



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**APLICAÇÃO DE BAIXAS DOSES DE RADIAÇÃO
GAMA PARA EXTENSÃO DA VIDA ÚTIL DE
BETERRABA VERMELHA (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*
L.), cv. EARLY WONDER, MINIMAMENTE
PROCESSADA**

NILBER KENUP HERNANDES

Sob a Orientação da Professora
Dr^a. Regina Celi Cavestré Coneglian

e Co-orientação do Pesquisador
Dr. Ronoel Luiz de Oliveira Godoy

Tese submetida como requisito
parcial para obtenção do grau de
Doutor em Ciências, no Curso de
Pós-Graduação em Fitotecnia, Área
de Concentração em Fisiologia da
Produção

Seropédica, RJ
Dezembro de 2006

635.11

H557a

T

Hernandes, Nilber Kenup, 1961-

Aplicação de baixas doses de radiação gama para extensão da vida útil de beterraba vermelha (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.), cv. Early Wonder, minimamente processada / Nilber Kenup Hernandes. - 2006.

90 f. : il.

Orientador: Regina Celi Cavestré Coneglian.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 79-90.

1. Beterraba - Efeito de radiação - Teses. 2. Beterraba - Processamento - Teses. 3. Beterraba - Qualidade - Teses. 4. Alimentos - Conservação por radiação. I. Coneglian, Regina Celi Cavestré, 1964- II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

NILBER KENUP HERNANDES

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, Área de Concentração em Fisiologia da Produção.

TESE APROVADA EM 12 / 12 / 2006

Regina Celi Cavestré Coneglan. Dr^a. UFRRJ
(Orientadora)

Margarida Goréte Ferreira do Carmo. Dr^a. UFRRJ

Jorge Jacob Neto. Dr. UFRRJ

Armando Ubirajara Oliveira Sabaa Srur. Dr. UFRJ

Helio de Carvalho Vital. Ph.D. CTE

*Entrega o teu caminho ao Senhor;
confia nele, e ele tudo fará (Salmos 37: 5).*

Dedico a meus filhos:
Heber Oliveira Kenup Hernandes
e
Hericka Oliveira Kenup Hernandes

Agradecimentos

A meu Deus, o Supremo Criador, que me tem sustentado até aqui;

A meus pais, que lançaram as bases do meu caráter e educação;

A minha esposa, companheira e amiga, que sempre me ajudou e incentivou;

A meus filhos, que muitas vezes, pagaram o alto preço de ter um pai quase exclusivamente dedicado à sua tese;

A meus orientadores, Dra. Regina Celi Cavestré Coneglan e Dr. Ronoel Luiz de Oliveira Godoy, pelo estímulo, apoio e orientação;

Aos digníssimos membros da banca: Dra. Margarida Goréte Ferreira do Carmo, Dr. Armando Ubirajara Oliveira Sabaa Srur, Dr. Helio de Carvalho Vital e Dr. Jorge Jacob Neto, pelas sugestões, que muito enriqueceram o presente trabalho;

Aos meus professores, pela transmissão do conhecimento e estímulo;

Aos meus colegas de curso, sempre cordiais e companheiros nas lutas;

Aos alunos de Engenharia Agronômica: Aline Oliveira Ângelo, Bianca Gonçalo Meyrelles, Fernanda Fátima Delgado de Almeida e Luiz Carlos Gomes de Lima, que tanto me ajudaram na parte prática deste trabalho;

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e, em particular, ao Departamento de Fitotecnia, que me recebeu como aluno, mesmo sendo eu, um químico;

Ao Centro Tecnológico do Exército, e em particular à Divisão de Defesa Química Biologia e Nuclear, pelo apoio indispensável à realização deste trabalho;

À EMBRAPA Agroindústria de Alimentos, pelo uso de suas instalações e equipamentos;

Aos integrantes da Divisão DQBN do CTE, civis e militares, que participaram das análises sensoriais de beterraba;

Ao Departamento de Tecnologia de Alimentos do Instituto de Tecnologia da UFRRJ, em particular à Dra. Rosa Helene Luchese, à funcionária Dina, e ao aluno Aloízio, pelo apoio nas análises microbiológicas;

Muito obrigado e que Deus a todos abençoe abundantemente.

RESUMO

HERNANDES, Nilber Kenup. **Aplicação de Baixas Doses de Radiação Gama para Extensão da Vida Útil de Beterraba Vermelha (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.), cv. Early Wonder, Minimamente Processada.** 2006. 90p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

O objetivo deste estudo foi avaliar, por meio de análises microbiológicas; químicas; físico-químicas e sensoriais, os efeitos de baixas doses de radiação gama na extensão da vida útil e na garantia da segurança microbiológica da beterraba vermelha (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.), cultivar Early Wonder minimamente processada. Dois experimentos foram realizados, em condições de campo, em área experimental do Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia da UFRRJ, Seropédica, RJ, no segundo semestre de 2005. Em cada experimento, foram transplantadas 1200 mudas (40 por metro linear de canteiro). Foram realizados ensaios físico-químicos (massa fresca; comprimento; diâmetro médio e teor de sólidos solúveis totais) da parte comestível (porção tuberosa) da beterraba, para avaliação do estágio de desenvolvimento das plantas, visando à determinação do ponto ideal de colheita. As beterrabas dos experimentos 1 e 2 foram colhidas 104 e 73 dias após o seu transplante, respectivamente. As partes tuberosas foram minimamente processadas e separadas em 2 grupos de amostras: controle (não irradiadas) e irradiadas (0,5; 1,0 e 1,5 kGy), sendo que todas foram armazenadas a 8 °C. Avaliações realizadas ao longo do período de armazenamento (22 e 21 dias, nos experimentos 1 e 2, respectivamente) permitiram monitorar a: qualidade microbiológica (*Salmonella* sp.; coliformes; contagem total de bactérias aeróbias mesófilas e contagem de bactérias láticas); a composição química (determinação dos teores de: sacarose; glicose e frutose e vitaminas B1 e B2) e as propriedades físico-químicas (pH; acidez total titulável; teor de sólidos solúveis totais e teor de ácido ascórbico). As amostras do experimento 2 foram também submetidas a análises sensoriais (aparência e aroma) em quatro ocasiões após a irradiação. Os resultados das análises microbiológicas indicaram que somente as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy mantiveram-se próprias para o consumo por 21 dias, enquanto que as não irradiadas apresentaram vida útil inferior a 7 dias. Ao fim do período de avaliação, não foi observada diferença entre os teores das vitaminas B1 e B2 das amostras irradiadas em relação às de controle. Os teores dos açúcares, por outro lado, sofreram alterações significativas ao longo do tempo, independentemente das doses aplicadas. Em contraste, não foram constatadas alterações indesejáveis nas propriedades físico-químicas ocasionadas pela irradiação. Os resultados das análises sensoriais indicaram que as amostras irradiadas com doses de 1,0 e 1,5 kGy mantiveram-se dentro dos padrões de aceitabilidade por 20 dias. Consistentemente, verificou-se que a aplicação dessas doses foi eficaz para estender a vida útil, sem prejudicar a qualidade nutricional ou sensorial das amostras. Finalmente, conclui-se que a dose de 1,0 kGy mostrou-se como a mais apropriada, dentre aquelas estudadas, para a irradiação de beterraba vermelha minimamente processada.

Palavras-chave: irradiação de alimentos; processamento mínimo; qualidade de alimentos.

ABSTRACT

HERNANDES, Nilber Kenup. **Application of Low-Dose Gamma Irradiation to Extend the Shelf life of Minimally Processed Red Beet (*Beta vulgaris* sp. *vulgaris* L.), cv. Early Wonder.** 2006. 90p. Thesis (Doctorate in Phytotechny). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2006.

This study was aimed at investigating the effects of low-dose gamma irradiation on shelf-life extension and phytosanitary safety of minimally processed red beet with basis on physicochemical; microbiological; chemical and sensory analyses. The samples (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.), Early Wonder cultivar, were cultivated in the experimental area of the Horticulture Sector of the Departamento de Fitotecnia of the Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, as part of two experiments performed during the second semester of 2005. In each experiment, 1200 plants (40 per linear meter of terrain) were sowed. Physicochemical analyses (fresh mass; length; average diameter and total soluble solids) of the edible part of the red beets (their tuberous roots) were periodically carried out in order to assess the most appropriate time for harvest by monitoring the development of the plants. Those times were found to be 104 and 73 days after transplanting, respectively. The harvested edible part of the roots were minimally processed and separated in two groups: (1) gamma irradiated (with doses of 0.5; 1.0 and 1.5 kGy) and (2) non-irradiated (control). All samples were stored at 8 °C. Microbiological analyses were performed during the storage period (22 and 21 days, for experiments 1 and 2, respectively) in order to evaluate the phytosanitary quality of the samples (*Salmonella* sp.; coliforms and total count of mesophilic aerobic and lactic acid bacteria). The samples irradiated with 1.0 and 1.5 kGy were found to remain appropriate for consumption for 21 days, as compared to only 7 days for the control. Monitoring of chemical composition was also performed and included the determination of saccharose; glucose; fructose and vitamins B1 and B2. No difference was found between the concentrations of those vitamins in irradiated and control samples at the end of the storage period, whereas significant changes in sugar contents were detected independently of the dose. In addition, physicochemical analyses investigated the evolution of pH; total acidity; total soluble solids and ascorbic acid throughout storage. Samples from experiment 2 were also subjected to sensory analyses for overall appearance and aroma at 4 different post-irradiation times. The results indicated that the samples irradiated with 1.0 and 1.5 kGy remained good for consumption for 20 days. Therefore it can be concluded that the application of those doses extended the shelf life of the samples without harming their nutritional and sensory quality. Finally, the results indicate that the dose of 1.0 kGy is the most appropriate for the conservation of red beet among those tested.

Key-Words: food irradiation; minimum processing; food quality

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Beterraba vermelha (<i>Beta vulgaris</i> ssp. <i>vulgaris</i> L.), cv. Early Wonder. (A) planta; (B) corte transversal da parte tuberosa; (C) corte longitudinal da parte tuberosa.	3
Figura 2.	Fórmula estrutural do ácido betalâmico, principal cromóforo das betalaínas, presente em todas as betaxantinas, associado a um aminoácido, a um composto amino (exemplo: indicaxantina extraída de <i>Opuntia ficus-indica</i> L.) ou, em todas as betacianinas, em associação com o ciclo-DOPA (exemplo: betanina da <i>Beta vulgaris</i> L.).	5
Figura 3.	Comparação entre as estruturas das antocianinas, betacianinas e betaxantinas.	5
Figura 4.	Representação dos fenômenos de excitação e ionização (por radiação ionizante).	9
Figura 5.	Esquema de uma barra de ^{60}Co .	10
Figura 6.	Esquema de um irradiador gama de grande porte. Fonte de ^{60}Co .	11
Figura 7.	Croqui da área experimental usada nos dois experimentos.	21
Figura 8.	Esquema ilustrativo da distribuição das plantas de beterraba na área experimental.	21
Figura 9.	Fluxograma das operações unitárias empregadas na elaboração de beterrabas minimamente processadas e irradiadas.	24
Figura 10.	Operação de remoção das cascas das beterrabas durante o processamento mínimo.	24
Figura 11.	Corte da beterraba, em retalhos de 2 mm de largura, durante o processamento mínimo.	25
Figura 12.	Irradiador Gama de Pesquisa do Centro Tecnológico do Exército	26
Figura 13.	Formulário utilizado nas análises sensoriais de beterraba vermelha minimamente processada e irradiada.	30
Figura 14.	Estrutura das moléculas dos açucares: (A) sacarose; (B) glicose; (C) frutose.	41
Figura 15.	Estrutura da riboflavina (vitamina B2). Em destaque, a cadeia Ribitol e o sistema de anéis Isoaloxazina, que apresenta o sistema π conjugado.	46
Figura 16.	Fórmulas estruturais: (A) ácido L-ascórbico; (B) ácido L-dehidroascórbico.	52
Figura 17.	Gráfico da aceitação, com base na avaliação da aparência da beterraba vermelha minimamente processada e irradiada com diferentes doses, durante um período de 20 dias de armazenamento, a 8 °C.	74
Figura 18.	Gráfico da aceitação, com base na avaliação do aroma da beterraba vermelha minimamente processada e irradiada com diferentes doses, durante um período de 20 dias de armazenamento, a 8 °C.	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.	Composição (centesimal, mineral e vitaminas) da beterraba crua.	3
Quadro 2.	Regiões do espectro eletromagnético e suas faixas de comprimento de onda.	9
Quadro 3.	Dose letal de radiação para alguns organismos.	13
Quadro 4.	Valores de D_{10} para alguns microrganismos encontrados em alimentos.	14
Quadro 5.	Efeitos da irradiação da molécula de metano e produtos radiolíticos formados.	15
Quadro 6.	Efeitos da irradiação da molécula de água e os produtos radiolíticos (primários e secundários) possivelmente formados.	15
Quadro 7.	Produtos radiolíticos formados a partir da irradiação da água em presença de oxigênio.	16
Quadro 8.	Composição de aminoácidos (g/16gN) de Cod (<i>Gadus morhua</i>) não irradiado e irradiado a diferentes doses.	18
Quadro 9.	Resumo dos dados agroclimatológicos observados no período de avaliação (12 de agosto a 21 de outubro de 2005) durante a condução no campo do experimento 1.	33
Quadro 10.	Resumo dos dados agroclimatológicos observados no período de avaliação (13 de outubro a 23 novembro de 2005) durante a condução no campo do experimento 2.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Resumo das etapas do cultivo da beterraba vermelha nos dois experimentos	22
Tabela 2.	Datas das avaliações para determinação do estágio de desenvolvimento das plantas de beterraba dos experimentos 1 e 2.	22
Tabela 3.	Análise da variância para determinações da massa fresca (g) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).	32
Tabela 4.	Resultado das determinações da massa fresca (g) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).	32
Tabela 5.	Análise da variância para as determinações do comprimento (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).	34
Tabela 6.	Resultado das determinações do comprimento (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).	34
Tabela 7.	Análise da variância para determinações do diâmetro médio (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).	35
Tabela 8.	Resultado das determinações do diâmetro médio (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).	35
Tabela 9.	Análise da variância para determinações do teor de sólidos solúveis totais (^o Brix) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).	36
Tabela 10.	Resultado das determinações do teor de sólidos solúveis totais (^o Brix) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).	37
Tabela 11.	Resultados das análises microbiológicas em amostras de beterrabas vermelhas, do experimento 1, minimamente processadas, irradiadas e armazenadas (a 8 °C) por 21 dias.	38
Tabela 12.	Análise da variância das determinações, por CLAE, da sacarose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).	40
Tabela 13.	Resultado das análises, por CLAE, da sacarose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).	41
Tabela 14.	Análise da variância das determinações, por CLAE, da glicose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).	42
Tabela 15.	Resultado das análises, por CLAE, da glicose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).	42
Tabela 16.	Análise da variância das determinações, por CLAE, da frutose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).	43
Tabela 17.	Resultados das análises, por CLAE, da frutose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).	43
Tabela 18.	Análise da variância das determinações, por CLAE, da vitamina B1 (µg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).	44
Tabela 19.	Resultados das análises, por CLAE, da vitamina B1 (µg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).	44

Tabela 20.	Análise da variância para as determinações, por CLAE, da vitamina B2 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	45
Tabela 21.	Resultados das análises, por CLAE, da vitamina B2 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	46
Tabela 22.	Análise da variância para as determinações do pH em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	47
Tabela 23.	Resultados das determinações do pH em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	47
Tabela 24.	Análise da variância para as determinações da acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	48
Tabela 25.	Resultados das determinações da acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	49
Tabela 26.	Análise da variância para as determinações do teor de sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	50
Tabela 27.	Resultados das determinações do teor de sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	50
Tabela 28.	Análise da variância para as determinações do teor de ácido ascórbico (mg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	51
Tabela 29.	Resultados das determinações do teor de ácido ascórbico (mg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 1).	52
Tabela 30.	Análise da variância das determinações da massa fresca (g) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).	54
Tabela 31.	Resultado das determinações da massa fresca (g) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).	54
Tabela 32.	Análise da variância para as determinações do comprimento (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2)	56
Tabela 33.	Resultado das determinações do comprimento (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).	56
Tabela 34.	Análise da variância para as determinações do diâmetro médio (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2)	57
Tabela 35.	Resultado das determinações do diâmetro médio (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).	57
Tabela 36.	Análise da variância para determinações do teor de sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).	58
Tabela 37.	Resultado das determinações do teor de sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).	58
Tabela 38.	Resultados das análises microbiológicas em amostras de beterrabas vermelhas, do experimento 2, minimamente processadas, irradiadas e armazenadas (a 8°C) por 21 dias.	59

Tabela 39.	Análise da variância das determinações, por CLAE, da sacarose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	61
Tabela 40.	Resultados das análises, por CLAE, da sacarose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	62
Tabela 41.	Análise da variância das determinações, por CLAE, da glicose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	62
Tabela 42.	Resultados das análises, por CLAE, da glicose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	63
Tabela 43.	Análise da variância das determinações, por CLAE, da frutose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	63
Tabela 44.	Resultados das análises, por CLAE, da frutose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	64
Tabela 45.	Análise da variância das determinações, por CLAE, de vitamina B1(µg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	65
Tabela 46.	Resultados das análises, por CLAE, de vitamina B1 (µg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	65
Tabela 47.	Análise da variância das determinações, por CLAE, da vitamina B2 (µg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	66
Tabela 48.	Resultados das análises, por CLAE, da vitamina B2 (µg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	66
Tabela 49.	Análise da variância para as determinações do pH em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	67
Tabela 50.	Resultados das determinações do pH em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	67
Tabela 51.	Análise da variância para as determinações da acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	68
Tabela 52.	Resultados das determinações da acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	69
Tabela 53.	Análise da variância para as determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	69
Tabela 54.	Resultados das determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	70

Tabela 55.	Análise da variância para as determinações do teor de ácido ascórbico (mg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	70
Tabela 56.	Resultados das determinações do teor de ácido ascórbico (mg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	71
Tabela 57.	Análise da variância para as determinações da aceitação, com base na avaliação da aparência, das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	72
Tabela 58.	Resultados das determinações da aceitação, com base na avaliação da aparência, das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	73
Tabela 59.	Análise da variância para as determinações da aceitação, com base na avaliação do aroma, das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	75
Tabela 60.	Resultados das determinações da aceitação, com base na avaliação do aroma, das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).	75

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 A Beterraba	2
2.1.1 Beterrabas hortícolas	2
2.1.2 Betalaínas	4
2.2 Importância Econômica	6
2.3 Processamento Mínimo	6
2.4 Irradiação de Alimentos	7
2.4.1 O espectro eletromagnético	8
2.4.2 Radiações utilizadas nos processos de irradiação de alimentos	9
2.4.3 Fontes gama utilizadas na irradiação de alimentos	10
2.4.4 A segurança dos alimentos irradiados	11
2.4.5 Vantagens da irradiação de alimentos	11
2.4.6 Justificativas para a irradiação de alimentos	12
2.4.7 Efeitos químicos e biológicos das radiações ionizantes	12
2.4.7.1 Efeitos biológicos – danos na molécula de DNA	13
2.4.7.2 Efeitos químicos – formação de produtos radiolíticos	14
2.5 Análise Sensorial	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Cultivar Utilizada	20
3.2 Forma de Cultivo	20
3.3 Avaliação do Estágio de Desenvolvimento da Beterraba (ponto de colheita)	22
3.3.1 Caracterização física das amostras	23
3.3.2 Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)	23
3.4 Processamento Mínimo	23
3.5 Irradiação	26
3.6 Avaliações das Amostras de Beterraba Minimamente Processada e Irradiada	26
3.6.1 Avaliações microbiológicas	26
3.6.1.1 Preparação das amostras para análise	27
3.6.1.2 Detecção de <i>Salmonella</i> sp. (presença ou ausência em 25 g)	27
3.6.1.3 Determinação de coliformes a 35 e a 45 °C (NMP/g)	27
3.6.1.4 Contagem total de bactérias aeróbias mesófilas (UFC/g)	27
3.6.1.5 Determinação de bactérias láticas (UFC/g)	27
3.6.2 Análises químicas	28
3.6.2.1 Determinação dos teores de açúcares	28
3.6.2.2 Determinação dos teores de vitaminas B1 e B2	28

3.6.2.2.1 Condições cromatográficas para determinação do teor de vitamina B1	28
3.6.2.2.2 Condições cromatográficas para determinação do teor de vitamina B2	29
3.6.3 Análises físico-químicas	29
3.6.3.1 Preparação das amostras para análise	29
3.6.3.2 Determinação do pH	29
3.6.3.3 Determinação da acidez total titulável (ATT)	29
3.6.3.4 Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)	30
3.6.3.5 Determinação do teor de ácido ascórbico (TAA)	30
3.6.4 Análise sensorial das amostras do experimento 2	30
3.7 Delineamento Estatístico e Programa Utilizado	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Experimento 1	32
4.1.1 Avaliação do estágio de desenvolvimento da beterraba (ponto de colheita)	32
4.1.1.1 Massa fresca (MF)	32
4.1.1.2 Comprimento (C)	33
4.1.1.3 Diâmetro médio (DM)	35
4.1.1.4 Sólidos solúveis totais (SST)	36
4.1.2 Avaliações microbiológicas	37
4.1.2.1 Enterobactérias (<i>Salmonella</i> sp., e coliformes)	38
4.1.2.2 Bactérias aeróbias mesófilas e bactérias láticas	39
4.1.3 Análises químicas	40
4.1.3.1 Determinação dos teores de açúcares	40
4.1.3.1.1 Sacarose	40
4.1.3.1.2 Glicose	41
4.1.3.1.3 Frutose	43
4.1.3.2 Determinação dos teores das vitaminas B1 e B2	44
4.1.3.2.1 Vitamina B1	44
4.1.3.2.2 Vitamina B2	45
4.1.4 Análises físico-químicas	47
4.1.4.1 Determinação do pH	47
4.1.4.2 Determinação da acidez total titulável (ATT)	48
4.1.4.3 Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)	49
4.1.4.4 Determinação do teor de ácido ascórbico (TAA)	51
4.2 Experimento 2	54
4.2.1 Avaliação do estágio de desenvolvimento da beterraba (ponto de colheita)	54
4.2.1.1 Massa fresca (MF)	54
4.2.1.2 Comprimento (C)	55
4.2.1.3 Diâmetro médio (DM)	56
4.2.1.4 Sólidos solúveis totais (SST)	57
4.2.2 Avaliações microbiológicas	59

4.2.2.1 Enterobactérias (<i>Salmonella</i> sp., e coliformes)	59
4.2.2.2 Bactérias aeróbias mesófilas e bactérias láticas	60
4.2.3 Análises químicas	61
4.2.3.1 Determinação dos teores de açúcares	61
4.2.3.1.1 Sacarose	61
4.2.3.1.2 Glicose	62
4.2.3.1.3 Frutose	63
4.2.3.2 Determinação dos teores das vitaminas B1 e B2	64
4.2.3.2.1 Vitamina B1	64
4.2.3.2.2 Vitamina B2	66
4.2.4 Análises físico-químicas	67
4.2.4.1 Determinação do pH	67
4.2.4.2 Determinação da acidez total titulável (ATT)	68
4.2.4.3 Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)	69
4.2.4.4 Determinação do teor de ácido ascórbico (TAA)	70
4.2.5 Análises sensoriais	71
4.2.5.1 Aparência	72
4.2.5.2 Aroma	74
5 CONCLUSÕES	78
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1 INTRODUÇÃO

A beterraba vermelha é uma hortaliça bastante apreciada pelo consumidor brasileiro, sendo normalmente consumida *in natura*. Modernamente, com a crescente demanda global por produtos hortícolas frescos, entre eles, os minimamente processados, tornam-se necessárias pesquisas que possam gerar informações e tecnologias que venham a permitir o aumento da oferta desses produtos.

Os produtos minimamente processados aliam, à manutenção do frescor, vantagens adicionais, como a praticidade e a redução de perdas. No Brasil, esse segmento movimentou, só em 1999, o equivalente a US\$ 5.000.000, principalmente para abastecimento das cozinhas industriais e dos grandes centros populacionais. Essa tendência é consequência da crescente conscientização dos consumidores de que esse tipo de produto oferece maior comodidade e praticidade na hora do preparo e consumo das refeições, conservando o sabor natural e o valor nutricional. No entanto, existe ainda uma série de preocupações quanto à qualidade do produto e sua vida útil, a qual depende da observação de fatores, dentre eles: o controle rígido de temperatura, a sanitização eficiente e a manutenção de sua aparência, aroma e valor nutricional.

Um dos processos que podem ser utilizados, visando a estender a vida útil de produtos minimamente processados, é a utilização de radiações ionizantes. Entre seus principais efeitos, está a redução ou eliminação de populações de microrganismos presentes nos alimentos, bem como a inibição de processos fisiológicos de origem enzimática que aceleram a deterioração do produto.

Por conseguinte, o objetivo do presente estudo foi avaliar, por meio de análises químicas, físico-químicas, microbiológicas e sensoriais, os efeitos de baixas doses de radiação gama na extensão da vida útil e na garantia da segurança microbiológica da beterraba vermelha, colhida em dois diferentes estágios de desenvolvimento e minimamente processada.

A hipótese que embasou tal estudo foi que a aplicação de baixas doses de radiação gama promoveria a extensão da vida útil e garantiria a segurança microbiológica da beterraba vermelha minimamente processada (independentemente do ponto de colheita), sem causar diminuições significativas no seu valor nutricional e em sua qualidade sensorial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A Beterraba

A beterraba, planta da família *Chenopodiaceae*, pertence à espécie *Beta vulgaris* L. (LINNAEUS, 1753) que, segundo LANGE *et al.* (1999), se divide em três subespécies: **a)** *Beta vulgaris* ssp. *adanesis*, grupo distinto de plantas semi-anuais, com características morfológicas específicas, que apresentam um grande declínio na autofertilização; **b)** *Beta vulgaris* ssp. *maritima*, formada por um grande complexo de tipos morfológicos que ocorrem em uma vasta área geográfica, e cujas diferenças são insuficientes para estabelecer outras subdivisões; **c)** *Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*, que agrupa todas as cultivares já domesticadas.

Ainda segundo LANGE *et al.* (1999), todas as cultivares de subespécie *Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* conhecidas até então, podem ser subdivididas em quatro grupos: **beterrabas folhosas** (*Leaf Beet Group*), que agrupa as cultivares cuja a parte comestível são as folhas e os pecíolos, pois suas raízes não exibem diâmetro significativamente aumentado; **beterrabas açucareiras** (*Sugar Beet Group*), em sua maioria de coloração branca e que são cultivadas nos Estados Unidos da América e no continente europeu para produção de açúcar; **beterrabas forrageiras** (*Fodder Beet Group*), cultivares destinadas à alimentação dos rebanhos das regiões já citadas; e **beterrabas hortícolas** (*Garden Beet Group*), único grupo cultivado comercialmente no Brasil formado por cultivares que apresentam uma parte tuberosa comestível.

A beterraba originou-se primariamente na Europa e no Norte da África, sendo o Oriente Próximo considerado como centro de origem secundário (FERREIRA *et al.*, 1993). A domesticação das primeiras cultivares ocorreu há cerca de 2500 anos (LANGE *et al.*, 1999). Sua utilização como alimento, nas regiões do Leste do Mediterrâneo e do Oriente Médio, remonta aos primórdios da civilização, quando apenas as folhas de algumas plantas da subespécie *maritima* eram consumidas. Um antigo texto Assírio menciona que, por volta de 800 a.C., beterrabas cresciam nos jardins suspensos da Babilônia. Sabe-se também que os gregos utilizavam beterrabas como oferendas ao deus Sol Apollo (NOTTINGHAM, 2004).

2.1.1 Beterrabas hortícolas

As cultivares desse grupo apresentam, em sua maioria, coloração vermelho-púrpura (Figura 1) e, devido ao seu elevado valor nutricional (Quadro 1), são muito utilizadas para o consumo humano.

A beterraba hortícola é uma hortaliça que possui uma parte tuberosa típica, de formato globular, geralmente de coloração purpúrea, que se desenvolve quase à superfície do solo, sendo formada pelo intumescimento do hipocótilo (parte abaixo dos cotilédones). Seu sistema radicular é do tipo pivotante, sua raiz principal chega a atingir 60 cm de profundidade e possui poucas ramificações laterais. A planta da beterraba é tipicamente bienal, exigindo um período de frio intenso para passar à etapa reprodutiva do ciclo. Na fase vegetativa há o desenvolvimento de folhas alongadas ao redor de um caule diminuto e da parte tuberosa. Na etapa reprodutiva ocorre emissão do pendão floral, com produção de sementes, constituídas por aglomerados de 3 ou 4 diminutos frutos corticosos (os glomérulos). Cada glomérulo apresenta um óvulo, que origina uma semente botânica (FILGUEIRA, 2003).



Figura 1. Beterraba vermelha (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.), cv. Early Wonder. (A) planta; (B) corte transversal da parte tuberosa; (C) corte longitudinal da parte tuberosa. Fonte: o autor.

Quadro 1. Composição (centesimal, mineral e vitaminas) da beterraba crua.

Parâmetro avaliado (unidade)	Teor (em 100g)
Umidade (g)	86
Energia (kcal)	49
Proteína (g)	2
Lipídeos (g)	traços
Carboidrato (g)	11
Fibra Alimentar (g)	3,4
Cinzas (g)	0,9
Cálcio (mg)	18
Magnésio (mg)	24
Manganês (mg)	1,2
Fósforo (mg)	19
Ferro (mg)	0,3
Sódio (mg)	10
Potássio (mg)	375
Cobre (mg)	0,08
Zinco (mg)	0,5
Vitamina B1- Tiamina (mg)	0,04
Vitamina B2 - Riboflavina (mg)	<0,02
Vitamina B6 - Piridoxina (mg)	0,04
Vitamina C (mg)	3

Fonte: Núcleo de Estudos e Pesquisa em Alimentação NEPA-UNICAMP (2006).

A beterraba, por ser planta típica dos climas temperados, se desenvolve bem sob regimes de temperaturas amenas a frias, preferencialmente entre 10 e 20 °C, apresentando resistência ao frio intenso e a geadas leves. O calor é um fator limitante para a maioria das cultivares. Por conseguinte, quando plantada sob temperatura e pluviosidade elevadas, ocorre a destruição prematura das folhas por doenças fúngicas e as beterrabas adquirem coloração

interna indesejável, com anéis claros. Há poucas cultivares desenvolvidas no Brasil, sendo a maioria delas de origem norte-americana ou europeia. A tradicional cultivar Early Wonder, a mais cultivada e comercializada, da qual há algumas seleções diferenciadas comercializadas, tornou-se padrão de qualidade, sendo precoce e exibindo raízes globulares e coloração purpúrea, interna e externamente. As folhas são eretas, alongadas, de tamanho uniforme e coloração verde-escura.

No Brasil, a beterraba é uma hortaliça bem apreciada e cultivada principalmente nas regiões Sudeste e Sul. Seu sistema radicular, do tipo pivotante que confere boa adaptação ao transplante, favorece a adoção de sistema de plantio indireto, o qual já se tornou muito comum. Nesse tipo de cultivo, a colheita pode ser iniciada entre 60 e 70 dias após o transplante das mudas. Por outro lado, quando o plantio se dá por semeadura direta, o ciclo vegetativo da planta é de 90 a 100 dias e sua produtividade varia entre 30 e 40 t/ha (FRANCH, 2000).

Além de ser muito nutritiva, a beterraba vermelha possui cor muito atraente, o que explicaria, pelo menos em parte, o crescimento de seu consumo, na forma de produto minimamente processado. Segundo BOBBIO & BOBBIO (2001), essa propriedade decorre da presença das betacianinas, pigmentos vermelhos que, juntamente com as betaxantinas (de coloração amarela), pertencem ao grupo das betalaínas.

2.1.2 Betalaínas

Segundo NOTTINGHAM (2004), os diversos pigmentos encontrados nas plantas podem ser classificados em quatro classes: clorofilas; carotenóides; flavonóides e betalaínas. Clorofilas e carotenóides são pigmentos insolúveis em água, encontrados no interior dos cromoplastos. Em contraste, os flavonóides e as betalaínas são solúveis em água e são encontrados dissolvidos no citoplasma das células vegetais. As betalaínas são pigmentos nitrogenados que se apresentam nas cores amarela, laranja, rosa, vermelha e púrpura e que, diferentemente das outras três classes, apresentam distribuição limitada, ocorrendo apenas em plantas da ordem *Caryophyllales* e em fungos do gênero *Amanita*. As colorações vermelhas encontradas nas plantas são devidas, em sua ampla maioria, aos carotenóides ou aos flavonóides. As colorações de frutos, como morangos e uvas, e de vegetais, como a berinjela e o repolho roxo, são devidas à presença das antocianinas, pigmentos que pertencem ao grupo dos flavonóides.

As beterrabas vermelhas (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.) e o fruto do cacto “prickly pear” (*Opuntia ficus-indica* L.), também conhecido como “palma forrageira”, muito comum no semi-árido do Nordeste brasileiro, eram, até pouco tempo, as únicas fontes comestíveis naturais das betalaínas (KANNER *et al.*, 2001). Entretanto, isso deixou de ser verdade a partir da redescoberta do amaranto (*Amaranthus* L.), pseudocereal originário dos Andes e do planalto mexicano, também da ordem das *Caryophyllales*, família *Amarantaceae* que, segundo as pesquisas de CAI *et al.* (2005), também apresenta concentrações elevadas de betalaínas, sendo inclusive fonte alternativa para extração comercial desses pigmentos. As espécies *Amaranthus caudatus*, *Amaranthus cruentus* e *Amaranthus hypochondriacus* têm sido objeto de estudo em diversas partes do mundo. No cerrado brasileiro, essas espécies têm demonstrado uma boa adaptação e um grande potencial agronômico (TEIXEIRA *et al.*, 2003). Na China, o amaranto é utilizado como forrageira, porém na África, Ásia e nas Américas, é considerado uma hortaliça.

Os pigmentos betalaínicos, além de serem responsáveis pela cor da beterraba, contribuem para que ela seja incluída no grupo dos 10 vegetais com maior atividade antioxidante (SCHIEBER *et al.*, 2001). Segundo PAVLOV & BLEY (2006), as betalaínas,

devido às suas propriedades redutoras capturam os radicais livres e previnem a oxidação das moléculas.

De acordo com ZRÝD & CHRISTINE (2003), as betalaínas são pigmentos derivados do ácido betalâmico (Figura 2), que se classificam em dois subgrupos: betaxantinas (amarelas) e betacianinas (vermelhas). No passado, esses compostos foram erroneamente denominados de “antocianinas nitrogenadas”, enquanto hoje, são conhecidos como “cromoalcalóides”, devido à presença de um átomo de nitrogênio no grupo cromóforo. Na Figura 3, podem ser visualizadas as diferenças químicas e estruturais entre as antocianinas e as betalaínas.

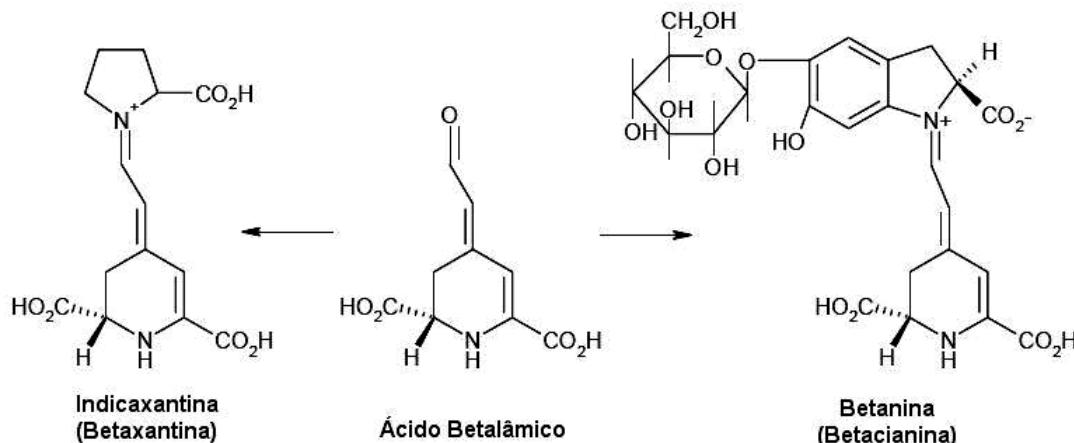


Figura 2. Fórmula estrutural do ácido betalâmico, principal cromóforo das betalaínas, presente em todas as betaxantinas, associado a um aminoácido, a um composto amino (exemplo: indicaxantina extraída de *Opuntia ficus-indica* L.) ou, em todas as betacianinas, em associação com o ciclo-DOPA (exemplo: betanina da *Beta vulgaris* L.). Adaptação de: ZRÝD & CHRISTINE (2003).

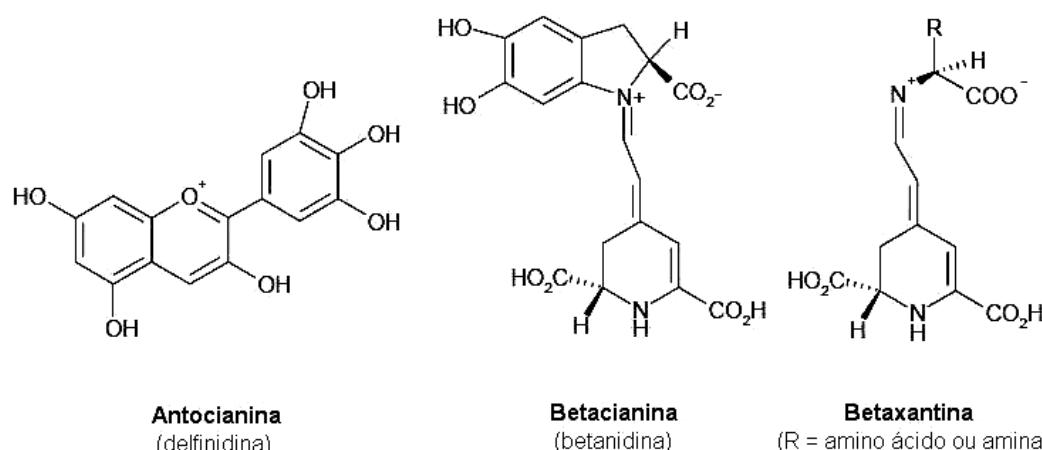


Figura 3. Comparação entre as estruturas das antocianinas, betacianinas e betaxantinas. Adaptação de: ZRÝD & CHRISTINE (2003).

Várias cultivares de beterraba que pertencem ao grupo *Garden Beet Group* apresentam mistura complexa de pigmentos betalaínicos. Embora a maioria exiba coloração vermelha

intensa, algumas mostram outras colorações, como: laranja; amarela e branca. Essas variações de cor são decorrentes das diferentes razões entre as concentrações de betaxantinas e betacianinas. Na cultivares de forte coloração vermelha, como é o caso da cultivar Early Wonder, predominam as betacianinas, sendo a betanina a mais importante delas.

Verifica-se atualmente uma utilização crescente dos pigmentos da beterraba em substituição aos corantes artificiais. O “vermelho de beterraba” é obtido a partir da concentração do suco (resultante do esmagamento das raízes de beterraba vermelha) ou do extrato aquoso de suas raízes e sua utilização foi regulamentada no âmbito da Comunidade Européia por meio da Diretiva 95/45/CE (SPOCE, 1995) e, no MERCOSUL, por meio da Resolução nº. 388 (BRASIL, 1999).

2.2 Importância Econômica

A produção nacional de beterraba é uma das mais significativas, dentro do contexto do mercado nacional de hortaliças. Só no Estado de São Paulo existiam, em 2002, cerca de 1.700 propriedades, produzindo em média 115.000 toneladas de beterraba por ano, numa área cultivada de 5.000 hectares (CAMARGO FILHO e MAZZEI, 2002). Atualmente, estão sendo cultivados no Brasil, cerca de 10.000 hectares dessa hortaliça em mais de 100.000 propriedades, 45% delas localizadas na Região Sudeste (com maior predominância nas regiões de São José do Rio Pardo, Piedade e Ibiúna, no Estado de São Paulo, e São Gotardo, Madre de Deus e Carandaí, no Estado de Minas Gerais) e 35% na Região Sul, especialmente nos cinturões verdes das grandes capitais, como Curitiba e Porto Alegre. Essas regiões são responsáveis pela produção de 250.000 a 300.000 toneladas por ano (BETERRABA..., 2006). No período de maio a agosto de 2006, o preço médio do quilograma de beterraba vermelha comercializado no varejo na Cidade de São Paulo foi de R\$ 1,46 (INFORMAÇÕES ECONÔMICAS..., 2006).

2.3 Processamento Mínimo

Nos últimos anos, tem ocorrido uma crescente demanda global por produtos hortícolas frescos. Dentre eles, destaca-se o segmento dos minimamente processados, que são aqueles que aliam à manutenção do frescor, vantagens adicionais, como a praticidade e a redução de perdas (JUNQUEIRA & LUENGO, 2000; MARTINS *et al.*, 2004; BRUNO *et al.*, 2005).

Os produtos minimamente processados surgiram há mais de 30 anos nos Estados Unidos da América. No Brasil, esse segmento da agroindústria de alimentos, que se iniciou em 1994, movimentou o equivalente a US\$ 5.000.000 em 1999 (GOULARTE *et al.*, 2004). Embora o mercado brasileiro ainda seja considerado incipiente (EMBRAPA & SEBRAE, 2003), nos últimos anos, houve um crescimento considerável na oferta desses produtos (MORETTI, 2004), voltada principalmente para o mercado das cozinhas industriais e para os grandes centros populacionais. Essa tendência é consequência da crescente conscientização dos consumidores de que esse tipo de produto oferece maior comodidade e praticidade na hora do preparo e consumo das refeições, conservando o sabor natural e o valor nutricional. Embora ainda não existam estatísticas definitivas para esse tipo de indústria no Brasil, alguns economistas estimam que a venda de produtos minimamente processados represente atualmente entre 8 e 10% do mercado de frutos e vegetais frescos.

As preocupações relativas aos produtos minimamente processados incluem: duração da vida útil; necessidade de um controle rígido de temperatura; sanitização eficiente;

manutenção da qualidade do produto em relação à aparência, aroma e ao valor nutricional (CANTWELL, 1995).

No processamento mínimo de vegetais estão incluídas etapas de seleção, limpeza, descascamento, corte, sanitização, acondicionamento em embalagem e manutenção em cadeia de frio (sob refrigeração) até a comercialização (BAUR *et al.*, 2004). Todo o processo é realizado de modo a garantir que o produto final: a) seja seguro, isto é, não apresente riscos à saúde dos consumidores; b) conserve o frescor e c) mantenha suas qualidades sensoriais.

Garantir a segurança do alimento deve ser a principal preocupação de todos aqueles envolvidos no processo, sejam eles produtores, processadores, transportadores, comerciantes ou consumidores. Os alimentos de origem vegetal apresentam microbiota composta principalmente por microrganismos deteriorantes, originária do meio circunvizinho. A essa contaminação natural, somam-se aquelas decorrentes das etapas de processamento, onde a água e os manipuladores constituem as principais fontes de contaminação (BRUNO *et al.*, 2005).

Vários estudos têm sido realizados objetivando a melhoria do processo e o desenvolvimento de novos produtos que atendam satisfatoriamente as crescentes exigências do mercado consumidor (LANA, 2000; LIMA, 2001; SOLIVA-FORTUNY & MARTÍN-BELLOSO, 2003; VITTI, 2003; DAMASCENO *et al.*, 2005; MENEZES *et al.*, 2005; RINALDI *et al.*, 2005; SILVA *et al.*, 2005).

No mercado brasileiro, a beterraba vermelha minimamente processada tem apresentado grande aceitabilidade por parte dos consumidores (KLUGE e VITTI, 2004), sendo comercializada principalmente como integrante de saladas mistas, prontas para o consumo (*fresh-cut*).

Entretanto, o processamento mínimo da beterraba vermelha apresenta alguns problemas de ordem tecnológica, destacando-se entre eles o fato das betalaínas serem hidrossolúveis, o que favorece a perda desse pigmento durante as etapas sanitização e enxágüe e por consequência, podendo tornar a aparência do produto pouco atraente ao consumidor.

Algumas etapas do processamento mínimo, como o descascamento e o corte, provocam graves injúrias nos tecidos vegetais, que ao serem lesionados liberam fluidos celulares nutrientes para o meio, favorecendo o rápido crescimento de microrganismos deteriorantes e/ou patogênicos e enzimas, que atuam sobre os tecidos vegetais e promovem o escurecimento das suas superfícies expostas (BERBARI *et al.*, 2001; ROSA & CARVALHO, 2004; LU *et al.*, 2005; ZHANG *et al.*, 2006). Tanto a multiplicação da microbiota, como o escurecimento enzimático, contribuem para a diminuição da vida útil do produto, tornando necessária a adoção de procedimentos que contribuam para a redução desses processos.

A ação de microrganismos constitui o principal fator de risco para a segurança dos produtos minimamente processados, além de contribuir para a diminuição de sua vida útil. Dessa forma, são indispensáveis medidas que promovam o controle das fontes de contaminação, bem como a utilização de mecanismos que possam garantir a redução da carga microbiana residual. Nesse contexto, a irradiação destaca-se como uma das mais promissoras opções.

2.4 Irradiação de Alimentos

A utilização de radiações ionizantes para reduzir ou eliminar populações de microrganismos presentes nos alimentos não constitui uma tecnologia moderna, pois esse processo teve suas primeiras patentes requeridas em 1905 (nos Estados Unidos da América e na Inglaterra), portanto há mais de um século (CCR, 2001). Contudo, a difusão dessa

tecnologia só ocorreu após a Segunda Guerra Mundial, a partir do lançamento do programa “Átomos para Paz”, uma campanha a nível mundial para divulgar os usos benéficos da energia atômica e fomentar pesquisas na área de irradiação de alimentos. O Departamento Médico das Forças Armadas Americanas foi um pioneiro nessas pesquisas (SENDRA *et al.*, 1996).

Pesquisas realizadas durante mais de três décadas têm comprovado o grande potencial da irradiação para conservar alimentos (OMS, 1995; LIMA *et al.*, 2004). Nesse período, tanto sua eficácia, quanto sua segurança foram extensivamente demonstradas (OMS, 1989; DIEHL, 1990; OMS, 1995; GOULD, 1996; LADO & YOUSEF, 2002; HERNANDES *et al.*, 2003; CHAUDRY *et al.*, 2004; GOULARTE *et al.*, 2004; MARTINS *et al.*, 2004; BIB *et al.*, 2005; MAÑAS & PAGÁN, 2005). O processo é indicado quando se deseja diminuir, inativar ou mesmo eliminar a carga microbiológica residual, que permaneceu no alimento após os processos de sanitização, bem como inibir processos fisiológicos de origem enzimática que aceleram a deterioração do produto. Além da extensão da vida útil do alimento e da diminuição das perdas pós-colheita, a irradiação proporciona também uma melhoria em termos de segurança para a saúde do consumidor (CHAUDRY *et al.*, 2004; MARTINS *et al.*, 2004; GOULARTE *et al.*, 2004) por meio da diminuição e ou inativação dos microrganismos patogênicos.

No processo de irradiação, os materiais são submetidos à ação de um campo de radiação eletromagnética de alta densidade energética (raios gama ou raios X) ou uma partícula muito rápida (elétrons de alta energia). Para se entender porque o processo é viável, deve-se definir primeiramente o que vem a ser radiação eletromagnética.

A radiação eletromagnética é uma forma de energia que se propaga no espaço, normalmente em linha reta e com velocidade extremamente elevada. Suas formas mais conhecidas são a luz e o calor. Outros exemplos são: os raios- γ , os raios X, as microondas, a radiação ultravioleta e as ondas de rádio. A energia (E) de uma determinada radiação pode ser calculada pela Equação 1 (EWING, 1980), onde: h é a constante universal de Planck ($\approx 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$); c é a velocidade da radiação (no vácuo $\approx 2,998 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$) e λ é o comprimento de onda, cujas unidades mais comuns são: o Angstrom ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$); o micron ($1 \mu = 10^{-6} \text{ m}$) e o nanômetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10 \text{ \AA}$).

$$E = h \cdot c \cdot \lambda^{-1}$$

Equação 1

Da Equação 1, conclui-se que: radiações com comprimento de onda curto têm energia superior àquelas de comprimento de onda longo.

A unidade mais freqüentemente utilizada para quantificar a energia das radiações é o MeV (Mega elétron-Volt, $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ J}$), onde 1 eV (elétron-Volt) é a energia cinética adquirida por um elétron, quando acelerado por uma diferença de potencial de 1 volt.

2.4.1 O espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é composto por várias regiões, cada uma correspondente a uma faixa de comprimentos de onda (Quadro 2), segundo EWING (1980), sendo que as fronteiras entre essas regiões são determinadas pelos limites práticos dos métodos experimentais de produção e detecção das radiações.

Quadro 2. Regiões do espectro eletromagnético e suas faixas de comprimento de onda.

Região	Comprimento de onda (faixa)
Raios- γ	0,005 a 1,4 Å
Raios-x	0,01 a 100 Å
Ultravioleta afastado	10 a 200 nm
Ultravioleta próximo	200 a 400 nm
Visível	400 a 750 nm
Infravermelho próximo	0,75 a 2,5 μ
Infravermelho médio	2,5 a 50 μ
Infravermelho afastado	50 a 1000 μ
Microondas	0,1 a 100 cm
Ondas de rádio	1 a 1000 m

Fonte: EWING, (1980).

2.4.2 Radiações utilizadas nos processos de irradiação de alimentos

A irradiação de alimentos emprega uma faixa particular de energia eletromagnética conhecida por radiações ionizantes. As radiações ionizantes podem ser partículas ou fôtons que possuem energia suficiente para produzirem íons (partículas eletricamente carregadas) nos materiais com os quais entrem em contato (Figura 4).

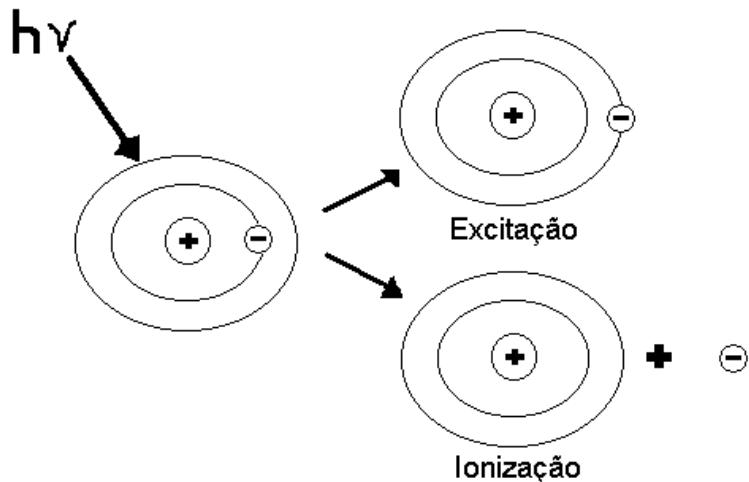


Figura 4. Representação dos fenômenos de excitação e ionização (por radiação ionizante).
Fonte: o autor.

Como exemplos de partículas ionizantes, têm-se: a partícula **a** (núcleo de hélio, ou seja: dois prótons e dois nêutrons) e os elétrons e prótons de alta energia. Na classe dos fôtons ionizantes, têm-se os raios X e os raios gama.

A legislação nacional para irradiação de alimentos (BRASIL – RDC 21, 2001) baseia-se em parte na internacional (CODEX STAN 106, 2006) e estabelece que só podem ser utilizadas para tratamento de alimentos as seguintes radiações ionizantes: **a)** Raios X,

produzidos por máquinas operando com energia máxima de 5 Mev; **b)** Feixes de elétrons produzidos por aceleradores, operando com energia máxima de 10 Mev; **c)** Raios gama gerados pelos radionuclídeos ^{60}Co ou ^{137}Cs .

2.4.3 Fontes gama utilizadas na irradiação de alimentos

O ^{60}Co (cobalto-60) tem meia-vida de 5,27 anos, decai para o ^{60}Ni (níquel-60, estável) por meio da emissão de dois fótons gama (1,17 e 1,33 MeV) e de uma partícula beta (0,31 MeV). É produzido artificialmente por meio da irradiação de barras de ^{59}Co (cobalto-59) em reatores nucleares. Tem a grande vantagem de ser insolúvel em água. Na Figura 5, é mostrado o esquema de uma barra de ^{60}Co , onde pode ser observado que os discos de ^{60}Co estão dispostos em paralelo no interior de dois tubos de aço concêntricos.

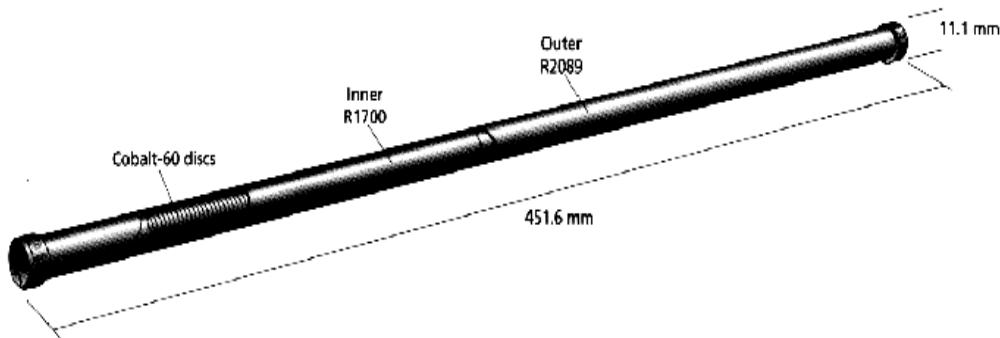


Figura 5. Esquema de uma barra de ^{60}Co (MDS NORDION, 2005).

O ^{137}Cs (césio-137) tem meia-vida de 30 anos, decai para o ^{137}Ba (bário-137 que é metaestável) por meio da emissão de duas partículas beta (0,51 e 1,18 MeV). Por sua vez, o ^{137}Ba metaestável decai para o estado estável por meio da emissão de um fóton gama (0,66 MeV). O ^{137}Cs é um produto de fissão do ^{235}U , obtido a partir do reprocessamento do combustível dos reatores nucleares na forma de CsCl , que é solúvel em água, sendo por isso triplamente encapsulado em aço inoxidável. Seu uso como fonte para irradiação foi muito difundido no início dos anos 70 (LAGUNAS-SOLAR, 1995), principalmente devido à sua grande disponibilidade naquela época, em virtude das atividades da indústria de reprocessamento de combustível nuclear. Sua maior desvantagem é ser solúvel em água, o que acarreta risco de contaminação do meio-ambiente e inviabiliza sua utilização em irradiadores comerciais. Entretanto, pode ser utilizado como fonte de irradiadores de pesquisa, aproveitando o fato de que sua meia-vida é longa, permitindo sua utilização por longos períodos.

Os Irradiadores gama comerciais (Figura 6), em sua absoluta maioria, têm fontes de ^{60}Co . Essa escolha está baseada em algumas características que representam vantagens sobre as fontes de ^{137}Cs : o ^{60}Co é insolúvel em água (menor risco de contaminação do meio-ambiente); está disponível, pois é fabricado comercialmente; e para fontes com a mesma atividade, fornece a mesma dose em um tempo 7 vezes menor (são dois fótons gama, com energia maior e a atenuação é menor, pois o encapsulamento é apenas duplo e os fótons são mais penetrantes).

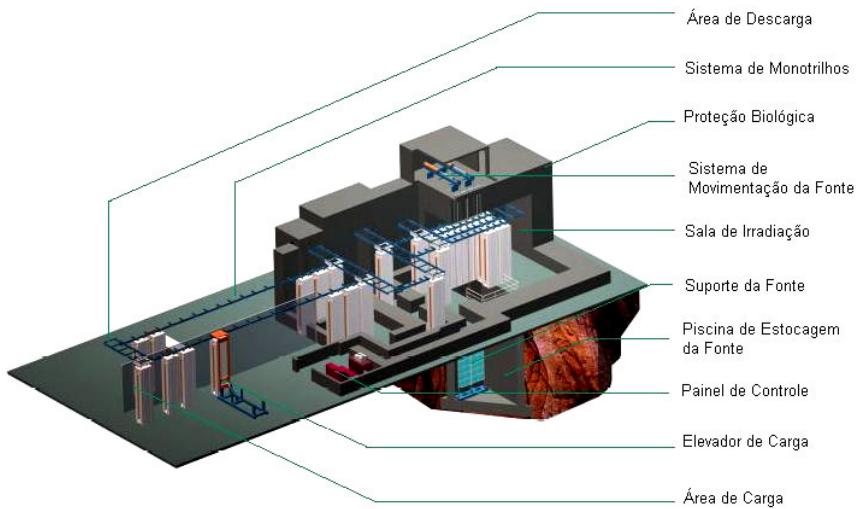


Figura 6. Esquema de um irradiador gama de grande porte. Fonte de ^{60}Co . Modificado de MDS NORDION (2005).

2.4.4 A segurança dos alimentos irradiados

Freqüentemente são levantados questionamentos com relação à segurança dos alimentos irradiados. Alimentos irradiados não se tornam radioativos, pois em nenhum momento, entram em contato direto com a fonte radioativa (ou seja, não são contaminados). Além disso, as energias das radiações utilizadas não são suficientes para ativar (induzir radioatividade) os alimentos (OMS, 1989). Todo o processo de irradiação segue normas pré-estabelecidas que garantem a segurança e visam a preservar a qualidade dos alimentos (BRASIL – RDC 21, 2001; CODEX STAN 106, 2006).

2.4.5 Vantagens da irradiação de alimentos

A irradiação é um processo de conservação que tem como aplicações: **a)** prevenir o brotamento de vegetais, como: batata, cebola e alho (ICGFI, 1991b; IAEA, 2003); **b)** retardar o amadurecimento e a senescência de frutos, como: manga, goiaba, banana, mamão, figo, pêra, uva, maracujá e morango (ICGFI, 1991a; AZIZ e MOUSSA, 2002; BREITFELLNER *et al.*, 2003); **c)** substituir eficientemente o tratamento quarentenário e a fumigação (ICGFI, 1994; MARÍN-HUACHACA *et al.*, 2004; CETINKAYA *et al.*, 2006); **d)** ser muito eficiente como método de desinfestação, pois elimina os insetos adultos, suas larvas e ovos (ICGFI, 1993; FOLLETT, 2004; CASTRO e VITAL, 2005; SIRISOONTARALAK e NOOMHORM, 2006); **e)** poder inativar ou eliminar bactérias (patogênicas ou deteriorantes), fungos, leveduras e vírus (GOULD, 1996; BIDAWID *et al.*, 2000; CHAUDRY *et al.*, 2004; GOULARTE *et al.*, 2004; LAFORTUNE & LACROIX, 2004; MARTINS *et al.*, 2004; BIB *et al.*, 2005; MAÑAS & PAGÁN, 2005; FARKAS, 2006; WEN *et al.*, 2006; HERNANDES *et al.*, 2006a; CHUNG *et al.*, 2007; SONG *et al.*, 2007); **f)** poder reduzir a atividade de fatores antinutricionais e inativar inibidores de proteases (SIDDHURAJU *et al.*, 2002a; SIDDHURAJU *et al.*, 2002b; AL-KAISEY *et al.*, 2003).

2.4.6 Justificativas para a irradiação de alimentos

A FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura) estima que de um quarto a um terço da produção mundial de alimentos se perde devido à ação de pragas, insetos, bactérias e fungos, que consomem, estragam ou contaminam os alimentos depois da colheita e durante o armazenamento (OMS, 1995). A diminuição de perdas tão expressivas pode gerar grande economia, contribuindo para o combate à fome.

Não bastasse esse fato, existe também uma questão de saúde pública envolvendo a prevenção de doenças transmitidas ao homem por alimentos e que são causadas por microrganismos patogênicos. Segundo o comitê misto de especialistas em segurança alimentar da Organização das Nações Unidas para Agricultura e da Organização Mundial de Saúde (FAO/WHO), as doenças oriundas de alimentos contaminados são "talvez o maior problema de saúde do mundo contemporâneo e constituem um importante fator de redução da atividade econômica" (OMS, 1995). Nos Estados Unidos, o CDC (Centro para Controle de Doenças) e a FDA (Administração de Drogas e Alimentos) estimam que anualmente mais de 33 milhões de americanos adoecem por contaminação microbiana. Estima-se que ocorram, no Canadá, mais de dois milhões de casos anualmente. Mais estarrecedor ainda é o resultado de um estudo da Organização Mundial da Saúde (OMS) que concluiu que 70% das 3,2 milhões de mortes anuais de crianças menores de cinco anos são decorrentes de doenças que se manifestam sob forma de diarréias, que são provocadas por agentes patogênicos transmitidos por alimentos (OMS, 1995). Muitas dessas doenças podem ser controladas pela irradiação (com baixas ou médias doses), que destrói os agentes causadores, como por exemplo: *Escherichia coli* (inclusive a cepa O157:H7); *Salmonella*; *Campylobacter* (IFT, 2001) e *Trichinella spiralis* (parasita freqüentemente encontrado em carne suína, cujas larvas perdem a capacidade de causar a triquinose com a aplicação de uma dose de 0,3 kGy (OMS, 1995)).

Além da indústria de alimentos, o processo de irradiação pode ser utilizado para promover a esterilização. Na área de saúde, além de ser utilizada para tratar materiais médico-hospitalares, a irradiação pode ser utilizada para esterilizar certos ingredientes de alimentos ou mesmo alimentos prontos para consumo destinados a pacientes imunodeprimidos, tornando suas dietas mais seguras, balanceadas e variadas (PIETRANERA *et al.*, 2003).

A utilização industrial do processo de irradiação, como meio de extensão da vida útil de um alimento, deve ser bem avaliada, principalmente no que se refere à qualidade sensorial, uma vez que a irradiação pode prejudicar algumas características sensoriais do alimento. Por outro lado, sabe-se que esses efeitos correlacionam-se com as doses de radiação aplicadas e cada alimento comporta-se de modo distinto (DIEHL, 1990; HERNANDES *et al.*, 2003). Por conseguinte, antes de se adotar comercialmente o processo, torna-se necessária a realização de estudos que avaliem a aceitação do produto irradiado pelo consumidor.

No presente estudo, a beterraba vermelha minimamente processada foi submetida a quatro tratamentos: controle (não irradiado – dose 0) e irradiação (com doses de 0,5; 1,0 e 1,5 kGy). Ao fim do trabalho, será definida a melhor dose, ou seja, aquela que garanta o atendimento dos Padrões Microbiológicos para Alimentos (BRASIL RDC 12, 2001), sem que as qualidades sensoriais sofram graves comprometimentos, em conformidade com a legislação brasileira que regulamenta a irradiação de alimentos (BRASIL RDC 21, 2001).

2.4.7 Efeitos químicos e biológicos das radiações ionizantes

A interação de um fóton de radiação com a matéria é um fenômeno de transferência de energia puramente físico (SIDDHURAJU *et al.*, 2002a) que se manifesta através de efeitos

químicos (ionizações). Quando esses efeitos ocorrem em moléculas que constituem tecidos vivos, geram os chamados efeitos biológicos das radiações ionizantes.

Como visto anteriormente, a energia liberada a partir da interação do fóton com a matéria pode ser suficiente para arrancar um elétron orbital, provocando a ionização. Em outros casos a radiação não tem energia suficiente, mas consegue promover o elétron a um nível energético superior, acarretando a excitação do átomo. Existem também situações em que a energia é muito baixa e apenas aumenta a rotação, translação ou vibração da molécula. Tanto a ionização, como a excitação pode acarretar a quebra de ligações químicas e, como consequência, ocasionar a formação de produtos radiolíticos (íons e radicais livres altamente reativos).

2.4.7.1 Efeitos biológicos – danos na molécula de DNA

Quando a matéria com a qual o fóton interage é a molécula de DNA de um microrganismo, a energia da radiação, ao ser transferida para essa molécula, pode modificar sua estrutura o que constitui um efeito biológico direto da radiação ionizante. Os efeitos indiretos ocorrem em situações em que a energia do fóton é transferida para uma molécula intermediária, como a água, por exemplo, cuja radiólise acarreta a formação de produtos radiolíticos altamente reativos, capazes de causar danos na molécula de DNA. De acordo com a extensão dos danos, podem ocorrer rupturas na molécula de DNA, o que resulta em um microrganismo capaz de continuar vivendo, mas incapaz de se multiplicar.

A unidade (no SI) de dose absorvida é o Gray (Gy). Um Gy equivale à quantidade de radiação que provoca a absorção de 1 Joule por kg de matéria exposta à radiação ($1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$). A dose letal de radiação para um determinado ser vivo corresponde à dose que provocaria 50% de mortalidade para a população a ela exposta. Já o valor D_{10} corresponde à dose que leva a uma redução de 90% da população inicial de microrganismos. Nos Quadros 3 e 4, são apresentados, respectivamente, exemplos de doses letais e valores de D_{10} para alguns organismos. A partir da observação desses quadros, chega-se à conclusão que: em geral, quanto mais complexo o organismo, menor será a dose letal. Isso ocorre porque organismos complexos apresentam cadeias de DNA muito maiores que os organismos simples.

Quadro 3. Dose letal de radiação para alguns organismos. (Cortesia da Seção de Defesa Nuclear da Divisão DQBN do Centro Tecnológico do Exército, 2005).

Organismo	Dose Letal (Gy)
Mamíferos	5 - 10
Insetos	10 - 1000
Bactérias	500 - 10.000
Esporos	10.000 - 50.000
Vírus	10.000 - 200.000

Quadro 4. Valores de D_{10} para alguns microrganismos encontrados em alimentos. Modificação de DIEHL (1990).

Microrganismo	Meio	Temperatura durante a irradiação	D_{10} (Gy)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	Peixe	Ambiente	30 - 60
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Carne magra	Ambiente	120
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	Água	Ambiente	120 - 140
<i>Campylobacter jejuni</i>	Carne	Ambiente	140 - 160
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Carne	2 °C.	140 - 190
<i>Yersinia enterocolytica</i>	Carne	Ambiente	100 - 210
<i>Shigella dysenteriae</i>	Camarão	Congelado	220
<i>Brucella abortus</i>	Carne	Ambiente	340
<i>Escherichia coli</i>	Carne magra	Ambiente	430
<i>Salmonella enteritidis</i>	Carne magra	Ambiente	700
<i>Salmonella newport</i>	Ovo	0 °C.	320
<i>Salmonella paratyphi B</i>	Ostras	5 °C.	850
<i>Salmonella typhimurium</i>	Carne magra	Ambiente	550
<i>Staphylococcus aureus</i>	Carne magra	Ambiente	580
<i>Streptococcus faecalis</i>	Camarão	5 °C.	750
<i>Moraxella-Acinetobacter (isolada de peixe marinho)</i>	Agar nutritivo	Ambiente	950 - 1900
<i>Moraxella-Acinetobacter (isolada de carne)</i>	Caldo nutritivo	Ambiente	4700
<i>Clostridium botulinum E-Alaska</i>	Carne cozida	Ambiente	1400
<i>Clostridium perfringens C</i>	Água	Ambiente	2100
<i>Bacillus cereus</i>	Caldo nutritivo	Ambiente	3200

2.4.7.2 Efeitos químicos – formação de produtos radiolíticos

Os produtos radiolíticos gerados direta ou indiretamente durante a irradiação são quimicamente iguais àqueles produzidos nos tratamentos térmicos (branqueamento, pasteurização, etc.) e nos processos de cocção dos alimentos (que são os produtos termolíticos), sendo que a única diferença está relacionada à quantidade formada que, no caso da irradiação, é muito menor (DIEHL, 1990; HERNANDES *et al.*, 2003).

Ao interagir com a matéria, a radiação ionizante pode produzir os seguintes efeitos primários: ionização, dissociação e excitação. Os produtos formados, em sua maioria, são extremamente reativos (uma molécula excitada só pode reter o excesso de energia por um período muito curto, da ordem de 10^{-8} s (URBAIN, 1986)). Toda essa instabilidade acarreta efeitos secundários, que podem ser: recombinação, dimerização, captura de elétrons e desproporcionalização. Esses efeitos podem ser ilustrados considerando-se, por exemplo, a interação de um raio gama com uma molécula de metano (Quadro 5).

Quadro 5. Efeitos da irradiação da molécula de metano e produtos radiolíticos formados. Modificação de DIEHL (1990).

Efeitos Primários	
$\text{CH}_4 + h\nu$ (fóton) \rightarrow	$\cdot\text{CH}_4^+ + e^-$ (ionização) $\cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{H}$ (dissociação) CH_4^* (excitação)
Efeitos Secundários	
$\cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{H} \rightarrow \text{CH}_4$	(recombinação)
$\cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{CH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$	(dimerização)
$\cdot\text{H} + \cdot\text{H} \rightarrow \text{H}_2$	
$\cdot\text{CH}_4^+ + e^- \rightarrow \text{CH}_4$	(captura de elétron)
Efeitos Primários e Secundários (simultâneos)	
$\text{CH}_4^* + h\nu \rightarrow \cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{H}$	(dissociação)
$\text{CH}_4^* + h\nu \rightarrow \cdot\text{CH}_4^+ + e^-$	(ionização)
$\cdot\text{CH}_3 + \cdot\text{CH}_3 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$	(dimerização)
$\text{C}_2\text{H}_6 + h\nu \rightarrow \cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ + e^-$	(ionização)
$\cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ + \cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ \rightarrow \text{C}_4\text{H}_{10}$	(dimerização)
$\cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ + \cdot\text{C}_2\text{H}_5^+ \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$	(desproporcionalização)

Como a maioria dos alimentos tem altas concentrações de água (chegando a mais de 90% em muitos vegetais), os produtos radiolíticos da água são muito importantes para a compreensão dos efeitos da irradiação em alimentos. Os produtos radilíticos da água (primários e secundários) são mostrados no Quadro 6.

Quadro 6. Efeitos da irradiação da molécula de água e os produtos radiolíticos possivelmente formados. Modificação de DIEHL (1990).

Produtos Primários	
$\text{H}_2\text{O} + h\nu$ (fóton) \rightarrow	$\cdot\text{H}_2\text{O}^+ + e^-$ (ionização) H_2O^* (excitação)
Efeitos Secundários	
$\text{H}_2\text{O}^* + h\nu \rightarrow \cdot\text{H} + \cdot\text{HO}$	(dissociação)
$\cdot\text{H} + \cdot\text{HO} \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	(recombinação)
$\cdot\text{H}_2\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \cdot\text{HO}$	
$e^- + (\text{H}_2\text{O})_n \rightarrow e^-$ (aquoso)	
e^- (aquoso) + $\cdot\text{HO} \rightarrow \text{HO}^-$	
e^- (aquoso) + $\text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \cdot\text{H}$	
$2e^-$ (aquoso) + $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{HO}^-$	
$\cdot\text{HO} + \cdot\text{HO} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	(dimerização)
$\cdot\text{H} + \cdot\text{H} \rightarrow \text{H}_2$	(dimerização)
$\text{H}_2\text{O}_2 + e^-$ (aquoso) $\rightarrow \text{HO}^- + \cdot\text{OH}$	
$\text{H}_2 + \cdot\text{HO} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \cdot\text{H}$	

De todos os produtos radiolíticos formados (primaria ou secundariamente) na irradiação da água, os únicos estáveis são o H₂ e o H₂O₂. Todos os demais são extremamente reativos e desaparecem logo após se formarem. O H₂O₂ é um potente oxidante, mas sua formação é drasticamente diminuída quando não existe O₂ disponível. Contudo, quando a radiólise da água ocorre em presença do O₂, outros agentes, também oxidantes, podem ser formados (Quadro 7).

Quadro 7. Produtos radiolíticos formados a partir da irradiação da água em presença de oxigênio. Modificação de DIEHL (1990).

$\cdot\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \cdot\text{HO}_2$	(hidroperóxido)
$\cdot\text{HO}_2 \leftrightarrow \text{H}^+ + \cdot\text{O}_2^-$	(superóxido)
$\text{e}^-_{\text{(aquooso)}} + \text{O}_2 \rightarrow \cdot\text{O}_2^-$	(superóxido)
$2 \cdot\text{HO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$	(peróxido)
$\cdot\text{O}_2^- + \cdot\text{HO}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$	(peróxido)

O valor nutricional de um alimento é uma função dos seus componentes, os quais podem ser classificados em **Macronutrientes** (Carboidratos, Proteínas e Lipídeos) e **Micronutrientes** (Vitaminas e Sais Minerais). Cada um desses grupos é constituído por uma infinidade de compostos que se agrupam, variando em concentrações e formando combinações que podem ser muito complexas.

Os produtos radiolíticos irão reagir com os constituintes do alimento, alterando ligeiramente a composição do substrato. O grau dessas alterações será dependente de fatores, tais como: dose aplicada; composição do alimento; temperatura durante a irradiação e armazenamento; presença ou não de oxigênio na embalagem etc. Cada grupo de componentes do alimento se comporta de maneira distinta frente à irradiação:

a) Carboidratos - Para o grupo dos carboidratos, a quantidade de água disponível é o principal fator que determinará a natureza e a quantidade dos produtos radiolíticos formados, já que as reações ocorrem a partir do radical ·OH, formado na radiólise da molécula de água. Um exemplo é a decomposição do amido em: dextrinas, maltose e glicose, o que provoca a diminuição da viscosidade nas soluções de polissacarídeos irradiadas. Muitas vezes, essa degradação é desejável, como no caso dos oligossacarídeos com atividade antinutricional (SIDDHURAJU *et al.*, 2002a; AL-KAISEY *et al.*, 2003), mas, se este não for o caso, podem ser tomadas providências para que a degradação não ocorra, como a adição de vitamina C, por exemplo (ALISTE e DEL MASTRO, 2004). Os efeitos da radiação sobre a composição de carboidratos em alimentos irradiados têm sido estudados em alguns trabalhos (GOMES *et al.*, 1999; LU *et al.*, 2005; WEN *et al.*, 2006; HERNANDES *et al.*, 2006b);

b) Proteínas e aminoácidos - As proteínas podem sofrer as mesmas reações que ocorrem com os aminoácidos que as integram (os aminoácidos sofrem reações de desaminação, desproporcionalização e descarboxilação, além de perderem hidrogênio na desidrogenação). Uma proteína pode conter 20 aminoácidos distintos e, em presença de água, seus aminoácidos podem reagir com os produtos da radiólise da água, gerando um grande número de produtos radilíticos. Pode então ocorrer a degradação da proteína em polipeptídios menores (devido à ruptura das ligações carbono-nitrogênio). Além disso, podem ocorrer reações de agregação de proteínas. A presença de oxigênio não chega a modificar a natureza dos produtos radiolíticos obtidos a partir das proteínas, embora influencie na quantidade dos mesmos. Entretanto, no alimento, a própria complexidade da matriz acaba por fazer com que as proteínas, sejam muito menos afetadas pelas radiações ionizantes do que seriam se fossem

irradiadas isoladamente. Um bom exemplo do efeito protetor da matriz é mostrado no trabalho de SIDDHURAJU *et al.* (2002b), onde se verifica que doses de 2 a 6 kGy não promoveram alterações significativas na composição de proteínas, fibras, cinzas e lipídios em algumas leguminosas estudadas;

c) Lipídeos - Por serem insolúveis em água, os lipídeos não são afetados diretamente pelo teor de água contido nos alimentos irradiados. Porém, as radiações ionizantes, ao interagirem diretamente com as moléculas dos lipídeos, dão origem a diversos produtos radiolíticos, como: ácidos graxos; ésteres; cetonas; aldeídos; alcanos; alquenos; diglicerídeos e triglicerídeos de cadeias mais curtas. Para que esses efeitos (que são indesejáveis, pois geram produtos que podem afetar negativamente, tanto o aroma quanto o sabor dos alimentos) sejam evitados, pode-se adicionar vitamina E (α -tocoferol) ao alimento antes da irradiação. O trabalho de NAM & AHN (2003) é um bom exemplo disso. Ele propõe a utilização de alguns antioxidantes (entre eles a vitamina E) para redução da oxidação dos lipídios em carne de porco irradiada;

d) Vitamina C - A vitamina C (em solução aquosa simples) é facilmente decomposta por radiação ionizante, originando, por exemplo, o ácido dehidroascórbico (através de reações com: e^- (aquoso) e $\cdot\text{OH}$, em pH neutro). Já em vegetais como: batata, cebola e tomate, suas perdas são insignificantes (mesmo com dose de 5 kGy) em virtude do efeito protetor da matriz do alimento;

e) Vitaminas do complexo B - A vitamina B1 (Tiamina) é a mais sensível à radiação ionizante, provavelmente devido à presença de duplas ligações com heteroátomos (C=O e C=N), o ataque principal é promovido pelos radicais: e^- (aquoso) e $\cdot\text{OH}$. No entanto, as perdas podem ser minimizadas, por exemplo, irradiando-se em presença de glicose (que tem grande afinidade pelo $\cdot\text{OH}$), ou em atmosfera de N_2O ou O_2 , que são moléculas ávidas pelo e^- (aquoso). Em carnes, as perdas de vitamina B1 por irradiação podem ser reduzidas se o processo for realizado em baixas temperaturas (-30° C.). As vitaminas B2 (Riboflavina), B6 (Piroxidina) e B12 (Cobalamina) são muito afetadas, quando irradiadas em soluções simples. Em contraste, nos alimentos, elas são protegidas por outras substâncias da matriz e suas perdas deixam de ser significativas;

f) Vitamina A - Alimentos fontes de vitamina A incluem tanto a vitamina (retinol), como também a protovitamina β -caroteno (carotenóide). As proteínas formam complexos com os carotenóides, protegendo-os dos efeitos danosos da irradiação. Por outro lado, o O_2 promove um aumento de perdas durante a irradiação. O ácido ascórbico (vitamina C) e o α -tocoferol (vitamina E), ao serem adicionados, promovem uma proteção aos carotenóides. A desidratação do alimento, quando possível, também é eficiente para promover a proteção dos carotenóides. O trabalho de SEBASTIÃO *et al.* (2002), por exemplo, investigou os efeitos da radiação gama sobre os níveis de carotenóides. Os autores concluíram que doses de até 20 kGy não afetaram significativamente o teor de vitamina A em salsa desidratada;

g) Vitamina D – Nos alimentos, a irradiação geralmente produz pequenas reduções nas concentrações das vitaminas D, tanto da D2 (calciferol), quanto da D3 (7-deidrocolesterol irradiado);

h) Vitamina E – Normalmente, a vitamina E (α -tocoferol) é facilmente oxidada, principalmente pela ação dos produtos da oxidação de gorduras insaturadas. A irradiação de alimentos com alto teor de lipídeos, quando feita em presença de O_2 , acarreta grandes perdas de vitamina E. Essas perdas são diminuídas reduzindo-se a concentração de O_2 ;

i) Vitamina K - Existe um grande número de compostos com a atividade da vitamina K. A sensibilidade à radiação depende do composto em questão (a forma mais sensível é a K3) e do meio no qual ele se encontra. A aplicação de uma dose de 30 kGy em carnes acarreta

perda total da vitamina K. Já nos alimentos de origem vegetal, a mesma dose promove perdas mínimas;

j) Minerais - A irradiação não altera significativamente os teores de sais minerais em alimentos.

Embora possa ocorrer formação de uma grande variedade de produtos radiolíticos oriundos de macronutrientes, a aplicação das boas práticas de irradiação minimiza tais efeitos. Por conseguinte, ao se irradiar um alimento (seguindo-se as boas práticas), as perdas de macronutrientes são normalmente inferiores a 2% . Um bom exemplo é mostrado no Quadro 8, onde são comparadas as concentrações de aminoácidos em bacalhau Cod (*Gadus morhua*) não irradiado, com aquelas determinadas em amostras irradiadas com diferentes doses. Observa-se que mesmo uma dose de esterilização (45 kGy) não produz diferenças muito significativas.

Quadro 8. Composição de aminoácidos (g/16gN) de Cod (*Gadus morhua*) não irradiado e irradiado a diferentes doses. Modificação de DIEHL (1990).

Aminoácido	Não Irradiado	Irradiados (doses em kGy)					
		1	3	6	10	25	45
Lisina	11,35	10,68	10,33	11,73	9,68	10,95	10,93
Metionina	3,19	3,10	2,78	3,21	3,06	3,54	3,56
Cisteina	1,66	0,98	0,83	1,08	1,03	1,14	1,18
Ácido Aspártico	10,95	9,97	10,04	11,43	10,02	11,40	11,83
Treonina	4,44	4,43	4,17	4,68	4,07	4,57	4,92
Serina	4,26	4,51	4,16	4,27	4,14	4,50	4,65
Ácido Glutâmico	16,11	15,82	14,69	17,35	15,14	16,20	16,71
Glicina	4,68	4,64	4,63	5,26	4,83	4,81	5,03
Alanina	5,52	5,60	5,36	6,54	5,80	6,14	6,34
Valina	4,82	4,44	4,32	4,82	4,23	4,51	5,06
Isoleucina	4,33	3,82	3,74	4,24	3,75	3,96	4,47
Leucina	7,75	7,95	7,13	7,86	7,16	7,71	8,30
Tirosina	3,45	3,23	3,09	3,49	3,05	3,17	3,32
Fenilamina	4,00	3,86	3,72	4,28	3,63	3,80	4,12
Arginina	6,39	6,51	6,01	6,91	5,49	5,74	5,91

2.5 Análise Sensorial

Nas análises sensórias, os órgãos dos sentidos humanos são utilizados para realização de medidas multidimensionais integradas que objetivam determinar a aceitação de um produto por parte do consumidor (CARDELLO e CARDELLO, 1998). Os fenômenos de aceitação ou rejeição de um alimento sofrem influência direta das propriedades sensoriais do mesmo. Portanto, uma escala hedônica pode ser utilizada como método de avaliação da aceitação do consumidor (DANTAS *et al.*, 2004). Nesse tipo de avaliação, podem ser medidos, tanto fatores intrínsecos (como a aparência e o aroma, investigados neste estudo), como fatores extrínsecos (como embalagem, informações no rótulo etc.).

Ao se avaliar a aparência, na verdade, investiga-se um amplo conjunto de atributos distintos, como: a cor (fator de maior relevância na aparência); dimensões do produto; tipos de corte etc. Já em relação ao aroma, o que é avaliado é o conjunto de compostos aromáticos

voláteis que são naturalmente liberados pelo produto. Os processos de deterioração, tanto enzimáticos como os provocados por microorganismos, acabam por liberar compostos aromáticos característicos, que são facilmente detectáveis pelo olfato.

Vários trabalhos dedicados ao estudo de alimentos minimamente processados, mas não irradiados, têm se utilizado das análises sensoriais como ferramenta para determinar sua aceitação (FREIRE-JÚNIOR *et al.*, 2002; DELLA TORRE *et al.*, 2003; IHL *et al.*, 2003; JACXSENS *et al.*, 2003; BAUR *et al.*, 2004; DANTAS *et al.*, 2004; DAMASCENO *et al.*, 2005; DANTAS *et al.*, 2005;). Em um dos trabalhos mais recentes nessa área, KLUGE *et al.* (2006), a análise sensorial foi utilizada para avaliar a conservação de beterrabas minimamente processadas, baseando-se em sua qualidade visual. Os autores concluíram que: “A beterraba, minimamente processada em fatias ou cubos, apresenta conservação de no máximo 4 dias a 5 °C, enquanto a minimamente processada em retalhos apresenta 6 dias de conservação”.

Além disso, verifica-se que tem sido cada vez mais freqüente a utilização da análise sensorial na avaliação de alimentos de origem vegetal irradiados (GOULARTE *et al.*, 2004; BIB *et al.*, 2005; LU *et al.*, 2005; CETINKAYA *et al.*, 2006; SIRISOONTARALAK *et al.*, 2006; WEN *et al.*, 2006; ZHANG *et al.*, 2006; HERNANDES *et al.*, 2006c; SONG *et al.*, 2007).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Cultivar Utilizada

Para os dois experimentos desse estudo foram utilizadas sementes (de um mesmo lote) da cultivar Early Wonder, comercializada pela empresa ISLA Sementes Ltda., com o nome fantasia de 'beterraba maravilha', que é originária dos Estados Unidos da América e pertence ao grupo das cultivares mais utilizadas pelos agricultores brasileiros. Suas principais características são: raiz com formato globular; forte coloração vermelha; excelente adaptação às diversas regiões de cultivo e início da colheita entre 60 e 70 dias após o transplante das mudas (INICIANDO..., 2003).

3.2 Forma de Cultivo

Os experimentos foram realizados em condições de campo durante o segundo semestre de 2005 na área experimental com 84 m², centrada nas coordenadas: latitude: 22° 45' 50,6" Sul, longitude: 43° 41' 53,9" Oeste, do Setor de Horticultura do Departamento de Fitotecnia do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

O cultivo adotado foi o plantio indireto. As mudas foram produzidas em bandejas de polipropileno com 128 células preenchidas com substrato preparado a partir da seguinte mistura: solo argilo-arenoso (60%), substrato comercial BioPlant (30%) e esterco de curral curtido (10%). Para cada experimento, foram preparadas 12 bandejas, ou seja, aproximadamente 1500 mudas. As bandejas foram mantidas em casa de vegetação até que as plântulas alcançassem o desenvolvimento necessário para serem transplantadas no campo, isto é, quando se apresentavam com dois pares de folhas definitivas. Durante esse período, foram realizados os desbastes necessários para que apenas uma plântula se desenvolvesse em cada uma das células.

Os resultados das análises de solo, realizadas em 24 de fevereiro de 2005, não indicaram a necessidade de adubação mineral. Para a adubação verde, foi realizado o plantio da leguminosa crotalária (*Crotalaria juncea* L.). A massa verde foi incorporada por meio de uma gradagem, realizada aproximadamente 40 dias após o plantio da crotalária. No mês de junho, foram marcados no campo experimental dois canteiros em paralelo, cada um medindo 1,20 m de largura por 30,00 m de comprimento e com 0,40 m de espaçamento entre eles. Esses canteiros constituíram-se na área experimental usada nos dois experimentos, sendo divididos conforme ilustra a Figura 7.

Uma semana antes da instalação de cada experimento no campo, sua área correspondente foi preparada, recebendo por cobertura uma mistura (aproximadamente 3 kg/m²) de esterco de curral curtido (90%) e cinzas (10%). Após o transplante das mudas, foi aplicada uma cobertura morta sobre a área utilizada de cada canteiro com o objetivo de minimizar o crescimento de plantas invasoras. Durante o cultivo, foi seguido o manejo usual da cultura de beterraba (FILGUEIRA, 2003), com capinas manuais e irrigação (por aspersão), quando necessário.

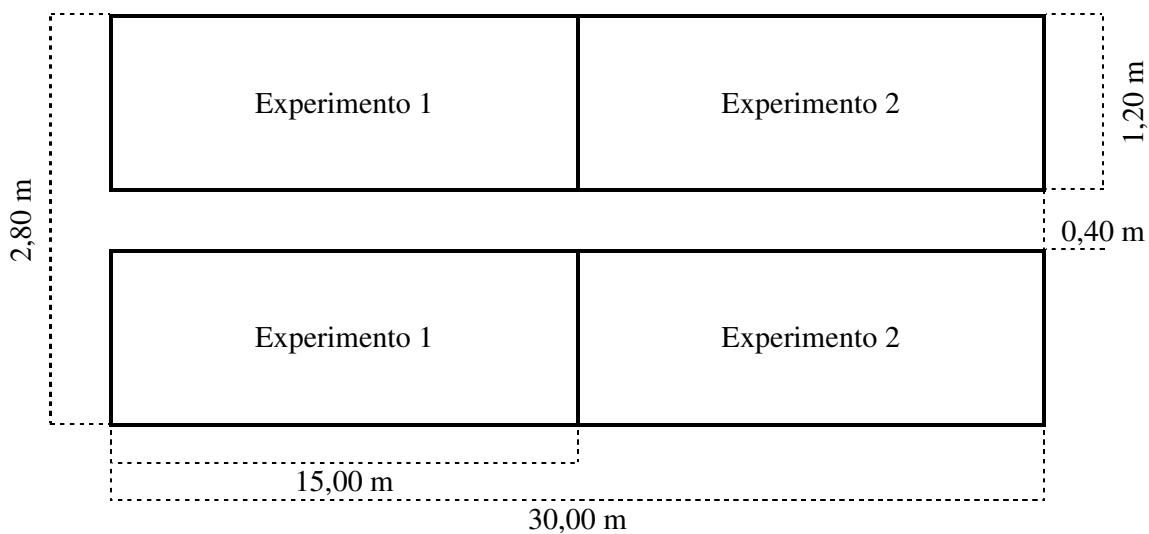


Figura 7. Croqui da área experimental usada nos dois experimentos. Fonte: o autor.

Em cada experimento, foram transplantadas 1200 plantas, 40 por metro linear de canteiro, sendo: 24 plantas úteis e 16 de bordadura. O espaçamento das plantas de beterraba nos canteiros, para os dois experimentos foi feita como ilustrado na Figura 8. O resumo das etapas de cultivo é mostrado na Tabela 1.

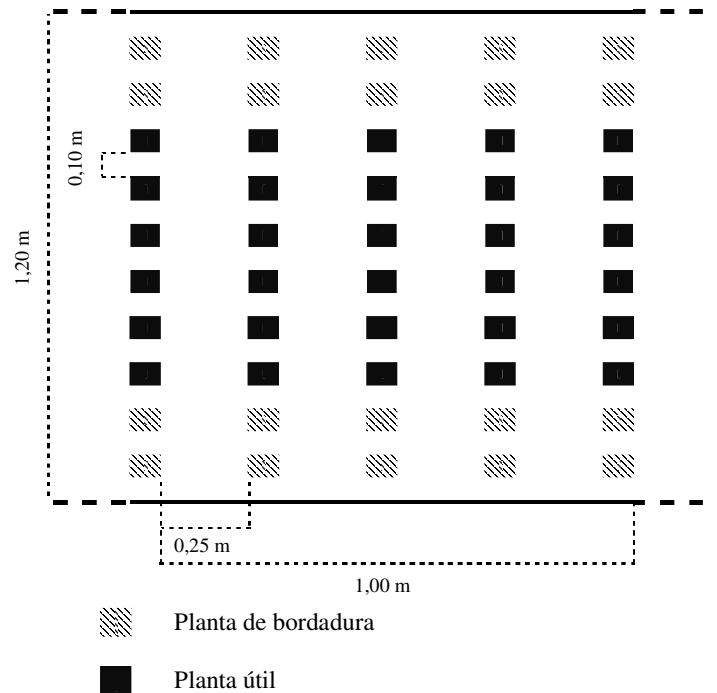


Figura 8. Esquema ilustrativo da distribuição das plantas de beterraba na área experimental. Fonte: o autor.

Tabela 1. Resumo das etapas do cultivo da beterraba vermelha nos dois experimentos.

Evento	Experimento 1			Experimento 2		
	Data	DAS	DAT	Data	DAS	DAT
Semeadura	03-06-05	0	-	05-08-05	0	-
Transplante	12-07-05	39	0	16-09-05	42	0
Colheita	24-10-05	143	104	28-11-05	115	73

DAS = Dias decorrido após a semeadura; DAT = Dias decorrido após o transplante das mudas no campo.

3.3 Avaliação do Estágio de Desenvolvimento da Beterraba (ponto de colheita)

Nos experimentos foram realizados ensaios físico-químicos para avaliação do estágio de desenvolvimento das plantas, visando à determinação do ponto ideal de colheita. Em cada época de avaliação, foram colhidas aleatoriamente 10 plantas, sendo cinco de cada canteiro, respeitando-se a bordadura de cada experimento.

O Experimento 1 foi avaliado em intervalos regulares de 7 dias durante 10 semanas a partir do 38º dia, após sua fixação no campo, prolongando-se até o 104º dia. No experimento 2, o período de avaliação foi de 6 semanas, de 7 em 7 dias, com início no 34º até o 69º. Na Tabela 2, são mostradas as datas de avaliação de cada experimento e os respectivos números de dias decorridos desde o transplante das mudas (DAT).

Tabela 2. Datas das avaliações para determinação do estágio de desenvolvimento das plantas de beterraba dos experimentos 1 e 2.

Avaliação	Experimento 1		Experimento 2	
	Data da avaliação	DAT	Data da avaliação	DAT
1	19-08-05	38	20-10-05	34
2	26-08-05	45	27-10-05	41
3	02-09-05	52	03-11-05	48
4	09-09-05	59	10-11-05	55
5	16-09-05	66	17-11-05	62
6	23-09-05	73	24-11-05	69
7	30-09-05	80	-	-
8	07-10-05	87	-	-
9	14-10-05	94	-	-
10	21-10-05	101	-	-

DAT = Dias decorridos após o transplante das mudas no campo.

Depois da colheita das amostras, sempre realizada nas primeiras horas da manhã, as raízes foram lavadas em água corrente e transferidas para o Laboratório de Pós-colheita do

Departamento de Fitotecnia da UFRRJ, localizado próximo à área experimental. No laboratório, as amostras foram convenientemente preparadas para os ensaios. As variáveis estudadas na parte tuberosa comestível das beterrabas foram: massa fresca; comprimento; diâmetro médio e teor de sólidos solúveis totais.

3.3.1 Caracterização física das amostras

As beterrabas foram caracterizadas pela determinação, em sua parte comestível, da massa fresca (MF) (medida em balança de precisão (0,01 g), com resultados expressos em grama), do comprimento (C) e do diâmetro médio (DM), medidos com o auxílio de um paquímetro, com resultados expressos em milímetros.

3.3.2 Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)

Na determinação do teor de SST, foi utilizado o refratômetro manual QI 107-1, tendo sido seguida a metodologia estabelecida nas normas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL, 1985) com resultados expressos em °Brix.

3.4 Processamento Mínimo

O processamento mínimo das amostras em ambos os experimentos foi realizado na Planta Piloto de Fisiologia e Tecnologia Pós-colheita da Embrapa Agroindústria de Alimentos em Guaratiba, Município do Rio de Janeiro. Nele, foram seguidas as normas de boas práticas propostas pelo *International Consultative Group on Food Irradiation* (ICGFI, 2003) bem como os cuidados recomendados por ROSA & CARVALHO (2004). Todas as etapas foram realizadas em sala refrigerada. Os processadores utilizaram roupas protetoras (aventais, luvas e máscaras). Além disso, as superfícies, os utensílios (facas etc.) e os equipamentos foram devidamente higienizados. Nessa higienização foi utilizada uma solução com 200 mg/L de Cloro livre, preparada conforme os procedimentos de operação da instalação.

O processamento mínimo das amostras do experimento 1 foi realizado em 25 de outubro de 2005, e o do experimento 2, em 29 de novembro do mesmo ano. Em cada um dos experimentos, foram processados aproximadamente 30 kg de beterraba vermelha.

Na manhã do dia anterior ao do processamento, as beterrabas foram colhidas, lavadas em água corrente, para remoção da maior parte das sujidades oriundas do campo, e, depois da etapa de seleção, sendo descartadas as raízes que apresentavam defeitos como: manchas, rachaduras ou outras lesões aparentes, foram acondicionadas em caixa térmica e transferidas para a planta de processamento. Lá, foram mantidas em câmara fria (5 °C) até o dia seguinte (ou seja, por aproximadamente 20 horas) com o objetivo de manter a atividade metabólica do material baixa. No dia do processamento, as atividades foram retomadas, seguindo-se o fluxograma mostrado na Figura 9.

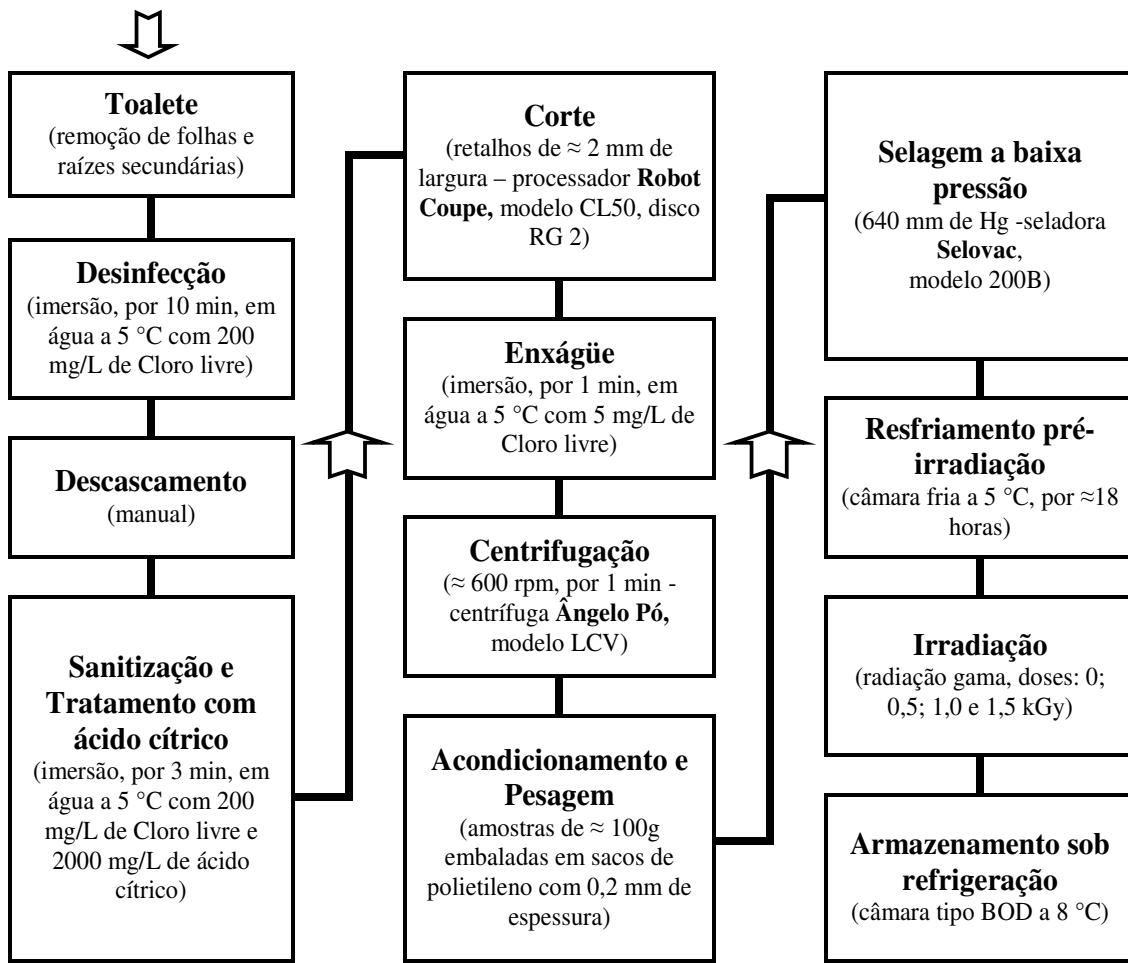


Figura 9. Fluxograma das operações unitárias empregadas na elaboração de beterrabas minimamente processadas e irradiadas. Fonte: o autor.

Na etapa denominada “Toaleta”, as folhas, os pecíolos, as raízes secundárias e os resíduos do campo foram removidos, utilizando-se para tal: facas, escovas e água corrente.

Em seguida, com o objetivo de reduzir os riscos de contaminação por microrganismos oriundos do campo, foi realizada a desinfecção, por meio de imersão durante 10 minutos das beterrabas em água (a 5 °C) com 200 mg/L de cloro livre.

A remoção das cascas foi feita manualmente com a utilização de facas (Figura 10).



Figura 10. Operação de remoção das cascas das beterrabas durante o processamento mínimo. Fonte: o autor

Visando a minimização das perdas de betalaínas por solubilização em água durante o processamento, no presente trabalho optou-se por realizar a etapa de sanitização (indispensável à diminuição da carga microbiana) logo após o descascamento e antes da etapa de corte. Tal opção foi feita com base nos resultados do trabalho de VITTI *et al.* (2004), onde foi demonstrado que as perdas de coloração são menores quando a sanitização é realizada antes do corte. Além disso, foi adotado o tratamento por imersão em solução de ácido cítrico, que tem sido proposto em diversos trabalhos objetivando: a) diminuir o pH da superfície em frutos e vegetais minimamente processados, contribuindo para a redução da carga microbiana (SOLIVA-FORTUNY & MARTÍN-BELLOSO, 2003; SOMMERS *et al.*, 2003); b) inibir o escurecimento enzimático (AHVENAINEN, 1996); c) diminuir as perdas de coloração devido à oxidação das betalaínas (PASCH & VON ELBE, 1979); d) diminuir as perdas de betalaínas por solubilização em água durante a sanitização (VITTI, 2003). Sendo assim, as beterrabas descascadas foram sanitizadas e tratadas com ácido cítrico (imersão em água a 5 °C, com 200 mg/L de cloro livre e 2000 mg/L de ácido cítrico, por 3 minutos).

O corte, em retalhos de 2 mm de largura (Figura 11), foi feito em processador mecânico Robot Coupe (modelo CL 50 com disco de corte RG2). Na escolha desse tipo de corte, foi levado em consideração o fato de ser esse o padrão adotado pela maioria dos produtores.



Figura 11. Corte da beterraba, em retalhos de 2 mm de largura, durante o processamento mínimo. Fonte: o autor.

Depois de cortado, o material foi imerso, por 1 minuto, em água (a 5 °C), contendo 5 mg/L de Cloro livre, para remoção do excesso de cloro e de ácido cítrico. Em seguida, o material foi centrifugado (centrífuga Ângelo Pó, modelo LCV) por 1 minuto a 600 rpm, para remoção do excesso de água do material. Porções de aproximadamente 100 g foram embaladas em sacos de polietileno (com 0,2 mm de espessura), sendo que as embalagens foram seladas à baixa pressão (640 mm Hg) em seladora Selovac (modelo 200B).

Após o processamento mínimo, as amostras de cada um dos experimentos foram divididas em quatro grupos, a saber: 0 (controle, não irradiado) e amostras a serem irradiadas, com doses de 0,5; 1,0 e 1,5 kGy. Todas as amostras foram mantidas em câmara fria (5 °C) até o dia seguinte (por aproximadamente 18 horas), quando foram acondicionadas em caixa térmica e transferidas para as instalações da Seção de Defesa Nuclear do Centro Tecnológico do Exército (também localizado em Guaratiba, Município do Rio de Janeiro, RJ) para serem irradiadas.

3.5 Irradiação

Na irradiação, foi empregado o Irradiador Gama de Pesquisa do Centro Tecnológico do Exército (Figura 12), que atualmente gera uma taxa de dose máxima de $1,8 \text{ kGy h}^{-1}$ de radiação gama (energia de 0,662 MeV), emitida por fonte de ^{137}Cs , com atividade da ordem de 46 kCi (VITAL, 2006). O irradiador é do tipo “cavidade blindada” e possui volume útil da ordem de 100 L. Os tempos de exposição correspondentes às doses desejadas (0,5, 1,0 e 1,5 kGy) foram calculados usando-se um programa que leva em consideração os seguintes parâmetros de entrada: data da irradiação; dose desejada; densidade, altura e geometria aproximada da amostra. Esse programa baseia-se no mapeamento dosimétrico do irradiador (VITAL *et al.*, 2000). Depois da irradiação, as amostras foram mantidas em câmaras de refrigeração (do tipo BOD) a uma temperatura de $8 \pm 0,5^\circ\text{C}$.



Figura 12. Irradiador Gama de Pesquisa do Centro Tecnológico do Exército – Cortesia da Seção de Defesa Nuclear, Divisão DQBN (Defesa Química Biológica e Nuclear) do Centro Tecnológico do Exército (CTEx).

3.6 Avaliações das Amostras de Beterraba Minimamente Processada e Irradiada

Após serem irradiadas, as amostras foram periodicamente submetidas a avaliações e a ensaios de caracterização durante os períodos de armazenamento (22 dias no experimento 1 e 21 dias no experimento 2). As amostras de ambos os experimentos foram monitoradas por meio de avaliações microbiológicas; análises químicas e físico-químicas. Além disso, as amostras do experimento 2 foram também submetidas a análises sensoriais.

3.6.1 Avaliações microbiológicas

Foram realizadas avaliações microbiológicas para determinação da concentração mais provável de coliformes a 45°C e investigação da presença de *Salmonella* sp., de acordo com o que prevê o Regulamento Técnico Sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos e as normas estabelecidas pela Resolução RDC nº. 12, de 2 de janeiro de 2001, da Agência

Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL RDC 12, 2001) para “vegetais frescos “*in natura*” preparados; sanificados; refrigerados ou congelados, destinados ao consumo direto”. Foram também determinadas as concentrações de coliformes a 35 °C, das bactérias aeróbias mesófilas e das bactérias láticas.

3.6.1.1 Preparação das amostras para análise

As análises microbiológicas foram precedidas de diluições decimais (exceto para *Salmonella* sp.). A amostra (25 g) foi homogeneizada com 225 mL do diluente (água peptonada 0,1%) em homogeneizador *Stomacher* (Seward, GB), obtendo-se a diluição 10⁻¹. Diluições decimais subseqüentes foram preparadas quando necessário, tendo sido adotadas as metodologias recomendadas pelo Órgão de Inspeção Sanitária Brasileiro (BRASIL, 2003) e por HARRIGAN (1998).

3.6.1.2 Detecção de *Salmonella* sp. (presença ou ausência em 25 g)

Inicialmente, foi feito o enriquecimento não seletivo, homogeneizando-se 25 g da amostra em 225 mL de água peptonada tamponada. Após 18 a 24 horas de incubação a 36 ± 1 °C, alíquotas de 1 mL foram transferidas para os caldos de enriquecimento seletivos, Rappaport Vassaliadis e selenito cistina, com incubação a 41 ± 0,5 °C por 24 a 30 horas. Seguiu-se inoculação em estrias nos meios seletivos Ágar verde brilhante vermelho de fenol (BPLS) e Hektoen, com incubação a 36 ± 1 °C por 24 a 48 horas. Colônias típicas de cada meio, pelo menos cinco, foram testadas bioquimicamente (Ágar TSI e LIA, catalase, Urease, indol) e sorologicamente, com anti-soro somático e flagelar (Probac).

3.6.1.3 Determinação de coliformes a 35 e a 45 °C (NMP/g)

Alíquotas de 1 mL de diluições decimais foram semeadas pelo método dos tubos múltiplos (NMP) em caldo lauril sulfato lactose, com incubação a 35 °C por 48 horas. Após o período de incubação, os tubos que apresentaram produção de gás foram confirmados para coliformes a 35 °C (totais) e para coliformes a 45 °C (fecais), semeando-se, respectivamente, em caldo bile verde brilhante, com incubação a 35 °C e em caldo EC, com incubação 45 °C.

3.6.1.4 Contagem total de bactérias aeróbias mesófilas (UFC/g)

Diluições decimais em água peptonada a 0,1% foram semeadas em profundidade no Ágar Padrão para Contagem (PCA, Oxoid) e incubadas a 35 °C por 48 a 72 horas. Após incubação, foram selecionadas para contagem as placas que continham entre 30 e 300 colônias.

3.6.1.5 Determinação de bactérias láticas (UFC/g)

Diluições decimais em água peptonada a 0,1% foram semeadas na superfície do Ágar Man, Rogosa e Sharpe (Ágar MRS - Oxoid). As placas foram cobertas com uma sobrecamada do mesmo Ágar e mantidas a 30 °C por 5 dias.

3.6.2 Análises químicas

Durante o período de armazenamento, as amostras foram submetidas a análises químicas para determinação dos teores de açúcares (sacarose, glicose e frutose) e das vitaminas B₁ e B₂. As análises, por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE), foram realizadas nos Laboratórios de Cromatografia Líquida da Embrapa Agroindústria de Alimentos. Na preparação das amostras, foram seguidos os cuidados descritos por MACRAE (1998). Toda a água utilizada foi purificada em equipamento Milli-Q® (Millipore Co.). Além disso, foram empregados reagentes e solventes de grau espectrográfico para cromatografia líquida. Na determinação das vitaminas B1 (tiamina) e B2 (riboflavina), foram adotados, respectivamente, os métodos padrão europeus EN 14122 (2003) e EN 14152 (2003).

3.6.2.1 Determinação dos teores de açúcares

As amostras foram trituradas, homogeneizadas, pesadas e extraídas com aproximadamente 10 mL de água em ultra-som por 20 minutos. Foram adicionados 5 mL de Acetonitrila e o volume final foi ajustado para 25 mL. O extrato foi filtrado em papel de filtro e microfiltrado, em unidade descartável de Teflon® hidrofílico, diretamente para o frasco de injetor automático. As determinações foram realizadas em cromatógrafo líquido Waters Alliance 2695, equipado com detector de índice de refração Waters 2410. A coluna utilizada foi a da High Performance Carbohydrate (Waters 044355) e a fase móvel (vazão de 1,4 mL/min.) consistiu de Acetonitrila (75%) em água. Os padrões externos utilizados foram: Sacarose, Glicose e Frutose (5 mg/mL), obtidos de Sigma-Aldrich. Os resultados foram expressos em g/100g.

3.6.2.2 Determinação dos teores de vitaminas B1 e B2

As amostras foram trituradas, pesadas em erlenmeyers (de cor âmbar e com tampa esmerilhada) e extraídas por hidrólise ácida com ácido clorídrico 0,1 M, em autoclave à 120 °C por 30 minutos. Após atingir a temperatura ambiente, as amostras tiveram o pH ajustado para aproximadamente 4,0 usando-se acetato de sódio 2,5 M. Em seguida, foram adicionados 100 mg da enzima Takadiastase. A hidrólise enzimática das amostras foi realizada sob agitação por 16 horas a 37 °C. Fimda a etapa de hidrólise enzimática, as amostras foram transferidas quantitativamente para um balão volumétrico de 100mL, sendo filtradas e, em seguida, microfiltradas em unidade descartável de Teflon® hidrofílico, diretamente para o frasco de injetor automático. Os resultados foram expressos em µg/100g.

3.6.2.2.1 Condições cromatográficas para determinação do teor de vitamina B1

Foi utilizado um sistema de derivatização pós-coluna, formado por uma bomba unitária *Waters Reagent Manager* e um reator *Waters Post column reaction module*, com volume interno igual a 1 mL. O reagente de derivatização foi uma solução de ferricianeto de potássio alcalino 0,4 g/L, bombeada a uma vazão de 0,3 mL/min. A coluna utilizada foi a Waters Novapak C18 (Waters 086344) em cromatógrafo líquido Waters Alliance (modelo 2695), equipado com detector de fluorescência (modelo 2475) e operando a 368 nm para excitação e 440 nm para emissão. A fase móvel consistiu (mistura constante na válvula proporcionadora de gradiente) de 60% de ácido hexanossulfônico 25 mM e 40% de metanol,

sob fluxo de 1,0 mL/min. O padrão externo utilizado foi cloridrato de tiamina (Aldrich) 1 μ g/mL em HCl 0,1M.

3.6.2.2.2 Condições cromatográficas para determinação do teor de vitamina B2

A coluna utilizada foi a Waters Novapak C18 (Waters 086344) em cromatógrafo líquido Waters Alliance (modelo 2695) equipado com detector de fluorescência (modelo 2475), operando a 468 nm para excitação e 520 nm para emissão. A fase móvel consistiu de 35% de metanol e 65% de água (mistura constante na válvula proporcionadora de gradiente), sob vazão de 1 mL/min. O padrão externo utilizado foi riboflavina (Aldrich) 1 μ g/mL em HCl 0,1M.

3.6.3 Análises físico-químicas

Foram determinados o pH, a acidez total titulável (ATT), o teor de sólidos solúveis totais (SST) e o teor de ácido ascórbico (TAA). Todas as determinações foram feitas em triplicata.

3.6.3.1 Preparação das amostras para análise

Cada amostra (de 100g) foi triturada em processador doméstico. Depois do processamento, foram separadas as porções para cada tipo de análise.

3.6.3.2 Determinação do pH

O pH foi determinado por medição direta em potenciômetro universal (DIGIMED, DM-20, com referência interna de Ag/AgCl, dotado de eletrodo combinado de vidro com faixa de medição de pH de 0 a 14,00). Porções de 10,0g da amostra foram transferidas quantitativamente para um frasco, ao qual foram adicionados 100 mL de água destilada. A mistura foi agitada por 10 minutos com o auxílio de agitador magnético (CORNING) e após o pH foi medido diretamente.

3.6.3.3 Determinação da acidez total titulável (ATT)

Porções de 10,0 g da amostra foram transferidas quantitativamente para um frasco contendo 100 mL de água destilada. A mistura foi agitada por 10 minutos com o auxílio de agitador magnético (CORNING). A determinação da ATT foi feita pelo método potenciométrico, tendo como ponto final o pH 7,0 (pH neutro). Foi utilizado como titulante uma solução 0,01N de NaOH, sendo que o ponto final da titulação foi determinado pela medição direta e contínua do pH (por potenciometria, conforme já descrito). Os resultados foram expressos em miligramas de ácido cítrico por 100 g da amostra (mg/100g).

3.6.3.4 Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)

Na determinação do teor de SST, foi utilizado o refratômetro manual QI 107-1, tendo sido seguida a metodologia estabelecida nas normas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL, 1985), com resultados expressos em °Brix.

3.6.3.5 Determinação do teor de ácido ascórbico (TAA)

O TAA foi determinado pelo método de Tillmans modificado (PEARSON & COX, 1976; ITAL, 1990). A metodologia baseia-se na redução do indicador 2,6-diclorofenol indofenol (DCFI) por uma solução ácida de vitamina C. O ponto final de titulação é detectado pela mudança da cor da solução (de incolor para rosa), quando a primeira gota do DCFI é introduzida no sistema, após todo o ácido ascórbico presente na amostra ter sido consumido na reação. O resultado foi expresso em miligramas de ácido ascórbico por 100g de amostra (mg/100g).

3.6.4 Análise sensorial das amostras do experimento 2

As análises sensoriais das amostras do lote 2 foram realizadas por avaliadores não treinados. Cada avaliador recebeu um formulário para julgamento dos atributos aparência e aroma (Figura 13) e uma bandeja contendo quatro amostras codificadas (com aproximadamente 25g cada), sendo uma amostra para cada tratamento (0; 0,5; 1,0 e 1,5 kGy). As amostras foram avaliadas em quatro ocasiões após a irradiação, sendo que, em cada uma delas, participaram doze avaliadores.

Análise Sensorial de beterraba minimamente processada

Nome: _____ Data: ___/___/___

Você gosta de beterraba? () sim () não

Você costuma consumir beterraba crua com freqüência () sim () não

Por favor, avalie cada uma das amostras, levando em consideração os seguintes atributos: **Aparência (Apa)** e **Aroma (Aro)**. Utilize a escala para descrever o quanto você gostou ou desgostou do produto. Marque, na coluna correspondente ao atributo avaliado, a posição da escala que melhor reflete sua opinião.

Código da amostra	Apa		Aro		Apa		Aro	
Atributo avaliado	Apa	Aro	Apa	Aro	Apa	Aro	Apa	Aro
Gostei extremamente								
Gostei muito								
Gostei moderadamente								
Gostei ligeiramente								
Indiferente								
Desgostei ligeiramente								
Desgostei moderadamente								
Desgostei muito								
Desgostei extremamente								

Figura 13. Formulário utilizado nas análises sensoriais de beterraba vermelha minimamente processada e irradiada. Fonte: o autor.

Na análise dos resultados das avaliações, foram calculadas as médias de cada atributo. Isso foi possível, atribuindo-se graus que variaram de 1 até 9, de acordo com uma escala hedônica, sendo que ao termo “Desgostei extremamente” foi atribuído o valor 1, e ao termo “Gostei extremamente” foi atribuído o valor 9. O limite inferior da média para a aceitação do produto foi estabelecido em 5,0.

3.7 Delineamento Estatístico e Programa Utilizado

Nas avaliações, foi empregado o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Nas análises físico-químicas, foi adotado um arranjo fatorial do tipo 4 x 4 com três repetições, onde os 4 níveis do fator “Dose” foram 0 (controle); 0,5; 1,0 e 1,5 kGy e os quatro níveis do fator “Tempo” foram as respectivas épocas de avaliação. Nas análises sensoriais, foi utilizado o mesmo arranjo fatorial, mas com doze repetições.

Nas análises químicas, foram adotados arranjos fatoriais com duas repetições. No experimento 1, foi utilizado um arranjo 4 x 2 (onde os quatro níveis do fator Dose foram avaliados em dois níveis do fator Tempo, ou seja em duas épocas de avaliação durante o período de armazenamento) e no experimento 2, o arranjo adotado foi do tipo 4 x 3 (os quatro níveis do fator dose avaliados em três épocas durante o armazenamento, ou seja em três níveis do fator Tempo).

Nas análises estatísticas, foi utilizado o programa **SisVar** (versão 4.6). Os níveis de significância para o teste F foram determinados com base na Tabela 9 do apêndice de ROSNER (2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento 1

4.1.1 Avaliação do estágio de desenvolvimento da beterraba (ponto de colheita)

4.1.1.1 Massa fresca (MF)

A análise da variância (Tabela 3) mostra que ocorreu variação significativa na massa fresca (MF) da beterraba durante o período avaliado. Com base nos resultados (Tabela 4), pode-se concluir que a partir do 59º DAT (dias após o transplante das mudas), não ocorreu aumento significativo na MF da beterraba vermelha, sendo que o maior valor médio (226,10 g) foi observado no 73º DAT.

Tabela 3. Análise da variância para determinações da massa fresca (g) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo após transplante	9	351445,29	39049,48	6,204	*****
Resíduo	90	566514,05	6294,60		
Total corrigido	99	917959,34			

CV (%) = 53,06

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Tabela 4. Resultado das determinações da massa fresca (g) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).

DAT *	Massa fresca (g)
38	1;2 43,75 d
45	78,90 cd
52	92,00 bcd
59	156,65 abcd
66	125,40 abcd
73	226,10 a
80	218,00 a
87	168,10 abc
94	205,60 ab
101	180,90 abc

* Dias decorridos a partir do transplante das mudas no campo até a coleta das amostras;

1 Cada valor corresponde à média de dez repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Segundo MEYER *et al.* (1973), a parte excedente das substâncias fotossintetizadas, não utilizada na respiração ou nos processos de assimilação, onde a matéria seca é incorporada à estrutura do protoplasma e das paredes celulares, é acumulada em estruturas de reserva. No caso de beterraba, a estrutura de reserva é a parte tuberosa. Portanto, o aumento de sua massa decorre, principalmente, do acúmulo de reservas, embora também haja uma contribuição devida ao processo fisiológico de crescimento da planta.

Tanto o crescimento, assim como a respiração e a assimilação e conseqüentemente o acúmulo de reservas, são afetados por fatores genéticos, condições internas, que influenciam nos processos metabólicos do organismo e por fatores ambientais externos como: temperatura; umidade relativa; precipitação; teor hídrico do solo; intensidade e qualidade da luz solar incidente, etc.

O melhor desenvolvimento de beterraba ocorre na faixa de temperatura de 10 a 20 °C (FILGUEIRA, 1982). Os dados meteorológicos coletados na região (Quadro 9) mostram que, durante o período de cultivo no campo, as beterrabas do experimento 1 estiveram submetidas a condições climáticas adversas, temperaturas acima do ideal para a cultura e volume de chuvas mal distribuído, o que pode explicar o elevado valor do coeficiente de variação (CV) observado em relação à MF.

Quadro 9. Resumo dos dados agroclimatológicos observados no período de avaliação (12 de agosto a 21 de outubro de 2005) durante a condução no campo do experimento 1.

Período de avaliação DAT*	Dados agroclimatológicos**					
	TM (°C)	URM (%)	NBM (0 a 10)	VTCR (mm)	EVT (mL)	IST (ho)
de 31 a 37	21,8	66,1	2,7	0,0	28,4	51,2
de 38 a 44	22,8	70,1	5,0	0,0	34,4	43,6
de 45 a 51	26,4	66,7	4,1	1,8	51,2	53,7
de 52 a 58	21,1	79,9	9,2	7,6	21,1	10,6
de 59 a 65	22,4	75,7	6,6	6,1	27,7	40,2
de 66 a 72	21,4	80,9	8,6	11,2	24,1	24,8
de 73 a 79	20,5	79,1	9,3	74,0	15,6	10,4
de 80 a 86	23,1	70,8	7,2	2,6	24,5	42,7
de 87 a 93	25,0	69,2	5,7	0,8	27,0	47,4
de 94 a 100	25,6	68,2	7,3	4,0	18,0	40,9

* Dias após o transplante das mudas no campo

** TM = Temperatura média; URM = Umidade relativa média; NBM = Nebulosidade média; VTCR = Volume total de chuva recolhido; EVT = Evaporação total; IST = Insolação total.

Fonte: Estação experimental de Itaguaí – PESAGRO-RIO (latitude: 22° 45' Sul, longitude: 43° 41' Oeste; Altitude: 33 m.), distante cerca de 1200 m da área experimental.

4.1.1.2 Comprimento (C)

Da mesma forma que o observado em relação à massa fresca, a análise da variância para as determinações do comprimento (C), mostrada na Tabela 5, indica variação significativa durante os períodos de avaliação.

Tabela 5. Análise da variância para as determinações do comprimento (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo após transplante	9	12245,18	1360,58	7,436	*****
Resíduo	90	16466,46	182,96		
Total corrigido	99	28711,63			

CV (%) = 20,52

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Os resultados das determinações do comprimento (C) são apresentados na Tabela 6. Também, a partir do 59º DAT não foram observadas diferenças significativas na variação do comprimento e o maior valor médio foi observado no 94º DAT.

Tabela 6. Resultado das determinações do comprimento (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).

DAT *	Comprimento (mm)
38	1; 2 44,730 d
45	51,025 cd
52	58,090 bcd
59	69,060 abc
66	60,530 abcd
73	75,065 ab
80	76,255 ab
87	70,795 ab
94	78,125 a
101	75,42 ab

* Dias decorridos a partir do transplante das mudas no campo até a coleta das amostras;

1 Cada valor corresponde à média de dez repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Segundo FILGUEIRA (1982) beterrabas com comprimento de 6 a 7 cm têm uma melhor cotação de preços no mercado centro-sul brasileiro. Tomando como base esta informação, pode-se concluir que a partir do 59º DAT as beterrabas do experimento 1, em relação ao comprimento, encontravam-se no ponto ideal de colheita.

4.1.1.3 Diâmetro médio (DM)

Em relação ao diâmetro médio (DM) da beterraba vermelha, a análise da variância (Tabela 7) mostra que ocorreram diferenças significativas durante o período de avaliação.

Tabela 7. Análise da variância para determinações do diâmetro médio (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo após transplante	9	11227,78	1247,531	8,092	*****
Resíduo	90	13874,97	154,166		
Total corrigido	99	25102,75			

CV (%) = 19,37

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Os resultados (Tabela 8) indicam que, já a partir do 52º DAT, não foram observadas diferenças significativas no DM da parte tuberosa das beterrabas do experimento 1.

Tabela 8. Resultado das determinações do diâmetro médio (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).

DAT *	Diâmetro médio (mm)
38	1; 2 42,565 c
45	50,790 bc
52	57,580 abc
59	66,469 ab
66	58,660 abc
73	74,535 a
80	72,745 a
87	71,035 a
94	74,555 a
101	72,045 a

* Dias decorridos a partir do transplante das mudas no campo até a coleta das amostras;

1 Cada valor corresponde à média de dez repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Em alguns trabalhos (FILGUEIRA, 1987 e FILGUEIRA 2003), foi sugerida a utilização do DM, como indicador do ponto ideal de colheita, entretanto seu autor não definiu, quantitativamente, os termos “tamanho desejável” ou “tamanho preferido” que empregou. Em outro trabalho mais antigo do mesmo autor (FILGUEIRA 1982), encontra-se o registro da

seguinte informação: “no centro-sul a cotação mais alta é para beterrabas com 8-10 cm de diâmetro transversal...”. Em seu trabalho, SONNENBERG (1981) também informou que a preferência do mercado brasileiro era por beterrabas com diâmetro de 8 a 10 cm, enquanto para o mercado norte americano a faixa de 2,5 a 5,0 cm fosse à preferida.

No trabalho de FRANCH (2000) foram definidas, quantitativamente, três faixas de diâmetro médio: “raízes graúdas” (diâmetro de 5,5 a 9,0 cm); “raízes médias” (diâmetro de 2,5 a 5,5 cm) e “raízes refugo” (diâmetro < 2,5 cm). Outra classificação foi adotada no trabalho de HORTA *et al.* (2001). Esses autores dividiram as raízes comestíveis da beterraba em quatro classes em relação ao DM: extra (diâmetro: > 4 e < 5 cm); extra A (diâmetro: ≥ 5 e < 6 cm); extra AA (diâmetro: ≥ 6 e < 7 cm); graúda (diâmetro: > 7 cm).

No presente trabalho a classificação de FRANCH (2000) foi adotada. Sendo assim, as beterrabas do experimento 1, atingiram a faixa de DM para raízes graúdas 52 dias após o transplante e, portanto, com relação a esse parâmetro, encontravam-se no ponto ideal de colheita.

4.1.1.4 Sólidos solúveis totais (SST)

A análise da variância (Tabela 9) para o teor de SST (contrariamente ao observado para as demais características avaliadas) indica que não ocorreram variações significativas no período estudado.

Tabela 9. Análise da variância para determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo após transplante	9	19,198	2,133	1,531	NS
Resíduo	90	125,360	1,392		
Total corrigido	99	144,558			

CV (%) = 14,04

NS = Não Significativo.

Os resultados das determinações do teor de SST em amostras de beterraba do experimento 1 são apresentados na Tabela 10. O maior valor foi observado na avaliação realizada no 101º dia DAT.

Tabela 10. Resultado das determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 1).

DAT*	Sólidos solúveis totais (°Brix)
38	1; 2 7,86 a
45	8,48 a
52	8,80 a
59	7,66 a
66	8,76 a
73	8,20 a
80	8,02 a
87	8,68 a
94	8,46 a
101	9,12 a

* Dias decorridos a partir do transplante das mudas no campo até a coleta das amostras;

1 Cada valor corresponde à média de dez repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Na avaliação do teor de SST em raízes de beterraba cv. Detroit Dark Red, SEDIYAMA (1984) reportou valores de: 10,2; 11,1 e 11,4 respectivamente para amostras colhidas aos 67; 109 e 130 dias após a semeadura. Segundo esse autor o teor de SST é influenciado pela fertilidade do solo e as raízes menores apresentam menor teor de SST.

Com base nos resultados de todos os quatro parâmetro avaliados (MF, C, DM e SST), pode-se concluir que o ponto ideal de colheita para as beterrabas do experimento 1, teria sido entre 59 e 73 dias após o transplante das mudas, o que está de acordo com o descrito nas características da cultivar utilizada (INICIANDO..., 2003).

Cabe ressaltar que parte do objetivo do presente estudo foi verificar se o ponto de colheita exerceria alguma influência sobre a qualidade da beterraba vermelha minimamente processada e irradiada. Isso levou à realização de dois experimentos onde as colheitas deveriam ocorrer em diferentes estágios de desenvolvimento (um experimento colhido no ponto ideal e o outro fora desse ponto). Ao serem colhidas 104 dias após seu transplante no campo, as beterrabas do experimento 1 já haviam ultrapassado o seu ponto ideal de colheita, seguindo-se assim o planejado.

4.1.2 Avaliações microbiológicas

Cabe ressaltar que, a partir desse ponto, os resultados referem-se à beterraba vermelha MPI (minimamente processada e irradiada).

Os resultados das análises microbiológicas das amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 1, realizadas nos: 1°, 7°, 14° e 21° dias de armazenamento a $8 \pm 0,5$ °C, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Resultados das análises microbiológicas em amostras de beterrabas vermelhas, do experimento 1, minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C, por 21 dias.

Amostra	<i>Salmonella</i> sp. (em 25g)	Coliformes a 35 °C (totais) (NMP/g)	Coliformes a 45 °C (fecais) (NMP/g)	Contagem total de bactérias aeróbias mesófilas (UFC/g)	Contagem de bactérias láticas (UFC/g)
1º dia de armazenamento					
0 kGy	Ausente	-	<3,0	$4,3 \times 10^3$	-
0,5 kGy	Ausente	-	<3,0	$< 3,0 \times 10^2$	-
1,0 kGy	Ausente	-	<3,0	$< 1,0 \times 10$	-
1,5 kGy	Ausente	-	<3,0	$< 1,0 \times 10$	-
7º dia de armazenamento					
0 kGy	Ausente	$> 1,0 \times 10^3$	<3,0	$> 3,0 \times 10^5$	$> 3,0 \times 10^5$
0,5 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$> 3,0 \times 10^5$	$> 3,0 \times 10^5$
1,0 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$> 3,0 \times 10^5$	$6,0 \times 10^4$
1,5 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$1,5 \times 10^3$	$< 1,0 \times 10^2$
14º dia de armazenamento					
0 kGy	Ausente	$> 1,1 \times 10^3$	<3,0	$> 3,0 \times 10^7$	$> 3,0 \times 10^7$
0,5 kGy	Ausente	$> 1,1 \times 10^3$	<3,0	$> 3,0 \times 10^7$	$> 3,0 \times 10^7$
1,0 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$> 3,0 \times 10^6$	$> 3,0 \times 10^6$
1,5 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$> 3,0 \times 10^6$	$> 4,0 \times 10^4$
21º dia de armazenamento					
1,0 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$7,6 \times 10^8$	$1,5 \times 10^7$
1,5 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$6,3 \times 10^8$	$1,2 \times 10^5$

4.1.2.1 Enterobactérias (*Salmonella* sp., e coliformes)

Estudos realizados com agrião minimamente processado por MARTINS *et al.* (2004) reportaram que doses de 0,29 a 0,43 kGy de radiação gama, corresponderiam à faixa de dose para o valor D_{10} da *Salmonella* sp., ou seja, a faixa de dose que garantiria a eliminação de 90% da população exposta. No mesmo trabalho, os autores informaram que, em 3% dos produtos minimamente processados de origem vegetal (agrião e outras folhosas) comercializados no Brasil, tem sido reportada a presença *Salmonella* sp.

Os resultados da Tabela 11 indicam, em relação à *Salmonella* sp., que todas as amostras de beterraba vermelha MPI (minimamente processada e irradiada) atenderam a exigência da legislação sanitária em vigor: ausência em 25 g (BRASIL – RDC 12, 2001).

Para BERBARI *et al.* (2001), contagens superiores a 10^6 NMP/g de Coliformes a 35 °C corresponderiam ao fim da vida útil do alimento e, consequentemente, indicariam que o mesmo estaria impróprio para o consumo. Nesse estudo, foi assumido como concentração limítrofe para coliformes a 35 °C o valor $1,1 \times 10^3$ NMP/g, tendo em vista que valores superiores não corresponderiam a um produto MP (minimamente processado) de qualidade aceitável.

Estudando os efeitos da radiação gama sobre os microrganismos presentes em suco de cenoura com uma contaminação inicial de 10^6 UFC/mL, SONG *et al.* (2007) reportam a total eliminação de coliformes com 3 kGy.

BIB *et al.* (2005) estudando os efeitos da radiação gama sobre a microbiota presente em couve-flor MP, onde a contaminação inicial era de 4×10^3 UFC/g, informaram que 1 kGy foi suficiente para manter as amostras livres de coliformes por 14 dias de armazenamento a 5 °C.

A avaliação dos resultados apresentados na Tabela 11 permite concluir que, na análise realizada aos 14 dias API (após a irradiação), tanto a amostra controle, quanto a irradiada com 0,5 kGy, já haviam ultrapassado o limite estabelecido ($1,1 \times 10^3$ NMP/g). Entretanto, durante todo o período estudado (21 dias), as amostras irradiadas com doses de 1,0 e 1,5 kGy não apresentaram concentrações detectáveis para os Coliformes a 35 °C.

Com relação aos Coliformes a 45 °C, todas as amostras mantiveram-se dentro dos padrões exigidos pela legislação sanitária (<100 NMP/g) durante os 21 dias de estudo.

4.1.2.2 Bactérias aeróbias mesófilas e bactérias láticas

Quando as populações dessas bactérias atingem concentrações superiores a 10^7 UFC/g, algumas alterações sensoriais indesejáveis se tornam bastante evidentes, indicando que o alimento não deve ser consumido. Segundo JACXSENS *et al.* (2003), um painel de provadores treinados consegue detectar a deterioração de um produto que esteve submetido a uma população de 10^7 a 10^8 UFC/g de bactérias láticas por dois dias de armazenamento, através dos odores característicos dos ácidos láctico e acético.

Em recente trabalho de NASLAUSKY *et al.* (2006), foi feita a avaliação da qualidade microbiológica de vegetais MP comercializados na Cidade do Rio de Janeiro, sendo avaliadas as concentrações de coliformes totais e de bactérias aeróbias mesófilas. Segundo esses autores, as 21 amostras analisadas apresentaram contagem de bactérias aeróbias mesófilas entre 10^5 e 10^7 UFC/g e, em 11 delas, foram observadas contagens de coliformes totais entre 10^2 e 10^4 UFC/g. Tais resultados demonstram que, apesar do limite da legislação para coliformes totais ter sido respeitado, as contagens observadas podem ser consideradas impróprias para um produto MP.

O efeito da radiação ionizante sobre a população de bactérias aeróbias mesófilas em cenouras minimamente processadas, irradiadas e armazenadas por 15 dias a 5 °C pode ser observado no trabalho de CHAUDRY *et al.* (2004) onde foi constatada drástica diminuição nessa população. Na amostra controle a contagem passou de $6,3 \times 10^2$ UFC/g, no tempo zero para $3,7 \times 10^4$ e $6,5 \times 10^5$ UFC/g, respectivamente no 7° e no 15° dia de armazenamento, ao passo que para a amostra irradiada com 0,5 kGy, as contagens diminuíram para 23 no tempo zero; 0 no 7° dia e 3×10^2 UFC/g no 15° dia. Para a dose de 1,0 kGy as contagens foram: 12, no tempo zero; 0 no 7° dia e >10 UFC/g no 15° dia. Nas demais doses estudadas (2,0; 2,5 e 3,0 kGy), não foram observadas contagens nas três avaliações realizadas durante o armazenamento. Comportamento semelhante foi observado em outros trabalhos (BIB *et al.*, 2005; SONG *et al.*, 2007).

Os resultados da Tabela 11, para a contagem total de bactérias aeróbias mesófilas e para a contagem de bactérias láticas, indicam que para as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy o limite, de 10^7 UFC/g, foi ultrapassado na análise realizada no 21° dia.

Os resultados das análises microbiológicas das amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 1 (Tabela 11) indicam que as amostras controle e irradiada com 0,5 kGy apresentaram uma vida útil de 7 dias API, enquanto que a das amostras irradiadas com doses de 1,0 e 1,5 kGy alcançou 14 dias API.

4.1.3 Análises químicas

Antes de comentar os resultados obtidos cabe ressaltar o fato de que três avaliações estavam planejadas para o período de armazenamento, entretanto por problemas na logística de armazenamento, só foi possível realizar duas avaliações para as amostras do experimento 1. Além disso, por economia de material e de tempo de preparo das amostras, as análises foram feitas em duplicata.

4.1.3.1 Determinação dos teores de açúcares

4.1.3.1.1 Sacarose

A análise da variância (Tabela 12) indicou que apenas o efeito do tempo de armazenamento foi o causador das diferenças significativas observadas no teor de sacarose durante o período de armazenamento das amostras de beterraba vermelha MPI.

Tabela 12. Análise da variância das determinações, por CLAE, da sacarose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	1	9,922	9,922	142,462	*****
Dose (B)	3	0,429	0,142	2,033	NS
Interação AxB	3	0,349	0,116	1,668	NS
Resíduo	8	0,557	0,070		
Total corrigido	15	11,253			

CV (%) = 8,82

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F; NS = Não significativo.

Na Tabela 13, são apresentados os resultados das análises por CLAE (Cromatografia Líquida de Alta Eficiência) da sacarose em amostras de beterraba vermelha MPI armazenadas a 8 °C.

Os resultados indicam que, com o passar do tempo, o teor de sacarose diminuiu significativamente, de 3,78 g/100g, no 1º dia API, para 2,21 g/100g, no 13º dia API. Além disso, a análise da variância (Tabela 12) não mostrou correlação com a dose, nem com a interação, Tempo x Dose, pode-se concluir que a diminuição ocorreu por hidrólise da sacarose.

Tabela 13. Resultado das análises, por CLAE, da sacarose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)				Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5	
1	^{1; 2} 3,57	4,04	3,64	3,88	3,78 a
13	2,12	1,99	2,09	2,63	2,21 b
Médias	2,84	3,02	2,86	3,25	

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A sacarose (Figura 14A) é um dissacarídeo que, por hidrólise (catalisada nos tecidos vivos pelas enzimas invertases ácida e neutra), é convertida em dois monossacarídeos: glicose (uma aldohexose - Figura 14B) e frutose (uma cetohexose - Figura 14C). (BOBBIO & BOBBIO, 1995).

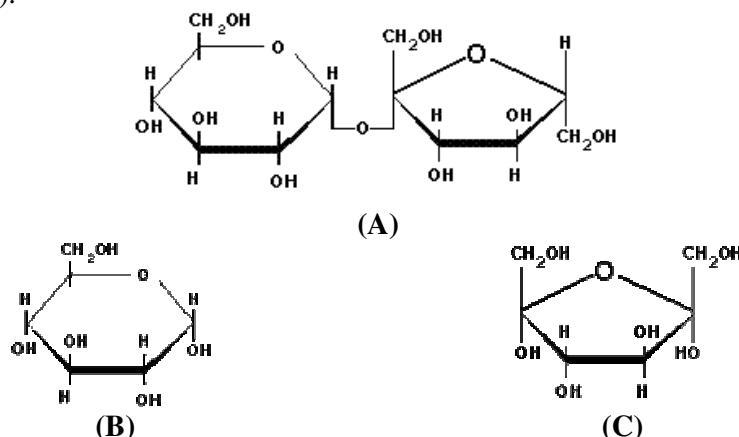


Figura 14. Estrutura das moléculas dos açucares: (A) sacarose; (B) glicose; (C) frutose.

Um trabalho que investigou o metabolismo de carboidratos durante o amadurecimento do mamão irradiado com 0,5 kGy (GOMES *et al.*, 1999) concluiu que os níveis de sacarose variaram de 2 a 5% durante o amadurecimento, nos frutos de controle, enquanto que, para os frutos irradiados, esses níveis foram discretamente menores, variando entre 0,5 e 4,0%. No 1º dia após a colheita, o teor de sacarose nos frutos irradiados foi cerca de 2,5 vezes menor que o dos frutos controle e, aos 10 dias, esse teor foi aproximadamente 6 vezes menor que o da amostra controle. Além disso, constatou-se que no 6º dia após a colheita, ocorreu uma queda nos teores de sacarose, que coincidiu com o pico de respiração dos frutos.

4.1.3.1.2 Glicose

A Tabela 14 apresenta a análise da variância para as determinações do teor de glicose em amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 1. Nela se observa que todas as fontes de variação foram altamente significativas.

Tabela 14. Análise da variância das determinações, por CLAE, da glicose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	1	0,273	0,273	246,785	*****
Dose (B)	3	0,066	0,022	19,923	*****
Interação AxB	3	0,066	0,022	19,923	*****
Resíduo	8	0,009	0,001		
Total corrigido	15	0,414			

CV (%) = 25,46

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Como a interação, Tempo x Dose, também foi significativa, os resultados (Tabela 15) devem ser avaliados com base na dependência entre os efeitos dos dois fatores (BANZATTO & KRONKA, 1989).

Tabela 15. Resultado das análises, por CLAE, da glicose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5		
1	^{1; 2} nd	A b	nd	A b	nd	A b
13	0,050	C a	0,275	B a	0,330	AB a
Médias	0,025		0,138	0,165	0,195	

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições; nd = não detectado;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados (Tabela 15) indicam que a interação mostrou um sinergismo positivo entre o tempo e a dose, pois o teor de glicose cresceu, tanto com o aumento da dose aplicada, quanto com o decorrer do tempo de armazenamento. O maior valor do teor de glicose foi observado para a dose de 1,5 kGy na análise realizada no 13º dia API.

Segundo DAINTY (1996), a glicose é a substância que sustenta o crescimento inicial da população da maioria dos microrganismos. No trabalho de JACXSENS *et al.* (2003), foi observado em folhas de chicória MP armazenadas a 7 °C que, enquanto as concentrações de sacarose e oligossacarídeos se mantiveram constantes, a glicose foi consumida por microrganismos Gram-negativos.

Em estudo realizado em amostras de “licyum fruit” (*Lycium chinense* Mill e *Lycium barbarum* L.) por WEN *et al.* (2006), não foram observadas diferenças significativas para o teor de glicose (entre a amostra controle e as irradiadas com doses de: 4,0; 8,0 e 14,0 kGy), em análise feita logo após a irradiação.

O teor dos açúcares totais (sacarose + glicose + frutose) em aipo MPI (LU *et al.*, 2005) também aumentou durante o período de armazenamento (9 dias a 4 °C) e, ao fim deste, tornou-se semelhante ao da amostra controle, que também apresentou aumento durante o armazenamento.

4.1.3.1.3 Frutose

Conforme ficou demonstrado por meio da análise da variância (Tabela 16), o teor de frutose comportou-se de modo semelhante ao da glicose, também sendo observada interação significativa.

Tabela 16. Análise da variância das determinações, por CLAE, da frutose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	1	0,774	0,774	2065,067	*****
Dose (B)	3	0,115	0,038	102,489	*****
Interação AxB	3	0,115	0,038	102,489	*****
Resíduo	8	0,003	0,0004		
Total corrigido	15	1,008			

CV (%) = 8,80

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Os resultados das análises de teor de frutose para as amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 1 são apresentados na Tabela 17.

Da mesma forma que para a glicose, os resultados das análises de frutose indicam que a interação mostrou sinergismo positivo dos efeitos e, mais uma vez, o maior valor foi observado, na análise realizada no 13º dia API, para a amostra irradiada com 1,5 kGy.

Tabela 17. Resultados das análises, por CLAE, da frutose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)								Médias
	0 (controle)		0,5		1,0		1,5		
1	^{1,2} nd	A b	nd	A b	nd	A b	nd	A b	nd
13	0,175	C a	0,495	B a	0,445	B a	0,645	A a	0,440
Médias	0,088		0,248		0,223		0,323		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições; nd = não detectado;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

No trabalho de JACXSENS *et al.* (2003), onde a irradiação não foi realizada, também foi observado que a frutose foi consumida por microrganismos Gram-negativos, enquanto as concentrações de sacarose e oligossacáideos se mantiveram constantes. Em contraste, no estudo realizado por WEN *et al.* (2006), em análise feita logo após a irradiação, não foram observadas diferenças significativas no teor de frutose entre a amostra controle e as irradiadas.

4.1.3.2 Determinação dos teores das vitaminas B1 e B2

4.1.3.2.1 Vitamina B1

Na Tabela 18 é apresentada a análise da variância para as determinações por CLAE da vitamina B1.

Todas as fontes de variação mostraram alta significância, porém, como a interação, Tempo x Dose, também foi significativa, os resultados (Tabela 19) devem ser avaliados apenas com base na dependência entre os efeitos dos dois fatores (BANZATTO & KRONKA, 1989).

Tabela 18. Análise da variância das determinações, por CLAE, da vitamina B1 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	1	0,6045	0,6045	96721,00	*****
Dose (B)	3	0,5237	0,1746	27931,67	*****
Interação AxB	3	0,5255	0,1752	28027,67	*****
Resíduo	8	0,00005	0,000006		
Total corrigido	15	1,6538			

CV (%) = 1,06

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Tabela 19. Resultados das análises, por CLAE, da vitamina B1 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias			
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5					
1 ^{1;2}	1,030	A a	0,290	C a	0,340	B a	0,060	D a	0,041
13	0,040	A b	0,040	A b	0,045	A b	0,040	A b	0,430
Médias	0,535	0,165		0,193	0,050				

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados da Tabela 19 para o 1º dia API indicam que a interação (Tempo x Dose) mostrou sinergismo negativo sobre o teor de vitamina B1, pois a irradiação causou diminuição significativa no teor de vitamina B1 (que foi tanto maior, quanto maior foi a dose aplicada), e o decorrer do tempo, também, contribuiu para a diminuição, uma vez que, na análise realizada no 13º dia API, tanto a amostra controle, assim como todas as irradiadas, apresentaram resultados que não diferiram significativamente entre si, mas foram significativamente diferentes daqueles observados no 1º dia API.

A vitamina B1 (tiamina) é uma base nitrogenada bastante solúvel em água e muito estável na faixa de temperatura empregada no processamento de alimento, contudo é uma substância muito sensível à luz ultravioleta (BOBBIO e BOBBIO, 1995) e é uma das vitaminas mais sensíveis às radiações ionizantes, provavelmente devido à presença de duplas ligações com heteroátomos C=O e C=N, onde o ataque principal é feito por e^- (aquoso) e $\cdot OH$, produtos formados a partir da radiólise da água (Quadro 7). Sendo assim, produtos com teor de água elevado, como os vegetais frescos, estão sujeitos a perdas significativas no teor de vitamina B1 ao serem irradiados. Porém, quando o teor de água é baixo, como no caso do feijão macaçar (*Vigna unguiculata* L. Walp, var. Macaçar) as perdas detectadas aos 6 meses após irradiação com doses até 5 kGy foram insignificantes (VILLAVICENCIO *et al.*, 2000).

4.1.3.2.2 Vitamina B2

A análise da variância para as determinações do teor de vitamina B2 (Tabela 20), em contraste com o observado para a vitamina B1 mostra que apenas a interação, Tempo x Dose, foi significativa aos 5% de probabilidade. Os resultados das análises da vitamina B2, por CLAE, em amostras de beterraba vermelha MPI são apresentados na Tabela 21.

Tabela 20. Análise da variância para as determinações, por CLAE, da vitamina B2 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	1	0,000025	0,000025	2,000	NS
Dose (B)	3	0,000000	0,000000	0,000	NS
Interação AxB	3	0,000275	0,000092	7,333	**
Resíduo	8	0,000100	0,000013		
Total corrigido	15	0,000400			

CV (%) = 6,43

** = Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade segundo o teste F; NS = Não significativo.

Tabela 21. Resultados das análises, por CLAE, da vitamina B2 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)				Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5	
1 ^{1; 2}	0,060 A a	0,055 A a	0,050 A b	0,050 A b	0,054
13	0,050 A b	0,055 A a	0,060 A a	0,060 A a	0,056
Médias	0,055	0,055	0,055	0,055	

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A riboflavina (vitamina B2), 7,8-dimetil-10-ribitol-isoaloxazina (Figura 15), é uma vitamina hidrossolúvel pertencente ao complexo vitamínico B. Apresenta coloração amarela e é fluorescente.

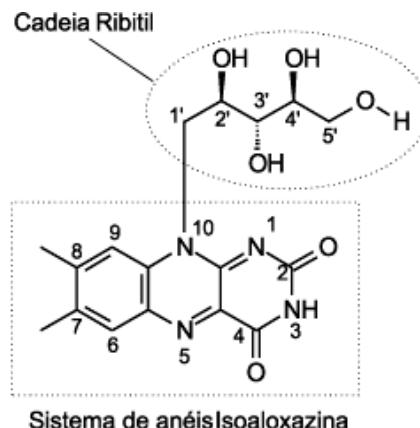


Figura 15. Estrutura da riboflavina (vitamina B2). Em destaque, a cadeia Ribilil e o sistema de anéis Isoaloxazina, que apresenta o sistema π conjugado (SOUZA *et al.*, 2005).

No trabalho de WEN *et al.* (2006), em amostras de “licyum fruit” (*Lycium chinense* Mill e *Lycium barbarum* L.), foi demonstrado que, mesmo com doses de até 14 kGy, o teor de riboflavina (vitamina B2) não sofreu variação significativa em função da dose aplicada, na análise realizada logo após a irradiação. Já no trabalho de VILLAVICENCIO *et al.* (2000), em relação ao feijão Macaçar (*Vigna unguiculata* L. Walp, var. Macaçar), foi observado um aumento (diretamente relacionado à dose aplicada) no teor da vitamina B2, na análise realizada 6 meses após irradiação, com doses de 0,5 até 10 kGy.

Os resultados apresentados na Tabela 21 indicam que, no 13º dia API, as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy, apresentavam teores de vitamina B2 idênticos ao observado para a amostra controle na avaliação feita no 1º dia API. Estes resultados ratificam os da literatura citada.

Com base nos resultados das análises químicas das amostras do experimento 1, observou-se que a irradiação não promoveu perdas significativas nas concentrações das substâncias analisadas.

4.1.4 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas das amostras do experimento 1 foram realizadas em quatro épocas durante o período de armazenamento, aos: 1; 8; 15 e 22 dias API.

4.1.4.1 Determinação do pH

Na Tabela 22, são apresentados os resultados da análise da variância para as determinações do pH em amostras de beterraba vermelha MPI. Eles indicam a existência de diferenças significativas entre os tratamentos. Verifica-se também que a interação (Tempo x Dose) foi altamente significativa. Os resultados das determinações do pH em amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 1 são apresentados na Tabela 23.

Tabela 22. Análise da variância para as determinações do pH em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	1,5669	0,5223	203,825	*****
Dose (B)	3	0,2867	0,0956	37,291	*****
Interação AxB	9	0,4714	0,0524	20,440	*****
Resíduo	32	0,0820	0,0026		
Total corrigido	47	2,4070			

CV (%) = 0,78

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Tabela 23. Resultados das determinações do pH em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5		
1 ^{1,2}	5,963 B d	6,340 A b	6,397 A c	6,300 A d	6,250	
8	6,530 A b	6,390 B b	6,457 AB c	6,527 A c	6,476	
15	6,670 A a	6,693 A a	6,617 A b	6,683 A b	6,666	
22	6,417 C c	6,720 B a	6,840 A a	6,847 A a	6,706	
Médias	6,395	6,536	6,578	6,589		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de três repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados da Tabela 23 indicam que para a amostra controle houve oscilações do pH durante os 22 dias API. Já para as amostras irradiadas, a interação (Tempo x Dose)

apresentou sinergismo positivo, uma vez que foi observada uma tendência de aumento do pH com a dose e com o tempo de armazenamento.

No trabalho de PIGA *et al.* (2002) é relatada a diminuição do pH depois do 6º dia de armazenamento (a 4 °C) do fruto do cacto “prickly pear” (*Opuntia ficus-indica* L., cv. Gialla) minimamente processado. Os autores atribuíram esta diminuição do pH à fermentação microbiológica.

Para o melão minimamente processado (DAMASCENO *et al.*, 2005), também foi observada uma diminuição significativa do pH, após o 5º dia de armazenamento.

Para repolho chinês minimamente processado (AHN *et al.*, 2005), a combinação de atmosfera modificada e irradiação (0,5; 1,0 e 2,0 kGy) foi eficiente para evitar a mudança de pH na análise realizada logo após a irradiação. Porém, ao longo das três semanas de armazenamento (a 4 °C), foi observada uma gradual diminuição de pH, tanto para a amostra controle, como para as irradiadas.

As variações do pH estão intimamente ligadas à atividade dos microrganismos. Sua diminuição está relacionada à liberação de ácidos (como o lático e o acético) para o meio em decorrência do metabolismo de bactérias heterofermentativas (como as bactérias láticas), que são microrganismos sem motilidade, em forma de bastonetes ou cocos, não esporulados, Gram-positivos, que obtêm a energia na forma de ATP por meio da fermentação de carboidratos e produzem ácido lático, como principal produto final. Por outro lado, o aumento do pH é uma das consequências da quebra de proteínas levando à formação de produtos básicos, uma atividade típica de microrganismos Gram-negativos (JACXSENS *et al.*, 2003).

Os microrganismos Gram-negativos, como: *Escherichia* sp.; *Pseudomonas* sp. e *Salmonella* sp., têm como traço distintivo a presença de uma dupla membrana que rodeia cada célula bacteriana. Apesar de todas as bactérias terem uma membrana celular interna, as gram-negativas têm uma membrana externa rica em uma molécula chamada lipopolissacáride, o que explica parcialmente a razão por que são habitualmente mais resistentes que as bactérias gram-positivas (ESTRELA & PÉCORA, 2006).

4.1.4.2 Determinação da acidez total titulável (ATT)

Os resultados da análise da variância para as determinações da ATT encontram-se listados na Tabela 24. Verifica-se que a interação (Tempo x Dose) também foi significativa para a ATT. Os resultados das determinações da ATT são apresentados na Tabela 25.

Tabela 24. Análise da variância para as determinações da acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	0,6678	0,2226	103,044	*****
Dose (B)	3	0,1517	0,0506	23,407	*****
Interação AxB	9	0,2065	0,0229	10,622	*****
Resíduo	32	0,0691	0,0022		
Total corrigido	47	1,0952			

CV (%) = 13,16

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Tabela 25. Resultados das determinações da acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5		
1 ^{1; 2}	0,760 A a	0,517 B a	0,487 B a	0,447 B a	0,553	
8	0,293 A c	0,360 A b	0,330 A b	0,327 A b	0,327	
15	0,263 A c	0,230 A c	0,300 A b	0,237 A bc	0,258	
22	0,457 A b	0,293 B bc	0,197 BC c	0,153 C c	0,275	
Médias	0,443	0,350	0,328	0,291		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de três repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados (Tabela 25) indicam que o maior valor da ATT (para as amostras do experimento 1) foi obtido para a amostra controle (0,76 mg/100g), na determinação realizada com 1 dia de armazenamento, sendo que os menores valores (0,20 e 0,15 mg/100g) foram registrados aos 22 dias de armazenamento, respectivamente, para amostras irradiadas com doses de 1,0 e 1,5 kGy.

Para as amostras irradiadas, observa-se uma diminuição da ATT ao longo do armazenamento, enquanto que, para a amostra controle, continua a tendência de aumento, como foi observado no trabalho de AHN *et al.*, (2005).

No caso em estudo (Tabela 25), a mesma tendência de diminuição da ATT, foi observada para as amostras irradiadas, enquanto o controle mostrou uma oscilação nos resultados. Estes fatos podem ser explicados a partir das conclusões dos trabalhos de PIGA *et al.* (2002) e DAMASCENO *et al.* (2005), que foram unâimes em apontar a ação dos microrganismos como responsável pelo aumento na ATT observada para alimentos de origem vegetal minimamente processados, mas não irradiados. No presente estudo, a utilização da radiação gama promoveu sensível diminuição nas populações de microrganismos (Tabela 11), e com isso a ATT tendeu a diminuir durante o armazenamento.

4.1.4.3 Determinação do teor de sólidos solúveis totais SST

Na Tabela 26, estão os resultados da análise da variância para as determinações do teor de SST.

Tabela 26. Análise da variância para as determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	2,72	0,9067	13,432	*****
Dose (B)	3	0,38	0,1267	1,877	NS
Interação AxB	9	2,78	0,3089	4,576	****
Resíduo	32	2,16	0,0675		
Total corrigido	47	8,04			

CV (%) = 4,95

****, ***** = Significativo, respectivamente, ao nível de 0,01 e 0,001 de probabilidade segundo o teste F;
NS = Não significativo.

Os resultados das determinações do teor de SST em amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 1 são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27. Resultados das determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)								Médias
	0 (controle)		0,5		1,0		1,5		
1	^{1; 2} 6,000	A a	6,000	A a	5,267	B a	4,933	B a	5,550
8	5,333	A b	5,467	A ab	5,467	A a	5,400	A a	5,417
15	4,800	A b	4,933	A b	5,267	A a	5,067	A a	5,017
22	4,867	A b	5,133	A b	4,933	A a	5,133	A a	5,017
Médias	5,250		5,383		5,233		5,133		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de três repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Para as amostras controle e irradiada com dose de 0,5 kGy, foi observado que o efeito da interação, Tempo x Dose, apresentou sinergismo negativo, uma vez que foi observada uma diminuição significativa do teor de SST durante o armazenamento. Enquanto isso, para as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy não foram observadas diferenças significativas.

A variação no teor de SST foi estudada em melões minimamente processados e armazenados por 15 dias a 4 °C e a 15 °C por 3 dias (DAMASCENO *et al.*, 2005). Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos ao fim do armazenamento.

No Trabalho de PIGA *et al.* (2003), também não foram observadas diferenças significativas no teor de SST durante os 9 dias de armazenamento a 4 °C, de frutos do cacto “prickly pear” (*Opuntia ficus-indica* L.) minimamente processados.

Ao estudar os efeitos do momento de sanitização durante o processamento mínimo de beterrabas, VITTI *et al.* (2004) compararam os teores de SST, da beterraba minimamente processada (sem sanitização) com o das amostras sanitizadas e concluíram que a sanitização, feita em qualquer etapa do processamento, acarreta perda no teor de SST. Ao reconhecerem que a sanitização é indispensável, os autores recomendaram que ela seja feita após a etapa do descascamento, como foi feito no presente estudo.

No trabalho de KLUGE *et al.* (2006), foram avaliados os efeitos de diferentes tipos de corte no processamento de beterraba. Os autores concluíram que as menores perdas de SST são observadas para as beterrabas processadas em fatias, seguidas das processadas em formato de cubo. O formato em retalhos apresentou os menores valores para o teor de SST.

A irradiação não foi empregada em nenhum dos quatro trabalhos mencionados. Ao se utilizar a radiação como meio de extensão da vida útil dos produtos minimamente processados, o comportamento do teor de SST é muito diferente. No trabalho de LU *et al.* (2004), o teor de SST em aipo minimamente processado e irradiado foi monitorado durante 9 dias de armazenamento a 4 °C. Os resultados das análises realizadas no 3º dia mostram que houve aumento no teor de SST para todas as amostras (controle e irradiadas com: 0,5; 1,0 e 1,5 kGy), sendo que o aumento foi maior para as amostras irradiadas. A partir desse ponto, até ao fim do período de avaliação, ocorreu diminuição dos SST, em todas as amostras porém, para as amostra irradiada a queda foi muito menor do que para a amostra controle, sendo que a amostra irradiada com 1 kGy apresentou o maior valor de SST ao fim do período de armazenamento. Segundo os autores, isso se deveu à menor taxa de respiração observada para os produtos irradiados. Durante a respiração, ocorre o consumo dos açúcares que são convertidos em energia. Com a diminuição da taxa de respiração em decorrência da irradiação, menos açúcar é consumido, contribuindo assim para o aumento do teor de SST. Portanto, os resultados da Tabela 27 estão de acordo com os dados da literatura relativa a produtos minimamente processados e irradiados.

4.1.4.4 Determinação do teor de ácido ascórbico (TAA)

Na Tabela 28, são apresentados os resultados da análise da variância para a determinação do TAA em amostras de beterraba vermelha MPI. De modo semelhante ao observado para a variação do SST, a interação (Tempo x Dose) mostrou-se altamente significativa. Os resultados das determinações estão listados na Tabela 29.

Tabela 28. Análise da variância para as determinações do teor de ácido ascórbico (mg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 1).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	2014,492	671,497	35,092	*****
Dose (B)	3	33,963	11,321	0,592	NS
Interação AxB	9	1470,567	163,396	8,539	*****
Resíduo	32	612,327	19,135		
Total corrigido	47	4131,347			

CV (%) = 22,27

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F; NS = Não significativo.

Tabela 29. Resultados das determinações do teor de ácido ascórbico (mg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 1).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5		
1 ^{1;2}	42,85 A a	21,43 B ab	35,71 A a	21,43 B a	30,36	
8	19,05 A b	23,81 A a	14,29 A b	16,67 A a	18,46	
15	14,29 A bc	21,43 A ab	14,29 A b	16,67 A a	16,67	
22	7,14 B c	11,91 AB b	14,29 AB b	19,05 A a	13,10	
Médias	20,83	19,64	19,65	18,45		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de três repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

O ácido ascórbico (Figura 16A) e o ácido dehidroascórbico (Figura 16B) são, respectivamente, a forma reduzida e a oxidada da vitamina C. (BOBBIO & BOBBIO, 1995).

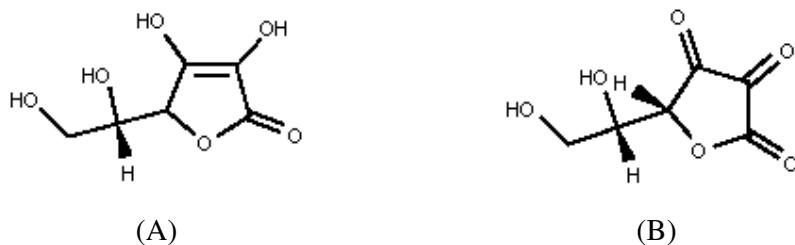


Figura 16. Fórmulas estruturais: (A) ácido L-ascórbico; (B) ácido L-dehidroascórbico.

O ácido ascórbico está amplamente distribuído na natureza, particularmente nos frutos cítricos e nos vegetais folhosos (de intensa coloração verde). É um composto hidrossolúvel, sensível à ação: do calor, da luz visível, do oxigênio, de álcalis e de enzimas (como a oxidase), por estas razões, sua concentração pode ser drasticamente reduzida durante as etapas do processamento mínimo.

Quando vegetais minimamente processados são irradiados, a monitoração das variações do TAA durante o armazenamento, revela fatos muito interessantes. Por exemplo, em aipo MP e irradiado com 0,5; 1,0 e 1,5 kGy (LU *et al.*, 2005), se verifica que o TAA, durante 9 dias de armazenamento a 4 °C, primeiramente aumentou (até o 3º dia), tanto para as amostras irradiadas, como para o controle. Depois do 3º ao 9º dia, foi observada uma diminuição do TAA para todas as amostras, porém, as amostras irradiadas mantiveram seus teores acima do valor observado para o controle durante todo o tempo de armazenamento. Com base nos resultados observados, os autores concluíram que a irradiação reduziu as perdas de vitamina C no aipo minimamente processado.

A aplicação de altas doses (4,0; 8,0 e 14,0 kGy) em “licyum fruit” (*Lycium chinense* Mill e *Lycium barbarum* L.), estudada por WEN *et al.* (2006), revela que o teor de vitamina

C, decresceu na medida em que a dose aplicada aumentou, passando de: 8,35 mg/100g, na amostra controle, para 4,3 mg/100g, na amostra irradiada com 4,0 kGy, não tendo sido detectado nas amostra irradiadas com 8,0 e 14,0 kGy.

Estudando a irradiação do suco de cenoura, SONG *et al.* (2007) perceberam que, mesmo tendo sido observada diminuição no TAA para todas as amostras durante o período de armazenamento, as amostras irradiadas com 3,0 e 5,0 kGy apresentavam no fim do período de avaliação (3º dia de armazenamento a 10 °C) concentrações de ácido ascórbico significativamente maiores que aquela observada para a amostra controle.

Os resultados da Tabela 29 mostram que os efeitos da interação (Tempo x Dose) apresentaram sinergia negativa, pois à medida que a dose e o tempo aumentaram, o TAA apresentou uma tendência de diminuição para todos os tratamentos. Porém, com relação às amostras irradiadas, a diminuição do TAA foi menor que para a amostra controle. A amostra irradiada com 1,5 kGy foi a que apresentou a menor diminuição no TAA ao fim do armazenamento.

4.2 Experimento 2

4.2.1 Avaliação do estágio de desenvolvimento da beterraba (ponto de colheita)

4.2.1.1 Massa fresca (MF)

O resumo da análise da variância das determinações da MF da raiz da beterraba vermelha do experimento 2 (Tabela 30) indica que não foram observadas diferenças significativas durante o período de avaliação.

Tabela 30. Análise da variância das determinações da massa fresca (g) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo após transplante	5	5226,800	1045,360	2,849	NS
Resíduo	54	19813,800	366,922		
Total corrigido	59	25040,600			

CV (%) = 48,13

NS = Não significativo.

Os resultados da avaliação da MF (apresentados na Tabela 31) revelam que o valor máximo (49,7 g) foi observado no 62º DAT.

Embora para a MF não tenham sido observadas diferenças significativas entre os 6 períodos de avaliação, houve uma tendência de aumento da MF da parte tuberosa da beterraba vermelha até o 48º DAT.

Tabela 31. Resultado das determinações da massa fresca (g) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).

DAT*	Massa fresca (g)
34	1; 2 27,00 a
41	27,10 a
48	43,10 a
55	43,40 a
62	49,70 a
69	48,50 a

* Dias decorridos a partir do transplante das mudas no campo até a coleta das amostras;

1 Cada valor corresponde à média de dez repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Lembrando que os fatores externos (climáticos, principalmente) exercem grande influência no crescimento e acúmulo de reservas (conforme foi comentado na avaliação dos resultados do experimento 1), torna-se necessário levar em consideração os dados meteorológicos, coletados na região durante a condução do experimento 2 (Quadro 10).

A análise das temperaturas médias (TM) observadas na região do experimento durante os 7 dias que antecederam cada uma das 6 avaliações realizadas (Quadro 10) indica que durante todo o tempo em que as beterrabas do experimento 2 estiveram no campo, estavam submetidas a TM superiores às da faixa ideal para sua cultura que, segundo FILGUEIRA (1982) é de 10 a 20°C. Uma inspeção dos valores de MF (Tabela 31) e dos de TM listados no Quadro 10 permite concluir que os menores valores de MF foram obtidos nos períodos que apresentaram os maiores valores de TM. Lembrando que o acúmulo de reservas é o principal responsável pelo aumento na MF da parte tuberosa e sabendo-se também que só a parte excedente das substâncias fotossintetizadas (que não foram utilizadas na respiração ou na assimilação) pode ser acumulada (MEYER *et al.*, 1973); e ainda que, temperaturas acima da faixa ideal da cultura promovem um aumento na taxa de respiração da planta e, portanto, acarretam uma diminuição na taxa de acúmulo de reservas. Pode-se concluir que as altas temperaturas (principalmente) e os demais fatores climáticos observados durante o cultivo do experimento 2, interferiram no desenvolvimento da beterraba. Tal interferência contribuiu para que a MF da parte tuberosa da beterraba vermelha do experimento 2 apresentasse valores muito mais baixos que os observados para aquelas do experimento 1.

Quadro 10. Resumo dos dados agroclimatológicos observados no período de avaliação (13 de outubro a 23 novembro de 2005) durante a condução no campo do experimento 2.

Período de avaliação DAT* (dias)	Dados agroclimatológicos **					
	TM (°C)	URM (%)	NBM (0 a 10)	VTCR (mm)	EVT (mL)	IST (ho)
de 27 a 33	24, 8	73, 1	7, 9	12, 4	15, 1	32, 8
de 34 a 40	25, 2	75, 1	7, 9	9, 0	24, 3	25, 2
de 41 a 47	22, 8	83, 5	9, 8	35, 5	14, 6	7, 1
de 48 a 54	22, 3	83, 2	9, 4	114, 8	11, 3	10, 9
de 55 a 61	22, 8	71, 2	5, 2	5, 6	13, 9	49, 0
de 62 a 68	25, 0	72, 6	7, 3	8, 9	29, 3	50, 5

* Dias após o transplante das mudas para o campo

** TM = Temperatura média; URM = Umidade relativa média; NBM = Nebulosidade média; VTCR = Volume total de chuva recolhido; EVT = Evaporação total; IST = Insolação total.

Fonte: Estação experimental de Itaguaí – PESAGRO-RIO (latitude: 22° 45' Sul, longitude: 43° 41' Oeste; Altitude: 33 m.), distante cerca de 1200 m da área experimental.

4.2.1.2 Comprimento (C)

A análise da variância (Tabela 32) mostra que as diferenças observadas para o comprimento da parte tuberosa da beterraba vermelha do experimento 2 foram significativas.

Tabela 32. Análise da variância para as determinações do comprimento (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo após transplante	5	1836,543	367,309	4,764	****
Resíduo	54	4163,609	77,104		
Total corrigido	59	6000,151			

CV (%) = 15,37

**** = Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade segundo o teste F.

Os resultados das 6 avaliações do comprimento (Tabela 33) mostram que apenas os valores observados no 34° e no 41° DAT são significativamente diferentes dos demais, sendo que o menor deles foi o observado no 41° DAT (46,38 mm). A partir do 48° DAT, os valores de C observados não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 33. Resultado das determinações do comprimento (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).

DAT*	Comprimento (mm)
34	^{1; 2} 53,760 ab
41	46,380 b
48	60,575 a
55	62,440 a
62	60,880 a
69	58,745 a

* Dias decorridos a partir do transplante das mudas no campo até a coleta das amostras;

1 Cada valor corresponde à média de dez repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

4.2.1.3 Diâmetro médio (DM)

Também para o DM, a análise da variância (Tabela 34) mostrou que as diferenças observadas foram altamente significativas.

Tabela 34. Análise da variância para as determinações do diâmetro médio (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo após transplante	5	1363,426	272,685	3,632	****
Resíduo	54	4053,870	75,072		
Total corrigido	59	5417,300			

CV (%) = 22,78

**** = Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade segundo o teste F.

Os resultados obtidos nas 6 avaliações (Tabela 35) mostram que, a partir do 48º DAT, o DM da beterraba vermelha não apresentou aumento significativo.

Tabela 35. Resultado das determinações do diâmetro médio (mm) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).

DAT*	Diâmetro médio (mm)
34	1; 2 31,960 c
41	32,060 bc
48	38,915 abc
55	38,030 abc
62	43,450 ab
69	43,835 a

* Dias decorridos a partir do transplante das mudas no campo até a coleta das amostras;

1 Cada valor corresponde à média de dez repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Com base nos resultados apresentados, para o DM, as raízes de beterrabas do experimento 2, de acordo com a classificação de Franch (2000), eram “raízes médias”, ao passo que aquelas do experimento 1 eram “raízes graúdas”.

4.2.1.4 Sólidos solúveis totais (SST)

A análise da variância (Tabela 36) revela que as variações observadas no teor de SST, também apresentam diferenças significativas em função do tempo.

Tabela 36. Análise da variância para determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo após transplante	5	46,152	9,230	4,871	****
Resíduo	54	102,328	1,895		
Total corrigido	59	148,480			

CV (%) = 15,30

**** = Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade segundo o teste F.

Os valores observados nas 6 épocas de avaliação para o teor de SST da beterraba vermelha do experimento 2 (Tabela 37) mostraram uma alternância entre valores altos e baixos. Por exemplo, no 41° DAT foi observado o valor máximo (11,10 °Brix), que foi seguido pelo valor mínimo (7,88 °Brix), encontrado aos 48 dias.

Tabela 37. Resultado das determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) da parte tuberosa de beterraba vermelha (experimento 2).

DAT*	Sólidos solúveis totais (°Brix)
34	1; 2 8,72 b
41	10,66 a
48	7,88 b
55	8,44 b
62	9,44 ab
69	8,86 ab

* Dias decorridos a partir do transplante das mudas no campo até a coleta das amostras;

1 Cada valor corresponde à média de dez repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A oscilação do teor de SST também é influenciada por condições climáticas, como o volume total de chuva recolhido no período que antecedeu a coleta das amostras. Fazendo-se uma comparação entre os dados agroclimatológicos (Quadro 11) e os resultados da Tabela 37, verifica-se que os períodos que antecederam as determinações do teor de SST, realizadas no 48° e no 55° dia DAT (que apresentaram os menores valores de SST, respectivamente, 7,88 e 8,44 ° Brix), correspondem aos maiores volumes de chuvas recolhidos durante o experimento (33,3 mm, para o período que iniciou no 41° e findou no 47° dia DAT; 114,8 mm, para o período do 48° até o 54° dia DAT).

A análise conjunta dos quatro parâmetros avaliados (MF, C, DM e SST) para a determinação do ponto ideal de colheita permitiu concluir que, a partir do 62° DAT, não foram observadas diferenças significativas em nenhum desses parâmetros. Portanto, a colheita do experimento 2, realizada no 73° dia DAT, ocorreu no ponto ideal.

4.2.2 Avaliações microbiológicas

As amostras avaliadas a partir desse ponto foram aquelas provenientes do processamento mínimo.

Os resultados das análises microbiológicas para as amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2, realizadas no tempo zero e aos 7, 14 e 21 dias de armazenamento a 8 °C são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38. Resultados das análises microbiológicas em amostras de beterrabas vermelhas, do experimento 2, minimamente processadas, irradiadas e armazenadas (a 8 °C) por 21 dias.

Amostra	<i>Salmonella</i> sp. (em 25g)	Coliformes a 35 °C (totais) (NMP/g)	Coliformes a 45 °C (fecais) (NMP/g)	Contagem total de bactérias aeróbias mesófilas (UFC/g)	Contagem de bactérias láticas (UFC/g)
Tempo zero					
0 kGy	Ausente	$>1,1 \times 10^3$	$2,5 \times 10$	$>3,0 \times 10^5$	$1,1 \times 10^4$
0,5 kGy	Ausente	$2,3 \times 10$	<3,0	$<3,0 \times 10^2$	$<1,0 \times 10^2$
1,0 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$<3,0 \times 10^2$	$<1,0 \times 10^2$
1,5 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$<3,0 \times 10^2$	$<1,0 \times 10^2$
7º dia de armazenamento					
0 kGy	Ausente	$>1,1 \times 10^3$	$2,5 \times 10^2$	$>3,0 \times 10^6$	$>3,0 \times 10^6$
0,5 kGy	Ausente	$2,8 \times 10$	<3,0	$1,4 \times 10^6$	$9,7 \times 10^5$
1,0 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$5,0 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$
1,5 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$<3,0 \times 10^2$	$<3,0 \times 10^2$
14º dia de armazenamento					
0 kGy	Ausente	$>1,1 \times 10^3$	$>1,1 \times 10^3$	$>3,0 \times 10^7$	$>3,0 \times 10^7$
0,5 kGy	Ausente	$>1,1 \times 10^3$	<3,0	$>3,0 \times 10^7$	$3,0 \times 10^7$
1,0 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$>3,0 \times 10^5$	$9,5 \times 10^5$
1,5 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	-	-
21º dia de armazenamento					
0,5 kGy	Ausente	$>1,1 \times 10^3$	<3,0	$6,5 \times 10^8$	$5,9 \times 10^8$
1,0 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$1,9 \times 10^7$	$8,9 \times 10^6$
1,5 kGy	Ausente	<3,0	<3,0	$2,7 \times 10^4$	$4,0 \times 10^3$

4.2.2.1 Enterobactérias (*Salmonella* sp., e coliformes)

Em relação à *Salmonella* sp., os resultados da Tabela 38 mostraram que todas as amostras de beterraba vermelha MPI atenderam a exigência da legislação sanitária em vigor, ou seja, ausência em 25g da amostra (BRASIL – RDC 12, 2001).

Em contraste, no que se refere ao número de Coliformes a 45 °C observa-se que a amostra controle (não irradiada), já no 7º dia API (armazenamento pós-irradiação), havia

ultrapassado o limite de tolerância (100 NMP/g) estabelecido na legislação sanitária (BRASIL – RDC 12, 2001) e, portanto, já se encontrava fora das condições higiênico-sanitárias para o consumo. Ao passo que, todas as amostras irradiadas (0,5; 1,0; 1,5 kGy) permaneceram abaixo do limite até o fim do período de avaliação (21 dias).

Para BERBARI *et al.* (2001), contagens superiores a 10^6 NMP/g de Coliformes a 35 °C corresponderiam ao fim da vida útil do alimento e, consequentemente, indicariam que ele estaria impróprio para o consumo. Neste trabalho, assumiu-se como concentração limítrofe para coliformes a 35 °C o valor $1,1 \times 10^3$ NMP/g, uma vez que, valores superiores não corresponderiam a um produto de qualidade aceitável, principalmente em se tratando de um produto minimamente processado, para o qual a etapa de sanitização é preconizada pelo conjunto de procedimentos conhecido como “boas práticas”.

A observação dos resultados para Coliformes a 35 °C, que constam da Tabela 38, permite concluir que a amostra controle inicialmente já apresentava uma população de coliformes superior ao limite adotado ($1,1 \times 10^3$ NMP/g) e a amostra irradiada com 0,5 kGy que inicialmente apresentava 23 NMP/g, no 14º dia, tinha populações superiores ao limite. Por outro lado, as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy não apresentaram durante todo o período estudado coliformes a 35 °C que fossem detectáveis pela técnica de análise utilizada (método dos tubos múltiplos, com resultados expressos em NMP/g).

Esses resultados corroboram dados da literatura (BIB *et al.*, 2005; SONG *et al.*, 2007) que demonstram a eficiência da irradiação como meio de garantir a segurança microbiológica, por meio da inativação de enterobactérias, que são contaminantes muito comuns em produtos minimamente processados (MARTINS *et al.*, 2004).

4.2.2.2 Bactérias aeróbias mesófilas e bactérias láticas

Populações de bactérias aeróbias mesófilas e ou láticas com contagens superiores a 10^7 UFC/g causam alterações sensoriais indesejáveis, que podem ser detectadas por provadores treinados, os quais conseguem identificar os odores característicos dos ácidos orgânicos (acético e lático) liberados pelo metabolismo dessas bactérias (JACXSENS *et al.*, 2003). Apesar dessas bactérias causarem perdas na qualidade sensorial e de provocarem a deterioração prematura, que contribuem para a diminuição da vida útil dos alimentos, são freqüentes, na literatura científica, os relatos que dão conta da presença de elevadas contagens (da ordem de 10^5 a 10^7 UFC/g) desses microrganismos em produtos de origem vegetal minimamente processados produzidos e comercializados no território brasileiro (BRUNO *et al.*, 2005; NASLAUSKY *et al.*, 2006). No Brasil, infelizmente, ainda são comuns em nossos dias registros de casos de contaminação por microrganismos patogênicos, como *Escherichia coli*, em produtos de origem vegetal MP (DE PAULA *et al.*, 2006). Por outro lado, são encontrados trabalhos que utilizando a irradiação, obtiveram excelentes resultados na redução das populações de microrganismos em alimentos minimamente processados ou não (CHAUDRY *et al.*, 2004; BIB *et al.*, 2005; SONG *et al.*, 2007).

A avaliação dos resultados da contagem total de bactérias aeróbias mesófilas e das bactérias láticas em amostra de beterraba vermelha MPI (Tabela 38) indica que as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy mantiveram-se abaixo do limite estabelecido (10^7 UFC/g) por todo o período de armazenamento (21 dias), podendo, portanto, ser consideradas próprias para o consumo. Em contraste, para amostra que recebeu 0,5 kGy, os resultados dão conta de que, na análise realizada aos 21 dias de armazenamento, as contagens para os dois grupos de microrganismos avaliados haviam ultrapassado o limite estabelecido. Cabe ressaltar que a amostra controle não foi avaliada no 21º dia API, por encontrar-se totalmente deteriorada.

Os resultados das análises microbiológicas das amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2 (Tabela 38) indicam que a amostra controle apresentou vida útil inferior a 7 dias API. A vida útil da amostra irradiada com 0,5 kGy foi de 7 dias API. Para as amostras irradiadas com doses de 1,0 e 1,5 kGy, a vida útil chegou a 21 dias de armazenamento pós-irradiação (a 8 °C). Estes resultados ressaltam a eficiência da irradiação de alimentos na extensão da vida útil, principalmente quando são comparados aos resultados obtidos por VITTI *et al.* (2004), que também trabalharam com beterrabas vermelhas minimamente processadas, sem, contudo utilizarem radiações ionizantes. Seus resultados microbiológicos indicam uma vida útil de até 10 dias para amostras armazenadas a apenas 5 °C.

4.2.3 Análises químicas

Antes da avaliação dos resultados obtidos é necessário informar que, visando à economia de material e de tempo de preparo das amostras, as análises por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) foram feitas em duplicata.

4.2.3.1 Determinação dos teores de açúcares

4.2.3.1.1 Sacarose

A análise da variância (Tabela 39) indica que as diferenças significativas que foram observadas nas determinações do teor de sacarose em amostras de beterraba vermelha MPI tiveram como causa o efeito do tempo de armazenamento.

Tabela 39. Análise da variância das determinações, por CLAE, da sacarose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	2	43,329	21,665	462,263	*****
Dose (B)	3	0,398	0,132	2,825	NS
Interação AxB	6	0,639	0,105	2,247	NS
Resíduo	12	0,562	0,469		
Total corrigido	23	44,921			

CV (%) = 13,17

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F; NS = Não significativo.

Os resultados das análises de sacarose nas amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2 são apresentados na Tabela 40.

Tabela 40. Resultados das análises, por CLAE, da sacarose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)				Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5	
5 ^{1; 2}	3,285	3,190	3,385	3,305	3,29 a
12	1,830	1,550	2,065	1,120	1,64 b
19	nd	nd	nd	nd	nd c
Médias	1,705	1,580	1,817	1,475	

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições; nd = não detectado;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

De modo semelhante ao que foi observado anteriormente em relação às amostras do experimento 1, os resultados das análises de sacarose nas amostras do experimento 2 também mostram a diminuição do teor de sacarose, à medida em que transcorreu o tempo de armazenamento. A diminuição foi muito drástica, a ponto de, nas análises realizadas no 19º dia API, não ter sido detectada a presença de sacarose em nenhuma das amostras. A diminuição do teor de sacarose provavelmente deve-se à hidrólise enzimática da sacarose.

A diminuição no teor de sacarose durante o armazenamento foi observada durante o amadurecimento do mamão (GOMES *et al.*, 1999) e, também, em melão minimamente processado e armazenado a 15 °C (DAMASCENO *et al.*, 2005), já citados anteriormente.

4.2.3.1.2 Glicose

A Tabela 41 apresenta o resumo da análise da variância para as determinações do teor de glicose. Contrariamente ao observado em relação à sacarose, para a variação do teor de glicose, observa-se que, tanto as fontes de variação (Tempo e Dose), quanto sua interação (Tempo x Dose) foram significativas.

Tabela 41. Análise da variância das determinações, por CLAE, da glicose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	2	5,676	2,8382	789,297	*****
Dose (B)	3	0,747	0,2489	69,220	*****
Interação AxB	6	1,696	0,2826	78,590	*****
Resíduo	12	0,043	0,0036		
Total corrigido	23	8,162			

CV (%) = 10,81

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Na Tabela 42, são apresentados os resultados das análises do teor de glicose em amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2.

Tabela 42. Resultados das análises, por CLAE, da glicose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias			
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5					
5 ^{1,2}	nd	A c	0,175	A c	0,080	A c	0,125	A c	0,095
12	0,250	A b	0,395	A b	0,340	A b	0,380	A b	0,341
19	1,040	B a	0,690	C a	2,140	A a	1,040	B a	1,227
Médias	0,430		0,420		0,853		0,515		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições; nd = não detectado;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A avaliação dos resultados das análises, por CLAE, do teor de glicose (Tabela 42) indica que a interação (Tempo x Dose) apresentou um sinergismo positivo sobre o teor de glicose, pois, na medida em que ocorreu o aumento da dose aplicada e do tempo de armazenamento, o teor de glicose, de modo geral, também aumentou, com exceção dos valores observados no 19º dia API para as amostras controle e irradiada com 1,5 kGy, que apresentaram teores de glicose, respectivamente maior e menor que o esperado. O maior valor (2,14 g/100g) foi observado para amostra irradiada com 1,0 kGy, na análise realizada aos 19 dias API. Como comentado anteriormente, comportamento semelhante foi observado em aipo MPI (LU *et al.*, 2005).

4.2.3.1.3 Frutose

Da mesma forma, para a frutose, a análise da variância (Tabela 43) mostra efeitos significativos das fontes de variação, inclusive da interação.

Tabela 43. Análise da variância das determinações, por CLAE, da frutose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	2	1,0817	0,5408	265,986	*****
Dose (B)	3	0,0887	0,0296	14,536	*****
Interação AxB	6	0,3477	0,0579	28,497	*****
Resíduo	12	0,0244	0,0020		
Total corrigido	23	1,5424			

CV (%) = 10,37

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Na Tabela 44, são apresentados os resultados das análises de frutose em amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2.

Tabela 44. Resultados das análises, por CLAE, da frutose (g/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5		
5 ^{1,2}	0,070 B c	0,205 A c	0,150 AB c	0,150 AB b	0,144	
12	0,295 C b	0,730 A a	0,430 B b	0,615 A a	0,518	
19	0,630 B a	0,450 C b	0,885 A a	0,610 B a	0,644	
Médias	0,332	0,462	0,488	0,458		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Assim como foi observado com relação à glicose, os resultados da Tabela 44 indicam que ocorreu aumento no teor de frutose, para todas as amostras, durante o decurso do armazenamento. A análise da variância (Tabela 43) mostrou que esse aumento foi devido a interação (Tempo x Dose). De modo geral, as amostras irradiadas apresentaram teores de frutose maiores que os observados para a amostra controle.

Cabe lembrar que, no trabalho de LU *et al.* (2005) com aipo MPI, também foi observado o aumento do teor de açúcares totais (sacarose + glicose + frutose) durante o período de armazenamento (9 dias a 4 °C). Segundo os autores, o aumento foi decorrente da diminuição da taxa de respiração do aipo MPI.

Os aumentos observados nos teores de glicose e frutose podem também estar relacionados a um conjunto de fatos: **a**) diminuição do teor de sacarose promovida por hidrolise enzimática. Como já comentado, a sacarose é hidrolisada (por enzimas invertases) e convertida em glicose e frutose (BOBBIO & BOBBIO, 1995); **b**) tanto a glicose quanto a frutose, são as substâncias preferencialmente consumidas por microrganismos (DAINTY, 1996; JACXSENS *et al.*, 2003); **c**) os resultados da Tabela 38 evidenciam que a irradiação causou uma drástica diminuição nas populações dos microrganismos que estavam presentes na beterraba vermelha MPI.

A partir da consideração desse conjunto de fatos, pode-se compreender os aumentos dos teores de glicose e frutose, os quais foram observados nas amostras irradiadas.

4.2.3.2 Determinação dos teores das vitaminas B1 e B2

4.2.3.2.1 Vitamina B1

O resumo da análise da variância para as análises de vitamina B1 em amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2 é apresentado na Tabela 45. Nota-se que apenas o efeito do tempo de armazenamento foi causador das diferenças significativas observadas.

Tabela 45. Análise da variância das determinações, por CLAE, de vitamina B1($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	2	$4,21 \cdot 10^{-4}$	$2,11 \cdot 10^{-4}$	14,271	*****
Dose (B)	3	$6,82 \cdot 10^{-5}$	$2,27 \cdot 10^{-5}$	1,540	NS
Interação AxB	6	$1,94 \cdot 10^{-4}$	$3,24 \cdot 10^{-5}$	2,196	NS
Resíduo	12	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-5}$		
Total corrigido	23	$8,61 \cdot 10^{-4}$			

CV (%) = 4,97

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F; NS = Não significativo.

Na Tabela 46, são listados os resultados das análises de vitamina B1 em amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2.

Tabela 46. Resultados das análises, por CLAE, de vitamina B1 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)				Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5	
5 ^{1,2}	0,067	0,079	0,072	0,071	0,072 b
12	0,075	0,074	0,083	0,076	0,077 b
19	0,084	0,083	0,083	0,081	0,083 a
Médias	0,075	0,079	0,079	0,076	

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A partir da comparação das médias dos tratamentos em função do tempo, percebe-se que ocorreu aumento significativo no teor de vitamina B1, que não foi afetado pelo aumento da dose aplicada.

Pode parecer que estes resultados, estão conflitando com os que foram observados para as amostras do experimento 1 (Tabela 19), entretanto, nessa comparação, devem ser levados em conta alguns fatos: **a)** Para as amostras do experimento 1 só foi possível realizar duas avaliações, durante o período de armazenamento; **b)** A primeira análise das amostras do experimento 1, foi realizada quando as amostras contavam apenas 1 dia de armazenamento; **c)** Os resultados da última avaliação do experimento 1 também mostram que não foram observadas diferenças significativas, no teor de vitamina B1, entre a amostra controle e as amostra irradiadas. A mesma tendência foi observado nos resultados do trabalho de VILLAVICENCIO *et al.*, 2000.

4.2.3.2.2 Vitamina B2

Na Tabela 47, é apresentado o resumo da análise da variância, para as determinações do teor de vitamina B2 em amostras de beterraba vermelha MPI, do experimento 2. Verifica-se que, tanto os efeitos do tempo, como os da dose foram significativos, entretanto, a interação (Tempo x Dose) não foi significativa.

Tabela 47. Análise da variância das determinações, por CLAE, da vitamina B2 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	2	$6,45 \cdot 10^{-4}$	$3,23 \cdot 10^{-4}$	69,170	*****
Dose (B)	3	$5,82 \cdot 10^{-5}$	$1,94 \cdot 10^{-5}$	4,155	**
Interação AxB	6	$5,61 \cdot 10^{-5}$	$9,35 \cdot 10^{-6}$	2,003	NS
Resíduo	12	$5,60 \cdot 10^{-5}$	$4,67 \cdot 10^{-6}$		
Total corrigido	23	$8,16 \cdot 10^{-5}$			

CV (%) = 9,86

; *** = Significativo ao nível de: 0,05 e 0,001, respectivamente, de probabilidade segundo o teste F;
NS = Não significativo.

Os resultados das análises da vitamina B2 para as amostras do experimento 2 são apresentados na Tabela 48.

Tabela 48. Resultados das análises, por CLAE, da vitamina B2 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8°C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)				Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5	
5 ^{1,2}	0,016	0,020	0,018	0,020	0,0181 b
12	0,018	0,017	0,020	0,019	0,0184 b
19	0,027	0,026	0,034	0,030	0,0293 a
Médias	0,020 B	0,021 AB	0,024 A	0,023 AB	

* Armazenamento (a 8°C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de duas repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Com relação ao teor de vitamina B2 (riboflavina), os resultados (Tabela 48) também indicam um aumento significativo durante o período de armazenamento. Mas, aqui se observa, também, um efeito positivo da dose aplicada, que pode ser observado em relação à amostra irradiada com 1,0 kGy, que apresentou maior valor que a amostra controle.

Efeito semelhante foi observado por VILLAVICENCIO *et al.* (2000), ao estudarem os efeitos da irradiação sobre feijão macaçar (*Vigna unguiculata* L. Walp, var. Macaçar).

4.2.4 Análises físico-químicas

4.2.4.1 Determinação do pH

A análise da variância para as determinações do pH (Tabela 49) mostra que a interação (Tempo x Dose) foi altamente significativa.

Tabela 49. Análise da variância para as determinações do pH em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	0,6551	0,2184	179,794	*****
Dose (B)	3	1,3054	0,4351	358,268	*****
Interação AxB	9	2,6409	0,2934	241,587	*****
Resíduo	32	0,0389	0,0012		
Total corrigido	47	4,6403			

CV (%) = 0,55

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Na Tabela 50, são apresentados os resultados das determinações do pH em amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2. A análise desses resultados mostra que a interação (Tempo x Dose) apresentou sinergismo positivo, pois, à medida que o tempo e a dose aumentaram, o pH também apresentou uma tendência de aumento, com uma única exceção, verificada para a amostra irradiada com 0,5 kGy, que reverteu a tendência de alta na última avaliação (21° dia API).

Tabela 50. Resultados das determinações do pH em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)								Médias
	0 (controle)		0,5		1,0		1,5		
0 ^{1;2}	6,227	B c	6,247	B c	6,350	A b	6,290	AB c	6,278
7	6,427	A a	6,340	B b	6,323	B b	6,290	B c	6,345
14	6,310	B b	6,560	A a	6,607	A a	6,560	A b	6,509
21	5,310	C d	6,110	B d	6,683	A a	6,657	A a	6,190
Médias	6,068		6,314		6,491		6,449		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de três repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Como já comentado anteriormente, as variações do pH sofrem influência direta das atividades dos microrganismos. A liberação de ácidos lático e acético, decorrentes das atividades das bactérias heterofermentativas provoca a diminuição do pH do meio. Já o aumento do pH é uma das consequências da quebra das proteínas, atividade típica de microrganismos Gram-negativos (JACXSENS *et al.*, 2003).

Os resultados das análises microbiológicas (Tabela 38) revelam que, principalmente a amostra controle e, em menor grau, a amostra irradiada com 0,5 kGy, apresentaram, durante o período de armazenamento, um grande crescimento na população das bactérias láticas, o que vem justificar as diminuições observadas nos seus valores de pH. Por outro lado, verificou-se a eficiência da irradiação em promover a diminuição das populações de microorganismos deteriorantes (bactéria aeróbias mesófilas e bactéria lática), uma vez que, para as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy, mesmo ao fim do armazenamento, essas populações estavam abaixo do limite estabelecido (10^7 UFC/g). Essa grande redução contribuiu decisivamente para que o pH dessas amostras permanecesse próximo à neutralidade (pH 7,0), indicando também que não ocorreram degradações de proteínas, as quais teriam gerado valores mais altos de pH.

4.2.4.2 Determinação da acidez total titulável (ATT)

A análise da variância para a determinação da ATT (Tabela 51) mostra que a interação (Tempo x Dose) foi altamente significativa.

Tabela 51. Análise da variância para as determinações da acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	0,4589	0,1530	74,917	*****
Dose (B)	3	1,4910	0,4970	243,437	*****
Interação AxB	9	2,0659	0,2295	112,431	*****
Resíduo	32	0,0653	0,0020		
Total corrigido	47	4,0812			

CV (%) = 7,30

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F.

Os resultados das determinações da ATT para as amostras de beterraba vermelha MPI são apresentados na Tabela 52.

Tabela 52. Resultados das determinações da acidez total titulável (mg de ácido cítrico/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5		
0 ^{1;2}	0,713 AB b	0,730 A a	0,597 C a	0,617 BC a	0,664	
7	0,543 A c	0,533 A b	0,523 A a	0,557 A ab	0,539	
14	0,757 A b	0,460 B b	0,383 B b	0,463 B b	0,516	
21	1,603 A a	0,777 B a	0,317 C b	0,333 C c	0,758	
Médias	0,904	0,625	0,455	0,493		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de três repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

O aumento da ATT observado para a amostra controle é um indicador típico da atividade de microrganismos deteriorantes, característico de alimentos minimamente processados, não irradiados (PIGA *et al.*, 2002; DAMASCENO *et al.*, 2005). Mas, em produtos irradiados se observa a diminuição da ATT, ao longo do período de armazenamento (AHN *et al.*, 2005).

Os resultados da Tabela 52 indicam que as amostras irradiadas apresentaram, a partir do 14º dia API, valores de ATT significativamente menores que os observados para a amostra controle. Esses resultados encontram-se em acordo com os dados da literatura.

4.2.4.3 Determinação do teor de sólidos solúveis totais (SST)

Na Tabela 53, são apresentados os resultados da análise de variância para o teor de SST. Estes resultados indicam que a interação (Tempo x Dose) foi significativa.

Tabela 53. Análise da variância para as determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	2,6733	0,8911	66,833	*****
Dose (B)	3	0,0867	0,0289	2,167	NS
Interação AxB	9	2,6400	0,2933	22,000	*****
Resíduo	32	0,4267	0,0133		
Total corrigido	47	5,8267			

CV (%) = 1,90

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F; NS = Não significativo.

Os resultados das determinações do teor de SST são apresentados na Tabela 54.

Tabela 54. Resultados das determinações do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)								Médias
	0 (controle)		0,5		1,0		1,5		
0	1; ² 6,867	A a	6,333	B a	6,133	B a	6,333	B a	6,417
7	6,267	A b	6,000	BC b	5,867	C b	6,133	AB ab	6,067
14	6,000	B c	5,933	B b	6,333	A a	6,133	AB ab	6,100
21	5,200	B d	6,000	A b	5,800	A b	6,000	A b	5,750
Médias	6,083		6,067		6,033		6,150		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de três repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Como discutido anteriormente (nos resultados do experimento 1), o teor de SST normalmente apresenta poucas variações durante o armazenamento nos produtos minimamente processados (PIGA *et al.*, 2003; DAMASCENO *et al.*, 2005). Porém, quando adicionalmente é feita a irradiação, inicialmente é observado um aumento no teor de SST com redução posterior e quando as amostras irradiadas são comparadas ao controle, constata-se que a diminuição foi maior na amostra controle (LU *et al.*, 2004).

A variação do teor de SST (Tabela 54), portanto, está de acordo com o observado em produtos minimamente processados e irradiados, pois, as amostras irradiadas apresentaram uma tendência a uma menor diminuição no teor de SST e, ao fim do período de armazenamento, exibiram valores maiores que o da amostra controle.

4.2.4.4 Determinação do teor de ácido ascórbico (TAA)

Para a variação do TAA, a análise da variância (Tabela 55) mostra que a interação (Tempo x Dose) também foi significativa.

Tabela 55. Análise da variância para as determinações do teor de ácido ascórbico (mg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	146,525	48,842	7,597	*****
Dose (B)	3	12,862	4,287	0,667	NS
Interação AxB	9	372,660	41,407	6,441	*****
Resíduo	32	205,720	6,429		
Total corrigido	47	737,767			

CV (%) = 12,04

***** = Significativo ao nível de 0,001 de probabilidade segundo o teste F; NS = Não significativo.

Os resultados das determinações do teor de ácido ascórbico (TAA) em amostras de beterraba vermelha MPI são apresentados na Tabela 56. Esses resultados mostram que a irradiação inicialmente (tempo zero) causou pequena variação do TAA que não foi significativa. Entretanto, com o passar do tempo, observou-se que a tendência inicial foi revertida, pois, nas amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy, o TAA aumentou enquanto que para a amostra controle os teores permaneceram estáveis a partir do 7º dia API. Ao fim do período de armazenamento foi observado que, as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy, exibiam os maiores valores do TAA, enquanto para a amostra controle, se registrava o menor valor do TAA.

Tabela 56. Resultados das determinações do teor de ácido ascórbico (mg/100g) em amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)					Médias			
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5					
0 ^{1;2}	24,07	A a	18,52	A a	20,37	A ab	18,52	A b	20,37
7	22,22	A ab	18,52	A a	16,67	A b	16,67	A b	18,52
14	22,22	AB ab	24,07	AB a	18,52	B b	25,93	A a	22,69
21	16,67	B b	22,22	AB a	25,93	A a	25,93	A a	22,69
Médias	21,30		20,83		20,37		21,76		

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de três repetições;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

O ácido ascórbico (forma reduzida da vitamina C) é sensível à ação do calor; da luz visível; do oxigênio; de álcalis e de enzimas. Também é facilmente convertido, por oxidação, em ácido dehidroascórbico.

A redução do TAA em produtos minimamente processados tem sido verificada em alguns trabalhos (PIGA *et al.*, 2003; DEL CARO *et al.*, 2004). Entretanto, há registros que apontam para um efeito de redução de perdas no TAA, quando se utiliza a irradiação (LU *et al.*, 2005) e há referência que relata o aumento no TAA quando a irradiação é utilizada (SONG *et al.*, 2007).

4.2.5 Análises sensoriais

Antes de iniciar a apresentação dos resultados das análises sensoriais para amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2, cabe um esclarecimento. Foi planejada a execução dessas análises também para as amostras do experimento 1. Infelizmente, isso não foi possível por várias razões que envolveram, entre outras, a indisponibilidade de instalações apropriadas e de pessoal no momento da avaliação.

Em vários trabalhos, a análise sensorial tem sido utilizada para determinar, não só a aceitação, mas também, a duração da vida útil de alimentos minimamente processados não irradiados. Na verificação da aceitação dos frutos do cacto “prickly pear” (*Opuntia ficus-indica L.*) minimamente processados e armazenados por 9 dias a 4 °C, PIGA *et al.* (2002)

concluíram que, embora tenham ocorrido mudanças significativas em propriedades físico-químicas, como pH e acidez, tais alterações não afetaram negativamente a aceitação do produto. Já no trabalho de LAVELLI *et al.* (2006) com cenoura minimamente processada, os autores concluíram que as análises sensoriais, juntamente com as contagens totais de bactéria aeróbias mesófilas e de coliformes, são os métodos mais eficientes para determinar a degradação (ou seja, o fim da vida útil) das cenouras minimamente processadas.

Muitos trabalhos com produtos irradiados relatam também a utilização das análises sensoriais para avaliação da vida útil e da aceitação desses produtos. Um exemplo da utilização da análise sensorial para determinação da vida útil de um produto irradiado é o trabalho de VALDIVIA *et al.* (2002), que estudaram a duração da vida útil de polpa de abacate irradiada e congelada. Os autores verificaram que o produto irradiado não apresentou “off flavor”, nem diminuição de cor, que causassem a não aceitação do produto. Segundo esses autores, a irradiação garante a vida útil do produto por no mínimo 2 anos.

Em outros trabalhos, as análises sensoriais foram utilizadas para a determinação da aceitação de produtos minimamente processados e irradiados (CHAUDRY *et al.*, 2004; LU *et al.*, 2005; BIB *et al.*, 2005; ZHANG *et al.*, 2006; WEN *et al.*, 2006; ARRUDA *et al.*, 2006; NUNES *et al.*, 2006; SONG *et al.*, 2007). De maneira geral, esses autores são unâimes em apontar a análise sensorial como uma ferramenta de análise muito eficiente, cuja utilização é indispensável.

4.2.5.1 Aparência

Na Tabela 57, é apresentado o resumo da análise da variância para a determinação da aceitação com base na avaliação da aparência das amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2. Essa análise mostra que a interação (Tempo x Dose) não foi significativa. Portanto, não existe dependência entre os efeitos dos tratamentos, ou seja, os efeitos do tempo independem dos efeitos da dose e vice e versa.

Tabela 57. Análise da variância para as determinações da aceitação, com base na avaliação da aparência, das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	97,875	32,625	14,786	*****
Dose (B)	3	31,458	10,486	4,753	*****
Interação AxB	9	34,333	3,815	1,729	NS
Resíduo	176	388,333	2,206		
Total corrigido	191	552,000			

CV (%) = 25,83

****, ***** = Significativo ao nível de 0,01 e 0,001, respectivamente, de probabilidade segundo o teste F; NS = Não significativo.

Os resultados da análise sensorial para determinação da aceitação, com base na avaliação da aparência, das amostras de beterraba vermelha do experimento 2, são apresentados na Tabela 58.

Tabela 58. Resultados das determinações da aceitação, com base na avaliação da aparência, das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 °C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)				Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5	
1 ^{1,2}	6,250	6,250	7,000	6,667	6,542 a
9	5,833	6,000	6,083	6,333	6,063 a
13	5,500	5,917	6,083	5,667	5,792 a
20	2,750	4,917	5,250	5,500	4,604 b
Médias	5,083 B	5,771 AB	6,104 A	6,042 A	

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de doze repetições obedecendo a uma escala hedônica de 1 a 9;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

A partir dos resultados da Tabela 58, pode-se concluir que não existiram diferenças significativas entre as médias das amostras irradiadas com diferentes doses. Já a média da amostra controle é estatisticamente diferente daquelas das amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy, sendo contudo, semelhante à média da amostra irradiada com 0,5 kGy. Com relação ao tempo, verifica-se que não existiram diferenças significativas entre os tratamentos até o 13º dia API, contudo essa diferença foi observada para a avaliação realizada no 20º dia API. Tal diferença deveu-se às baixas notas alcançadas na avaliação da amostra controle (2,75) e da amostra irradiada com 0,5 kGy (4,92), que foram ambas menores do que 5,0 (que foi a nota estabelecida como: “limite inferior de aceitação”).

O gráfico da aceitação da beterraba vermelha minimamente processada e irradiada, com base na avaliação da aparência, durante o período de armazenamento é apresentado na Figura 17. Observa-se que as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy mantiveram-se acima do limite inferior de aceitação por todo o período de avaliação (20 dias).

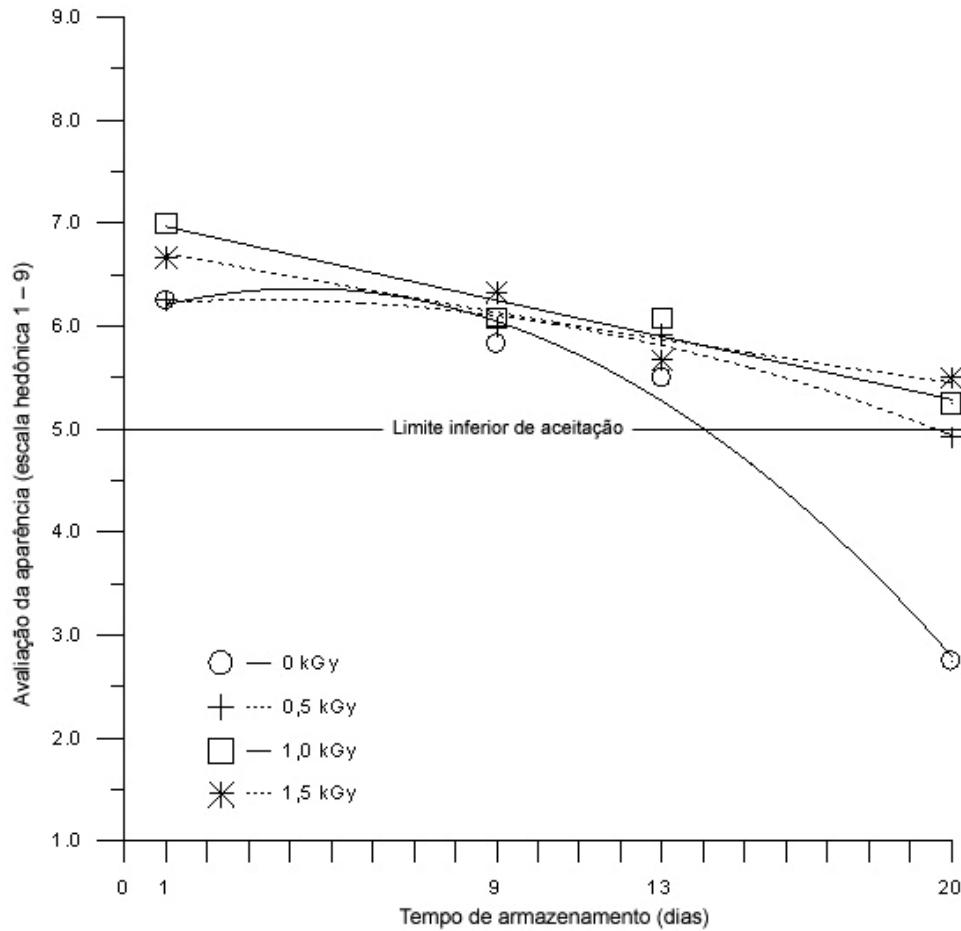


Figura 17. Gráfico da aceitação, com base na avaliação da aparência da beterraba vermelha, minimamente processada e irradiada com diferentes doses durante um período de 20 dias de armazenamento a 8 °C.

4.2.5.2 Aroma

Na Tabela 59, é apresentado o resumo da análise da variância para a determinação da aceitação, com base na avaliação do aroma, das amostras de beterraba vermelha MPI do experimento 2. De modo semelhante ao observado em relação à aparência, essa análise mostrou que a interação (Tempo x Dose) não foi significativa.

Tabela 59. Análise da variância para as determinações da aceitação, com base na avaliação do aroma, das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrado Médio	Teste F	Nível de Significância
Tempo (A)	3	92,000	30,667	9,458	*****
Dose (B)	3	42,875	14,292	4,408	*****
Interação AxB	9	38,375	4,264	1,315	NS
Resíduo	176	570,667	3,242		
Total corrigido	191	743,917			

CV (%) = 31,20

****, ***** = Significativo ao nível de 0,01 e 0,001, respectivamente, de probabilidade segundo o teste F;
NS = Não significativo.

Na Tabela 60, são apresentados os resultados da análise sensorial para determinação da aceitação, com base na avaliação do aroma, das amostras de beterraba vermelha do experimento 2.

Tabela 60. Resultados das determinações da aceitação, com base na avaliação do aroma, das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, irradiadas e armazenadas a 8 ° C (experimento 2).

API* (dias)	Dose (kGy)				Médias
	0 (controle)	0,5	1,0	1,5	
1 ^{1;2}	6,500	6,333	6,750	6,500	6,521 a
9	5,833	5,833	6,583	6,500	6,188 a
13	5,250	5,667	5,667	6,167	5,688 a
20	3,167	3,917	5,500	6,167	4,688 b
Médias	5,188 B	5,438 AB	6,125 AB	6,333 A	

* Armazenamento (a 8 °C) pós-irradiação;

1 Cada valor corresponde à média de doze repetições obedecendo a uma escala hedônica de 1 a 9;

2 Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si de acordo com o teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados da Tabela 60 indicam que não existiram diferenças significativas, entre as médias atribuídas ao aroma das amostras irradiadas. Observa-se também que a média da amostra controle é estatisticamente diferente daquela da amostra irradiada com 1,5 kGy, sendo contudo, semelhante às médias das outras amostras irradiadas (0,5 e 1,0 kGy). Com relação ao tempo, também foi verificado que não existiram diferenças significativas entre os tratamentos até o 13º dia API. Contudo, essa diferença já havia se tornado significativa para a avaliação realizada no 20º dia API. Tal diferença deveu-se às baixas notas alcançadas nas avaliações da amostra controle (3,17) e da amostra irradiada com 0,5 kGy (3,92) que, mais um vez, foram ambas menores do que 5,0, sendo portanto rejeitadas.

Na Figura 18, é apresentado o gráfico da aceitação, com base na avaliação do aroma, da beterraba vermelha minimamente processada e irradiada durante o período de armazenamento. Mais uma vez, observa-se que as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy permaneceram na região de aceitação durante todo o período de avaliação.

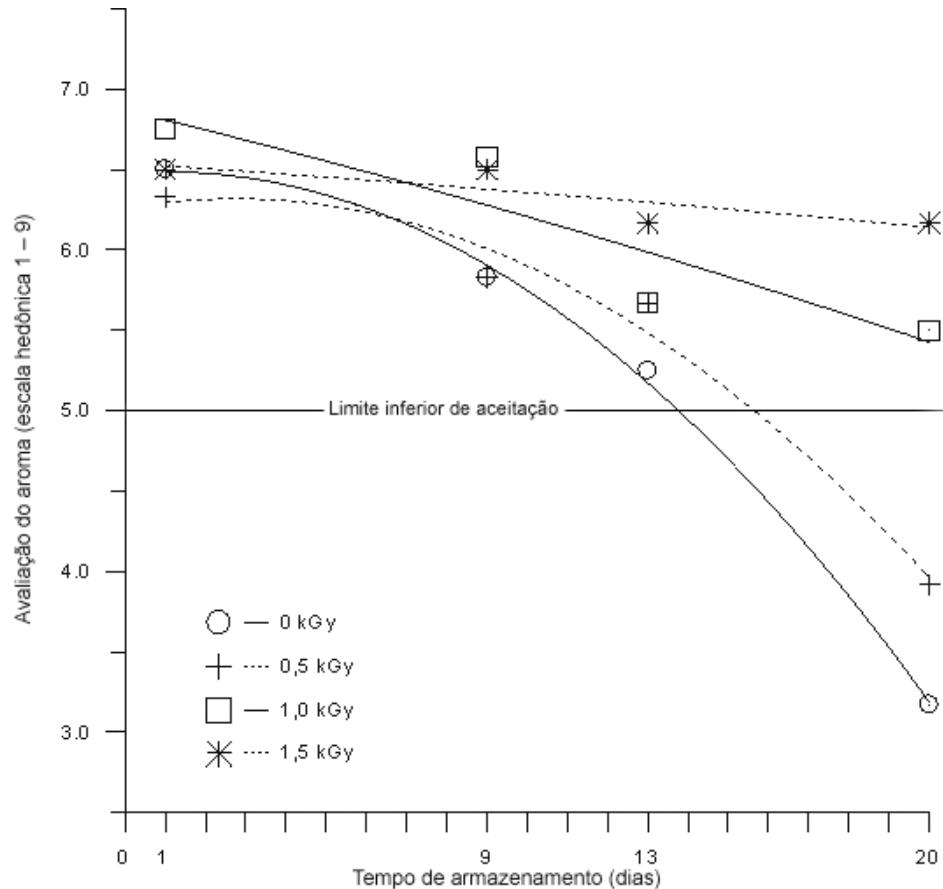


Figura 18. Gráfico da aceitação, com base na avaliação do aroma da beterraba vermelha, minimamente processada e irradiada com diferentes doses durante um período de 20 dias de armazenamento, a 8 °C.

Na literatura, existem poucos trabalhos sobre beterraba vermelha minimamente processada. Ainda menor, é o número desses trabalhos nos quais alguma análise sensorial foi realizada. Dois exemplos são os trabalhos de VITTI *et al.* (2005) e de KLUGE *et al.* (2006).

Em seu trabalho VITTI *et al.* (2005) avaliaram a qualidade da beterraba vermelha minimamente processada e armazenada por 10 dias em diferentes temperaturas (0; 5; 10 e 15 °C). Seus autores, baseados nos resultados da análise sensorial da aparência global, concluíram textualmente o seguinte “Pelos resultados obtidos, conclui-se que a beterraba minimamente processada mantém boa qualidade para consumo por até 10 dias de armazenamento a 0 °C e que temperaturas de 10 a 15 °C reduzem drasticamente a sua qualidade durante o armazenamento”.

No trabalho de KLUGE *et al.* (2006), foram avaliados diferentes tipos de corte para o processamento mínimo da beterraba vermelha. Mais uma vez, a análise sensorial foi decisiva na determinação da vida útil do produto. As beterrabas foram cortadas em fatiadas (com 6 mm de espessura), cubos (com 1 cm de aresta) e retalhos (com 2 mm de espessura), que depois foram sanitizados. Fim o processamento, as amostras foram armazenadas por 10 dias

a 5 °C. A cada dois dias durante o armazenamento, as amostras foram avaliadas. Na análise sensorial, a qualidade visual foi utilizada uma escala hedônica, com notas de 1 a 9, sendo a nota 5 considerada como limite de comercialização. A partir dos resultados obtidos os autores concluíram que “de acordo com a avaliação visual, pode-se observar que o formato em retalhos (convencionalmente vendido nos supermercados) foi o corte preferido pelos provadores. Este corte obteve uma vida de prateleira de 6 dias, enquanto os outros cortes estudados (fatia e cubo) obtiveram uma vida de prateleira de apenas 4 dias”.

Ao se pretender comparar o presente trabalho com os dois descritos no texto acima primeiramente torna-se necessário destacar suas semelhanças: **a)** os três trabalhos utilizaram beterrabas vermelhas da mesma cultivar (Erly Wonder); **b)** nos três, a beterraba foi processada em retalhos com 2 mm de espessura; **c)** Nos três, a análise sensorial foi utilizada para avaliar a duração da vida útil. Nesse ponto, cessam as semelhanças e, para que a comparação possa ser completada, devem ser também listadas as principais diferenças: **a)** os dois trabalhos compraram as beterrabas utilizadas no estudo, enquanto que no presente trabalho toda a beterraba utilizada foi cultivada; **b)** os dois trabalhos utilizaram temperaturas de armazenamento (0 e 5 °C) inferiores à aquela utilizada no presente trabalho (8 °C); **c)** Nos dois trabalhos, não foi utilizada a irradiação para promover a extensão da vida útil, que no presente trabalho foi empregada; **d)** Nos dois trabalhos, a aceitação do produto foi determinada por análise sensorial, que se utilizou apenas do sentido da visão (aparência global e qualidade visual), ao passo que no presente trabalho, além do sentido da visão (aparência), também, foi utilizado o sentido do olfato (aroma); **e)** nos dois trabalhos a vida útil (10 dias a 0 °C e 6 dias a 5 °C) observada, foi no máximo igual a 50% da observada no presente trabalho (20 dias a 8 °C). Ao fazer essas comparações, busca-se enfatizar a eficiência da irradiação de alimentos em estender a vida útil dos produtos minimamente processados.

5 CONCLUSÕES

A intensidade do efeito, de extensão da vida útil da beterraba vermelha minimamente processada, depende da época de colheita, tendo em vista que as amostras colhidas no ponto ideal apresentaram vidas úteis mais longas que aquelas colhidas tardivamente.

Os resultados das análises microbiológicas indicaram que somente as amostras irradiadas com 1,0 e 1,5 kGy mantiveram-se próprias para o consumo por 21 dias, enquanto que as não irradiadas apresentaram vida útil inferior a 7 dias.

Ao fim do período de avaliação, não foram observadas diferenças significativas entre os teores das vitaminas B1 e B2 das amostras irradiadas em relação às de controle. Por outro lado, os teores dos açúcares, sofreram alterações significativas ao longo do tempo (o teor de sacarose diminuiu significativamente, enquanto os teores de glicose e frutose apresentaram aumento significativo), independentemente das doses aplicadas.

Nas avaliações físico-químicas, não foram constatadas alterações indesejáveis, nas propriedades estudadas, que possam ser correlacionadas com as doses aplicadas.

Os resultados das análises sensoriais indicaram que as amostras irradiadas com doses de 1,0 e 1,5 kGy mantiveram-se dentro dos padrões de aceitabilidade por 20 dias.

Portanto, a aplicação de baixas doses (1,0 ou 1,5 kGy) de radiação gama foi eficiente para promover um aumento substancial (chegando a 200%, em termos de qualidade microbiológica) na vida útil das amostras de beterraba vermelha minimamente processadas, sem, contudo, causar diminuições significativas no valor nutricional ou na qualidade sensorial das amostras avaliadas.

Considerando-se o disposto na legislação brasileira (BRASIL – RDC 21, 2001), os resultados obtidos nesse estudo e o fato de que, embora baixo, o custo da irradiação cresce com a dose aplicada, conclui-se que a dose de 1,0 kGy é a mais apropriada, dentre aquelas estudadas, para a extensão da vida útil da beterraba vermelha minimamente processada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHVENAINEN, R. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, p. 179-187, June, 1996.
- AHN, H. J; KIM, J. H; KIM, J. K; KIM, D. H. YOOK, H. S; BYUN, M. W. Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa* L.). **Food Chemistry**, v. 89, p. 589-597, 2005.
- ALISTE, A. J. and DEL MASTRO, N. L. Ascorbic acid as radiation protector on polysaccharides used in food industry. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 249, p. 131-133, 2004.
- AL-KAISEY, M. T; ALWAN, A. K. H; MOHAMMAD, M. H; SAEED, A. H. Effect of gamma irradiation on antinutritional factors in broad bean. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 67, p. 493-496, 2003.
- ARRUDA, A. C; MINIM, P. R; VANETTI, C. D; MELO, A. G. Cenoura orgânica e convencional minimamente processada: aceitabilidade sensorial da cor. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 08 a 11 de outubro de 2006 - EXPO TRADE – Curitiba, PR., p. 1193, ISBN: 978-85-60299-00-3, 2006.
- AZIZ, N. H. and MOUSSA, L. A. A. Influence of gamma-radiation on mycotoxin producing moulds and mycotoxins in fruits. **Food Control**, v. 13, p. 281-288, 2002.
- BANZATTO, D. A. e KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal, FUNEP (Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia), 247 p., 1989.
- BAUR, S.; KLAIBER, R.; HAMMES, P. W.; CARLE, R. Sensory and microbiological quality of shredded, packaged iceberg lettuce as affected by pre-washing procedures with chlorinated and ozonated water. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, p. 45-55, 2004.
- BERBARI, S. A. G.; PASCHOALINO, J. E.; SILVEIRA, N. F. A. Efeito do cloro na água de lavagem para desinfecção de alface minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 197-201, maio/ago. 2001.
- BETERRABA sem anéis brancos conquista preferência. **Revista Campo & Negócios**, jun. 2006. Disponível em:
<http://www.revistacampoenegocios.com.br/revista_julho_06/em_negrito3.php>
Acesso em: 15 out. 2006
- BIB, N.; KHAN, M.; BADSHAH, A.; CHAUDRY, M. A. Sensory, physicochemical and microbiological quality of irradiated minimally processed cauliflower. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 73, p. 362-364, 2005.
- BIDAWID, S; FARBER, J. M; SATTAR, S. A. Inactivation of hepatitis A virus (HAV) in fruits and vegetables by gamma irradiation. **International Journal of Food microbiology**, v. 57, p. 91-97, 2000.

BOBBIO, F. O e BOBBIO, P. A. **Introdução à Química de Alimentos.** Livraria Varela, São Paulo, SP, 1995, 2^º edição, 231p. il. ISBN: 85-85519-01-0.

BOBBIO, P. A. e BOBBIO, F. O. **Química do Processamento de Alimentos.** Livraria Varela, São Paulo, SP, 2001, 3^º edição, 143p. il. ISBN: 85-85519-12-6.

BRASIL, Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº. 388, de 05 de agosto de 1999. Aprova o Regulamento Técnico “Atribuição de Aditivos e seus Limites Máximos para a Categoria de Alimentos 19: Sobremesas”.**

Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=122&word=#>>. Acesso em: 28 ago. 2006.

BRASIL, Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC nº. 12, de 02 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos**, revogando a Portaria SVS/MS 451, de 1997.

Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm>.

Acesso em: 06 mar. 2001.

BRASIL Ministério da Saúde - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC nº. 21, de 26 de janeiro de 2001, publicada no Diário Oficial da União, de 29 de janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos**, revogando a Portaria nº 09 DINAL/MS de 1985 e Portaria nº 30 de 1989.

Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm>.

Acesso em: 06 mar. 2001.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa 62, de 26 de agosto de 2003, publicada no Diário Oficial da União, de 18 de setembro de 2003. - Métodos de Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para o Controle de Produtos de Origem Animal e Água**, Brasília, 2003.

Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=2851>>. Acesso em: 12 jul. 2005.

BREITFELLNER, F; SOLAR, S; SONTAG, G. Radiation induced chemical changes of phenolic compounds in strawberries. **Radiation Physics and Chemistry**. v. 67, p. 497-499, 2003.

BRUNO, L. M.; QUEIROZ, A. A. M.; ANDRADE, A. P. C.; VASCONCELOS, N. M.; BORGES, M. F. Avaliação microbiológica de hortaliças e frutas minimamente processadas comercializadas em Fortaleza (CE). **Boletim do CEPPA**, v. 23, n. 1, p. 75-84, jan./jun. 2005.

CAI, Y, Z; SUN, M; CORKE, H. Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. **Trends in Food Science & Technology**, v. 16, p. 370-376, 2005.

CAMARGO FILHO, W. P. e MAZZEI, A. R. Mercado de beterraba em São Paulo. **Informações Econômicas, São Paulo**, v. 32, n. 4, p. 54 – 56, abr. 2002.

CANTWELL, M. Food Safety: Microbiological Concerns. **Perishables Handling Newsletter Issue**, v. 81, p. 15-16, 1995.

CARDELLO, H. M. A. B. e CARDELLO, L. Teor de vitamina C, atividade de escorbato oxidase e perfil sensorial de manga (*Mangifera indica L.*) var. haden, durante o amadurecimento. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 2, p. 211-217, abr./jun. 1998.

CASTRO, F. P. and VITAL, H. C. Elimination of *Sitophilus oryzae* L., by Irradiation. In: 2005 International Nuclear Atlantic Conference - INAC2005 - VII ENAN, Santos, SP, Brasil, 2005.

CCR (Center for Consumer Research) – Food Irradiation, History of Food Irradiation. Disponível em: <<http://ccr.ucdavis.edu/irr/history.shtml>>. Acesso em: 22 fev. 2001.

CETINKAYA, N; OZYARDIMCI, B; DENLI, E; IC, E. Radiation processing as a post-harvest quarantine control for raisins, dried figs and dried apricots. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 75, p. 424-431, 2006.

CHAUDRY, M. A; BIBI, N; KHAN, M; KHAN, M; BADSHAH, A; QURESHI, M. J. Irradiation Treatment of Minimally Processed Carrots for Ensuring Microbiological Safety. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, p. 169-173, 2004.

CHUNG, H. J; LEE, N. Y; JO, C; SHIN, D. H; BYUN, M. W. Use of gamma irradiation for inactivation of pathogens inoculated into *Kimbab*, steamed rice rolled by dried laver. **Food Control**, v. 18, p. 108-112, 2007.

CODEX STAN 106 – 1983, Rev. 1-2003 – **Codex General Standard for Irradiated Foods**. Disponível em: <http://www.ipfsaph.org/servlet/BinaryDownloaderServlet/codex16_CXS_106_2003e.pdf.pdf?filename=\kopool_data\codex_0\en_cxs_106_2003e.pdf&refID=code_x16> Acesso em: 21 ago. 2006.

DAINTY, R. H. Chemical/biochemical detection of spoilage. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, p. 19-33, 1996.

DAMASCENO, K. S. F. S. C.; ALVES, M. A.; MENDONÇA, S. C.; GUERRA, N. B.; STAMFORD, T. L. M. Melão minimamente processado: Um controle de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 651-658, out./dez. 2005.

DANTAS, M. I. S.; MINIM, V. P. R.; PUSCHMANN, R.; CARNEIRO, J. D. S.; BARBOSA, R. L. Mapa de preferência de couve minimamente processada. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 1, jan./mar. 2004.

DANTAS, M. I. S.; DELIZA, R.; MINIM, V. P. R.; HEDDERLEY, D. Avaliação da intenção de compra de couve minimamente processada. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 762-767, out./dez. 2005.

DELLA TORRE, J. C. M.; RODAS, M. A. B.; BADOLATO, G. G.; TADINI, C. C. Perfil sensorial e aceitação de suco de laranja pasteurizado minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 105-111, mai. /ago. 2003.

DE PAULA, N. R. F; VILAS BOAS, E. V. B; RODRIGUES, L. J; PICCOLI, R. H. Isolamento de *Esafilococos* coagulase positiva em produtos minimamente processados comercializados em gôndolas de supermercados. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 08 a 11 de outubro de 2006 - EXPO TRADE - Curitiba, PR., p. 418, ISBN: 978-85-60299-00-3, 2006.

DIEHL, J. F. - **Safety of Irradiated Foods** - Marcel Dekker Inc, New York, 345 p, 22cm, 1990, ISBN: 0-8247-8137-6.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Hortaliças; SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – **Iniciando um Pequeno Grande Negócio Agroindustrial: Hortaliças Minimamente Processadas** – Série Agronegócios, Embrapa Informações Tecnológicas, Brasília, DF, 2003. 133p. il.

EN 14122 - European Standard. **Determination of vitamin B1 by HPLC**, 2003.

EN 14152 - European Standard. **Determination of vitamin B2 by HPLC**, 2003.

ESTRELA, C; PÉCORA, J. D. Características da Citologia Bacteriana. Disponível em: <<http://www.forp.usp.br/restauradora/calcio/citolog.htm>> Acesso em: 21 de novembro de 2006.

EWING, G, W. **Métodos Instrumentais de Análise Química – Volume I**. Tradução de ALBANESE, A. G. e CAMPOS, J. T. S. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, SP. Brasil, 2º reimpressão, 1980, 296 p. Il.

FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, p. 148-152, 2006.

FERREIRA, M. E; CASTELLANE, P.D; CRUZ, M.C.P – **Nutrição e Adubação de Hortaliças** – Publicação da Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba, São Paulo, 1993.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de Olericultura: cultura e comercialização de hortaliças, Volume II – Olericultura especial**, 2ª edição ampliada e revista. Editora Agronômica CERES Ltda., São Paulo, 1982.

FILGUEIRA, F. A. R. **A B C da Olericultura: guia da pequena horta**. Editora Agronômica CERES Ltda., São Paulo, 1987.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agroecologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**, 2ª edição revista e ampliada. Viçosa, Minas Gerais, Editora UFV, 2003, 412p. il., ISBN: 8-7269-065-4.

FOLLETT, P. A. Irradiation to control insects in fruits and vegetables for export from Hawaii. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, p. 161-164, 2004.

FRANCH, C.M.C – **Sistema Orgânico para produção de Beterraba (*Beta vulgaris L.*)**. 2000. 1v. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Instituto de Agronomia, Curso de Pós Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FREIRE-JÚNIOR, M; DELIZA, R; CHITARRA, A. B. Alterações sensoriais em alface hidropônica cv. Regina minimamente processada e armazenada sob refrigeração. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1, p. 63-66, mar. 2002.

GOMEZ, M. L. P. A.; LAJOLO, F. M.; CORDENUNSI, B. R. Metabolismo de carboidratos durante o amadurecimento do mamão (*Carica papaya* L. Cv. Solo): influência da radiação gama. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 19, n. 2, 1999.

Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20611999000200017&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 07 Nov 2006.

GOULD, G. W. Methods for preservation and extension of shelf life. **International Journal of Food Microbiology**, v. 33, p. 51-64, 1996.

GOULARTE, L; MARTINS, C. G; MORALES-AIZPURÚA, I. C; DESTRO, M. T; FRANCO, B. D. G. M; VIZEU, D. M; HUTZLER, B. W; LANDGRAF, M. Combination of Minimal Processing and Irradiation to Improve the Microbiological Safety of Lettuce (*Lactuca sativa*, L.). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, p. 155-159, 2004.

HARRIGAN, W. F. **Laboratory Methods in Food Microbiology**. Academic Press, 3rd ed., London, 1998.

HERNANDES, N. K.; VITAL, H. C.; SABAA SRUR, A. U. O. Irradiação de alimentos: vantagens e limitações. **Boletim SBCTA**, v. 37, n. 2, p. 154-159, jul./dez. 2003.

HERNANDES, N. K.; CONEGLIAN, R. C. C; GODOY, R. L. O; VITAL, H. C.; LUCHESE, R. H; MELO, L. C. G; LIMA, A. L. Monitoramento da qualidade microbiológica de beterraba vermelha (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.), cv. Early Wonder, minimamente processada e irradiada. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 08 a 11 de outubro de 2006 - EXPO TRADE – Curitiba, PR., p. 419, ISBN: 978-85-60299-00-3, 2006a.

HERNANDES, N. K.; CONEGLIAN, R. C. C; GODOY, R. L. O; VITAL, H. C.; OIANO-NETO, J; ROSA, J. S; ÂNGELO, A. O; MEYRELLES, B. G. Avaliações químicas (vitaminas B1 e B2 e açúcares) em beterraba vermelha (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.), cv. Early Wonder, minimamente processada e irradiada. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 08 a 11 de outubro de 2006 - EXPO TRADE – Curitiba, PR., p. 1804, ISBN: 978-85-60299-00-3, 2006b.

HERNANDES, N. K.; CONEGLIAN, R. C. C; GODOY, R. L. O; VITAL, H. C.; FREIRE JUNIOR, M. Testes sensoriais de aceitação da beterraba vermelha (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris* L.), cv. Early Wonder, minimamente processada e irradiada. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 08 a 11 de outubro de 2006 - EXPO TRADE – Curitiba, PR., p. 1567, ISBN: 978-85-60299-00-3, 2006c.

HORTA, A. C. S; SANTOS, H. S; SCAPIM, C. A; CALLEGARI, O. Relação entre produção de beterraba, *Beta vulgaris* var. conditiva, e diferentes métodos de plantio. **Acta Scientiarum**, v. 23, n. 5, p. 1123-1129, 2001.

IAEA (International Atomic Energy Agency). **Irradiation of Bulbs and Tubers - a compilation of technical data for its authorization and control.** IAEA-TECDOC-937, Vienna, 1997. Disponível em: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_0937_s_cr.pdf> Acesso em: 22 ago. 2006.

IAL (Instituto Adolfo Lutz). **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**, 3^a ed., v.1, São Paulo, 1985. 533p.

ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation). **Code of Good Irradiation Practice for Shelf-life Extension of Bananas, Mangoes and Papayas.** ICGFI Document No.6, Vienna, 1991a. Disponível em: <<http://www.iaea.org/icgfi/documents/6bananas.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2006

ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation). **Code of Good Irradiation Practice for Sprout Inhibition of Bulb and Tuber Crops.** ICGFI Document No. 8, Vienna, 1991b. Disponível em: <<http://www.iaea.or.at/icgfi/documents/8bulbs.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2006

ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation). **Code of Good Irradiation Practice for Insect Disinfestation of Cereal Grains.** ICGFI Document No. 3, Vienna, 1993. Disponível em: <<http://www.iaea.org/icgfi/documents/3cereals.htm>>. Acesso em: 22 ago. 2006

ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation). **Irradiation as a Quarantine Treatment of fresh fruits and vegetables.** ICGFI Document No. 17, Vienna, 1994. Disponível em: <<http://www.iaea.org/programmes/rifa/icgfi/documents/17document.htm>>. Acesso em: 23 ago. 2006

ICGFI (International Consultative Group on Food Irradiation), **Recommended International Code of Practice for Radiation Processing of Food** (CAC/RCP 19-1979, Rev. 1-2003), 2003. Disponível em: <<http://www.iaea.org/icgfi/documents/recom-code-e.pdf#search=%22icgfi%22>>. Acesso em: 22 ago. 2006.

IFT (Institute of Food Technologists), Food Irradiation a Backgrounder of the Institute of Food Technologists, Dec. 1997. Disponível em: <<http://www.ift.org>>. Acesso em: 20 fev. 2001.

IHL, M; ARAVENA, L; SCHEUERMANN, E; UQUICHE, E; BIFANI, V. Effect of immersion solutions on shelf-life of minimally processed lettuce. **Lebensm. – Wiss. u. – Technol.**, v. 36, p. 591-599, 2003.

INICIANDO um Pequeno Grande Negócio Agroindustrial: **Hortaliças Minimamente Processadas** / Embrapa Hortaliças, Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. – Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2003. 133p. il. – (Série Agronegócios). ISBN 85-7383-177-4 (Embrapa). – ISBN 85-7333-354-5 (SEBRAE).

INFORMAÇÕES ECONÔMICAS. Estatísticas: Tabela 6 – Preços médios mensais no varejo, Cidade de São Paulo, Maio a Agosto de 2006. **Informações Econômicas, São Paulo**, v. 36, n. 9, p. 1º - 107, set. 2006.

ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos). **Manual técnico de análise química de alimentos**, Campinas, 1990.

JACOMINO, A. P; ARRUDA, M. C. Aplicação de Atmosfera Modificada em Produtos Minimamente Processados - Anais do III Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças, p. 48-52, Universidade Federal de Viçosa - MG, 2004.

JACXSENS, L; DEVLIEGHERE, F; RAGAERT, P; VANNESTE, E; DEBEVERE, J. Relation between microbiological quality, metabolite production and sensory quality of equilibrium modified atmosphere packaged fresh-cut produce. **International Journal of Food Microbiology**, v. 83, p. 263-280, 2003.

JUNQUEIRA, A. H. e LUENGO, R. F. A. Mercado diferenciado de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 2, p. 95-99, julho 2000.

KANNER, J; HAREL, S; GRANIT, R. Betalains – A New Class of Dietary Cationized Antioxidants. **J. Agric. Food Chem.**, v. 49, p. 5178-5185, 2001.

KLUGE, R. A; VITTI, M. C. D. Processamento Mínimo de Beterraba - Anais do III Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças, p. 82-90, Universidade Federal de Viçosa - MG, 2004.

KLUGE, R. A.; COSTA, C. A.; VITTI, M. C. D.; ONGARELLI, M. G.; JACOMINO, A. P.; MORETTI, C. L. Armazenamento refrigerado de beterraba minimamente processada em diferentes tipos de corte. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p. 263-270, jan./ fev. 2006.

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

LAFORTUNE, R. and LACROIX, M. Combined effects of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on bacterial resistance in grated carrots (*Daucus corota*). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, p. 77-80, 2004.

LAGUNAS-SOLAR, M. C. Radiation Processing of Foods: An Overview of Scientific principles and Current Status. **Journal of Food Protection**, v. 58, n. 2, p. 186-192, Feb. 1995.

LANA, M. M. Aspectos da fisiologia de cenoura minimamente processada. **Horticultura Brasileira**, v. 18, n. 3, p. 154-158, novembro 2000.

LANGE, W; BRANDENBURG, W. A; DE BOCK, T. S. M. Taxonomy and cultonomy of beet (*Beta vulgaris* L.). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 130, p. 81-96, 1999.

LAVELLI, V; PAGLIARINI, E; AMBROSOLI, R; MINATI, J. L; ZANONI, B. Physicochemical, microbial, and sensory parameters as indices to evaluate the quality of minimally-processed carrots. **Postharvest Biology and Technology**, v. 40, p. 34-40, 2006.

LIMA, K. S. C. Qualidade em cenouras (*Daucus carota* L.) cv. Nantes minimamente processadas e irradiadas: Avaliação química, física e microbiológica – Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – Instituto de Tecnologia – Departamento de Tecnologia de Alimentos – Curso de Pós- Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. Seropédica, RJ, 2001.

LIMA, K. S. C; LIMA, A. L. S; FREITAS, L. C; DELLA-MODESTA, R. C; GODOY, R. L. O. Efeitos de Baixas Doses de Irradiação nos Carotenóides Majoritários em Cenouras Prontas para o Consumo. - **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 183-193, 2004.

LINNAEUS, C. **Species Plantarum**, Ed. 1, Stockholm, 1753.

LU, Z; YU, Z; GAO, X; LU, F; ZHANG, L. Preservation effects of gamma irradiation on fresh-cut celery. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 347-351, 2005.

MAÑAS, P. and PAGÁN, R. Microbial inactivation by new technologies of food preservation – A Review. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, p. 1387-1399, 2005.

MARÍN-HUACHACA, N. S; MANCINI-FILHO, J; DELINCÉE, H; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Identification of gamma-irradiated papaya, melon and watermelon. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, p. 191-194, 2004.

MARTINS, C. G; BEHRENS, J. H; DESTRO, M. T; FRANCO, B. D. G. M; VIZEU, D. M; HUTZLER, B; LANDGRAF, M. Gamma Radiation in the Reduction of *Salmonella* spp. Inoculated on Minimally processed Watercress (*Nasturtium officinalis*). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, p. 87-91, 2004.

MACRAE, R. Food Science and technology – A series of monographs: **HPLC in food analysis**. Academic Press, 2^a ed., 1998, ISBN: 0-12-464781-2.

MEYER, B. S; ANDERSON, D. B; BÖHNING, R. H; FRATIANNE, D. G. **Introduction to Plant Physiology**. 2nd Edition (illustrated), 565p. Litton Educational Publishing, Inc., USA, 1973. ISBN: 0442253281

MDS NORDION. Disponível em: <<http://www.mds.nordion.com>> Acesso em: 10 nov. 2005.

MDS NORDION. History of Food Irradiation.

Disponível em: <<http://www.mds.nordion.com>> Acesso em: 21 ago. 2006.

MENEZES, E. M. S.; FERNANDES, E. C.; SABAA-SRUR, A. U. O. Folhas de alface lisa (*Lactuca sativa*) minimamente processadas armazenadas em atmosfera modificada: análises físicas, químicas e físico-químicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 60-62, jan./mar. 2005.

MORETTI, C.L. Panorama do Processamento Mínimo de Hortaliças – Anais do III Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças, p. 1-8, Universidade Federal de Viçosa - MG, 2004.

NAM, K. C. and AHN, D. U. Use of antioxidants to reduce lipid oxidation and off-odor volatiles of irradiated pork homogenates and patties. **Meat Science**, v. 63, p. 1-8, 2003.

NASLAUSKY, L. O; MIGUEL, M. A. L; SANTOS, A. C. Avaliação microbiológica de vegetais minimamente processados, comercializados na Cidade do Rio de Janeiro. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 08 a 11 de outubro de 2006 - EXPO TRADE – Curitiba, PR., p. 372, ISBN: 978-85-60299-00-3, 2006.

NEPA (Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação); UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). **Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO** (Versão 1), Campinas, SP, 2004. Disponível em: <http://dtr2004.saude.gov.br/nutricao/documentos/tabcbras_de_comp_de_alim_doc.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2006.

NOTTINGHAM, S. **Beetroot (2004)**. Copyright: Stephen Nottingham 2004. Disponível em:<http://ourworld.compuserve.com/homepages/Stephen_Nottingham/beetroot5.htm>. Acesso em: 31 maio 2006.

NUNES, T. P; MARTINS, C. G; BEHRENS, J. H; SOUZA, K. L. O; ARAGON-ALEGRO, L; PALCICH, G; FRANCO, B. D. G. M; DESTRO, M. T; LANDGRAF, M. Efeito da irradiação na aceitação de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) minimamente processada. In: XX Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 08 a 11 de outubro de 2006 - EXPO TRADE – Curitiba, PR., p. 1641, ISBN: 978-85-60299-00-3, 2006a.

OMS (Organización Mundial de la Salud). **La irradiación de los alimentos – Una técnica para conservar y preservar la inocuidad de los alimentos**. Genebra, 1989. 90 p. ISBN 92-4-354-240-0.

OMS (Organización Mundial de la Salud). **Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados**. Genebra, 1995. 172 p. ISBN 92-4-356162-6.

PAULI, G. H; TARANTINO, L. M. FDA Regulatory Aspects of Food Irradiation. **Journal of Food Protection**, v. 58, n. 2, p. 209-212, Feb. 1995.

PASCH, J. H. and VON ELBE, J. H. Betanine stability in buffered solutions containing organic acids, metal cations, antioxidants, or sequestrants. **Journal of Food Science**, v. 44, n. 1, p. 72-74, 81, 1979.

PAVLOV, A. and BLEY, T. Betalains biosynthesis by *Beta vulgaris* L. hairy root culture in temporary immersion cultivation system. **Process Biochemistry**, v. 41, p. 848-852, 2006.

PEARSON, D. and COX, H.E. **The chemical analisis of foods**. New York: Chem. Publi., 1976. 393p.

PIETRANERA, M. S. A; NARVAIZ, P; HORAK, C; KAIRIYAMA, E. Irradiated icecreams for immunosuppressed patients, **Radiation Physics and Chemistry**, v. 66, p. 357-365, 2003.

PIGA, A; CARO, A. D; PINNA, I; AGABBIO, M. Changes in ascorbic acid, polyphenol content ant antioxidant activity in minimally processed cactus pear fruits. **Lebensm.-Wiss. U.-Technol.**, v. 36, p. 257-262, 2003.

ROSA, O. O; CARVALHO, E. P. Implementação do Sistema de Análise de Perigos e pontos Críticos de Controle (APPCC) para o Controle de Qualidade de Produtos Minimamente Processados. **Higiene Alimentar**, v. 18, n. 123, p.30-6, 2004.

ROSNER, B. **Fundamentals of Biostatistics**. Six edition, Duxbury Press, London, 2005. 896 p., ISBN 0534418201.

RINALDI, M. M.; BENEDETTI, B. C.; CALORE, L. Efeito da embalagem e temperatura de armazenamento em repolho minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 480-486, jul./set. 2005.

SCHIEBER, A; STINTZING, F. C. and CARLE, R. By-products of plant food processing as a source of functional compounds – recent developments. **Trends in Food Science & Technology**, n. 12, p. 401 – 413, 2001.

SEBASTIÃO, K. I; ALMEIDA-MURADIAN, L. B; ROMANELLI, M. F; KOSEKI, P. M; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Effect of gamma-irradiation on the levels of total and *cis/trans* isomers of beta-carotene in dehydrated parsley. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 333-335, 2002.

SEDIYAMA, M. A. N. Qualidade, colheita e armazenamento de beterraba (*Beta vulgaris* L.). In. Seminários de Olericultura, v. X, p. 125-145, Viçosa, MG, 1984.

SENDRA, E; CAPELLAS, M; GUAMIS, B; FELIPE, X; MOR-MUR, M; PLA, R. Revisión: Irradiación de Alimentos – Aspectos Generales. **Food Science and Technology International**, v. 2, p. 1-11, 1996.

SIDDHURAJU, P; MAKKAR, H. P. S; BECKER, K. The effect of radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. **Food Chemistry**, v. 78, p. 187-205, 2002a.

SIDDHURAJU, P; OSONIYI, O; MAKKAR, H. P. S; BECKER, K. Effect of soaking and ionizing radiation on various antinutritional factors of seeds from different species of an unconventional legume, *Sesbania* and a common legume, green gram (*Vigna radiate*). **Food Chemistry**, v. 79, p. 273-281, 2002b.

SILVA, G. C.; MAIA, G. A.; FIGUEIREDO, R. W.; SOUZA FILHO, M. S. M.; ALVES, R. E.; SOUZA NETO, M. A. Efeito do tipo de corte nas características físico-químicas e físicas do abacaxi pérola minimamente processado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 223-228, abr./jun. 2005.

SIRISOONTARALAK, P and NOOMHORM, A. Changes to physicochemical properties and aroma of irradiated rice. **Journal of Stored Products Research**, v. 42, p. 264-276, 2006.

SOLIVA-FORTUNY, R. C. and MARTÍN-MARTÍN-BELLOSO, O. New Advances in Extending the Shelf-life of Fresh-cut Fruits: a Review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 14, p. 341-353, 2003.

SOMMERS, C. H; FAN, X; HANDEL, A. P; SOKORAI, K. B. Effect of citric acid on the radiation resistance of *Listeria monocytogenes* and frankfurter quality factors. **Meat Science**, v. 63, p. 407-415, 2003.

SONG, H. P; BYUN, M. W; JÔ, C; LEE, C. H; KIM, K. S; KIM, D. H. Effects of gamma irradiation on microbiological, nutritional, and sensory properties of fresh vegetable juice. **Food Control**, v. 18, p. 5-10, 2007.

SONNENBERG, P. E. **Olericultura especial**. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 143p., 1981.

SOUZA, A. C. S; FERREIRA, C. V; JUCÁ, M. B; AOYAMA, H; CAVAGIS, A. D. M; PEPPELENBOSCH, M. P. Riboflavina: uma vitamina multifuncional. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 5, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000500028&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 07 Nov 2006.

SPOCE (Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Européias). **Directiva 95/45/CE, de 26 de julho de 1995, que estabelece os critérios de pureza específicos dos corantes que podem ser utilizados nos géneros alimentícios**. Disponível em: <http://europa.eu/eur-lex/pt/consleg/pdf/1995/pt_1995L0045_do_001.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2006.

TEIXEIRA, D. L; SPEHAR, C. R; SOUZA, L. A. C. Caracterização agronômica de amaranto para cultivo na entressafra no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 1, p. 45-51, jan. 2003.

URBAIN, W. M. Food Irradiation – **Food Science and Technology A Series of Monographs**, Academic Press, New York, 1986. ISBN 0-12-709370-2. 349 p., 22 cm.

VALDIVIA, M. A; BUSTOS, M. A; RUIZ, J. RUIZ, L. F. The effect of irradiation in the quality of the avocado frozen pulp. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 379-382, 2002.

VILLAVICENCIO, A. L. C. H; MANCINI-FILHO, J; DELINCÉE, H; BOGNÁR, A. Effect of gamma irradiation on the thiamine, riboflavin and vitamin B₆ content in two varieties of Brazilian beans. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 57, p. 299-303, 2000.

VITAL, H. C.; PIRES, L. F. G.; LIMA, R. Q.; VELLOZO, S. O. Experimentos dosimétricos no irradiador gama do IPE. In: 5º Encontro Nacional de Aplicações Nucleares (ENAN), Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 15 a 20 de Outubro de 2000.

VITAL, H. C. Comunicação pessoal, em 18 de outubro de 2006.

VITTI, M. C. D. Aspectos fisiológicos, bioquímicos e microbiológicos em beterrabas minimamente processadas – Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Ciências, área de concentração: Fisiologia e Bioquímica de plantas – Piracicaba, SP, 2003.

VITTI, M. C. D; KLUGE, R. A; GALLO, C. R; MORETTI, C. L; JACOMINO, A. P. Efeito do momento de sanitização sobre atributos físico-químicos e microbiológicos de beterrabas minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 4, p. 718-721, out./dez, 2004.

VITTI, M. C. D; YAMAMOTO, L. K; SASAKI, F. F; DEL AGUILA, S; KLUGE, R. A; JACOMINO, A. P. Quality of minimally processed beet roots stored in different temperatures. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 48, n. 4, p. 503-510, july, 2005.

WEN, H. W; CHUNG, H. P; CHOU, F. I; LIN, I; HSIEH, P. C. Effect of gamma irradiation on microbial decontamination, and chemical and sensory characteristic of lycium fruit. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 75, p. 596-603, 2006.

ZHANG, L; LU, Z; WANG, H. Effect of gamma irradiation on microbial growth and sensory quality of fresh-cut lettuce, **International Journal of Food Microbiology**, v. 106, p. 348-351, 2006.

ZRÝD, J. P; CHRISTINE, L. **Betalain pigments**. 2003.

Disponível em: <http://www2.unil.ch/lpc/docs/pdf/betalaines_book.pdf>. Acesso em: 31 maio 2006.