196, 1977.
- LARRIGAUDIÈRE, C. et al. Short-term effects of air and controlled atmosphere storage on antioxidant metabolism in conference pears. **J. Plant Physiol.**, v.158, p.1015-1022, 2001.
- LARSEN, M.; WATKINS, C.B. Firmness and aroma composition of strawberries following short-term high carbon dioxide treatments. **Hortic. Sci.**, v.30, p.303-305, 1995.
- LEE, S.K.; KADER, A.A. Preharvest and postharvest factors influencing Vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biol. Technol.**, v.20, p.207-220, 2000.
- LESHEM, Y.Y.; HALEVY, A.H.; FRENKEL, C. **Processes and control of plant senescence**. Amsterdam: Elsevier, 1986. 215p.
- LIMA, L.C. **Qualidade de melão ‘Orange fresh’ minimamente processado e armazenado sob diferentes atmosferas modificadas sob refrigeração**. 2005. 116f. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- LIU, J. et al. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. **J. Food Prot.**, v.56, p.868-872, 1993.
- LOIUDICE, R. et al. Composition of ‘San Marzano’ tomato varieties. **Food Chem.**, v.53, p.81-89, 1995.
- LÓPEZ-RUBIRA, V. et al. Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. **Postharvest Biol. Technol.**, v.37, p.174-185, 2005.
- LOUGHEED, E.C. Interactions of oxygen, carbon dioxide, temperature, and ethylene that may induce injuries in vegetables. **Hortscience**, v.22, p.791-794, 1987.
- LU, Y.J. et al. Gamma, electronbeam and ultraviolet radiation on the control of storage rots and quality of walla walla onions. **J. Food Process. Preserv.**, v.12, p.53-62, 1987.

- LU, Y.J. et al. The effect of ultraviolet irradiation on shelf-life and ripening of peaches and apples. **Food Qual.**, v.14, p.299-305, 1991.
- MAHARAJ, R. **The effect of ultraviolet radiation (UV-C) on the postharvest storage behaviour of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill cv. Capello)**. 1995. 107 f. PhD thesis. Laval University, Quebec, 1995.
- MAHARAJ, R.; ARUL, J.; NADEAU, P. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. **Postharvest Biol. Technol.**, v.15, p.13-23, 1999.
- MAISIE, L. et al. Characterization of an ultraviolet B-induced lipase in Arabidopsis. **Plant Physiol.**, v.135, p.947-958, 2004.
- MALACRIDA, C.; VALLE, E.M.; BOGGIO, S.B. Postharvest chilling induces oxidative stress response in the dwarf tomato cultivar Micro-Tom. **Physiol. Plant.**, v.127, p.10-18, 2006.
- MARIGO, G. Sur une méthode de fractionnement et d'estimation des composés phénoliques chez les végétaux. **Analisis**, v.2, p.106-110, 1973.
- MARQUENIE, D. et al. Pulsed white light in combination with UVC and heat to reduce storage rot of strawberry. **Postharvest Biol. Technol.**, v.28, p.455-461, 2003.
- MARTÍNEZ-VALVERDE, I. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant capacity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). **J. Sci. Food Agric.**, v.82, p.323-330, 2002.
- MAXIE, E.C.; SOMMER, N.F.; MITCHELL, F.G. Chemical, economic, physical and physiological limitations to irradiation of fruits. In: INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Desinfestation of fruits by irradiation**. Vienna: IAEA, 1971. p.93-100.
- MAZZA, C.A. The effect of solar ultraviolet-B radiation on the growth and yield of barley are accompanied by increased DNA damage and antioxidant responses. **Plant Cell Environ.**, v.22, p.61-70, 2001.
- MELO, P.C.T.; MIRANDA, J.E.C.; COSTA, C.P. Possibilidades e limitações do uso de híbridos F1 de tomate. **Hortic. Bras.**, v.6, p.4-6, 1988.
- MENCARELLI, F.; SALTVEIT JR., M.E. Ripening of mature green tomato fruit slices. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, v.113, p.742-745, 1988.
- MERCIER, J. et al. Induction of 6-methoxymellin and resistance to storage pathogens in carrot slices by UV-C. **Phytopathology**, v.137, p.44-54, 1993a.

- MERCIER, J.; ARUL, J.; JULIEN, C. Effect of UV-C on phytoalexin accumulation and resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrots. **J. Phytopathol.**, v.139, p.17-25, 1993b.
- MERCIER, J. et al. Systemic and local responses associated with UV-induced and pathogen-induced resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrot. **Phytopathology**, v.90, p.981-986, 2000.
- MIDDLETON, E.; TERAMURA, A. The role of flavonol glycoside and carotenoids in protecting soybean from ultraviolet-B damage. **Plant Physiol.**, v.103, p.741-752, 1993.
- MITCHELL, D.L.; CLARKSON, J.M. Induction of photoproducts in synthetic polynucleotides by far and near ultraviolet radiation. **Photochem. Photobiol.**, v.40, p.735-741, 1984.
- MITRA, S.K.; BALDWIN, E.A. Mango. In: MITRA, S.K. (Ed.). **Postharvest physiology storage of tropical and subtropical fruit**. New York: CAB Internacional, 1997. p.85-122.
- MONDAL, K. et al. Oxidative stress and antioxidant systems in tomato fruit during storage. **J. Food Biochem.**, v.27, p.515-527, 2003.
- MONDAL, K. et al. Antioxidant systems in ripening tomato fruits. **Biol. Plant.**, v.48, p.49-53, 2004.
- MOREIRA, G.C. **Caracterização fisiológica de maçã 'Royal gala' minimamente processada submetida a diferentes tratamentos**. 2005. 144f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Horticultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- MORRIS, L.L. Chilling injury of horticultural crops: na overview. **Hortscience**, v.17, p.161-162, 1982.
- MOSCA, J.L.; MUGNOL, M.M.; VIEITES, R.L. **Atmosfera modificada na pós-colheita de frutas e hortaliças**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1999. 28p.
- MOWLAH, G.; ITOO, S. Changes in pectic components, ascorbic acid, pectin enzymes and cellulase activity in ripening and stored guava (*Psidium guajava* L.). **Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi**, v.30, p.464-461, 1983.
- MURATORE, G. et al. The influence of using biodegradable packaging films on the quality decay kinetic of plum tomato (Pomodorino Datterino). **J. Food Eng.**, v.67, p.393-399, 2005.
- NAKHASI, S.; SCHLIMME, D.; SOLOMOS, T. Storage potential of tomatoes harvested at the breaker stage using modified atmosphere packaging. **J. Food Sci.**, v.56, p.55-59, 1991.

- NIGRO, F.; IPPOLITO, A.; LIMA, G. Use of UV-C light to reduce Botrytis storage rot of table grapes. **Postharvest Biol. Technol.**, v.13, p.171- 181, 1998.
- NIGRO, F. et al. Effect of ultraviolet-C light on postharvest decay of strawberry. **J. Plant Pathol.**, v.82, p.29-37, 2000.
- NUEZ, F. Criterios de calidad e índices de madurez. In: _____. **El cultivo del tomate**. Madrid: Mundi-Prensa, 2001. p.591-623.
- ODRIOZOLA-SERRANO, I.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. **Swiss Soc. Food Sci. Technol.**, 2007. (In press).
- PALOZZA, P.; KRINSKY, N. Antioxidant effects of carotenoids in vivo and in vitro: an overview. **Methods Enzymol.**, v.213, p.403-420, 1992.
- PAN, J. et al. Combined use of UV-C irradiation and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. **J. Sci. Food Agric.**, v.84, p.1831-1838, 2004.
- PAUST, J. Recent progress in commercial retinoids and carotenoids. **Pure Appl. Chem.**, v.63, p.45-58, 1991.
- PELAYO, C.; EBELER, S.E.; KADER, A.A. Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air/20 kPa CO₂. **Postharvest Biol. Technol.**, v.27, p.171-183, 2003.
- PÉREZ, A.G.; SANZ, C. Effect of high-oxygen and high-carbon-dioxide atmospheres on strawberry flavor and other quality traits. **J. Agric. Food Chem.**, v.49, p.2370-2375, 2001.
- PERKINS-VEAZIE, P.; COLLINS, J.K. Flesh quality and lycopene stability of fresh-cut watermelon. **Postharvest Biol. Technol.**, v.31, p.159-166, 2004.
- PESIS, E.; LEVI, A.; BEN-AIRE, R. Destringency of persimmon fruits by creating a modified atmosphere in polyethylene bags. **J. Food Sci.**, v.51, p.1014-1016, 1986.
- PHILLIPS, R. **Sources and applications of ultraviolet radiation**. London: Academic Press, 1983. 434p.
- PHILLIPS, D.J.; BARKAI-GOLAN, R. Postharvest heat treatment of fresh fruits and vegetables for decay control. **Plant Dis.**, v.75, p.1085-1089, 1991.
- PREGNOLATTO, W.; PREGNOLATTO, N.P. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 1985. v.1, 533p.

- PROCHÁZKOVÁ, D.; WILHELMOVÁ, N. The capacity of antioxidant protection during modulated ageing of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cotyledons. 2. The low-molecular weight antioxidants. **Cell Biochem. Funct.**, v.25, p.97-102, 2007.
- QUIROGA, G.O.S.; FRASCHINA, A.A. Evaluation of sensory attributes and biochemical parameters in transgenic tomato fruit with reduced polygalacturonase activity. **Food Sci. Int.**, v.3, p.93-102, 1997.
- RAFFO, A. et al. Nutritional value of Cherry Tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. **J. Agric. Food Chem.**, v.50, p.6550-6556, 2002.
- RATHORE, D.S. Effect of season on the growth and chemical composition of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. **J. Hortic. Sci.**, v.51, p.41-47, 1976.
- RESENDE, L.V. **Mecanismos de resistência a tospovírus e capacidade de combinação de linhagens de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) do grupo Santa Cruz.** 1996. 134f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.
- RICK, C.M. The tomato. **Sci. Am.**, v.239, p.67-76, 1978.
- RODOV, V. et al. Ultraviolet illumination induces scoparone production in kumquat and orange fruit and improves decay resistance. **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, v.117, p.788-792, 1992.
- RONQUE, E.R.V. **A cultura do morangueiro: revisão e prática.** Curitiba: EMATER, 1998. 206p.
- SALA, J.M.; LAFUENTE, M.T. Catalase in the heat-induced chilling tolerance of cold-stored hybrid fortune mandarin fruits. **J. Agric. Food Chem.**, v.47, p.2410-2414, 1999.
- SANCHEZ-MATA, M.C.; CAMARA, M.; DIEZ-MARQUES, C. Extending shelf-life and nutritive value of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by controlled atmosphere storage: Macronutrients. **Food Chem.**, v.80, p.309-315, 2003.
- SELVARAJ, Y.; KUMAR, R. Studies on fruit softening enzymes and polyphenol oxidase activity in ripening mango (*Mangifera indica* L.) fruit. **J. Food Sci. Technol.**, v.26, p.218-222, 1989.
- SHOOK, C.M.; SHELLHAMMER, T.H.; SCHWARTZ, S.J. Polygalacturonase, pectinesterase, and lipoxygenase activities in high-pressure-processed diced tomatoes. **J. Agric. Food Chem.**, v.49, p.664-668, 2001.
- SIGRIST, J.M.M. Transpiração. In: BLEINROTH, E.W. et al. **Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais.** 2.ed. Campinas: ITAL, 1992. p.27-32.
- SINGH, H.K.; CHAUHAN, K.S. Effect of preharvest application of calcium, potassium and alar on fruit quality and storage life of guava fruits. **J. Res.**, v.12, p.644-654, 1982.

SINGH, R.V. et al. Effect of wax coating and prepackaging on the storage behaviour of guava cv. Allahabad Safeda. **Indian Food Packer**, v.38, p.80-85, 1984.

SOFO, A. et al. Lipoxygenase activity and proline accumulation in leaves and roots of olive trees in response to drought stress. **Physiol. Plant.**, v.121, p.58-65, 2004.

SOMMER, N.F. Postharvest handling practices and postharvest diseases of fruits. **Plant Dis.**, v.66, p.357-364, 1982.

SOMMER, R. et al. Increased inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* by protraction of UV radiation. **Appl. Environ. Microbiol.**, v.62, p.1977-1983, 1996.

SOMMER, R. et al. UV inactivation, liquid-holding recovery, and photoreactivation of *E. coli* O157 and other pathogenic *E. coli* strains in water. **J. Food Prot.**, v.63, p.1015-1020, 2000.

SOZZI, G.O.; CASCONI, O.; FRASCHINA, A.A. Effect of a high temperature stress on endo- β -mannanase and α - and β -galactosidase activities during tomato fruit ripening. **Postharvest Biol. Technol.**, v.9, p.49-53, 1996.

SPITELLER, G. The relationship between changes in the cell wall, lipid peroxidation, proliferation, senescence and cell death. **Physiol. Plant.**, v.119, p.5-18, 2003.

STEVENS, C. et al. The effect of ultraviolet radiation on mold rots and nutrients of stored sweet potatoes. **J. Food Prot.**, v.53, p.223-226, 1990.

STEVENS, C. et al. Plant hormesis induced by ultraviolet light-C for controlling postharvest diseases of tree fruits. **Crop Prot.**, v.15, p.129-134, 1996.

STEVENS, C. et al. The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. **Crop Prot.**, v.17, p.75-84, 1998.

STEVENS, C. et al. The effects of low-dose ultraviolet light-C treatment on polygalacturonase activity, delay ripening and *Rhizopus* soft rot development of tomatoes. **Crop Prot.**, v.23, p.551-554, 2004.

STRID, A.; CHOW, W.; ANDERSON, J. Effects of supplementary ultraviolet-B radiation on photosynthesis in *Pisum sativum*. **Biochim. Biophys. Acta**, v.1020, p.260-268, 1990.

TAPIERO, H.; TOWNSEND, D.M.; TEW, K.D. The role of carotenoids in the prevention of human pathologies. **Biomed. Pharmacother.**, v.58, p.100-110, 2004.

TERAMURA, A.; ZISKA, L. Ultraviolet-B radiation and photosynthesis. In: BAKER, N.R. **Photosynthesis and the environment**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. p.435-450.

- TIAN, S.P. et al. Responses of physiology and quality of sweet cherry fruit to different atmospheres in storage. **Food Chem.**, v.87, p.43-49, 2004.
- TRESSLER, D.K.; JOSLYN, M.A. **Fruits and vegetables juice processing technology**. Westport: Conn. Avi, 1961. 1028 p.
- UNITED FRESH FRUIT VEGETABLE ASSOCIATION. **Food irradiation for the produce industry**. Alexandria, 1986. 11p.
- VICENTE, A.R. et al. UV-C treatments reduce decay, keep quality and alleviate chilling injury in pepper. **Postharvest Biol. Technol.**, v.35, p.69-78, 2005.
- VIETES, R.L. **Conservação pós-colheita de tomate através do uso da radiação gama, cera e saco de polietileno, armazenados em condições de refrigeração e ambiente**. 1998. 131f. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.
- YAHIA, E.M. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. **Hortic. Rev.**, v.22, p.123-183, 1998.
- YAHIA, E.M. et al. Postharvest hot air treatment effects on the antioxidant system in stored mature-green tomatoes. **Postharvest Biol. Technol.**, v.44, p.107-115, 2007.
- YAUN, B.R. et al. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. **Int. J. Food Microbiol.**, v.90, p.1-8, 2004.
- YOUNG, A.J.; WELLINGS, R.; BRITTON, G. The fate of chloroplast pigments during senescence of primary leaves of *Hordeum vulgare* and *Avena sativa*. **J. Plant Physiol.**, v.137, p.701-705, 1990.
- WADA, L.; OU, B. Antioxidant activity and phenolic content of Oregon caneberries. **J. Agric. Food Chem.**, v.50, p.3495-3500, 2002.
- WANG, C.Y. Effect of temperature preconditioning on catalase, peroxidase, and superoxide dismutase in chilled zucchini squash. **Postharvest Biol. Technol.**, v.5, p.67-76, 1995.
- WANG, C.Y. Postharvest quality decline, quality maintenance and quality. Evaluations. **Acta Hortic.**, n.485, p.389-392, 1999.
- WHITAKER, J.R. **Principles of enzymology for the food sciences**. 2.ed. Davis: University of Califórnia, Marcel Dekker, 1994. 625p.
- WILLS, R.B.H.; WIMALASIRI, P.; SCOTT, K.J. Short pre-storage exposures to high carbon dioxide or low oxygen atmospheres for the storage of some vegetables. **Hortscience**, v.14, p.528-530, 1979.

WILLS, R.B.H.; PITAKSERIKUL, S.; SCOTT, K.J. Effects of prestorage in low oxygen or high carbon dioxide concentrations on delaying the ripening of bananas. **Aust. J. Agric. Res.**, v.33, p.1029-1036, 1982.

WILLS, R.B.H.; WIMALASIRI, P.; GREENFIELD, H. Dehydroascorbic acid levels in fresh fruit and vegetables in relation to total Vitamin C activity. **J. Agric. Food Chem.**, v.32, p.836-838, 1984.

WILLS, R.B.H. et al. Effect of brief pre-marketing holding of bananas in nitrogen on time to ripen. **Aust. J. Exp. Agric.**, v.30, p.579-581, 1990.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ultraviolet radiation**. Geneva, 1979. p.1-20. (Environmental health criteria, 14).

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

ZACCHINI, M.; AGAZIO, M. Spread of oxidative damage and antioxidative response through cell layers of tobacco callus after UV-C treatment. **Plant Physiol. Biochem.**, v.42, p.445-450, 2004.

ZAGORY, D.; KADER, A.A. Modified atmosphere packaging of fresh produce. **Food Technol.**, v.42, p.70-77, 1988.

ZAPATA, S.; DUFOUR, J.P. Ascorbic, dehydroascorbic and isoascorbic acid simultaneous determinations by reverse phase ion interaction HPLC. **J. Food Sci.**, v.57, p.506-511, 1992.

ZHENG, Y. et al. Changes in strawberry phenolics, anthocyanins, and antioxidant capacity in response to high oxygen treatments. **Food Sci. Technol.**, v.40, p.49-57, 2007.

APÊNDICE

PROTOCOLOS DAS ANÁLISES BIOATIVAS E ENZIMÁTICAS

1. Polifenóis e Capacidade Antioxidante

Foi baseado na metodologia descrita por Marigo (1973).

1.1. Extrato Metanólico

Adicionou-se 3 ml de metanol puro a 0,5 g de amostra (em frascos de 30 ml). As amostras de tomate (em tubos Falcons) mantiveram-se em N₂ líquido durante o tempo que estiveram fora do congelador (-80°C).

Agitou-se e manteve-se durante uma hora em frio (no gelo, dentro de uma caixa de poliestireno expandido) e no escuro, agitando-se periodicamente durante 30 min e no final do período de armazenamento.

Posteriormente, foram extraídas as amostras dos frascos, mediante pipetas Pasteur e introduz-se em dois Eppendorf de 2 ml, centrifugou-se a 15000 G durante 10 min à 4°C.

Uma vez centrifugadas, transfere-se o sobrenadante para tubo (por amostra) de 5 ml e guarda-se no gelo até a leitura.

1.2. Polifenóis

No espectrofotômetro devem-se realizar duas medidas em duplicadas, como mínimo, por amostra. Utilizou-se dois eppendorf (1.5 ml) por amostra, aos quais adicionou-se:

- 100 microlitros de amostra ou das concentrações da reta padrão;
- 150 microlitros de Folin (1:1 com água MiliQ);
- 1000 microlitros da mistura (0,4 % de NaOH e 2 % de Na₂CO₃).

Agitou-se e manteve-se por uma hora no escuro, enquanto preparou-se os eppendorf para a reta de calibração com ácido clorogênico (componente majoritário dos polifenóis em tomate), esta reta conseguiu-se com as seguintes concentrações: 0, 50, 100, 250, 500 e 750 microM, de uma solução padrão de 1 mM, onde calculou-se a quantidade de ácido

clorogênico para um volume determinado. ($M=n^{\circ}\text{moles } V^{-1}$; $n^{\circ}\text{moles}=m \text{ PM}^{-1}$). Uma vez prontas as concentrações da reta, procedeu-se da mesma maneira que o relatado anteriormente.

Leitura em espectrofotômetro

- Faz-se uma leitura direta anotando a absorbância a 750 nm;
- Utilizou-se cubeta (de vidro para UV) de 1 ml.

1.3. Capacidade Antioxidante

Preparou-se DPPH (2,2 difenil-1 picrilhidrazil) para que sua absorbância medida a 517 nm seja entorno de 1,000 Abs. Para isto, pesou-se: massa X de DPPH em concentração baixa (1 mM) e volume determinado. Fizeram-se dois eppendorf* (1.5 ml) por amostra, nos quais se adicionou:

- 25 microlitros de amostra ou metanol puro (para os 2 brancos);
- 675 microlitros de DPPH.

* Uma vez cheios, deixou-se uma hora no escuro antes de fazer a medida a 517 nm.

2. Catalase e Peroxidase

A catalase e a peroxidase foram determinadas pelo método espectrofotométrico, como descrito por Azevedo et al. (1998) e Imberty et al. (1984), respectivamente.

2.1. Extrato Proteico

Deve-se realizar uma mescla (30 ml) que contenha:

- volume total de 30 ml;
- 1 mM de PMSF (inibidor de proteases) ($V \times C = V' \times C'$): 300 microlitros
- 1 mM de EDTA (ácido etilenodiaminotetracético) (11,17 mg)
- Completa-se até 30 ml de Tampão Na-P a 100 mM, pH 7.8

Por outro lado, pesou-se 0,5 g de amostra e adicionou-se 20 mg de PVPP (Polivinilpolipirrolidona). Da primeira mescla pegou-se 2 ml e adicionou-se a amostra com o PVPP. Deixou-se em agitação (no gelo) e no escuro durante meia hora. Retirou-se o extrato dos frascos com pipetas Pasteur e passou-se a dois eppendorf de 1,5 ml, depois disto levou-se a centrifuga 15000 G por 10 min à 4° C, onde posteriormente retirou-se o sobrenadante.

2.2. Catalase

Mediu-se a 240 nm, onde se adicionou a cubeta:

- 25 microlitros de H₂O₂ a 10 mM, nos 600 microlitros totais a concentrações de peróxido deve ser 240 mM. Para isso adicionamos 650 microlitros de uma solução mãe de 9.2 M a 25 mL de água MiliQ;
- 100 microlitros de amostra;
- 475 microlitros de Tampão Na-P a 50 mM, pH 7 (25° C).

Posteriormente, deve-se esperar 2 min para fazer a leitura, passado este tempo pegou-se intervalo de 60 s desse período e anotou-se o decréscimo da absorbância por minuto. Sendo necessário fazer um mínimo de três repetições por amostra.

2.3. Peroxidase

Mediu-se a 652 nm, onde se adicionou a cubeta (1 mM da solução):

- 25 microlitros de H₂O₂ a 1 mM, no mililitro total a concentração de peróxido deve ser 40 mM. Para isso adicionou-se 109 microlitros de uma solução mãe de 9.2 M a 25 mL de água MiliQ;
- 20 microlitros de TMB (Tetrametilbencidina): 16 mM;
- 25 microlitros de amostra;
- 930 microlitros de tampão acetato 100 mM, pH 5

Deve-se esperar 60 s para fazer a leitura, passado este tempo pegou-se um intervalo de 50 seg desse período e anotou-se o incremento da absorbância por minuto.

3. Acido Ascórbico

Foi analisado segundo a metodologia descrita por Aroca et al. (2003) e Leipner et al. (1997).

3.1. Extração

Adicionou-se 1,5 ml de ácido metafosfórico 5% (w/v) em 0,5 g de amostra (frascos de 30 ml). As amostras de tomate (em tubos Falcons) foram mantidos em N₂ líquido durante o tempo que estiveram fora do congelador (-80°C). Agitou-se a 130 rpm e manteve-se durante uma hora no frio e no escuro. Passado esse tempo, extraiu-se as amostras dos frascos diretamente para Eppendorf de 2 ml, onde centrifugou-se a 15000 G durante 15 min (4°C). Uma vez centrifugadas, introduz-se o sobrenadante em um tubo (por amostra) de 2 ml e guarda-se a -80°C até a leitura.

Reta de calibração com ácido ascórbico dissolvido em metafosfórico

Preparou-se uma solução padrão de 100 mM a 5% de ácido metafosfórico em 1 ml ($PM \times \text{concentração} \times V = 17,61 \text{ mg de ácido}$). A partir desta preparou-se as concentrações dos pontos da reta, que são: 0, 100, 250, 400, 500, 650, 750 e 900 µM.

3.2. Determinação do ácido ascórbico (ou reta de calibração)

Adicionaram-se os seguintes reativos:

- 100 µl de extrato (ou das concentrações da reta);
- 300 µl de Na₂HPO₄ a 30 %;
- 200 µl de água MiliQ;
- agitou-se com parafilme o tubo de ensaio;
- depois adicionou-se 1 ml de tampão citrato sódico (pH 2,3 a 0,1 M);
- e por último 1 ml de DCPIP (Diclorophenol indophenol) a 0,003 % (agitou-se e exatamente 30 seg depois mede-se a 524 nm na cubeta).

3.3. Determinação Ac. Ascórbico total

Adicionaram-se os seguintes reativos:

- 100 µl de extrato
- 300 µl de Na₂HPO₄ a 30 %
- 100 µl de água MiliQ
- 100 µl de homocisteína a 0,1 %
- agitou-se com parafilme o tubo de ensaio
- depois incubou-se no escuro por 15 min a 25° C.
- adicionou-se 1 ml de tampão citrato sódico (pH 2,3 a 0,1 M)
- e por último 1 ml de DCPIP a 0,003 % (agitou-se e exatamente 30 seg depois mede a 524 nm na cubeta)

4. Carotenóides totais

Foi realizado segundo a metodologia descrita por Davuluri et al. (2005).

4.1 Extração

Pesou-se 0,5 g de amostra em tubos Falcons de 50 ml, depois, na câmara Flowtronic, adicionou-se 15 ml da mescla Acetona e Metanol (2:1) e 9 ml de Hexano. Agitou-se e manteve-se no escuro e no frio durante 4-5 horas, período no qual deve-se agitar a cada 15-20 min. Posteriormente, adicionou-se 25 ml de uma dissolução de NaCl 1M fria. Centrifugou-se a 2800 G (3700 rpm) durante 30 min (4°C). Uma vez centrifugado, tomou-se 1 ml do sobrenadante (fase orgânica), introduziu-se na cubeta e fez-se a leitura nas seguintes longitudes de onda: 470 (carotenóides totais) e 504 (licopeno). Realizou-se um branco com 1 ml de Hexano.

5. Lipoxigenase

Foi determinada segundo o protocolo descrito por Shook et al. (2001).

5.1. Extração

Pesou-se 500 mg de amostra (em pó) nos quais adicionou-se 2 ml de tampão de extração e 20 mg de PVPP. O tampão de extração contém:

- 0,1 M de Tampão P-Na pH 7,8
- 1 mM de EDTA
- 0,05% de Triton X-100 (solução mãe a 1%)
- preparou-se volume de 250 ml desta mescla que continha: 250 ml de tampão; 93,05 mg de EDTA e 12,5 ml de triton a 1%.

Agitou-se em vortex e deixou-se em agitação durante 60 min. Passado este tempo, passou-se a 2 eppendorf de 1,5 ml e levou-se a centrífuga a 15000 G, 4°C por 10 min. Depois retirou-se o sobrenadante e armazenou no frio (gelo) e no escuro.

5.2. Meio de reação

O meio de reação foi composto por 1 parte de solução de substrato e 25 partes de tampão fosfato potássico 200 mM pH 6,5. A solução de substrato estava composta por 7,5 mM de ácido linoleico e 0,5% (p/v) de Tween 20. A 2,5 ml deste meio de reação adicionou-se 0,1 ml do extrato enzimático. As mudanças na absorbância registraram-se a uma longitude de onda de 234 nm durante 3 min.