

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**  
**DE ALIMENTOS**

**TESE**

**Efeito da Irradiação por Feixe de Elétrons na Qualidade Pós-Colheita de  
Mamão ‘Golden’**

**Patrícia Souza de Oliveira**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**EFEITO DA IRRADIAÇÃO POR FEIXE DE ELÉTRONS NA  
QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE MAMÃO 'GOLDEN'**

**PATRÍCIA SOUZA DE OLIVEIRA**

*Sob a Orientação do Professor*

**Murillo Freire Junior**

*e Co-orientação do Professor*

**Marcos José de Oliveira Fonseca**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do título de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ  
Setembro de 2015

641.34651

048e

T

Oliveira, Patrícia Souza de, 1983-

Efeito da irradiação por feixe de elétrons na  
qualidade pós-colheita de mamão 'Golden' /  
Patrícia Souza de Oliveira - 2015.

131 f.: il.

Orientador: Murillo Freire Junior.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em  
Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Inclui bibliografias.

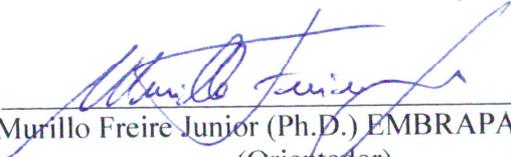
1. Mamão - Colheita - Teses. 2. Mamão -  
Armazenamento - Teses. 3. Fungos fitopatogênicos  
- Teses. 4. Alimentos - Conservação por radiação  
- Teses. I. Freire Junior, Murillo, 1954-. II.  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.  
Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia  
de Alimentos. III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS**

**PATRÍCIA SOUZA DE OLIVEIRA**

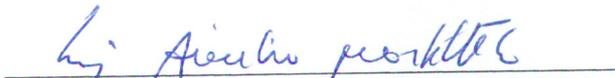
Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia, área de concentração Tecnologia de Alimentos.

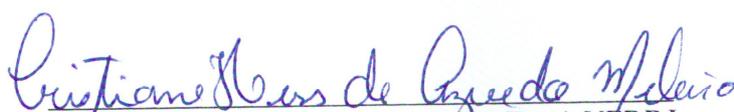
TESE APROVADA EM: 22/09/2015

  
Murillo Freire Junior (Ph.D.) EMBRAPA – CTAA  
(Orientador)

  
Antônio Gomes Soares (Dr.) EMBRAPA – CTAA

  
Sandra Oliveira de Souza (Ph.D.)

  
Luiz Aurélio Peres Martelleto (Dr.) UFRRJ

  
Cristiane Hess de Azevedo-Meleiro (Dra.) UFRRJ

## DEDICATÓRIA

A minha mãe **Lêige Souza de Oliveira**, *para sempre presente no meu coração*, por todo apoio, esforço e incentivo a mim prestados

**DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por toda força.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao Departamento de Tecnologia de Alimentos, pela oportunidade de realização do Doutorado.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudo.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, pelo desenvolvimento da tese.

À Acelétron Irradiação Industrial, pela irradiação e fornecimento dos frutos.

Ao pesquisador Dr. Murillo Freire, pela orientação e a confiança a mim prestada.

Ao pesquisador Dr. Otniel Freitas, por todo apoio e incentivo à publicação.

Ao pesquisador Dr. Marcos Fonseca, pela coorientação.

Ao pesquisador Dr. Antônio Gomes, às professoras Dra. Cristiane Hess e Dra. Madelon Rodrigues e ao professor Dr. Luiz Martelleto, à Dra. Sandra Oliveira, por aceitarem participar da banca.

Ao amigo Ivan Alcântara, por toda ajuda, pela amizade e conselhos durante a condução do experimento.

Aos amigos Rodrigo Silveira e Agnelli Holanda, pela amizade e por todo apoio e ajuda com os frutos, análises e tratamentos.

Ao colega Hebert de Oliveira, representante da Benassi Ceasa-RJ, pela ajuda na obtenção dos mamões.

Aos amigos Miguel Pereira, Guilherme Gouvêa e Vanessa Goulart, por toda ajuda e amizade durante os experimentos.

Às companheiras de laboratório Caroline Coelho e Bruna Rodrigues, por todo apoio e companheirismo.

À amiga Eliane Ribeiro, pela amizade.

A todos os funcionários da Planta V e de outras plantas da Embrapa Agroindústria de Alimentos, que contribuíram para a condução deste trabalho.

Ao meu Pai Álvaro Camilo, aos meus irmãos Alisson Oliveira e Márcia Oliveira e ao meu noivo Rhyder Teófilo, por todo carinho e apoio prestados.

A todos que, de alguma forma, me ajudaram na realização deste trabalho,

**OBRIGADA!**

## **BIOGRAFIA**

PATRÍCIA SOUZA DE OLIVEIRA, filha de Álvaro Camilo de Oliveira e Lêige Souza de Oliveira, nasceu no dia 13 de setembro de 1983, em Ribeirão Vermelho – MG.

Em 2004 iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Lavras - UFPA, na cidade de Lavras – MG, onde em julho de 2008 tornou-se Engenheira Agrônoma.

No ano de 2009 ingressou no curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal na Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa – MG, tornando-se Mestre no dia 23 de fevereiro de 2011.

Em 2011 iniciou o curso de Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ, em Seropédica – RJ, submetendo-se a defesa de tese em 22 de setembro de 2015.

## RESUMO

OLIVEIRA, Patrícia Souza de. **Efeito da irradiação por feixe de elétrons na qualidade pós-colheita de mamão ‘Golden’**. 2015. 131p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

As exportações brasileiras de mamão têm aumentado nos últimos anos, e o tratamento hidrotérmico tem sido o principal tratamento fitossanitário aplicado aos frutos como medida fitossanitária. No entanto, o uso da irradiação por feixe de elétrons para o tratamento de alimentos tem crescido e tem mostrado potencial fitossanitário. Diante disso, o objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos da irradiação por feixe de elétrons sobre a qualidade pós-colheita do mamão ‘Golden’ com enfoque no controle das doenças antracnose e podridão peduncular. O estudo foi dividido em dois capítulos. No capítulo I foram avaliados os efeitos de diferentes doses da irradiação por feixe de elétrons sobre as características físico-químicas, bioquímicas e fitopatológicas do mamão, em comparação ao tratamento hidrotérmico. As doses testadas foram 0 (controle: sem irradiação), 1, 3 e 5kGy, e para o tratamento hidrotérmico, os frutos foram imersos em água aquecida a 54°C durante três minutos. A dose de 1kGy pouco diferiu dos resultados dos frutos controle. Entretanto, assim como o tratamento hidrotérmico não foi eficiente para inibir o crescimento de lesões típicas de antracnose. No capítulo II foi avaliado o efeito das três doses de irradiação por feixe de elétrons sobre o crescimento dos fungos *Colletotrichum gloeosporioides* e *Phoma caricae-papayae* inoculados no mamão ‘Golden’ e em placas contendo Batata Dextrose Agar (BDA) como meio de cultura. Das três doses de irradiação por feixe de elétrons testadas, a dose de 1kGy reduziu o crescimento dos fungos analisados, quando comparada ao controle, porém, não foi eficiente para inibir o crescimento dos fungos estudados. Irradiação por feixe de elétrons abaixo de 1kGy deve ser testada, em busca da dose adequada para o controle de fungos pós-colheita no mamão ‘Golden’, sem intervenção na qualidade.

**Palavras-chave:** *Carica papaya*, Fungos fitopatogênicos, Armazenamento.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Patrícia Souza de. **Effect of electron beam irradiation in postharvest quality of 'Golden' papaya**. 2015. 131p. Thesis (PhD in Food Science and Technology, Food Technology). Institute of Technology, Postgraduation Program in Science and Food Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

Brazilian papaya exports have increased in recent years, and the hydrothermal treatment has been the main phytosanitary treatment applied to fruits as phytosanitary measure. However, the use of electron beam irradiation for the treatment of foods has grown and has shown phytosanitary potential. Thus, the objective of the study was to evaluate the effects of electron beam irradiation on postharvest quality of 'Golden' papaya with a focus on disease control anthracnose and stem-end rot. The study was divided into two chapters. In the chapter I evaluated the effects of different doses of irradiation by electron beam on the physico-chemical, biochemical and phytopathological papaya, compared to hydrothermal treatment. The doses tested were 0 (Control: no irradiation), 1, 3 and 5kGy, and to the hydrothermal treatment, the fruits were immersed in water heated to 54°C for three minutes. The dose of 1kGy differed slightly from the results of control fruits. However, as the hydrothermal treatment was not effective to inhibit the growth of lesions typical of anthracnose. In the chapter II evaluated the effects of three doses of electron beam irradiation on the growth of the fungi *Colletotrichum gloeosporioides* and *Phoma caricae-papayae* inoculated in 'Golden' papaya and in plates containing Potato Dextrose Agar (PDA) as a culture medium. The three doses of of electron beam irradiation tested, the dose of 1kGy reduced the growth of fungi analyzed, compared to the control. However, it was not sufficient to inhibit the growth of fungi studied. Irradiation by electron beam below 1kGy should be tested, in search of the appropriate dose for the control of fungi at post-harvest 'Golden' papaya, without intervention on quality.

**Key words:** *Carica papaya*, Pathogenic fungi, Storage.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
1.1 O fruto .....	3
1.2 Produção de mamão no Brasil .....	4
1.3 Doenças Pós-colheita .....	5
1.3.1 Antracnose .....	6
1.3.2 Podridão Peduncular .....	7
1.4 Irradiação de Alimentos .....	9
1.4.1 Histórico .....	9
1.4.2 Definições .....	10
1.4.3 Irradiação de Alimentos por Feixe de Elétrons .....	13
1.4.4 Ação sobre a Qualidade dos Alimentos .....	16
1.4.5 Ação sobre Microrganismos e Insetos .....	17
1.4.6 Usos da Irradiação por Feixe de Elétrons .....	17
1.4.7 Aspectos de Segurança e Toxicidade .....	20
1.4.8 Regulamentação .....	20
1.5 Tratamento Hidrotérmico .....	20
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	22

### **CAPÍTULO 1: COMPARATIVO ENTRE A IRRADIAÇÃO POR FEIXE DE ELÉTRONS E O TRATAMENTO HIDROTÉRMICO NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DO MAMÃO ‘GOLDEN’**

<b>RESUMO</b> .....	33
<b>ABSTRACT</b> .....	34
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	35
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	36
2.1 Material .....	36
2.2 Tratamentos .....	36
2.3 Métodos .....	38
2.4 Experimentação.....	40
2.5 Análises .....	40
2.5.1 Análises físicas e físico-químicas .....	41
2.5.2 Análises bioquímicas .....	45
2.5.2.1 Análises enzimáticas .....	45
2.5.2.2 Atividade respiratória .....	47
2.5.3 Análises visuais .....	48
2.6 Estatística .....	49
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	50
3.1 Análises físicas e físico-químicas .....	50
3.2 Análises bioquímicas .....	68
3.2.1 Análises enzimáticas .....	68

3.2.2 Atividade respiratória .....	73
3.3 Análises visuais .....	75
3.4 Injúrias às doses de irradiação por feixe de elétrons .....	80
3.5 Viabilidade econômica da irradiação por feixe de elétrons .....	81
<b>4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>

**CAPÍTULO 2: EFEITO DE DIFERENTES DOSES DE IRRADIAÇÃO POR  
FEIXE DE ELÉTRONS NO CONTROLE DE DOENÇAS FÚNGICAS NA PÓS-  
COLHEITA DO MAMÃO ‘GOLDEN’**

<b>RESUMO .....</b>	<b>92</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>93</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>94</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>95</b>
2.1 Material .....	95
2.2 Inoculação .....	95
2.3 Tratamentos .....	98
2.4 Método .....	99
2.5 Experimentação.....	100
2.6 Análises .....	100
2.7 Estatística .....	102
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>103</b>
3.1 Análises <i>in vivo</i> .....	103
3.2 Análises <i>in vitro</i> .....	108
<b>4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>115</b>
<b>CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b>117</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>119</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

Nos tempos atuais é crescente a preocupação da população com alimentação saudável e segura, tornando-se cada vez maior a procura por estes alimentos. Dentre estes, se destacam as frutas, alimentos ricos em vitaminas, minerais, água e fibras, componentes fundamentais para o bom funcionamento do organismo humano.

Além de nutritivas e saborosas, as frutas são alimentos de fácil preparo, necessitando apenas serem lavadas e/ou descascadas, atendendo uma das exigências do consumidor atual que é praticidade e conveniência. Porém, são sensíveis, altamente perecíveis e requerem cuidados durante o manuseio, desde a colheita até a comercialização para que sejam adquiridas com qualidade pelo consumidor.

No Brasil, entre as frutas mais produzidas, destaca-se o mamão, fruta saborosa e bem aceita pela população. No mamão, fatores intrínsecos como casca fina, alto teor de açúcares e água na polpa, são fatores que o torna susceptível ao ataque de fungos fitopatógenos, agentes causadores de grandes perdas pós-colheita.

Para a comercialização de frutas com qualidade é necessário o emprego de tratamentos após a colheita. E quando se trata de frutos destinados à exportação, cuidados maiores devem ser tomados para obtenção de frutos com qualidade e segurança, com vista a atender às exigências impostas pelos países importadores.

Países importadores de frutas se preocupam com a introdução de pragas exóticas em seus territórios, levando a maioria a ter restrições quanto à importação de frutas (BUSTOS-GRIFFIN et al., 2012), exigindo medidas fitossanitárias a serem tomadas pelo país exportador.

A irradiação de alimentos é um tratamento seguro e eficiente contra fungos fitopatogênicos e pragas quarentenárias. Estudos com irradiação por feixe de elétrons para aplicação em frutas merecem atenção, uma vez que esta tecnologia tem sido aplicada com sucesso na preservação da qualidade de alimentos (PIMENTEL & WALDER, 2004; MORENO et al., 2007<sup>a</sup>), no controle de pragas agrícolas (MOY & WONG, 2002; FOLLETT, 2006; FOLLETT et al., 2011), na desinfecção de alimentos (BRESCIA et al., 2003; RODRIGUEZ et al., 2006; TRINETTA et al., 2011) e tem potencial fungicida (HAN et al., 2004; SANCHEZ-BEL et al., 2005). Tais características evidenciam que é um tratamento adequado para aplicação em frutas para a exportação.

A irradiação consiste na exposição do alimento a uma fonte de radiação, sendo o cobalto-60 e o feixe de elétrons as mais utilizadas em pesquisas envolvendo alimentos. Algumas vantagens do feixe de elétrons sobre o cobalto-60, tais como: maior facilidade de operação e manutenção de irradiadores com feixe de elétrons, rapidez de execução, não usa material radioativo e sim máquinas elétricas aceleradoras de elétrons, tem aumentado o seu uso em alimentos.

Vários são os estudos que comprovam o efeito positivo da irradiação por feixe de elétrons em frutas (MORENO et al., 2007<sup>a,b</sup>; SONG et al., 2012; AL-FARISI et al., 2013; WEI et al., 2014) principalmente, em relação ao aumento da vida útil. Outros benefícios diretos também são obtidos como a desinfecção e desinfestação pós-colheita, porém há poucas pesquisas avaliando os efeitos deste tratamento sobre fungos causadores de doenças em frutas.

Diante disso, os objetivos do trabalho foram avaliar os efeitos da irradiação por feixe de elétrons sobre a qualidade pós-colheita do mamão 'Golden' com enfoque no controle das doenças antracnose e podridão peduncular. Como objetivos específicos foram avaliados os

efeitos de diferentes doses da irradiação por feixe de elétrons sobre as características físico-químicas, bioquímicas e fitopatológicas do mamão, em comparação ao tratamento hidrotérmico e avaliado o efeito de diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons sobre frutos inoculados com *Colletotrichum gloeosporioides* e *Phoma caricae-papayae*, estudados separadamente nos capítulos I e II, respectivamente.

No capítulo I, parâmetros da qualidade do mamão 'Golden' tratados com três doses de irradiação por feixe de elétrons (1, 3 e 5kGy) foram comparados aos dos frutos controle (não irradiados) e aos dos frutos tratados hidrotérmicamente, por ser o tratamento usual em frutos para exportação. Os efeitos das diferentes doses testadas sobre a qualidade dos frutos também foram avaliados em busca de uma dose adequada para uso na pós-colheita do mamão.

No capítulo II foi observado o efeito das três doses de irradiação por feixe de elétrons sobre o crescimento dos fungos *Colletotrichum gloeosporioides* e *Phoma caricae-papayae* inoculados no mamão 'Golden'. Tais fungos são agentes causadores das principais doenças em mamão, a antracnose e a podridão peduncular, respectivamente. Testes *in vitro* também foram realizados para ambos os fungos.

## REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1 O Fruto

No Brasil, Solo e Formosa são dois grupos de mamão mais comercializados, diferenciados em função do tipo de fruto. Dentro do grupo Solo, encontra-se a maioria das cultivares utilizada no mundo, destacando as cultivares *Sunrise Solo* e *Improved Sunrise Solo Line 72/12*, conhecidas como mamão Havaí, com domínio quase que absoluto no Brasil (TRINDADE, 2000).

O mamoeiro é uma planta herbácea tipicamente tropical e de alta produtividade durante todo o ano (RITZINGER & SOUZA, 2000; SENTANIN & AMAYA, 2007). Frutos com qualidade são produzidos em locais com grande insolação, temperaturas entre 22 e 28°C, chuvas regulares e bem distribuídas e umidade relativa do ar entre 60 e 85% (TRINDADE, 2000).

A temperatura tem grande influência sobre o desenvolvimento dos frutos e mamões produzidos em épocas de maiores temperaturas se desenvolvem mais rapidamente do que os frutos produzidos em épocas mais frias do ano (BERILLI et al., 2007).

Este fruto é muito saboroso, apreciado mundialmente, por crianças e adultos, em função da doçura e baixa acidez da polpa (PIMENTEL & WALDER, 2004; SENTANIN & AMAYA, 2007).

### Aspectos Fisiológicos

O mamão é altamente perecível (CASTRICINI et al., 2009; PIMENTEL et al., 2007; PIMENTEL & WALDER, 2004), sensível ao etileno e de alta taxa respiratória (LIMA et al., 2005; SOUZA et al., 2009; TEZOTTO et al., 2011).

Perda de firmeza e mudança da cor da casca são transformações mais características que ocorrem em mamões durante o amadurecimento (BRON, 2006). A redução da firmeza dos frutos está associada às enzimas que degradam a parede celular com a fase de amadurecimento dos frutos, entre elas a pectinametilesterase (PME) (EC 3.1.1.11) e poligalacturonase (PG) (EC 3.2.1.15), enquanto que a mudança da coloração da casca ocorre devido à degradação da clorofila e a síntese e expressão de carotenoides, pigmentos responsáveis pelas colorações verde e amarela, respectivamente.

### Colheita

A colheita dos frutos é feita baseada no estágio de maturação, definido por mudanças na cor da casca dos frutos. Segundo Ritzinger & Souza (2000), mamões no estágio 1 são caracterizados pela transição da cor de casca de verde-escura para verde-clara; no estágio 2 apresentam até 25% da superfície da casca amarela, rodeada de verde-claro; no estágio 3 têm até 50% da superfície da casca amarela, com áreas próximas em verde-claro; no estágio 4 têm 50-75% da superfície amarela com áreas próximas em verde-claro e no estágio 5 apresentam 76-100% da superfície da casca amarela, somente a extremidade do pedúnculo é de cor verde.

Frutos destinados ao consumo e comercialização local devem ser colhidos quando apresentarem estrias ou faixas com 50% de coloração amarela, enquanto que aqueles destinados à exportação ou armazenamento por longo período devem ser colhidos no 1º estágio, fase caracterizada pela mudança da cor da casca de verde-escura para verde-clara (FOLEGATTI & MATSUURA, 2002). Normalmente, mamões destinados à exportação são

colhidos no 2º estágio de maturação e frutos no estágio 5 são considerados aptos ao consumo (OLIVEIRA et al., 2002).

O ponto de colheita para frutos destinados à exportação merece atenção, pela necessidade de se levar em conta o tempo necessário entre a colheita e a chegada do fruto no seu destino final. No Brasil, cerca de 90% dos mamões exportadores têm sido via transporte aéreo (ARAÚJO, 2015). No caso de transporte dos frutos via marítimo, meio mais econômico, porém mais demorado, os mamões destinados à exportação devem ser colhidos de vez, ou seja, entre os estádios 0 e 2 (frutos com 25% de amadurecimento) (FOLEGATTI & MATSUURA, 2002).

Independente do modo de colheita, o processo deve ser feito com cautela, evitando qualquer tipo de dano ao fruto. O mamão apresenta casca muito fina com pouca resistente a injúrias, o que o torna mais susceptível a danos mecânicos, desvalorizando-o na fase de comercialização (LIMA et al., 2009; SILVA et al., 2013). Tratamentos para a manutenção da qualidade e para o controle de doenças devem ser aplicados após a colheita dos frutos.

### **Aspectos Nutricionais**

Zubiolo et al. (2012) consideram o mamão uma das melhores frutas do mundo, tanto pelo aspecto nutricional, alimento rico em substâncias antioxidantes, quanto pelo poder medicinal desempenhado pela enzima papaína presente no fruto, uma enzima proteolítica, muito usada para dar alívio em casos de indigestão aguda. Miranda (2011) também relata o efeito laxante do mamão, associado à papaína e às fibras presentes em maiores quantidades em frutos verdes, destacando a importância da introdução destes frutos na alimentação humana.

Oliveira et al. (2011) destacam o mamão como excelente fonte natural de compostos antioxidantes para a população brasileira. Entre estes compostos se destacam a vitamina C, os carotenoides e os compostos fenólicos, os quais oferecem proteção antioxidante ao organismo humano, absorvendo os radicais livres (SILVA et al., 2010). O consumo frequente de alimentos com potencial antioxidante está associado à baixa incidência de várias doenças degenerativas, entre elas o câncer (SILVA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011).

### **1.2 Produção de Mamão no Brasil**

No ano de 2012, a cadeia produtiva de frutas no Brasil novamente se destacou como um dos mais importantes segmentos econômicos do agronegócio brasileiro, destacando o Brasil como terceiro maior país produtor de frutas frescas (IBRAF, 2013).

A produção de mamão no Brasil no ano de 2013 ficou em quarto lugar, com uma produção de 1.582.638 toneladas (Tabela 1), perdendo apenas para a laranja, banana, e coco-da-baía (IBGE, 2015). Neste mesmo ano foi registrado um crescimento na procura por mamão de 3,59% em relação ao ano de 2008, sendo a terceira fruta mais procurada, em razão da elevação da renda dos consumidores (BRAPEX, 2015).

**Tabela 1** Produção das principais frutas produzidas no Brasil no ano de 2013.

<b>Produto</b>	<b>Produção (Toneladas)</b>
<b>Laranja</b>	17.549.536
<b>Banana</b>	6.892.622
<b>Coco-da-baía</b>	1.926.857
<b>Mamão</b>	1.582.638
<b>Uva</b>	1.439.535
<b>Maça</b>	1.231.472
<b>Limão</b>	1.169.370
<b>Manga</b>	1.163.000
<b>Tangerina</b>	937.819
<b>Maracujá</b>	838.244

**Fonte:** IBGE (2015)

Os estados da Bahia (regiões sul e oeste), Espírito Santo (região norte), Rio Grande do Norte e Minas Gerais (região norte) são os estados brasileiros com maior produção de mamão (Tabela 2) (MELETTI et al., 2011; SILVA et al., 2013).

**Tabela 2** Área plantada de mamão no Brasil nos principais estados produtores no ano de 2014 (ARAÚJO, 2015).

<b>Estado</b>	<b>Área Plantada (ha)</b>
<b>Sul da Bahia</b>	5.600
<b>Oeste da Bahia</b>	1.400
<b>Espírito Santo</b>	4.000
<b>Rio Grande do Norte</b>	1.500
<b>Norte de Minas Gerais</b>	1.500
<b>Total</b>	<b>14.000</b>

Também teve crescimento o volume de mamão exportado pelo Brasil, no período de janeiro a novembro de 2014 um total de 30,8 mil toneladas, quantia 19% maior em relação ao mesmo período do ano anterior, sendo Portugal, Reino Unido e Espanha os países que mais importaram o mamão brasileiro (ARAÚJO, 2015).

A União Européia tem sido o principal mercado importador, responsável por cerca de 80% do comércio externo do mamão produzido no Brasil (BRAPEX, 2015). Para o ano de 2015, as expectativas é que o volume exportado supere os números de 2014 (ARAÚJO, 2015).

### **1.3 Doenças Pós-Colheita**

As doenças pós-colheita do mamão são consideradas fator limitante para o aumento da produção e exportação de frutos (NERY-SILVA et al., 2007). As podridões se destacam entre

as doenças que afetam a pós-colheita do mamão, sendo a antracnose e a podridão peduncular as principais no Brasil e em outros países (DANTAS et al., 2003; CIA et al., 2007).

Costa et al. (2011) analisando as perdas pós-colheita do mamão 'Havaí' relataram um total de 11% de perdas, sendo 45% destas causadas por danos mecânicos, 25% por danos fisiológicos e 30% por incidência de doenças. Entre as doenças observadas, a antracnose foi responsável por 53% dos casos.

### 1.3.1 Antracnose

A antracnose é considerada a doença mais séria na pós-colheita do mamão, sendo conhecida em todos os países produtores do fruto (CASTRICINI & RODRIGUES, 2013). É uma podridão superficial causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides* Penz que pode penetrar no fruto em qualquer fase de desenvolvimento, mas tem ocorrido com maior frequência em frutos maduros (TRINDADE, 2000; TAVARES & SOUZA, 2005) e em frutos destinados à exportação durante o período de transporte (CASTRICINI & RODRIGUES, 2013).

Os sintomas da doença se manifestam no fruto maduro como manchas circulares e escuras, de tamanho variável, e que se alargam, coalescem e tornam-se fundas (FOLEGATTI & MATSUURA, 2002).

Em mamão 'Sunrise Solo' foram observados sintomas característicos da antracnose formados inicialmente por manchas pequenas de coloração marrom, as quais evoluíram para manchas pretas e deprimidas, formando um halo de tecido aquoso, com coloração diferente da parte central (ANDRADE et al., 2007) (Figura 1).



**Figura 1** Mamão com lesão de antracnose.

Lesões típicas de antracnose, produzidas por *C. gloeosporioides* inoculados em mamões 'Maradol', mostraram-se aquosas, profundas e com massa de conídios de coloração laranja (CALZADA et al., 2013). Para Castricini et al. (2009) frutos com antracnose tornam-se inviáveis para a comercialização.

Alguns estudos têm verificado patogenicidade cruzada de *C. gloeosporioides* (CALZADA et al., 2013; SILVA et al., 2006). Em mamões 'Sunrise Solo' foi observado

sintomas de antracnose nove dias após a inoculação de 33 isolados de *Colletotrichum* sp. obtidos dos frutos manga, morango, maçã e mamão (ANDRADE et al., 2007).

O fungo *C. gloeosporioides* possui características que facilitam a penetração nos frutos, tais como a produção de cutinase, enzima capaz de romper a casca do fruto e a presença de apressórios, estruturas de aderência (FOLEGATTI & MATSUURA, 2002). Tais características foram as responsáveis pela maior incidência média da doença em relação aos demais fungos estudados em um método de inoculação sem fermento (NERY-SILVA et al., 2007).

Dantas et al. (2003) observaram maior ocorrência de *C. gloeosporioides* (44,95%) entre os fungos detectados em mamão 'Sunrise Solo'. Esse patógeno tem seu desenvolvimento favorecido em temperatura e umidade relativa elevadas (TAVARES & SOUZA, 2005). Vieira et al. (2006) observaram a influência da temperatura sobre o crescimento de *C. gloeosporioides*, quando placas de Petri com isolados do fungo mantidas à 10°C praticamente inibiram o crescimento do fungo, em comparação com placas de Petri armazenadas a 25°C, nas quais houve intenso e significativo crescimento de *C. gloeosporioides*.

Frutos infectados por *C. gloeosporioides* tornam-se impróprios para a comercialização e perdas de até 100% podem ocorrer em condições de longo período de chuvas no verão (CASTRICINI & RODRIGUES, 2013).

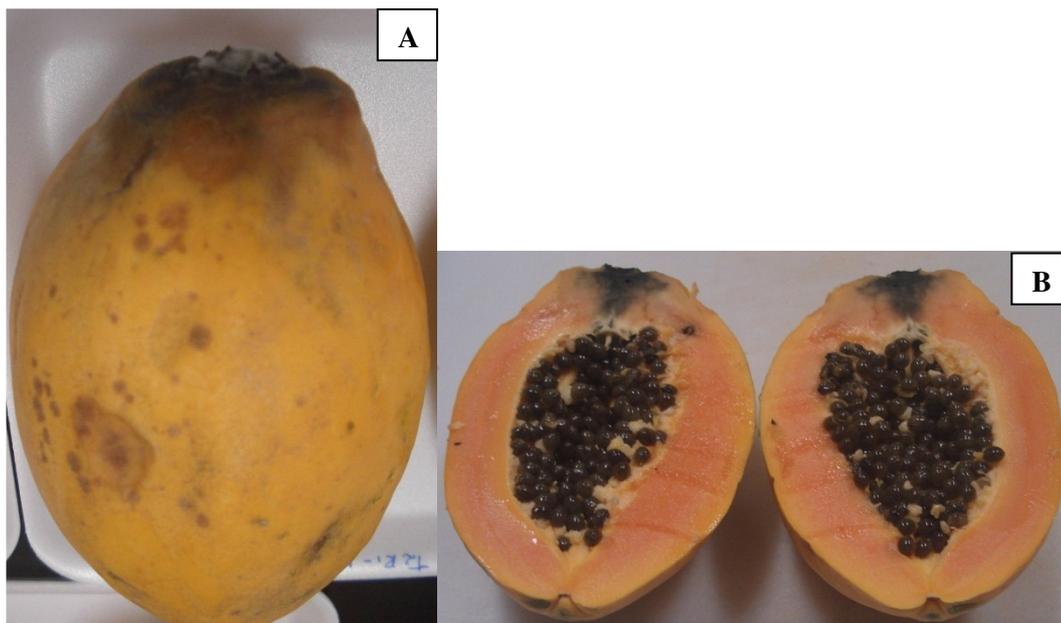
Por se tratar de uma doença com sintomas tardios, ou seja, que ocorrem na fase de amadurecimento dos frutos, o indicado é o controle do patógeno antes da fase de maturação (TAVARES & SOUZA, 2005).

Tatagiba et al. (2002) estudando a antracnose nos pomares de mamoeiro do Espírito Santo detectaram maior incidência da doença nos períodos quentes e úmidos do ano, ou seja, entre os meses de outubro a março. Quanto a agressividade do patógeno, Andrade et al. (2007) verificaram níveis diferentes entre os isolados de *Colletotrichum* sp. testados, visto que houve variação no diâmetro e intensidade das lesões de antracnose observadas em mamões.

### **1.3.2 Podridão peduncular**

A podridão peduncular é uma doença que se manifesta após a colheita no local de corte do pedúnculo, em rachaduras e ferimentos que ocorrem nos frutos no momento da colheita (FOLEGATTI & MATSUURA, 2002).

As lesões geralmente ocorrem na fase de maturação, próximas ao pedúnculo, tornando o tecido negro, rugoso e seco (CASTRICINI & RODRIGUES, 2013). O tecido lesionado fica frequentemente coberto por uma massa acinzentada, que tende a aumentar, à medida que as lesões envelhecem. As lesões evoluem rapidamente da base do pedúnculo para o pericarpo e mesocarpo dos frutos, chegando a afetar as sementes (Figura 2).



**Figura 2** Mamão com lesão de podridão peduncular no pericarpo (A) e evolução para o mesocarpo (B).

Diferentes aspectos das lesões foram observados por Nery-Silva et al. (2007), em função do fungo e da fonte de inóculo testados. Para os fungos *C. gloeosporioides* e *Fusarium solani* inoculados via suspensão de conídios a lesão teve aspecto aquoso e tecido translúcido de coloração bem próxima à normal, entretanto quando a inoculação foi feita via inserção do micélio a lesão apresentou aspecto ressecado e de coloração negra. Já para os fungos *Phoma caricae-papayae* e *Botryodiplodia theobromae*, os autores observaram a presença de uma lesão negra mumificada e com grande produção de conídios e uma lesão com grande quantidade de micélio aéreo, respectivamente.

Esta doença é causada por um complexo de fitopatógenos, composto por uma ou mais espécies de patógenos (NERY-SILVA et al. 2007), conforme observado por Dantas et al. (2003) em mamões 'Sunrise Solo', destacaram-se: *Colletotrichum gloeosporioides*, *Fusarium* spp., *Phoma caricae-papayae*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Phomopsis caricae-papayae*, *Rhizopus stolonifer*, *Phytophthora palmivora* e *Pestalotia* sp..

Em geral, patógenos causadores de podridões pós-colheita possuem a capacidade de se estabelecerem no fruto ainda imaturo e somente desenvolver a doença e os sintomas na fase de amadurecimento do fruto (NERY-SILVA et al., 2001; CASTRICINI & RODRIGUES, 2013). A podridão peduncular é uma doença que pode provocar grandes prejuízos na pós-colheita de mamões (NERY-SILVA et al. 2007).

Temperaturas entre 21 e 26°C e UR do ar acima de 90% são condições que favorecem a ocorrência da podridão peduncular. A doença também é favorecida em frutos com fermentos resultantes do manuseio inadequado, o que propicia a penetração do patógeno (CASTRICINI & RODRIGUES, 2013).

Para o controle de fungos fitopatogênicos em pós-colheita, os fungicidas ainda são os mais usados, apesar da grande procura dos consumidores em adquirir alimentos livres de agrotóxicos. Neste sentido, o uso da irradiação por feixe de elétrons no tratamento pós-

colheita de frutas para a redução de sintomas de doenças, pode ser uma alternativa que atende a redução de resíduos de agrotóxicos em mamão.

## **1.4 Irradiação de Alimentos**

### **1.4.1 Histórico**

No Brasil, o conceito de irradiação de alimentos foi introduzido em agosto de 1973 pelo Decreto de nº 72.718 (BRASÍLIA, 1973), em que se entendia por alimento irradiado aquele que tivesse sido submetido à ação de radiações ionizantes, de forma intencional e com a finalidade de preservá-lo, de acordo com as normas estabelecidas pelo órgão do Ministério da Saúde. Em janeiro de 2001 esse decreto foi reformulado e ampliado (BRASIL, 2001). Segundo este novo regulamento, qualquer alimento pode ser submetido ao tratamento de radiação, desde que, a dose mínima de radiação ionizante utilizada seja suficiente para atingir o objetivo pretendido e que a dose máxima aplicada não ultrapasse àquela que comprometa as propriedades funcionais e ou os atributos dos alimentos.

A irradiação de alimentos é estudada há muitos anos, no entanto, pouco aceita por consumidores mal informados a respeito deste tratamento. As pessoas veem as novas tecnologias como forma de melhorar o padrão de vida, mas a falta de informações a respeito da técnica desenvolvida causa sentimentos de medo e desconfiança (HUNTER, 2000; BEHRENS et al., 2009; PARKER et al., 2010; BUSTOS-GRIFFIN et al., 2012).

Pessoas sem conhecimento a respeito da técnica de irradiação de alimentos associam inadequadamente o termo ‘irradiação’ a material radioativo, perigoso, a usinas nucleares, bomba atômica, ao acidente nuclear de Chernobyl e até mesmo ao câncer (SATIN, 2002; OLIVEIRA et al., 2004; ORNELLAS et al., 2006; BEHRENS et al., 2009).

Para avaliação do conhecimento das técnicas de preservação de alimentos, Oliveira et al. (2004) realizaram um estudo com alunos com idade entre 16 e 18 anos, pertencentes à classe social baixa. Os alunos foram questionados a respeito de cinco tratamentos de processamento de alimentos, entre eles a irradiação. Antes de receberem informações sobre a irradiação de alimentos havia uma preocupação com este tratamento, mas após a exibição de um filme sobre o processamento de alimentos por radiação ionizante e seus benefícios, eles se sentiram mais confortáveis. Nesta pesquisa foi detectada a importância de se educar e passar informações específicas a tecnologias utilizadas, de modo a aumentar a sua aceitação.

Resultado semelhante foi observado por Ornellas et al. (2006), em inquérito com 218 consumidores entrevistados, destes 89%, a maioria com nível de instrução elevado e renda superior a 5 salários mínimos, consumiriam alimentos irradiados se soubessem que a irradiação aumenta a segurança dos alimentos, combatendo várias doenças.

Para Follett & Weinert (2012), o que dificulta a comercialização de produtos agrícolas irradiados é a rotulagem exigida por lei para tais produtos. Nenhum outro tratamento fitossanitário necessita de rotulagem, tal questão intriga os varejistas em comprar frutas e hortaliças irradiadas, por eles acharem o símbolo da radura no rótulo, uma advertência que desestimula o consumidor. Em pesquisa feita por Oliveira et al. (2004), 89% das pessoas entrevistadas já tinham ouvido falar a respeito da irradiação de alimentos, entretanto, apenas 17% tinha visto e/ou conhecia o símbolo, “radura”, exigido no rótulo de alimentos irradiado (Figura 3).



**Figura 3** Símbolo Radura

Mais uma vez foi relatado que a falta de informação das pessoas a respeito da irradiação causa um grande preconceito com o tratamento, sem sentido, uma vez que é comprovado cientificamente que a irradiação de alimentos é um procedimento seguro, inócuo aos consumidores e tem se tornado cada vez mais comum (FREIRE-JUNIOR & VITAL, 2003).

A irradiação de alimentos tem sido uma das tecnologias mais bem sucedidas para combater fungos de armazenamento e conservar alimentos com aumento da vida útil (JEONG et al., 2013; SUPRIYA et al., 2014). Fatores tais como, alto custo, falta de logística para tratamento dos alimentos e baixa aceitação pela população desinformada (OLIVEIRA et al., 2004; ORNELLAS et al., 2006; KIM et al., 2012) dificultavam o sucesso da tecnologia, porém, atualmente o cenário é outro.

No ano de 2005 foram contabilizados 404.804 mil toneladas de alimentos irradiados no mundo (KUME et al., 2009). Deste total, 23.000 toneladas de alimentos irradiados foram representadas pelo Brasil, sendo 20.000 toneladas compostas por temperos e legumes secos e 3000 toneladas de frutas e grãos. Os alimentos mais irradiados foram temperos e vegetais secos, representando 46% do total de alimentos irradiados, o alho e a batata representaram 22%, frutas e grãos 20%, 4% outros e 8% foram representados por carnes e frutos do mar.

Em 2013 foram mais de 500 mil toneladas de alimentos irradiados no mundo, entre eles estão os temperos, carnes, frutas e hortaliças frescas, sendo os temperos o produto mais irradiado para controle de doenças causadas por microrganismos (MOSTAFAVI et al., 2012; HALLMAN, 2013).

Cerca de 30 países nos dias de hoje irradiam produtos alimentícios secos, 50% do volume global dos alimentos irradiados são deste tipo. Os EUA, China, Brasil, África do Sul e México são os principais países que usam a irradiação para a desinfestação destes produtos (BUSTOS-GRIFFIN et al., 2012).

#### **1.4.2 Definições**

##### **Irradiação de alimentos**

Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2001), a irradiação é um tratamento físico ao qual o alimento é submetido, embalado ou a granel, sob doses controladas de radiação ionizante, com objetivos sanitário, fitossanitário ou tecnológico.

## Radiação ionizante

É a energia ionizante emitida tanto por máquinas de feixe de elétrons (SILVA & ROZA, 2010), quanto por radionuclídeos (fontes radioativas) como, por exemplo, o cobalto-60 (Co-60) ou Césio-137 (Cs-137) (FARKAS, 1998).

O feixe de elétrons é um tipo de radiação ionizante de onda curta e de elevada energia, podendo ser aplicada em alimentos em níveis de até 10 MeV (HALLMAN, 2013), para fins de conservação. Dentre os radionuclídeos, o Co-60 tem maior aceitação, por proporcionar maior segurança ambiental do que o Cs-137, por apresentar-se na forma metálico e ser insolúvel em água (SILVA & ROZA, 2010).

Em alimentos, o Co-60 e o feixe de elétrons são as fontes de radiação mais usadas. O Co-60 é o responsável pela geração do raio gama, enquanto que o feixe de elétrons é gerado por um acelerador linear, que utiliza da eletricidade para geração dos elétrons.

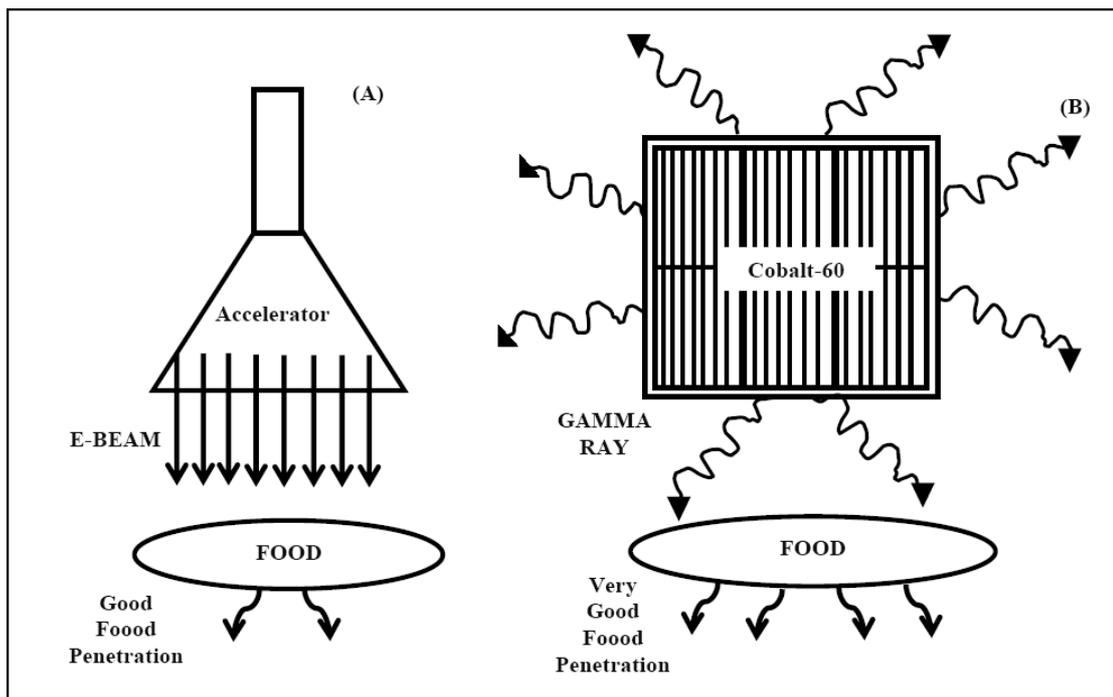
Atualmente é crescente o uso do feixe de elétrons para a irradiação de alimentos, devido à simplicidade de operação e baixo custo do processo em comparação com a irradiação por Co-60. Fácil manuseio, fonte não necessita de recarga, é facilmente disponível, pode ser desligada e não usa material radioativo, são alguns benefícios de feixe de elétrons em comparação com o Co-60 (Quadro 1).

Tais fatores têm contribuído para o aumento do uso de feixe de elétrons em alimentos e podem contribuir para a construção de irradiadores em portos para tratamento de alimentos para exportação (VILLAVICENCIO et al., 2007; MOSTAFAVI et al., 2012). Para Bigolas et al. (2002) instalações com aceleradores de elétrons têm aumentado em comparação às instalações com Co-60.

**Quadro 1** Comparativo das fontes Co-60 e feixe de elétrons (OLIVEIRA et al., 2014)

<b>Parâmetros</b>	<b>Raio Gama</b>	<b>Feixe de elétrons</b>	<b>Referências</b>
<b>Tempo de irradiação</b>	+ demorado	+ rápido	Tsai, 2006
<b>Doses (kGy)</b>	Maiores doses	Menores doses	Tsai, 2006; Carocho et al., 2012
<b>Fonte</b>	Utiliza material radioativo	Utiliza eletricidade para geração dos elétrons	Villavicencio et al., 2007
<b>Flexibilidade</b>	Inflexível: não pode ser desligado	Flexível: pode ser desligado (desperdício minimizado)	Mostafavi et al., 2012; Tahergorabi et al., 2012
<b>Penetrabilidade</b>	Boa penetração	Reduzido poder de penetração	Blank & Corrigan, 1995; Aquino, 2011; Madhu et al., 2012

Entre as diferenças do feixe de elétrons e o raio gama está o poder de penetração nos produtos. O reduzido poder de penetração do feixe de elétrons, em comparação com outros tipos de radiação ionizante é devido os elétrons serem facilmente atenuados e dispersados pelo alimento (Figura 4). Os elétrons podem penetrar eficazmente cerca de 8 a 10 cm do alimento, dependendo da densidade do alimento. Portanto, as dimensões do alimento devem ser levadas em consideração antes do uso do feixe de elétrons (TAHERGORABI et al., 2012). Para Calenberg et al. (1999), apesar da profundidade restrita, o feixe de elétrons é uma boa alternativa à radiação gama.



**Figura 4** Poder de penetração em alimentos do feixe de elétrons gerado por um acelerador (A) e do raio gama gerado pelo isótopo radioativo cobalto-60 (FREITAS-SILVA et al., 2015).

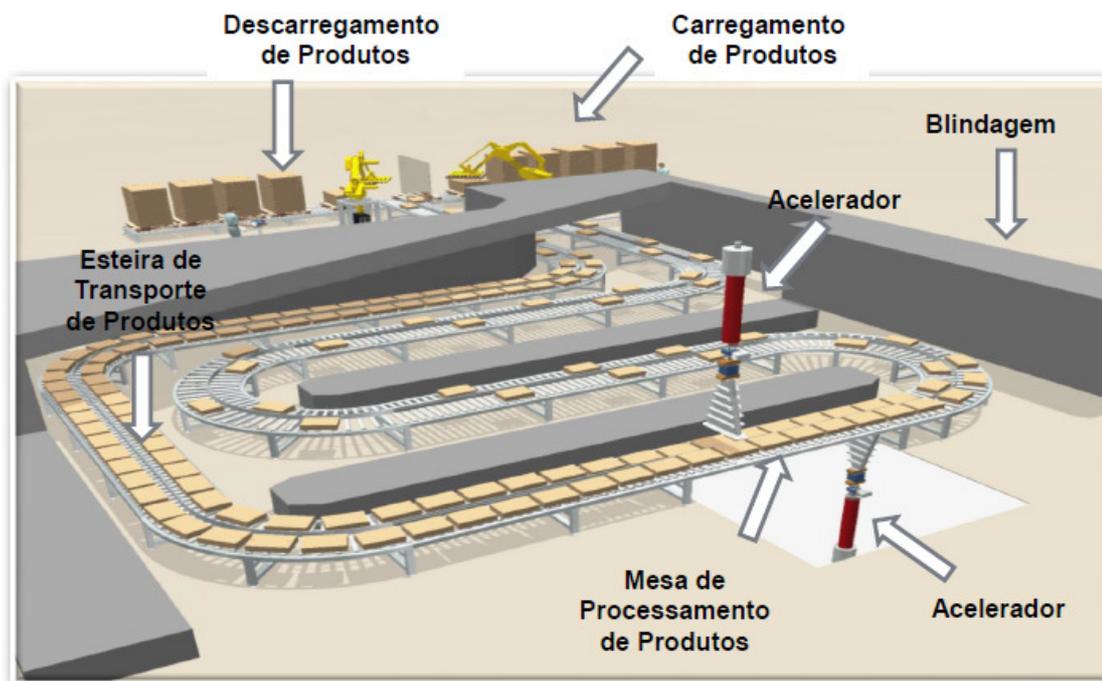
Em relação ao tempo da irradiação, a adoção do feixe de elétrons é um processo mais rápido em relação à por Co-60, devido à alta intensidade dos elétrons gerados pelo acelerador, com isso a redução do tempo de exposição, diminuindo os efeitos de degradação do produto (BIGOLAS et al., 2002).

Outro ponto de diferença entre as radiações ionizantes é quanto ao material usado para geração da radiação. No caso do raio gama, é utilizado material radioativo, o Co-60, enquanto que para a geração do feixe de elétrons, é a corrente elétrica, uma fonte mais popular.

Com relação à dose de irradiação, Carochi et al. (2012) observaram em castanhas uso de menor dose para obter o mesmo resultado, maior conteúdo de compostos fenólicos e maior atividade antioxidante, quando o feixe de elétrons foi usado em comparação com a radiação gama. O feixe de elétrons tem maior eficiência do que o raio gama, pois os elétrons podem ser direcionados diretamente para o produto ou microrganismo, enquanto que o raio gama é emitido em todas as direções (Figura 5) (BLANK & CORRIGAN, 1995).

### 1.4.3 Irradiação de alimentos por feixe de elétrons

Os alimentos chegam à área de irradiação transportados por um sistema de esteiras (Figura 5), o qual garante o correto posicionamento dos produtos para uma irradiação uniforme e eficiente (ACELÉTRON, 2015). Na sala de irradiação, os alimentos são expostos por determinado período de tempo ao feixe de elétrons.



**Figura 5** Sistema de transporte de produtos na área de irradiação (ACELÉTRON, 2015)

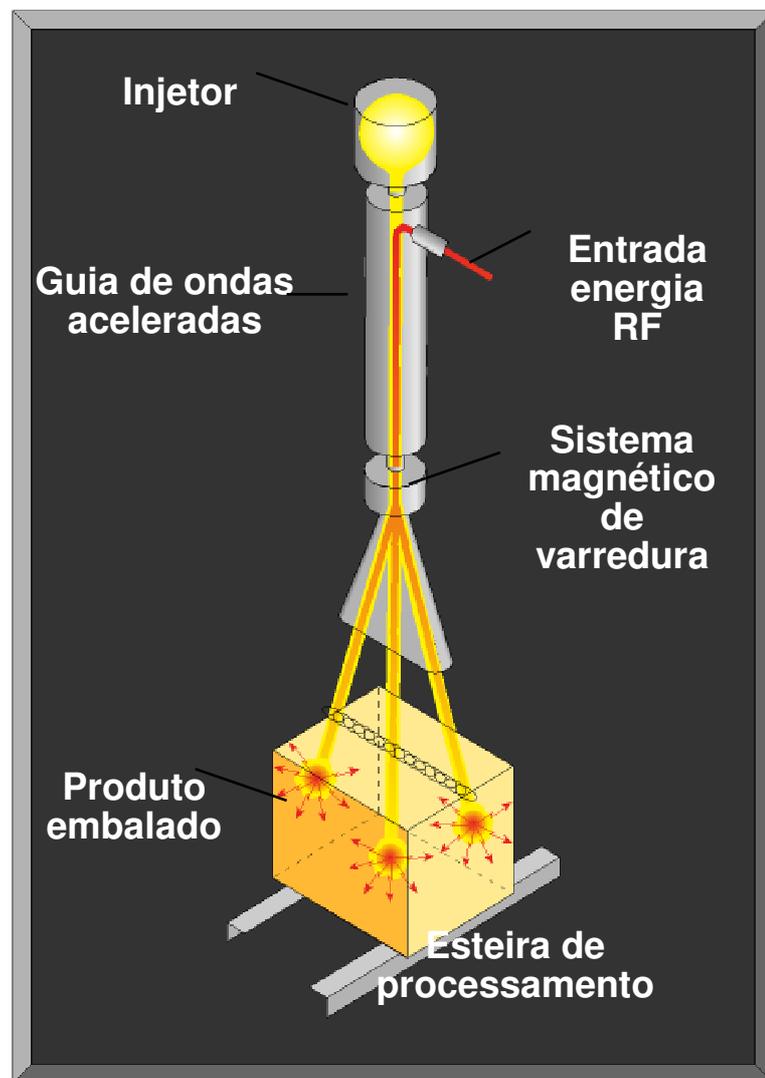
A quantidade de radiação absorvida pelo alimento é medida em kiloGrays (kGy) (*Grays*: a quantidade de energia por unidade de massa) e é determinada pelo tempo em que o alimento fica exposto ao feixe de elétrons (SATIN, 2002; BREWER, 2009). Ajustes na velocidade da esteira transportadora controlam o tempo de exposição do produto ao feixe de elétrons.

A dose empregada ao alimento deve ser um equilíbrio entre o que é necessário para atingir o objetivo do tratamento e o que pode ser tolerado pelo alimento sem alterar suas características sensoriais (FARKAS, 2006; MORENO et al., 2007; FOLLETT & WEINERT, 2012). Algumas doses de radiação por feixe de elétrons são conhecidas baseadas na finalidade de uso da irradiação em alguns alimentos, conforme ilustradas no Quadro 2.

**Quadro 2** Doses de radiação estabelecidas para uso em alguns alimentos (OLIVEIRA et al., 2014).

Finalidade de uso	Dose necessária (kGy)	Referência
Desinfestação de tâmaras	1,0	Al-Farisi et al., 2013
Descontaminação de pedaços de carne	1,0	Kundu et al., 2014
Aumento da vida útil de mirtilos	1,6	Moreno et al., 2007 <sup>a</sup>

O acelerador linear de elétrons é o componente principal do sistema de irradiação de alimentos por feixe de elétrons (Figura 6). Nele os elétrons são gerados, através de corrente elétrica, são concentrados na forma de feixe e acelerados (MADHU et al., 2012).



**Figura 6** Acelerador linear de elétrons (LINAC) (ACELETRON, 2015).

O acelerador de elétrons para uso na irradiação de alimentos deve ser compacto e relativamente barato para atender tal demanda em desenvolvimento, a qual exigirá grandes quantidades de máquinas simples e confiáveis com energia de elétrons de 5-10MeV e potência do feixe de elétrons de 150kW ou mais (AUSLENDER et al., 2002).

O uso de aceleradores de elétrons vem crescendo no mundo inteiro, sendo que até 2012 existiam na América Latina e no Caribe 24 e 16 aceleradores industriais de feixe elétrons, respectivamente, com energia de 200keV a 10MeV, operando em empresas privadas e instituições governamentais (CALVO et al., 2012). Até este ano Brasil era o país com maior número de aceleradores num total de nove (Quadro 3).

**Quadro 3** Aceleradores industriais de elétrons no Brasil (CALVO et al., 2012)

<b>Companhia</b>	<b>Modelo</b>	<b>Energia (keV)</b>	<b>Aplicação</b>
<b>IPEN-CNEN/SP and Cofibam</b>	JOB 188	1500	R e D e Reticulação
<b>Antilhas Embalagens</b>	EZCure I	110	Cura
<b>Bridgestone–Firestone</b>	EC/300-1 e 2	300	Reticulação
<b>CryovacBrasil</b>	ECLU-1, 2, 3 e 4	500	Reticulação
<b>Unipac Embalagens</b>	CB200/060/070	210	Cura
<b>Curwood Itap</b>	Broad Beam-1 e 2	300	Cura
<b>Acome do Brazil</b>	DPC 1000	550	Reticulação de fios e cabos elétricos
<b>Prysmian</b>	JOB 308	1500	Reticulação de fios e cabos elétricos
<b>Aceletron</b>	LINAC-1 e 2	10,000	Irradiação de alimentos, Melhoria de pedras preciosas, Radioesterilização de descartáveis médicos, Cosméticos, Modificação de polímeros

Atualmente está em desenvolvimento no Brasil o Projeto Sirius do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) em Campinas para a construção de um dos mais poderosos aceleradores de elétrons (FLÓRIO, 2013). Com previsão para inauguração em 2016 o acelerador é apontado como um dos maiores projetos da ciência brasileira.

As principais vantagens dos aceleradores usados para a irradiação de alimentos são: geração de feixe de elétrons com alta intensidade, penetração de elétrons e zona de irradiação bem definidas, simplicidade de alteração nos parâmetros e processos de controle do acelerador e possibilidade de rápido desligamento do dispositivo (BIGOLAS et al., 2002). O elevado rendimento do acelerador torna o processo mais eficaz e reduz os custos.

#### 1.4.4 Ação sobre a qualidade dos alimentos

O feixe de elétrons age sobre o alimento de maneira a preservar sua qualidade. Entretanto, existem alguns casos de alterações na qualidade do alimento submetido à irradiação por feixe de elétrons (LÓPEZ-GÓMEZ et al., 2009; AQUINO, 2011), modificações que podem ser em maior ou menor extensão em função da dose utilizada. Quanto menor a dose, menores serão as alterações nos parâmetros de qualidade do alimento.

O aumento da temperatura do alimento não é notado, visto que a maior parte da energia da radiação absorvida (dose) pelo alimento é usada na geração de radicais livres e na indução de reações químicas entre radicais ou entre radicais e outras moléculas, uma fração mínima da energia absorvida é convertida para energia térmica (SIDDHURAJU et al., 2002).

Até a dose estabelecida como segura para uso em alimentos (10 kGy), geralmente, a maioria dos micronutrientes (hidrossolúveis e vitaminas lipossolúveis) e os macronutrientes (carboidratos, e proteínas e gorduras) não são afetados pela radiação ionizante (MOSTAFAVI et al., 2012). Tais doses parecem ser eficazes na inativação de alguns antinutrientes, tais como os inibidores de proteases, lectinas, ácido fítico, polissacarídeos não-amiláceos e oligossacarídeos, sem alterar a qualidade nutricional dos alimentos (SIDDHURAJU et al., 2002).

Carocho et al. (2012) consideram o feixe de elétrons como uma alternativa valiosa para a conservação de castanhas, visto que não houve alterações significativas na composição de ácidos orgânicos, compostos antioxidantes e nutricionais presentes no alimento nas doses testadas.

Em damascos frescos, o feixe de elétrons aplicado nas doses entre 1 e 3kGy mostrou ser benéfico para manter altos níveis de  $\beta$ -caroteno, ácido ascórbico, acidez titulável, açúcares totais e cor, sem causar qualquer alteração significativa sobre as propriedades sensoriais, além de redução do número de microrganismos viáveis para níveis abaixo do detectável com a dose de 3,0kGy (WEI et al., 2014).

Moreno et al. (2007<sup>b</sup>) observaram que em mangas irradiadas até a dosagem de 3,0kGy não causaram prejuízos sobre a qualidade sensorial e química das frutas, e recomendam dosagens superiores a 1kGy para a descontaminação de mangas.

Aumento no teor da maioria dos compostos aromáticos foi observado em trufas *Tuber melanosporum* irradiadas por feixe de elétrons na dose de 1,5kGy (CULLERÉ et al., 2012). Em maçã, o feixe de elétrons na dose de 1kGy é um método aceitável para descontaminação, não promovendo grandes alterações quantitativas de compostos orgânicos voláteis (SONG et al., 2012).

Em uma formulação à base de ervas, chyavanaprash, muito usada na Índia por seu valor nutricional, o uso do feixe de elétrons nas doses de 7,5 e 10kGy não causou qualquer alteração significativa nas propriedades químicas e sensoriais do produto, e em relação a análise microbiológica, a carga bacteriana e fúngica foram totalmente ausente nas duas doses (RAMATHILAGA & MURUGESAN, 2011).

O feixe de elétrons traz benefícios na grande maioria dos alimentos irradiados, porém existem alguns alimentos sensíveis à radiação ionizante, o que torna necessário a realização de testes de qualidade antes do uso do tratamento.

Radicais livres foram encontrados em tâmaras irradiadas por feixe de elétrons na dose de 2kGy, entretanto foi observado que os radicais livres são de curta duração e se rearranjaram ao longo do tempo de armazenamento das tâmaras (AL-FARISI et al., 2013). No entanto, a produção de radicais livres não é exclusividade da irradiação, o cozimento e a pasteurização de alimentos também produzem radicais livres (SIDDHURAJU et al., 2002).

Villavivencio et al. (2007) observaram dano no DNA e no crescimento radicular de soja tratada por feixe de elétrons a partir da dose de 1kGy, sendo o dano diretamente proporcional ao aumento da dose de irradiação. Doses superiores a 5kGy causaram perda de viabilidade das sementes.

#### **1.4.5 Ação sobre microrganismos e insetos**

Sobre os microrganismos, o feixe de elétrons pode agir de forma direta e indireta (AQUINO, 2011; HALLMAN, 2013; MARUTHI, 2013; TESFAI et al., 2014).

Na forma direta, os elétrons agem sobre os átomos das moléculas dos microrganismos, causando a desintegração das moléculas biológicas essenciais, tais como DNA, RNA, enzimas e proteínas de membrana. No DNA, os elétrons tem a capacidade de quebrar as ligações entre as bases Guanina (G) e Citosina (C) e as bases Adenina (A) e Timina (T), resultando na desintegração da dupla hélice do DNA e, por conseguinte, as células microbianas se tornam incapazes de reproduzir, o que é considerado morte celular reprodutiva (TAHERGORABI et al., 2012; KUNDU, 2014).

Efeitos indiretos são devido à formação de radicais livres, gerados durante a interação do feixe de elétrons com a molécula de água, processo conhecido por radiólise da água (TAHERGORABI et al., 2012; AL-FARISI et al., 2013; MARUTHI et al., 2013). Os radicais livres são moléculas altamente reativas, as quais causam danos às células dos microrganismos, levando a morte celular.

Os efeitos da dose de feixe de elétrons sobre os microrganismos dependem da taxa de absorção, dose total absorvida, bem como das condições ambientais, tais como temperatura, presença de gás e outras, durante o processo de irradiação (BREWER, 2009). A diferença de sensibilidade à radiação ionizante entre os microrganismos varia em função das diferenças químicas e físicas de suas estruturas, e também em função da capacidade de recuperação de cada um ao dano causado pela radiação (MOSTAFAVI et al., 2012; TAHERGORABI et al., 2012; CAC, 2013).

A dose letal de radiação pode variar de acordo com o organismo. Os fungos são mais resistentes a doses de radiação ionizante do que formas vegetativas de bactérias, e as leveduras são mais resistentes do que os fungos filamentosos (AQUINO, 2011; MOSTAFAVI et al., 2012). Resistência à dose de feixe de elétrons de 1,5kGy foi observado em espécies de leveduras *Candida sake* e *Candida santamariae* var. *membranifaciens* (RIVERA et al., 2011). Os fungos *Fusarium* sp. e *Alternaria* sp. são mais resistentes à radiação do que *Penicillium* sp. e *Aspergillus* sp., pois eles têm esporos multicelulares. Assim, a sobrevivência de apenas uma célula ao feixe de elétrons pode dar ao esporo a capacidade de germinação (MOSTAFAVI et al., 2012) mesmo que retardada.

Em insetos, a radiação também age a nível celular, em regiões do organismo de contínua divisão celular, como nos sistemas reprodutor e digestivo, interrompendo as funções reprodutivas e de alimentação dos insetos, impedindo a reprodução e o completo desenvolvimento (HALLMAN, 2013).

#### **1.4.6 Usos da irradiação por feixe de elétrons**

Estudos apontam a irradiação por feixe de elétrons como um tratamento eficaz e seguro para aplicação em frutas e hortaliças para o controle de pragas e microrganismos causadores de doenças, além de aumentar a vida útil do vegetal.

## **Inativação Bacteriana**

Trinetta et al. (2011) testaram a eficiência da irradiação por feixe de elétrons para o controle de doenças de origem alimentar, causadas principalmente pelas bactérias *Salmonella enterica* e *Escherichia coli* O157:H7, e verificaram que o tratamento tem potencial para a redução de *S. enterica* em sementes de melão e tomate e de *E. coli* em sementes de alface. Resultado semelhante foi obtido por Rodriguez et al. (2006) que testaram o uso da irradiação por feixe de elétrons para o controle de bactérias patogênicas.

Segundo Tahergorabi et al. (2012), o feixe de elétrons tem potencial para o controle de *Salmonella* em produtos frescos frutas e hortaliças, produtos alimentícios que não podem ser submetidos à tratamentos térmicos, como a pasteurização e esterilização. A *Salmonella* é uma importante agente causador de doenças transmitidas por alimentos em todo o mundo.

Brescia et al. (2003) destacam a capacidade da irradiação por feixe de elétrons como um tratamento capacitado para a redução de microrganismos patogênicos presentes nas superfícies de frutas e hortaliças.

## **Redução Fúngica**

Sanchez-Bel et al. (2005) observaram a eficiência da irradiação de amêndoas por feixe de elétrons na dosagem de 3kGy para o controle do fungo *Aspergillus*, produtor da micotoxina aflatoxina, com preservação das características sensoriais das amêndoas tratadas. Han et al. (2004) também observaram efeito fungicida da irradiação por feixe de elétrons na dosagem aplicada de 1,0kGy em alfaces minimamente processados, sem interferências nas características sensoriais do produto.

A dose de irradiação por feixe de elétrons de 10kGy em feijão *Canavalia marítima* foi eficaz para a descontaminação fúngica e melhoria da vida útil dos grãos, em comparação com grãos sem irradiação, em que foi observado o crescimento dos fungos *Aspergillus niger*, *Aspergillus flavus*, *Penicillium chrysogenum* e *Aspergillus ochraceus* (SUPRIYA et al., 2014).

A redução de *Fusarium* foi observada em grãos de cevada submetidos ao feixe de elétrons nas doses entre 6 e 8kGy com efeitos mínimos sobre a qualidade do malte (KOTTAPALLI et al., 2006).

O controle do crescimento de *Phakopsora pachyrhizi*, fitopatógeno agressivo causador da doença ferrugem da soja, foi observado em soja irradiada por feixe de elétrons na dose de 6kGy, apesar de ser detectada a presença do DNA do patógeno nas amostras analisadas, não houve a reinfecção do mesmo (VILLAVICENCIO et al., 2007).

Alguns fungos, além de causadores de doenças em plantas são produtores de micotoxinas, as quais se constituem um risco para os consumidores. São exemplos fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Fusarium* os fungos mais frequentemente isolados de alimentos e grãos. Em condições de armazenamento *Aspergillus* e *Penicillium* são predominantes, enquanto que *Fusarium* spp, é um importante patógeno de plantas (AQUINO, 2011).

A irradiação por feixe de elétrons também tem mostrado ser eficaz na redução de micotoxinas, conforme ilustrado no Quadro 4.

**Quadro 4** Doses de feixe de elétrons necessárias para inativação de micotoxinas em alguns alimentos (OLIVEIRA et al., 2014).

Micotoxina	Matriz	Doses de feixe de elétrons (kGy)	Referência
<b>Aflatoxinas B1 and B2</b>	Feijão	10	Tesfai et al., 2014
<b>Aflatoxina B1</b>	Sementes de lotus	10-15	Bigolas et al., 2002
<b>Aflatoxinas B1 e total</b>	Farinha de amêndoa	1.5	Madhu et al., 2012

### Redução de insetos

Em tâmaras secas foi observado eficácia da irradiação por feixe de elétrons na dose de 1kGy para o controle de todas as fases de vida do besouro *Oryzaephilus surinamensis*, além da redução da carga microbiana e manutenção dos compostos antioxidantes (AL-FARISI et al., 2013).

Larvas do cartucho (*Spodoptera litura*) foram totalmente controladas quando submetidas a irradiação por feixe de elétrons na dose de 0,15kGy, enquanto que os ovos tiveram a eclosão inibida em doses acima de 0,1kGy (YUN et al., 2014). Porém, sobre os adultos, a irradiação por feixe de elétrons na dose de 0,20kGy não resultou na morte imediata, mas impediu a geração F1 destes insetos.

Follett (2006) estudou o efeito da irradiação por feixe de elétrons sobre as fases de vida da cochonilha branca, uma praga quarentenária do mamão, e verificou eficácia do tratamento na dose de 0,15kGy, considerando essa dosagem segura para o controle desta cochonilha.

Yun et al. (2014) consideram a irradiação de elétrons uma tecnologia ideal para desinfestação de pragas agrícolas, pois é eficaz contra a maioria dos insetos em doses que não afetam a qualidade da maioria das commodities, podendo ser usada como tratamento fitossanitário para o controle de pragas.

### Aumento da vida útil

Moreno et al. (2007<sup>a</sup>) observaram aumento da vida útil de mirtilos irradiados por feixe de elétrons, devido a redução da taxa respiratória dos frutos tratados, e nenhuma interferência sobre a densidade, pH, atividade de água, teor de umidade, acidez e suculência dos frutos irradiados até a dosagem de 1,6kGy, sendo esta considerada uma dosagem viável para a descontaminação de mirtilos com preservação de sua qualidade.

Resultado diferente foi encontrado em damasco 'Búlida' em que a irradiação dos frutos por feixe de elétrons nas dosagens de 0,5 e 1,0kGy não foi eficaz para aumentar a vida útil, visto que os mesmos tiveram perda de firmeza quando comparados com os do controle, apesar de ter havido redução na produção de etileno durante o período de armazenamento (EGEA et al., 2007). Em relação à perda de firmeza, resultado diferente foi encontrado em cogumelos comestíveis, mostrando a eficácia do tratamento irradiação por feixe de elétrons,

quanto ao aumento da vida de prateleira, na dosagem aplicada de 2kGy, como resultado da manutenção da textura pós-colheita dos cogumelos (DUAN et al., 2010).

Baseado nos resultados existentes, a irradiação de frutas tem demonstrado potencial para substituir os tratamentos usuais na pós-colheita de frutas para a exportação, o tratamento térmico e o banho em calda fungicida, aplicados para o controle de moscas-das-frutas e podridões causadas por fungos, respectivamente.

#### **1.4.7 Aspectos de segurança e toxicidade**

No ano de 1981 foi estabelecido em um comitê realizado em Genebra, pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), Agência Nacional de Energia Atômica (IAEA) e Organização Mundial da Saúde (OMS) que a irradiação de qualquer produto alimentar até uma dose média total de 10kGy não representa risco de toxicidade, não necessitando de testes toxicológicos de alimentos assim tratados (WHO, 1981).

Durante a irradiação dos alimentos em momento algum o alimento entra em contato com a fonte de radiação, portanto alimentos irradiados não oferecem risco radiativo aos consumidores, e ainda no caso de uso do feixe de elétrons, material radioativo não é usado. São baixas as doses de radiação aplicadas aos alimentos, resultando em pequenas alterações na qualidade do alimento (FREITAS-SILVA et al., 2015).

#### **1.4.8 Regulamentação**

Vários países têm aprovações regulamentares em vigor para a irradiação de um ou mais produtos alimentícios, sendo a China o país mais importante no uso de irradiadores de alimentos com mais de duzentas instalações (MOSTAFIVI et al., 2012). No mundo, a irradiação de alimentos é aprovada para uso em mais de sessenta países.

Com a finalidade de controlar insetos em produtos armazenados, a irradiação é permitida atualmente em trinta e três países, sendo que quatorze países aprovaram o uso para todos os produtos armazenados, mas apenas alguns deles têm comercialmente produtos de armazenamento irradiados (HALLMAN, 2013).

### **1.5 Tratamento Hidrotérmico**

Muito usado em frutas para o controle de larvas de mosca-das-frutas (ALBERGARIA et al., 2007; LOPES et al., 2008; VIEIRA et al., 2008) e de microrganismos (LIMA et al., 2007; PESSOA et al., 2007; BRITO et al., 2008), o tratamento hidrotérmico é baseado no uso de água aquecida em dada temperatura e imersão dos frutos por determinado tempo, temperatura esta responsável pelo controle de pragas agrícolas e microrganismos.

O uso de altas temperaturas para o tratamento de frutas age sobre a atividade celular dos microrganismos, sendo que para a maioria dos microrganismos fitopatogênicos o ponto térmico letal encontra-se na faixa de 45 a 60°C (BRITO et al., 2008).

Alterações indesejáveis podem ocorrer em função do uso de altas temperaturas em frutas, conforme encontrado em goiabas ‘Paluma’ por Pessoa et al. (2007), as quais mostraram maiores índices de severidade de antracnose após o tratamento, provavelmente devido ao estresse ocasionado pelo uso de alta temperatura (53°C) às frutas, tornando-as mais susceptíveis ao ataque de *C. gloeosporioides*. Redução da vida útil de mamões tratados hidrotermicamente (40°C por vinte minutos) foi observada por Silva et al. (2003). Em

maracujás-amarelo tratados hidrotêrmicamente, Venâncio et al. (2013) não verificaram alterações indesejáveis, porém, o tratamento não foi eficaz para retardar a senescência dos frutos tratados nas condições testadas.

O manejo inadequado da temperatura durante o tratamento hidrotêrmico pode causar injúrias hipertêrmicas em frutas, tais como colapso da polpa, frutos sem sabor e em casos mais severos, haver produção de acetaldeído e etanol, produtos tóxicos para a polpa (LIMA et al., 2007). Venâncio et al. (2013) destacam ainda que o tratamento hidrotêrmico não controla totalmente as podridões pós-colheita em frutas e não possui efeito residual.

Segundo Moy & Wong (2002), os processos usuais de tratamento dos frutos, como o tratamento térmico, perdem para a irradiação em termos de tempo necessário para efetivação do processo, visto que a irradiação é um processo relativamente rápido, além de eficaz e conservador da qualidade do produto. No caso dos processos químicos de descontaminação de alimentos, eles podem deixar resíduos, causar efeitos indesejáveis e uma grande parte deles atualmente tem uso proibido (FREIRE-JUNIOR & VITAL, 2003). Venâncio et al. (2013) destacam que o uso de produtos químicos para estender a vida útil após a colheita de produtos agrícolas têm sido a estratégia mais utilizada, se tornando preocupante sob o ponto de vista da saúde e segurança dos consumidores.

Bustos-Griffin et al. (2012) defendem a ideia de que a irradiação usada como método fitossanitário é um tratamento viável frente aos tratamentos usuais existentes, como fumigantes químicos proibidos pela legislação, porém o uso para essa finalidade ainda é restrito. Apenas sete países atualmente participam do comércio de produtos hortícolas irradiados, como importadores: Nova Zelândia e Estados Unidos e como exportadores: Austrália, Índia, Tailândia, Vietnã e México.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACELETRON IRRADIAÇÃO INDUSTRIAL. Disponível em: <http://www.aceletron.com.br/> Acesso em: 24 jun. 2015.
- ALBERGARIA, N. M. M. S.; DÓRIA, H. O. S.; BORTOLI, S. A.; ARTHUR, V. Tratamento hidrotérmico de frutos de laranjeira (*Citrus sinensis*) Var. 'Valência', visando ao controle de ovos e larvas de *Ceratitis capitata* (Wied., 1824) (Diptera: Tephritidae). **Científica**, v.35, n.2, p.146-154, 2007.
- AL-FARISI, M.; ABUAGLA, A.; MOHAMED, E.; GOHS, U. The effect of electron beam on dates infestation. **Food Control**, v. 33, p. 157-161, 2013.
- ANDRADE, E. M.; UESUGI, C. H.; UENO, B.; FERREIRA, M. A. S. V. Caracterização morfocultural e molecular de isolados de *Colletotrichum gloeosporioides* patogênicos ao mamoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 32, p. 21- 31, 2007.
- AQUINO, S. Gamma radiation against toxigenic fungi in food, medicinal and aromatic herbs. In: Méndez-Vilas A (Ed). **Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances**. Badajoz, Spain, 2011. p. 272-281.
- ARAÚJO, L. C. Baixa qualidade desvaloriza mamão em 2014. In: BOTEON, M. (Ed). **Anuário 2014-2015**. Hortifruti Brasil. Piracicaba: CEPEA - ESALQ-USP. 2015. p. 44-45.
- ARAÚJO, L. C. Baixa qualidade desvaloriza mamão em 2014. In: BOTEON, M. (Ed). **Anuário 2014-2015**. Hortifruti Brasil. Piracicaba: CEPEA - ESALQ-USP. 2015. p. 44-45.
- AUSLENDER, V. L.; BRYAZGIN, A. A.; FAKTOROVICH, B. L.; GORBUNOV, V. A.; KOKIN, E. N.; KOROBENIKOV, M. V.; KRAINOV, G. S.; LUKIN, A. N.; MAXIMOV, S. A.; NEKHAEV, V. E.; PANFILOV, A. D.; RADCHENKO, V. N.; TKACHENKO, V. O.; TUVIK, A. A.; VORONIN, L. A. Accelerators for Feixe de elétrons and X-ray processing. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 613-615, 2002.
- BEHRENS, J. H.; BARCELLOS, M. N.; FREWER, L. J.; NUNES, T. P.; LANDGRAF, M. Brazilian consumer views on food irradiation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 10, p. 383-389, 2009.
- BERILLI, S. S.; OLIVEIRA, J. G.; MARINHO, A. B.; LYRA, G. B.; SOUSA, E. F.; VIANA, A. P.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M. G. Avaliação da taxa de crescimento de frutos de mamão (*Carica papaya* L.) Em função das épocas do ano e Graus-dias acumulados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 11-14, 2007.

- BIGOLAS, J.; KULINSKI, S.; MACISZEWSKI, W.; PACHAN, M.; PLAWSKI, E.; ZIMEK, Z. Current approach to design of high-power electron accelerators to match actual requirements of radiation technology in Poland. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 595-599, 2002.
- BLANK, G.; CORRIGAN, D. Comparison of resistance of fungal spores to gamma and electron beam radiation. **Food Microbiology**, v. 26, p. 269-277, 1995.
- BRAPEX. **Associação Brasileira de Exportadores de Papaya**. Linhares. Disponível em: <[http://www.brapex.net/2013/informativos/Informe\\_Brapex\\_Edicao\\_57.pdf](http://www.brapex.net/2013/informativos/Informe_Brapex_Edicao_57.pdf)> Acesso em: 26 jun. 2015.
- BRAPEX. **Associação Brasileira de Exportadores de Papaya**. Linhares. Disponível em: <[http://www.brapex.net/2013/informativos/Informe\\_Brapex\\_Edicao\\_37.pdf](http://www.brapex.net/2013/informativos/Informe_Brapex_Edicao_37.pdf)> Acesso em: 26 jun. 2015.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21\\_01rdc.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm)> Acesso em: 17 out. 2011.
- BRASÍLIA. Decreto nº 72.718, de 29 de Agosto de 1973. Disponível em: <<http://www2.camara.gov.br/legin/fed/decret/1970-1979/decreto-72718-29-agosto-1973-421113-publicacaooriginal-1-pe.html>> Acesso em: 19 out. 2011.
- BRESCIA, G.; MOREIRA, R.; BRABY, L.; CASTELL-PEREZ, E. Monte Carlo simulation and dose distribution of low energy electron irradiation of an apple. **Journal of Food Engineering**, v. 60, p. 31-39, 2003.
- BREWER, M. S. Irradiation effects on meat flavor: A review. **Meat Science**, v. 81, p. 1-14, 2009.
- BRITO, C. H.; COSTA, N. P.; BATISTA, J. L.; NASCIMENTO, L. C.; OLIVEIRA, H. D.; BARRETO, E. S. Termoterapia para o controle de patógenos em pós-colheita em frutos da cajazeira. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 19-23, 2008.
- BRON, I. U. **Amadurecimento do mamão ‘Golden’: ponto de colheita, bloqueio da ação do etileno e armazenamento refrigerado**. 2006. 66p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Departamento de Fitotecnia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2006.
- BUSTOS-GRIFFIN, E.; HALLMAN, G. J.; GRIFFIN, R. L. Current and potential trade in horticultural products irradiated for phytosanitary purposes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, p. 1203-1207, 2012.
- CALENBERG, S. V.; CLEEMPUT, O. V.; MONDELAERS, W.; HUYGHEBAERT, A. Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on the microbiological quality of foodstuffs. **Lebensmittel Wissenschaft Technologie**, v. 32, p. 372-376, 1999.

- CALVO, W.A.P.; DUARTE, C. L.; MACHADO, L. D. B.; MANZOLI, J. E.; GERALDO, A. B. C.; KODAMA, Y.; SILVA, L. G. A.; PINO, E. S.; SOMESSARI, E. S. R.; SILVEIRA, C. G.; RELA, P. R. Electron beam accelerators-trends in radiation processing technology for industrial and environmental applications in Latin America and the Caribbean. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, p. 1276-1281, 2012.
- CALZADA, C. T.; TUSSELL, R. T.; CIAPARA, I. H.; BRITO, D. P. Morphological, pathological and genetic diversity of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose in papaya (*Carica papaya* L). **European Journal of Plant Pathology**, v. 135, p. 67-79, 2013.
- CAROCHO, M.; ANTONIO, A. L.; BARROS, L.; BENTO, A.; BOTELHO, M. L.; KALUSKA, I.; FERREIRA, I. C. F. R. Comparative effects of gamma and electron beam irradiation on the antioxidant potential of Portuguese chestnuts (*Castanea sativa* Mill.). **Food Chemical and Toxicology**, v. 50, p. 3452-3455, 2012.
- CASTRICINI, A. **Aplicação de revestimentos comestíveis para conservação de mamões (*Carica papaya* L.) ‘Golden’**. 2009.117p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.
- CASTRICINI, A.; RODRIGUES, M. G. V. Cultivo do mamoeiro. **Informe Agropecuário**, v. 34, n. 275, p. 1-96, 2013.
- CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; BENATO, E. A.; CAMILI, E. C.; SANTOS, C. A. Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, n. 3, p. 366-373, 2007.
- COSTA, L. C.; RIBEIRO, W. S.; ALMEIDA, E. I. B.; CARNEIRO, G. G.; BARBOSA, J. A. Procedência, qualidade e perdas pós-colheita de mamão ‘Havaí’ no mercado atacadista da Empasa de Campina Grande-PB. **Agropecuária Técnica**, v. 32, n. 1, p. 21-34, 2011.
- CULLERÉ, L.; FERREIRA, V.; VENTURINI, M. E.; MARCO, P.; BLANCO, D. Evaluation of gamma and electron-beam irradiation on the aromatic profile of black truffle (*Tuber melanosporum*) and summer truffle (*Tuber aestivum*). **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 13, p. 151-157, 2012.
- DANTAS, S. A. F.; OLIVEIRA, S. M. A.; MICHEREFF, S. J.; NASCIMENTO, L. C.; GURGEL, L. M. S.; PESSOA, W. R. L. S. Doenças fúngicas pós-colheita em mamões e laranjas comercializados na Central de Abastecimento do Recife. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 528-533, 2003.
- DUAN, Z.; XING, Z.; SHAO, Y.; ZHAO, X. Effect of electron beam irradiation on postharvest quality and selected enzyme activities of the white button mushroom, *Agaricus bisporus*. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 58, n. 17, p. 9617- 9621, 2010.

- EGEA, M. I.; MARTÍNEZ-MADRID, M. C.; SÁNCHEZ-BEL, P.; MURCIA, M. A.; ROMOJARO, F. The influence of electron-beam ionization on ethylene metabolism and quality parameters in apricot (*Prunus armeniaca* L., cv Búlida). **LWT**, v. 40, p. 1027-1035, 2007.
- FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, p. 148-152, 2006.
- FARKAS, J. Irradiation as a method for decontaminating food. **International Journal of Food Microbiology**, v. 44, p. 189-204, 1998.
- FLÓRIO, V. O acelerador Sirius: governo investe em tecnologia de ponta. **Ciência e Cultura**, v. 65, p. 10-11, 2013.
- FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. **Mamão. Pós-colheita**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 59 p. (Frutas do Brasil; 21).
- FOLLETT, P. A.; WEINERT, E. D. Phytosanitary irradiation of fresh tropical commodities in Hawaii: Generic treatments, commercial adoption, and current issues. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, p. 1064-1067, 2012.
- FOLLETT, P. A.; PHILLIPS, T. W.; ARMSTRONG, J. W.; MOY, J. H. Generic phytosanitary radiation treatment for tephritid fruit flies provides quarantine security for *Bactrocera latifrons* (Diptera: Tephritidae). **Journal of Economic Entomology**, v. 104, n. 5, p. 1509-1513, 2011.
- FOLLETT, P. A. Irradiation as a phytosanitary treatment for white peach scale (Homoptera: Diaspididae). **Journal of Economic Entomology**, v. 99, n. 6, p. 1974-1978, 2006.
- FREITAS-SILVA, O.; OLIVEIRA, P. S.; FREIRE, J. M. Potential of Electron Beams to Control Mycotoxigenic Fungi in Food. **Food Engineering Reviews**, v. 7, p. 160-170, 2015.
- FREIRE-JUNIOR, M.; VITAL, H. C. Métodos Alternativos na Conservação de Alimentos. In: MENDONÇA, R. C. S.; SILVA, K. C. B.; MOURA, K. O. A. **Microbiologia de Alimentos: qualidade e segurança na produção e consumo**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. p. 01-209.
- HALLMAN, G. J. Control of stored product pests by ionizing radiation. **Journal of Stored Products Research**, v. 52, p. 36-41, 2013.
- HAN, J.; GOMES-FEITOSA, C. L.; CASTELL-PEREZ, E.; MOREIRA, R. G.; SILVA, P. F. Quality of packaged romaine lettuce hearts exposed to low-dose electron beam irradiation. **LWT**, v. 37, p. 705-715, 2004.
- HUNTER, C. Changing attitudes to irradiation throughout the food. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 57, p. 239-243, 2000.

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em:  
<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=PA&z=t&o=11>> Acesso em 26 jun. 2015.
- IBRAF - Instituto Brasileiro de Frutas. **Panorama da cadeia produtiva das frutas em 2012**. 2013. 127p.
- JEONG, I. S.; KIM, J. S.; HWANG, I. M.; CHOI, S. H.; CHOI, J. Y.; NHO, E. Y.; KHAN, N.; KIM, B. S.; KIM, K. S. Detection of hydrocarbons induced by electron beam irradiation of almond (*Prunus amygdalus* L.) and peanut (*Arachis hypogaea*). **Korean Journal Food Science Technology**, v. 45, p. 20-24, 2013.
- KIM, H. W.; CHOI, J. H.; CHOI, Y. S.; KIM, H. Y.; HWANG, K. E.; SONG, D. H.; LEE, J. W.; KIM, C. J. Effects of electron beam irradiated natural casings on the quality properties and shelf stability of emulsion sausage. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, p. 580-583, 2012.
- KOTTAPALLI, B.; WOLF-HALL, C. E.; SCHWARZ, P. Effect of electron-beam irradiation on the safety and quality of *Fusarium*-infected malting barley. **International Journal of Food Microbiology**, v. 110, p. 224-231, 2006.
- KUME, T.; FURUTA, M.; TODORIKI, S.; UENOYAMA, N.; KOBAYASHI, Y. Status of food irradiation in the world. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 78, p. 222-226, 2009.
- KUNDU, D.; GILL, A.; LUI, C.; GOSWAMI, N.; HOLLEY, R. Use of low dose feixe de elétrons irradiation to reduce *E. coli* O157:H7, non-O157 (VTEC) *E. coli* and *Salmonella* viability on meat surfaces. **Meat Science**, v. 96, p. 413-418, 2014.
- LIMA, L. M.; MORAIS, P. L. D.; MEDEIROS, E. V.; MENDONÇA, V.; XAVIER, I. F.; LEITE, G. A. Qualidade pós-colheita do mamão formosa ‘Tainung 01’ comercializado em diferentes estabelecimentos no município de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 902-906, 2009.
- LIMA, L. C.; DIAS, M. S. C.; CASTRO, M. V.; JÚNIOR, P. M. R.; SILVA, E. B. Controle da antracnose e qualidade de mangas (*Mangifera indica* L.) cv. Haden, após tratamento hidrotérmico e armazenamento refrigerado em atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 298-304, 2007.
- LIMA, A. S.; RAMOS, A. L. D.; MARCELLINI, P. S.; BATISTA, R. A.; FARAONI, A. S. Adição de agentes antiescurecimento, antimicrobiano e utilização de diferentes filmes plásticos, em mamão minimamente processado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 149-152, 2005.
- LOPES, E. B.; BRITO, C. H.; BATISTA, J. L.; ALBUQUERQUE, I. C. Tratamento hidrotérmico na mortalidade de larvas de *Ceratitis capitata* (Weidmann, 1824) (Diptera: Tephritidae) em tangerina (*Citrus reticulata* Blanco). **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, p. 645-650, 2008.

- LÓPEZ-GÓMEZ, A.; FERNÁNDEZ, O. S.; PALOP, A.; PERIAGO, P. M.; MARTINEZ-LÓPEZ, A.; MARIN-INIESTA, F.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Food safety engineering: An emergent perspective. **Food Engineering Reviews**, v. 1, p. 84-104, 2009.
- MADHU, L. N.; KUMARI, N. S.; VIJAY, R. Validation of DNA damage progression with days after single exposure of sublethal dosage of electron beam radiation. **Journal of Applied Pharmaceutical Science**, v. 2, p. 23-26, 2012.
- MARUTHI, Y. A.; DAS, N. L.; HOSSAIN, K.; RAWAT, K. P.; SARMA, K. S. S.; SABHARWAL, S. Appliance of electron beam technology for disinfection of sewage water to minimize public health risks. **European Journal of Sustainable Development**, v. 2, p. 31-42, 2013.
- MELETTI, L. M. M.; SAMPAIO, A. C.; RUGGIERO, C. Avanços na fruticultura tropical no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Volume Especial, p. 73-75, 2011.
- MIRANDA, R. B. **A utilização do Mamão Verde na alimentação humana: uma revisão**. 2011. 28f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)- Departamento de Nutrição. Universidade de Brasília, Brasília, Brasil, 2011.
- MORENO, M. A.; CASTELL-PEREZ, M. E.; GOMES, C.; SILVA, P. F.; MOREIRA, R. G. Quality of electron beam irradiation of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) at medium dose levels (1.0-3.2 kGy). **LWT**, v. 40, p. 1123-1132, 2007<sup>a</sup>.
- MORENO, M. A.; CASTELL-PEREZ, M. E.; GOMES, C.; SILVA, P. F.; KIM, J.; MOREIRA, R. G. Optimizing electron beam irradiation of “Tommy Atkins” mangoes (*Mangifera indica* L.). **Journal of Food Process Engineering**, v. 30, p. 436-457, 2007<sup>b</sup>.
- MOSTAFAVI, H. A.; MIRMAJLESSI, S. M.; FATHOLLAHI, H. The Potential of Food Irradiation: Benefits and Limitations. In: EISSA, A. H. (Ed). **Trends in Vital Food and Control Engineering**, 2012. p. 43-68.
- MOY, J. H.; WONG, L. The efficacy and progress in using radiation as a quarantine treatment of tropical fruits-a case study in Hawaii. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 63, p. 397-401, 2002.
- NERY-SILVA, F. A.; MACHADO, J. C.; RESENDE, M. L. V.; LIMA, L. C. O. Metodologia de inoculação de fungos causadores da podridão peduncular em mamão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1374-1379, 2007.
- NERY-SILVA, F. A.; MACHADO, J. C.; LIMA, L. C. O.; RESENDE, M. L. V. Controle químico da podridão peduncular de mamão causada por *Colletotrichum gloeosporioides*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 3, p. 519-524, 2001.

- OLIVEIRA, M. A. B.; VIANNI, R.; SOUZA, G.; ARAÚJO, T. M. R. Caracterização do estágio de maturação do papaia 'Golden' em função da cor. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p. 559-561, 2002.
- OLIVEIRA, I. B.; SABATO, S. F. Dissemination of the food irradiation process on different opportunities in Brazil. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 71, p. 493-497, 2004.
- OLIVEIRA, D. S.; AQUINO, P. P.; RIBEIRO, S. M. R.; PROENÇA, R. P. C.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e atividade antioxidante de goiaba, manga e mamão procedentes da Ceasa do Estado de Minas Gerais. **Acta Scientiarum. Health Sciences**, v. 33, n. 1, p. 89-98, 2011.
- OLIVEIRA, P. S.; FREITAS-SILVA, O.; FREIRE, J. M. Uso do feixe de elétrons para redução de doenças pós-colheita em Frutas. In: LUZ, W. C. (Ed). **Revisão Anual de Patologia de Plantas**. Passo Fundo: Revisão Anual de Patologia de Plantas, 2014. p. 257-279.
- ORNELLAS, C. B. D.; GONÇALVES, M. P. J.; SILVA, P. R.; MARTINS, R. T. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, p. 211-213, 2006.
- PARKER, T. L.; ESGRO, S. T.; MILLER, S. A.; MYERS, L. E.; RUSTIN A. MEISTER, R. A.; TOSHKOV, S. A.; ENGESETH, N. J. Development of an optimised papaya pulp nectar using a combination of irradiation and mild heat. **Food Chemistry**, v. 118, p. 861-869, 2010.
- PESSOA, W. R. L. S.; LOPES, A. L.; COSTA, V. S. O.; OLIVEIRA, S. M. A. Efeito do tratamento hidrotérmico associado a indutores de resistência no manejo da antracnose da goiaba em pós-colheita. **Revista Caatinga**, v.20, n.3, p. 129-135, 2007.
- PIMENTEL, R. M. A.; MARCONDES, Y. E. M.; WALDER, J. M. M. Qualidade do mamão cv. Solo submetido ao choque térmico e tratamento quarentenário por radiação gama. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 483-487, 2007.
- PIMENTEL, R. M. A.; WALDER, J. M. M. Gamma radiation in papaya harvested at three stages of maturation. **Scientia Agricola**, v.61, n.2, p.146-150, 2004.
- RAMATHILAGA, A.; MURUGESAN, A. G. Effect of electron beam irradiation on proximate, microbiological and sensory characteristics of chyavanaprash - Ayurvedic poly herbal formulation. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 12, p. 515-518, 2011.
- RITZINGER, C. H. S. P.; SOUZA, J. S. **Mamão: Fitossanidade**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 91p. (Fruta do Brasil; 11).

- RIVERA, C. S.; VENTURINI, M. E.; MARCO, P.; ORIA, R.; BLANCO, D. Effects of electron-beam and gamma irradiation treatments on the microbial populations, respiratory activity and sensory characteristics of *Tuber melanosporum* truffles packaged under modified atmospheres. **Food Microbiology**, v. 28, p. 1252-1260, 2011.
- RODRIGUEZ, O.; CASTELL-PEREZ, M. E.; EKPANYASKUN, N.; MOREIRA, R. G.; CASTILLO, A. Surrogates for validation of electron beam irradiation of foods. **International Journal of Food Microbiology**, v. 110, p. 117-122, 2006.
- SÁNCHEZ-BEL, P.; MARTÍNEZ-MADRID, M. C.; EGEA, I.; ROMOJARO, F. Oil quality and sensory evaluation of almond (*Prunus amygdalus*) stored after electron beam processing. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 2567-2573, 2005.
- SATIN, M. Use of irradiation for microbial decontamination of meat: situation and perspectives. **Meat Science**, v. 62, p. 277-283, 2002.
- SENTANIN, M. A.; AMAYA, D. B. R. Teores de carotenoides em mamão e pêsego determinados por cromatografia líquida de alta eficiência. **Ciência e Tecnologia Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 13-19, 2007.
- SIDDHURAJU, P.; MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. The effect of ionising 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, 2002.
- SILVA, S. C. S.; MAMEDE, M. E. O.; VIANA, E. S.; DRUZIAN, J. I. Mapeamento tecnológico para projeto de pesquisa de mamão desidratado com adição de frutooligossacarídeo entre 1983 e 2012. In: **Simpósio Internacional de Inovação Tecnológica**, 6., 2013 Aracajú. *Anais...* Aracajú: Simpósio Internacional de Inovação Tecnológica, 2013, p. 796-809.
- SILVA, A. L. F.; ROZA, C. R. Uso da irradiação em alimentos: Revisão. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 49-56, 2010.
- SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.
- SILVA, K. S.; REBOUÇAS, T. N. H.; LEMOS, O. L.; BOMFIM, M. P.; BOMFIM, A. A.; ESQUIVEL, G. L.; BARRETO, A. P. P.; JOSÉ, A. R. J.; DIAS, N. O.; TAVARES, G. M. Patogenicidade causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz) em diferentes espécies frutíferas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, p. 131-133, 2006.
- SILVA, M. G.; SANTOS, E. O.; SHEL, M. S.; CARDOSO, S. L.; CAVALLI, A.; MONTEIRO, A. R.; OLIVEIRA, J. G.; PEREIRA, M. G.; VARGAS, H. Effect of heat treatment on ethylene and CO<sub>2</sub> emissions rates during papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening. **Review of Scientific Instruments**, v. 74, p. 703-705, 2003.

- SONG, H. P.; SHIM, S. L.; LEE, S. I.; KIM, D. H.; KWON, J. H.; KIM, K. S. Analysis of volatile organic compounds of 'Fuji' apples following electron beam irradiation and storage. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 81, p. 1084-1087, 2012.
- SOUZA, M. S.; AZEVEDO, I. G.; CORRÊA, S. F.; SILVA, M. G.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, J. G. Resposta da aplicação do 1-MCP em frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 693-700, 2009.
- SUPRIYA, P.; SRIDHAR, K. R.; GANESH, S. Fungal decontamination and enhancement of shelf life of edible split beans of wild legume *Canavalia maritima* by the electron beam irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 96, p. 5-11, 2014.
- TAHERGORABI, R.; MATAK, K. E.; JACZYNSKI, J. Application of electron beam to inactivate Salmonella in food: Recent developments. **Food Research International**, v. 45, p. 685-694, 2012.
- TATAGIBA, J. S.; LIBERATO, J. R.; ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; COSTA, H. Controle e condições climáticas favoráveis à antracnose do mamoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 219-222, 2002.
- TAVARES, G. M.; SOUZA, P. E. Efeito de fungicidas no controle *in vitro* de *Colletotrichum gloeosporioides*, agente etiológico da antracnose do mamoeiro (*Carica papaya* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 1, p. 52-59, 2005.
- TESFAI, A.; BEAMER, S. K.; MATAK, K. E.; JACZYNSKI, J. Effect of electron beam on chemical changes of nutrients in infant formula. **Food Chemistry**, v. 149, p. 208-214, 2014.
- TEZOTTO, J. V.; JACOMINO, A. P.; GODOY, A. E.; CERQUEIRA-PEREIRA, E. C.; GALLON, C. Z. Efeito do corte como dano mecânico na qualidade e na fisiologia de mamões 'Golden'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, volume especial, p. 241-247, 2011.
- TRINDADE, A. V. **Mamão. Produção: Aspectos Técnicos**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 77p. (Frutas do Brasil; 3).
- TRINETTA, V.; VAIDYA, N.; LINTON, R.; MORGAN, M. A comparative study on the effectiveness of chlorine dioxide gas, ozone gas and feixe de elétrons irradiation treatments for inactivation of pathogens inoculated onto tomato, cantaloupe and lettuce seeds. **International Journal of Food Microbiology**, v. 146, p. 203-206, 2011.
- VENÂNCIO; J. B.; SILVEIRA; M. V.; FEHLAUER; T. V.; PEGORARE; A. B.; RODRIGUES; E. T.; ARAÚJO, W. F. Tratamento hidrotérmico e cloreto de cálcio na pós-colheita de maracujá-amarelo. **Científica**, v. 41, n. 2, p. 122-129, 2013.

- VIEIRA, D. G.; SILVA, R. M.; FREITAS-SILVA, O.; FONSECA, M. J. O.; SOARES, A. G.; COSTA, R. A. Crescimento *in vitro* de fungos (*Colletotrichum gloeosporioides* e *Cladosporium cladosporioides*) isolados de frutos do mamoeiro, sob atmosfera controlada e refrigeração. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 3, p. 387- 390, 2006.
- VIEIRA, S. M. J.; COUTO, S. M.; CORRÊA, P. C.; SANTOS, A. E. O.; CECOM, P. R.; SILVA, D. J. P. Características físicas de goiabas (*Psidium guajava* L.) submetidas a tratamento hidrotérmico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 408-414, 2008.
- VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; FANARO, G. B.; ARAÚJO, M. M.; AQUINO, S.; SILVA, P. V.; MANCINI-FILHO, J. Detection of *Phakopsora pachyrhizi* by polymerase chain reaction (PCR) and use of germination test and DNA comet assay after feixe de elétrons processing in soybean. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 6, p. 1878-1881, 2007.
- WEI, M.; ZHOU, L.; SONG, H.; YI, J.; WU, B.; LI, Y.; ZHANG, L.; CHE, F.; WANG, Z.; GAO, M.; LI, S. Electron beam irradiation of sun-dried apricots for quality maintenance. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 97, p. 126-133, 2014.
- WHO. **Wholesomeness of irradiated food**. Report of a joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee, World Health Organization Technical Report Series, n° 659, Geneva, 1981.
- YUN, S. H.; LEE, S. W.; KOO, H. N.; KIM, G. H. Assessment of electron beam-induced abnormal development and DNA damage in *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 96, p. 44-49, 2014.
- ZUBIOLO, C.; RODRIGUES, M. A. S.; OLIVEIRA, M. C.; AQUINO, L. C. L.; NUNES, M. L.; CASTRO, A. A. Estudo do desenvolvimento de bebida láctea funcional com adição de polpa de mamão e aveia. **Scientia Plena**, v. 8, n. 3, p. 1-7, 2012.

## **CAPÍTULO I**

### **COMPARATIVO ENTRE IRRADIAÇÃO POR FEIXE DE ELÉTRONS E TRATAMENTO HIDROTÉRMICO NA QUALIDADE PÓS-COLHEITA DO MAMÃO ‘GOLDEN’**

## RESUMO

É crescente a exportação de mamão no Brasil, e como exigência fitossanitária o tratamento hidrotérmico tem sido aplicado. No entanto, outros tratamentos têm se destacado com potencial fitossanitário para o tratamento de frutas. Sabe-se da seguridade e eficácia da irradiação por feixe de elétrons no controle de pragas agrícolas, além de estender a vida útil destas frutas. Nesse sentido, os efeitos de três doses de irradiação por feixe de elétrons sobre a qualidade pós-colheita do mamão 'Golden' para exportação foram comparados aos efeitos dos frutos tratados hidrotermicamente. Parâmetros de qualidade do mamão 'Golden' irradiados por feixe de elétrons nas doses de 1, 3 e 5 kGy foram comparados aos dos frutos controle (sem irradiação) e aos dos frutos tratados à temperatura de 54°C durante três minutos. Foram avaliados os efeitos sobre as características físico-químicas, bioquímicas e fitopatológicas do mamão armazenado durante sete dias a 12°C e depois mais sete dias a 22°C. Das três doses de irradiação por feixe de elétrons testadas, a dose de 1kGy foi a que menos interferiu na qualidade do mamão 'Golden'. Comparando a dose de 1kGy com o tratamento hidrotérmico dos frutos pouca diferença foi notada nos parâmetros analisados. O aumento da temperatura de armazenamento de 12 para 22°C foi o que mais interferiu nos parâmetros analisados. Maior perda de massa foi observada em frutos tratados hidrotermicamente mantidos a 22°C, quando comparado aos demais tratamentos. A perda de firmeza dos frutos foi mais associada ao aumento da temperatura de armazenamento do que à atividade das enzimas pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG). O conteúdo de compostos fenólicos e carotenoides totais, importantes agentes antioxidantes não foram afetados pela irradiação dos frutos na dose de 1kGy, assim como não foram afetados pelo tratamento hidrotérmico dos frutos. Frutos irradiados tiveram maior degradação de clorofila total do que frutos controle e tratados hidrotermicamente, quando mantidos a 12°C, e conseqüentemente foi observada maior atividade da clorofilase nestes frutos. Frutos irradiados tiveram mudança cor da casca precoce, já no quarto dia de análise surgiram estrias amarelas nos frutos irradiados nas doses de 1 e 3kGy. Maior atividade respiratória foi observada nos frutos irradiados nas doses de 3 e 5kGy após 24 horas, em função, da dosagem usada. Podridão peduncular não foi observada em frutos tratados hidrotermicamente. A irradiação dos frutos na dose de 1kGy não foi eficaz para reduzir o número de lesões de antracnose, apesar de ter interferido no crescimento das lesões. Novas pesquisas devem ser feitas com doses de irradiação por feixe de elétrons abaixo de 1kGy com o intuito de reduzir os sintomas do crescimento dos fungos na pós-colheita do mamão 'Golden', visto a pouca influência do tratamento na sua qualidade, e, ser um tratamento prático e rápido que pode ser feito nos frutos em suas embalagens de comercialização.

**Palavras-chave:** *Carica papaya*; Tratamentos Pós-colheita; Armazenamento.

## ABSTRACT

There is a growing papaya export in Brazil, and as phytosanitary requirement the hydrothermal treatment has been applied. However, other treatments have highlighted with phytosanitary potential for the treatment of fruit. It is known the safety and efficacy of irradiation by electron beam in the control of agricultural pests, as well as extends the life of these fruits. In this sense, the effects of three doses of irradiation by electron beam on the postharvest quality of 'Golden' papaya for export were compared to the effects of fruits treated hydrothermally. Papaya quality parameters 'Golden' irradiated by electron beam at doses of 1, 3 and 5kGy were compared to those of control fruits (without irradiation) and fruit treated at a temperature of 54°C for three minutes. Evaluated the effects on the physico-chemical, biochemical and phytopathological papaya stored for seven days at 12°C and after seven days at 22°C. The three doses of electron beam irradiation tested, the dose of 1kGy was the less interfered in the quality of 'Golden' papaya. Comparing the dose of 1kGy with the hydrothermal treatment of the fruits difference little was noted in the parameters analyzed. Increased of the storage temperature from 12 to 22°C was that most affect in the analyzed parameters. Higher weight loss was observed in fruits treated hydrothermally kept at 22°C when compared to the other treatments. The loss of fruit firmness was more associated at increased storage temperature than the activities of pectinmethylesterase (PME) and polygalacturonase (PG). The content of phenolics and carotenoids, important antioxidants were not affected by irradiation of the fruits in the dose of 1kGy, and were not affected by hydrothermal treatment of the fruit. Fruits irradiated had higher chlorophyll degradation than control fruits and treated hydrothermally when kept at 12°C, and consequently there was a higher activity chlorophyllase these fruits. Irradiated fruits had color change early bark, in the fourth day of analysis emerged yellow stripes in fruit irradiated at doses of 1 and 3kGy. Increased respiratory activity was observed in the fruits irradiated at doses of 3 and 5kGy after 24 hours depending of the dosage used. Stem-end rot was observed in fruits hydrothermally treated. The irradiation of the fruit at dose of 1kGy was not effective to reduce the number of anthracnose lesions, although it interfered with the growth of the lesions. New research should be made with doses of electron beam irradiation below 1kGy in order to reduce the symptoms of fungal growth in postharvest of the 'Golden' papaya, as the little influence of treatment on their quality, and be a practical and rapid processing that can be done in the fruit in their marketing packaging.

**Key words:** *Carica papaya*; Post-harvest Treatments; Storage.

## 1 INTRODUÇÃO

É crescente a exportação de mamão no Brasil, e como exigência fitossanitária o tratamento hidrotérmico tem sido aplicado aos frutos para controle de pragas, como a mosca-das-frutas.

Outros tratamentos, no entanto, têm se destacado, como a irradiação por feixe de elétrons que também tem demonstrado potencial fitossanitário para o tratamento de frutas, por ser seguro e eficaz no controle de pragas agrícolas, além de estender a vida útil dos frutos (MORENO et al., 2007<sup>ab</sup>; FOLLETT & WEINERT, 2012; AL-FARISI et al., 2013; YUN et al., 2014).

O tratamento hidrotérmico é baseado no efeito da alta temperatura da água de imersão dos frutos para o controle fitossanitário, ao passo que, a irradiação por feixe de elétrons baseia-se nos elétrons acelerados que passam pelo alimento, sem alterar sua temperatura, com o intuito de preservar sua qualidade.

Nos últimos anos tem crescido o número de irradiadores que utilizam do feixe de elétrons para a irradiação de alimentos. Estes irradiadores são instalações mais simples do que os irradiadores por cobalto-60, o que torna possível a construção de irradiadores em locais estratégicos, tais como, centros de abastecimento de frutas ou portos (VILLAVICENCIO et al., 2007; MOSTAFAVI et al., 2012).

A irradiação por feixe de elétrons na pós-colheita de frutas é dependente do estabelecimento da dose ideal a ser aplicada, levando em consideração o objetivo pretendido e a sensibilidade do fruto.

O mamão é um fruto sensível, por ter uma casca fina e susceptível ao ataque de fungos, por ser rico em água e açúcares, fatores que o torna altamente perecível. Pensando nisso, e também no crescente aumento da exportação de mamão no Brasil, três doses de irradiação por feixe de elétrons foram testadas no mamão com a intenção de estabelecer um tratamento com potencial fitossanitário para o mamão.

Os efeitos da irradiação por feixe de elétrons sobre a qualidade pós-colheita do mamão 'Golden' para exportação foi o objetivo do trabalho. Para isto, parâmetros de qualidade do mamão 'Golden' tratados com três doses de irradiação por feixe de elétrons (1, 3 e 5kGy) foram comparados aos dos frutos controle (sem irradiação) e aos dos frutos tratados hidrotermicamente.

Foram avaliados os efeitos de diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons sobre as características físico-químicas, bioquímicas e fitopatológicas do mamão, em busca de uma dose adequada para uso na pós-colheita do mamão.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

Os mamões 'Golden', calibre 24, foram adquiridos em caixas de papelão de 10 Kg (dimensões de 59 x 29 x 13 cm) no Ceasa-RJ no dia 02/06/2014, onde foram selecionados e padronizados no 2º estágio de maturação, caracterizados por conter de 10 a 25% da coloração da casca amarela.

Atráves do código de rastreabilidade XX308270514 estabelecido pela empresa Caldara e registrado na caixa dos frutos foi possível obter todas as informações das fases de pré e pós-colheita dos mamões.

Eles foram produzidos na Fazenda paraíso, talhão INT06, Vila Valério-ES, localizada na latitude de 19°1'53.86"S e longitude de 40°19'19.06"O e colhidos no 1º estágio de maturação, dia 27/05/2014 no período da manhã, sendo a média da temperatura e umidade relativa do ar para a região no mês da colheita de 22°C e 85%, respectivamente.

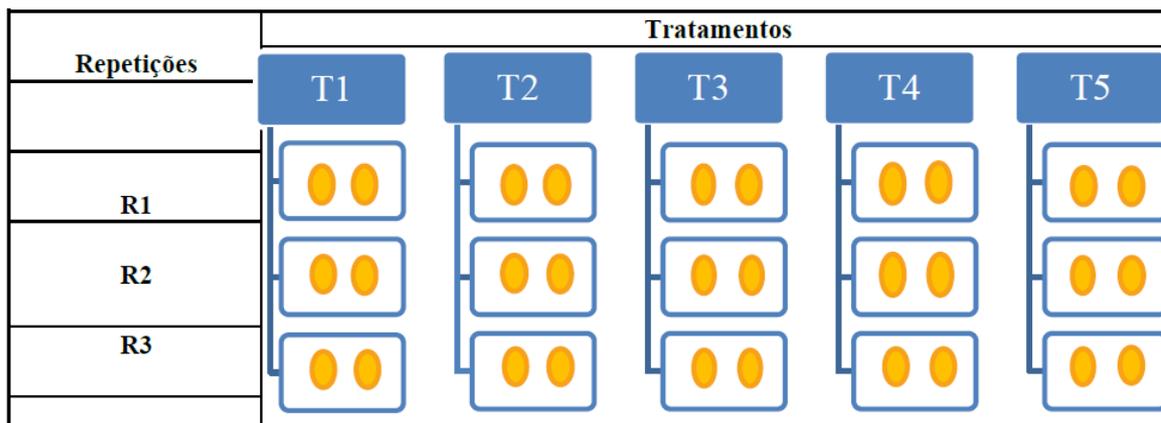
De forma preventiva, visando à comercialização, nos meses de fevereiro e abril antes da colheita, os frutos foram tratados com os fungicidas Azoxistrobina + Difenconazol para o controle de antracnose; nos meses de abril e maio foram tratados com Clorotalonil, Azoxystrobina e Mancozeb para o controle da doença pinta preta. Para o controle de cigarrinha e ácaro branco foram usados os inseticidas Tiametoxan e Bifentrina, respectivamente, aplicados no mês de março. Os frutos foram colhidos respeitando o período de carência para cada produto aplicado. Após a colheita, os frutos foram lavados e enxaguados com solução à base de cloro na concentração de 8 ppm.

### 2.2 Tratamentos

No total foram adquiridos 225 frutos, dos quais 45 não receberam tratamento nenhum (controle), 135 foram irradiados (45 para cada dose testada), e os 45 restantes foram tratados hidrotérmicamente.

A irradiação por feixe de elétrons foi realizada nos frutos logo após a sua aquisição, enquanto que os frutos submetidos ao tratamento hidrotérmico foram levados para a Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro e submetidos ao tratamento hidrotérmico.

Os frutos foram levados até a Embrapa em caixas de papelão, conforme são comercializados. No laboratório da Planta Piloto de Pós-colheita da Embrapa, os frutos foram separados por tratamento e colocados em bandejas de isopor, dois por bandeja, e três bandejas para cada tratamento, totalizando seis frutos por tratamento (Figura 1) para cada dia de análise nos tempos 0, 4, 7, 11 e 14 dias de armazenamento.



**Figura 1** Delineamento Experimental por dia de análise.

Foram também separados frutos para análises não-destrutivas, os quais foram avaliados em cada dia de análise durante todo o período de armazenamento. Posteriormente, eles foram armazenados em câmara de refrigeração inicialmente na temperatura de  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  sob  $88,5\pm 4,7\%$  de UR (Figura 2).



**Figura 2** Armazenamento de mamões ‘Golden’.

## 2.3 Métodos

### Irradiação

A irradiação dos frutos foi realizada na Acelétron Irradiação Industrial, empresa localizada na cidade do Rio de Janeiro-RJ, localizada ao lado da Central de Abastecimento/CEASA-RJ, logo após a sua aquisição. Para a irradiação foi usada uma combinação de dois aceleradores lineares de elétrons (LINAC) de 18kW de potência e 10MeV de energia cada um, sendo que um emite feixes de elétrons de cima para baixo e o outro de baixo para cima.

Três doses de radiação por feixe de elétrons (1, 3 e 5kGy) foram testadas. As doses de irradiação foram estabelecidas baseadas em trabalhos feitos com damasco e manga, sem alteração da qualidade nas doses de 1 e 3kGy (MORENO et al., 2007<sup>b</sup>; WEI et al., 2014), e uma terceira dose foi estabelecida para o mamão. Para obtenção das doses, a velocidade da esteira transportadora foi ajustada para 12, 20 e 60 fpm (pés por minuto) para a irradiação dos frutos, respectivamente a 5, 3 e 1kGy, ou seja, quanto mais rápida a velocidade da esteira transportadora, menor o tempo de exposição ao feixe de elétrons e menor a dose recebida, e vice-versa.

Os frutos foram irradiados em caixas de papelão (Figura 3) com capacidade de 10 kg, conforme são comercializados no atacado.

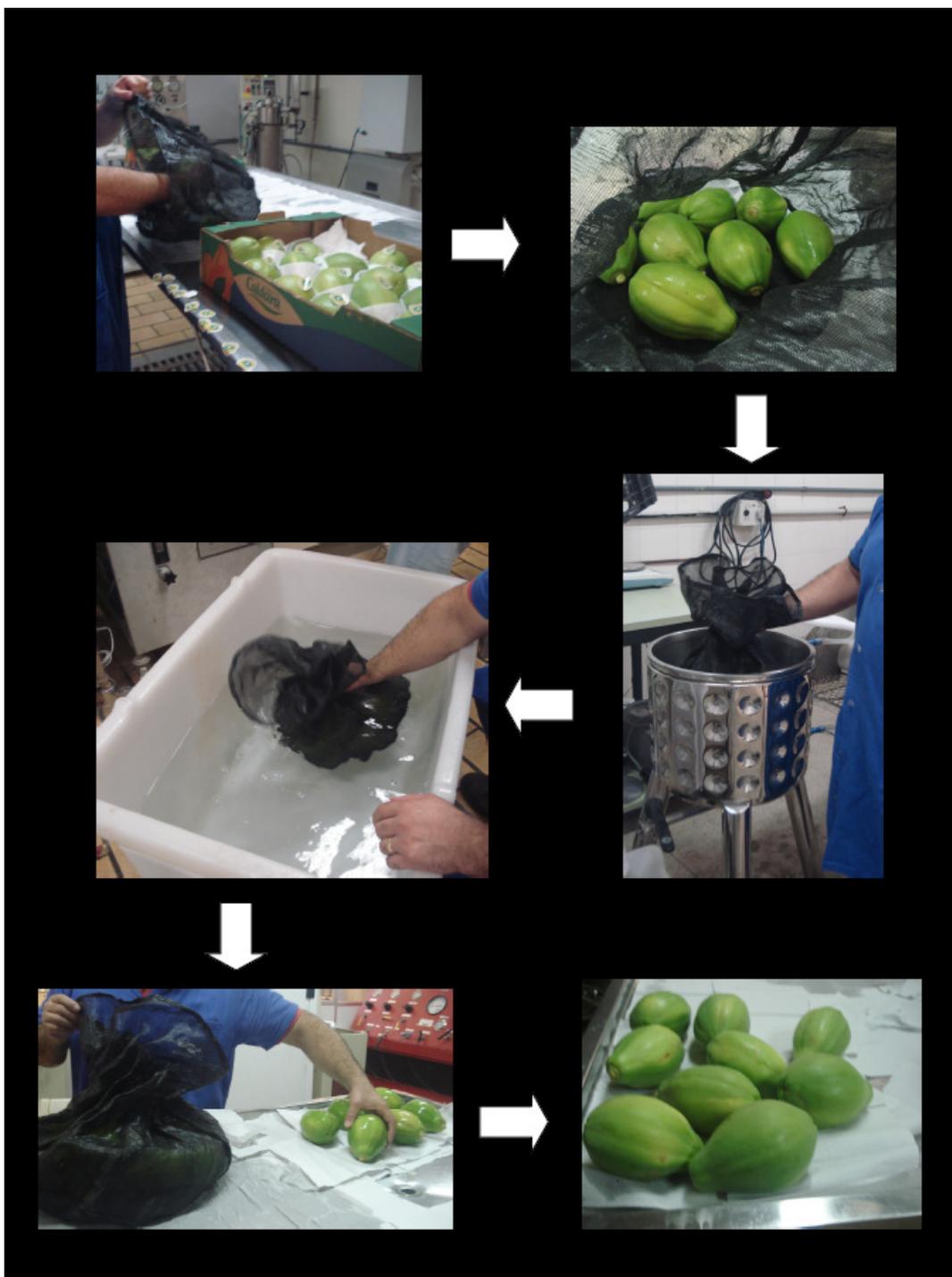


**Figura 3** Irradiação de mamões ‘Golden’.

Após a irradiação, eles foram conduzidos a Planta Piloto de Pós-colheita da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, local onde foram armazenados.

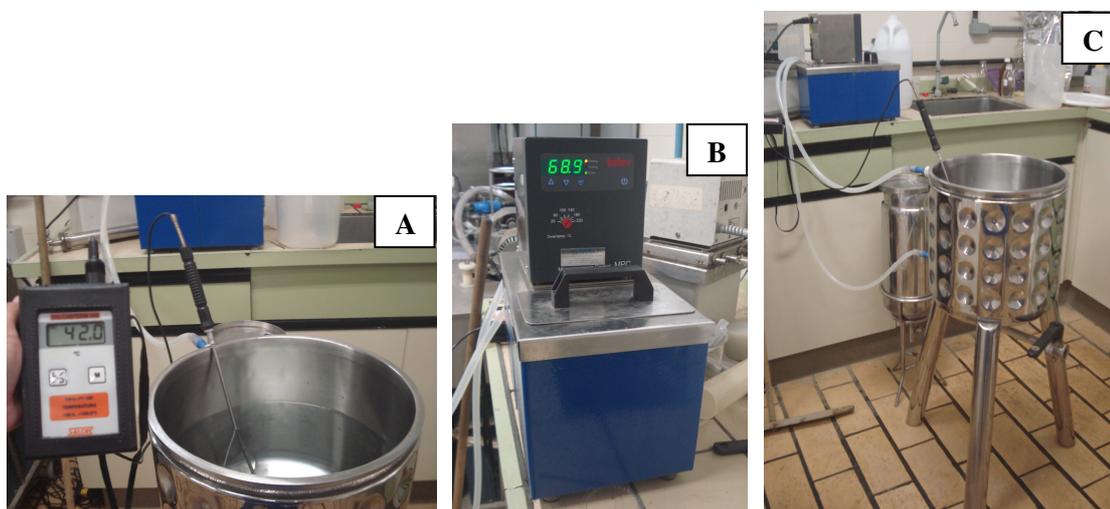
### Tratamento Hidrotérmico

O tratamento hidrotérmico foi feito no laboratório de Pós-colheita da Embrapa Agroindústria de Alimentos. Para isto, os frutos foram mergulhados com o auxílio de uma rede em um tanque com água à 54°C durante três minutos (RUGGIERO et al., 2011); e em seguida imersos em água à temperatura ambiente, e posteriormente secos ao ar (Figura 4).



**Figura 4** Etapas do Tratamento Hidrotérmico dos frutos.

O tanque usado para o tratamento hidrotérmico foi do tipo encamisado em material inox. A temperatura da água de 54°C foi atingida com o auxílio de um banho-maria conectado ao tanque, através da circulação da água aquecida pelo banho-maria pela parede do tanque, aquecendo-se dessa forma a água necessária para o tratamento dos frutos. Um sensor de temperatura foi usado para monitorar a temperatura da água durante o tratamento (Figura 5).



**Figura 5** Equipamentos usados para o Tratamento Hidrotérmico dos frutos. Sensor de temperatura (A); Banho-maria (B) e Tanque encamisado (C).

## 2.4 Experimentação

Após os tratamentos, os frutos foram armazenados em câmaras de refrigeração por um período de quatorze dias, sendo que os sete primeiros dias foram mantidos a temperatura média de  $12 \pm 0,5^\circ\text{C}$ , sob  $88,5 \pm 4,7\%$  de UR, e no tempo restante a  $22 \pm 0,4^\circ\text{C}$ , sob  $89,5 \pm 2,9\%$  de UR, simulando condições de transporte e comercialização dos frutos, conforme metodologia adaptada de Fonseca (2002).

## 2.5 Análises

Aos dias 0, 4, 7, 11 e 14 de armazenamento foram realizadas as análises nos frutos de cada tratamento: T1-Controle (sem irradiação), T2-Dose de 1kGy, T3-Dose de 3kGy, T4-Dose de 5kGy e T5-Hidrotérmico. Para as análises destrutivas, em cada dia de análise, a polpa de dois frutos de cada repetição dos tratamentos foi homogeneizada em um processador de alimentos Philips Walita, e imediatamente congelada em nitrogênio líquido para posteriores análises. No caso das análises não-destrutivas, foram mantidos seis frutos por tratamento e avaliados durante todo o experimento em cada dia de análise.

## 2.5.1 Análises físicas e físico-químicas

### Acidez Titulável Total (ATT)

A acidez titulável total foi determinada por titulador automático modelo 794 Basic Titrino Metrhom, a partir de 10g de polpa diluída em 50mL de água destilada. A titulação foi feita com NaOH 0,1N até atingir-se o pH 8,1. O volume de NaOH gasto na titulação da amostra foi usado para o cálculo do equivalente em ácido cítrico presente na amostra, segundo a fórmula:

$$\checkmark \text{ ATT} = (V \cdot N \cdot 100 / P) \cdot \text{mEq}$$

Em que: V = volume gasto de NaOH na titulação (mL);

N = normalidade da base (N);

P = peso da amostra (g)

mEq = miliequivalente do ácido cítrico (0,0064).

Os resultados foram expressos em g.100 g<sup>1</sup> de ácido cítrico (ISO 750, 1998).

### pH

Os valores de pH das amostras foram obtidos anteriormente a titulação para cálculo da ATT, no titulador automático modelo 794 Basic Titrino Metrhom.

### Sólidos Solúveis Totais (SST)

Os valores de sólidos solúveis totais foram determinados por Refratômetro digital modelo Pal-1, Atago, a partir do suco homogeneizado da polpa. Para cada amostra foram feitas duas leituras. Os resultados obtidos foram expressos em ° Brix (ISO 2173, 1978).

### Açúcares Totais

Os teores de açúcares presentes na polpa de mamão foram determinados por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (MACRAE, 1998).

A extração dos açúcares foi feita em banho ultrassom durante vinte minutos, a partir de 1,0g de polpa acrescentada de 10mL de água ultrapurificada. Em seguida foi adicionado 5mL de acetonitrila e o volume completado para 25mL com água ultrapurificada. Posteriormente, a solução foi filtrada para o vial do injetor automático e realizada as leituras.

Os parâmetros cromatográficos adotados foram: detetor de índice de refração, coluna amino 30cm x 4,6mm (High Performance Carbohydrate), temperatura da coluna ambiente, fase móvel de acetonitrila 75%, e fluxo de 1,4ml. min<sup>-1</sup>. Os resultados foram expressos em g de açúcar (glicose e frutose). 100g<sup>-1</sup> de amostra.

### Cor da polpa

A cor da polpa dos frutos foi determinada pelo colorímetro Minolta®, modelo CR400. Para isso, o fruto foi partido ao meio, e as leituras feitas na polpa do mamão (mesocarpo), uma leitura de cada lado de uma mesma metade do fruto (Figura 6).

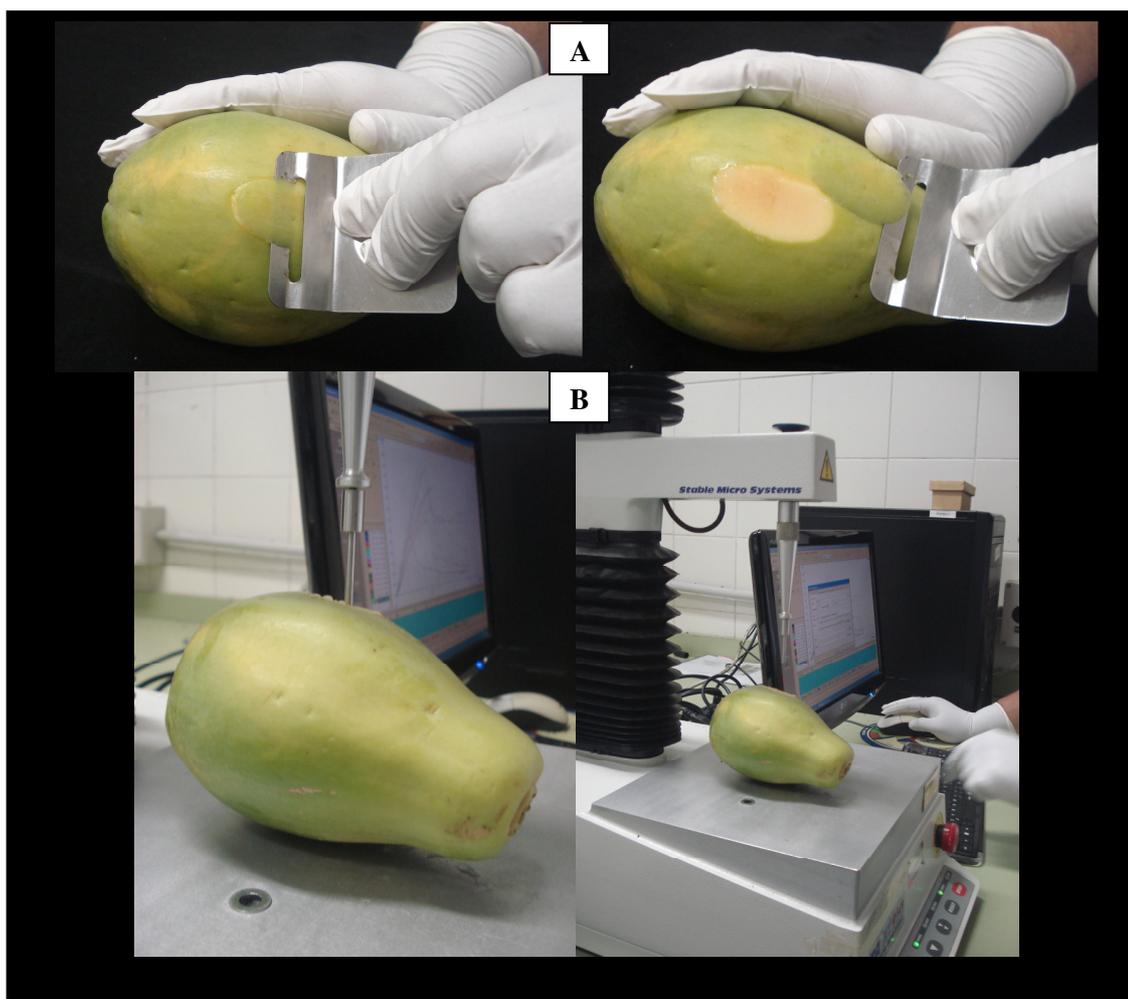


**Figura 6** Leitura dos parâmetros da cor da polpa de mamões ‘Golden’.

Os parâmetros obtidos foram  $L^*a^*b^*$ , os quais indicam respectivamente, luminosidade; intensidade de vermelho/verde e intensidade de amarelo/azul da polpa dos frutos.

### **Firmeza da polpa**

A firmeza da polpa dos frutos foi determinada por um texturômetro modelo TA. XT plus Texture Analyser, marca Stable Micro Systems. Para a análise foi utilizado uma ponteira de 2mm, e no momento de realização da leitura, parte da casca da região mediana foi retirada com o auxílio de um descascador (Figura 7). A ponteira penetrou na polpa em uma velocidade de 1mm/s e distância de 8mm. Foram feitas duas leituras em cada fruto (num total de seis por tratamento) em lados opostos. Os resultados foram expressos em Newton (N) e são referentes à máxima força requerida para a penetração da ponteira na polpa.



**Figura 7** Retirada da casca dos mamões ‘Golden’ com descascador (A); Leitura de firmeza da polpa dos frutos (B).

### **Perda de Massa**

A perda de massa dos frutos *in natura* foi determinada a partir da diferença de massa fresca inicial e a massa fresca em cada dia de análise, obtidas em balança digital. Os resultados expressam a perda de massa das parcelas, ou seja, a massa de dois frutos, com três repetições, em porcentagem, e foram obtidos através da fórmula:

$$\checkmark \text{ PM (\%)} = ((P_i - P_p) / P_i) \times 100$$

Em que: PM = perda de massa (%);

$P_i$  = massa inicial dos frutos (g);

$P_p$  = massa no período de análise (g).

### **Clorofilas**

Os teores de clorofila a, b e total foram determinados por espectrofotometria, segundo metodologia proposta por Lichtenthaler (1987). O extrato foi obtido a partir de 2,0g de casca, acrescidos de 0,2g de carbonato de cálcio, macerados com acetona 80% até decomposição

total do tecido vegetal. A acetona foi adicionada aos poucos, e os extratos obtidos foram filtrados em papel de filtração rápida.

Terminada a extração do pigmento da casca, o papel de filtração foi lavado com acetona 80% e o volume completado para 25mL. Todo procedimento foi feito na ausência de luz. A leitura do filtrado foi feita em espectrofotômetro modelo UV-Visível Specord 205, no máximo vinte minutos após ter iniciado o processo de extração, nos comprimentos de onda de 646,8 e 663,2nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de tecido vegetal e foram obtidos pelas fórmulas:

$$\checkmark \text{ Clorofila a} = (12,25 \times A_{663,2} - 2,79 \times A_{646,8}) * 25 / \text{massa(g)}$$

$$\checkmark \text{ Clorofila b} = (21,50 \times A_{646,8} - 5,10 \times A_{663,2}) * 25 / \text{massa(g)}$$

$$\checkmark \text{ Clorofila Total} = (7,15 \times A_{663,2} + 18,71 \times A_{646,8}) * 25 / \text{massa(g)}$$

Em que:  $A_{646,8}$  = leitura de absorvância da amostra em 646,8nm;

$A_{663,2}$  = leitura de absorvância da amostra em 663,2nm;

25 = diluição da amostra;

Massa = massa das amostras (g).

## Carotenoides

A extração dos carotenoides foi feita segundo metodologia proposta por Rodriguez-Amaya (2001), através da maceração de 2,0g de polpa juntamente com 2,0g de celite, adicionando acetona pura até completa extração do pigmento. Posteriormente, o material foi filtrado em funil de placa sinterizada para um kitasato de 500mL. O extrato cetônico foi então transferido para um funil de separação contendo aproximadamente 30mL de éter de petróleo.

Para remoção total da acetona e transferência dos carotenoides para a fase éter de Petróleo foi feita a lavagem com água destilada, por aproximadamente seis vezes. Após as lavagens há separação das fases extrato de éter de petróleo juntamente com os carotenoides (fase superior) e água contendo a acetona (fase inferior) no funil de separação. Descartada a fase inferior, a fase superior foi filtrada em funil contendo algodão e sulfato de sódio e o volume ajustado com éter de petróleo para 25mL.

A determinação de carotenoides totais foi feita por espectrofotometria. As leituras dos extratos foram feitas em espectrofotômetro Shimadzu<sup>®</sup>, modelo UV-1800, no comprimento de onde de 450nm. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ .

O perfil e quantificação de carotenoides foram feitos por cromatografia líquida de alta eficiência, a partir de 2mL do extrato seco com ar comprimido e ressuspendido com 200 $\mu\text{L}$  de acetona, e então passado para um tudo redutor de volume (vial) e injetado no cromatógrafo. Foi usado um cromatógrafo líquido modular Waters composto por bomba W600, degaseificador In-line, injetor automático 717plus e detector de arranjo de fotodiodos 996.

As condições cromatográficas foram as seguintes: separação em coluna YMC C<sub>30</sub> Carotenoid (250 x 4,6mm x 3 $\mu\text{m}$ ), a 33°C, com eluição em modo gradiente de éter metil *terc*-butílico em metanol, variando de 20 a 90% em vinte e oito minutos com fluxo de 0,8mL/min e volume de injeção de 15 $\mu\text{L}$  (PACHECO, 2009).

## **Fenólicos Totais**

Os compostos fenólicos foram determinados por espectrofotometria de acordo com método proposto por Singleton & Rossi (1965) e modificado por Georgé et al. (2005). A extração foi feita em ultrassom a partir de 2g de amostra contendo 10mL de acetona 70%, por vinte minutos. Passado uma hora da extração, foi feita a centrifugação a 4.000rpm durante vinte minutos.

O sobrenadante foi recolhido em balão âmbar de 25mL e no restante do material vegetal foi repetido a operação de extração. Recolhido o sobrenadante da segunda extração, o volume foi completado com água destilada e o extrato filtrado em papel de rápida filtração.

Para a reação, 2,5mL de solução de Folin-Ciocalteu 10% foi adicionada em 0,5mL do extrato filtrado, e após dois minutos, foi adicionado 2mL de solução de carbonato de sódio 15%. Após agitação em vortex, a reação incubada em banho-maria a 50°C, por 18minutos, e posteriormente imersa em banho de gelo, por trinta segundos.

A leitura de absorvância foi feita em espectrofotômetro, modelo UV-Visível Specord 205, no comprimento de onda de 760nm, no prazo máximo de trinta minutos após início da reação, e usadas para a quantificação de compostos fenólicos através de uma curva de calibração de ácido gálico e os resultados expressos em mg de ácido gálico.100g<sup>-1</sup> de amostra. A curva padrão de ácido gálico foi feita nas seguintes concentrações: 20mg L<sup>-1</sup>, 40mg L<sup>-1</sup>, 60mg L<sup>-1</sup>, 80mg L<sup>-1</sup> e 100mg L<sup>-1</sup>, seguindo as mesmas etapas descritas acima na reação.

## **2.5.2 Análises bioquímicas**

### **2.5.2.1 Análises enzimáticas**

Foram analisadas a atividade das enzimas pectinametilsterase, poligalacturonase e clorofilase dos frutos.

#### **Pectinametilsterase (PME) (EC 3.1.1.11)**

A atividade da pectinametilsterase foi determinada segundo metodologia proposta por Fisher & Bennet (1991). O extrato enzimático foi obtido a partir de 10g da polpa de mamão adicionada de 40mL de NaCl 0,2N, os quais foram homogeneizados em Politron de haste Ultra Turrax durante um minuto. Como substrato utilizou-se pectina cítrica 1%, preparada em NaCl 0,2N.

A atividade enzimática foi determinada a partir da reação de contendo 4mL de extrato enzimático e 30mL de pectina cítrica 1%, após ajuste do pH para 7,0 com NaOH 0,01N. Ajustado o pH, a reação foi titulada com NaOH 0,01N durante dez minutos, a fim de neutralizar o meio acidificado pela atividade enzimática, cuidando para o pH não ultrapassar o valor de 7,30. O volume gasto de NaOH 0,01N na titulação foi usado para cálculo da atividade enzimática. A atividade foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de um nanomol de NaOH por dez minutos.

### **Poligalacturonase (PG) (EC 3.2.1.15)**

A atividade da poligalacturonase foi determinada segundo metodologias propostas por Cábria & Vieites (2013), Jen & Robinson (1984) e Pressey & Avants (1973). A extração foi feita a partir de 5g de amostra misturada em Turrax com 50mL de água destilada durante um minuto. Posteriormente, o extrato foi filtrado em organza e ao resíduo retido no tecido foi adicionado 50mL de NaCl 1N. Após resuspensão do resíduo, o pH do extrato foi ajustado para 6,0 com auxílio de NaOH 0,01N e o extrato incubado a 4°C durante uma hora. Passado o tempo, o extrato foi centrifugado a 6.000rpm durante quinze minutos a 4°C.

A reação foi iniciada pela incubação de 3mL do extrato enzimático com 0,8mL de ácido poligalacturônico (substrato) durante três horas a 30°C. Em seguida a reação foi interrompida em banho fervente durante cinco minutos e o pH ajustado para 7,0 com uma gota de NaOH 0,025N.

Cessada a reação, os açúcares redutores liberados foram quantificados pelo método de Nelson (1944). Para isso foi adicionado à reação 8,2mL de água destilada, 1,2mL de hidróxido de bário 0,3N e 1,2mL de sulfato de zinco 5% (processo chamado de desproteíntização), e após agitação foi filtrado em papel de filtro. Para a quantificação dos açúcares redutores, a reação contendo 1,5mL do extrato enzimático acrescidos de 0,5mL de água destilada e 1,0mL de reagente cúprico foi mantida em banho-maria fervente durante vinte minutos. Em seguida foi esfriada em banho de gelo, e adicionado 1,0mL do reagente arseno molibdic. Após agitação foi adicionado 6,0mL de água destilada e feita a leitura da absorvância em espectrofotômetro, modelo UV-Visível Specord 205, no comprimento de onda de 510nm.

Uma unidade de atividade de PG foi definida como a quantidade de enzima capaz de catalisar a formação de 1 nanomol de açúcar redutor por minuto sob as condições do ensaio, e os resultados foram expressos em U.E.min<sup>-1</sup>.g<sup>-1</sup>. Para o cálculo da concentração de açúcares contida nas amostras foi feita a curva padrão de glicose nas concentrações de 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4 e 1,6mL.

### **Clorofilase**

A atividade da clorofilase foi determinada segundo metodologia proposta por Zaicovski et al. (2008) e Funamoto et al. (2002). Para obtenção do extrato enzimático, 10g de casca de mamão foram homogeneizadas em Turrax com 25mL de acetona pura. Posteriormente, a mistura foi filtrada a vácuo utilizando-se papel filtro, e o material retido foi mantido a 2-4°C por doze horas, para evaporar a acetona residual. Após esse período, o material retido no filtro, denominado de pó-de-acetona, foi suspenso (500mg) em 10mL de tampão fosfato a 10mM (pH 7,0), contendo 50mL de KCl e 0,24% (v/v) de Triton X-100. Essa mistura foi mantida em agitação por uma hora a 0-4°C, e posteriormente centrifugada a 16000g por quinze minutos a 4°C e o sobrenadante usado como extrato enzimático.

Para a reação enzimática, 0,5mL do extrato juntamente com 0,1mL de Triton X-100 a 1,44% (v/v), 0,2mL de solução de clorofila em acetona, e 0,5mL de tampão fosfato 100 mM (pH 7,5) foram incubados em banho-maria a 25°C durante vinte e cinco minutos, e para interromper a reação enzimática foi adicionado 4mL de acetona. Após dez minutos, foi adicionado 4mL de hexano para extração da clorofila remanescente (não degradada).

A solução de clorofila em acetona foi preparada conforme metodologia proposta por Jomori et al. (2014). Para isso, folhas de espinafre fresco foram maceradas com 0,5g de citrato de sódio. Posteriormente, 1,0g da amostra macerada foi centrifugada com 10mL de

acetona 80% a 9000rpm durante quinze minutos a 4°C, e o sobrenadante foi usado na reação enzimática.

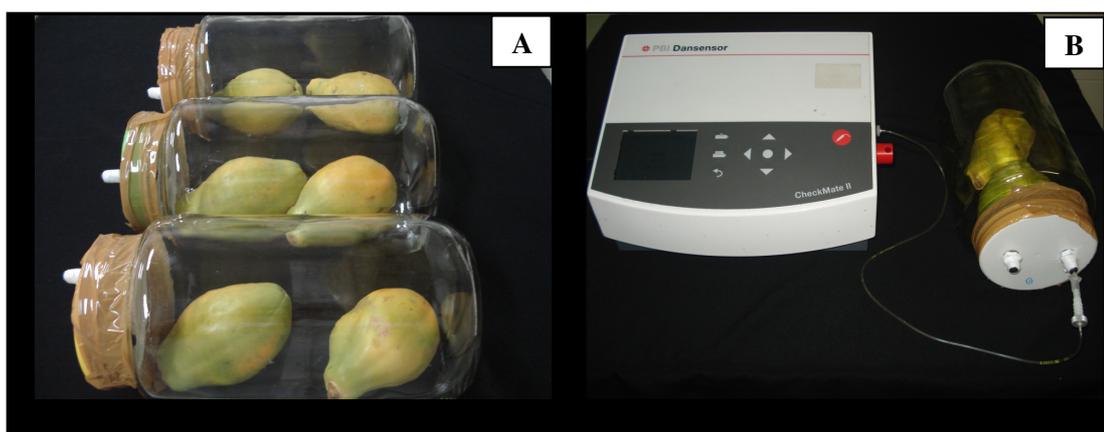
Ensaio controle foi feito pela substituição na reação do extrato enzimático (0,5mL) por 0,5mL de tampão fosfato 10mM (pH 7,5).

As leituras de absorvância foram feitas em espectrofotômetro, modelo UV-Visível Specord 205, no comprimento de onda de 663nm e os resultados expressos em variação de absorvância ( $\Delta A$ ), conforme fórmula:

$$\checkmark \Delta A_{663} = \text{Absorvância do controle} - \text{Absorvância de cada amostra}$$

### 2.5.2.2 Atividade Respiratória

Para a determinação da atividade respiratória frutos foram mantidos em jarros de vidro com capacidade de 3,3L, hermeticamente fechados, do qual foi coletado uma amostra de ar com o auxílio de uma agulha e os gases ( $\text{CO}_2$  e  $\text{O}_2$ ) analisados pelo analisador de gases modelo PBI Dansensor CheckMate II. Foram colocados dois mamões por jarro e usados três jarros por tratamento (Figura 8). As leituras foram feitas nos tempos 0, 6, 24, 32 e 46 horas após o fechamento hermético dos jarros contendo os frutos. Os frascos foram mantidos em uma sala à temperatura média de  $22 \pm 2,5^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $77 \pm 5,6\%$ .



**Figura 8** Jarros de vidro contendo um tratamento com os mamões ‘Golden’ (A); Leitura dos gases contidos nos jarros pelo analisador de gases (B).

A intensidade respiratória foi medida em função da emissão de  $\text{CO}_2$  pelos frutos e foi calculada segundo modelo matemático desenvolvido por Varoquaux et al. (2002), baseada no coeficiente angular da equação de primeiro grau, obtida através das taxas de  $\text{CO}_2$  produzidas pelos frutos em cada tempo de leitura dos frascos, levando em consideração o volume do frasco, a massa de frutos e a temperatura do ambiente, sendo expressa em  $\text{mmol.kg}^{-1}.\text{h}^{-1}$ . Também foi calculado o “Quociente Respiratório” (QR), relação entre o volume de  $\text{CO}_2$  desprendido e o volume de  $\text{O}_2$  consumido pelo fruto no processo de respiração pós-colheita (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

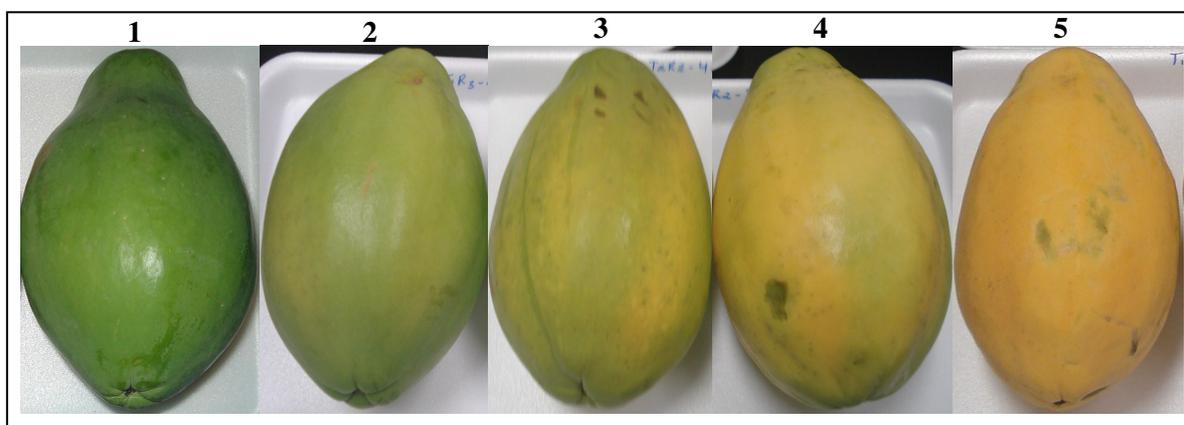
As taxas de consumo de  $\text{O}_2$  e de produção de  $\text{CO}_2$  pelos frutos foram expressas em porcentagem.

### 2.5.3 Análises visuais

Para as análises visuais, avaliações foram realizadas nos mesmos frutos durante todo o período de armazenamento, seguindo o mesmo delineamento das demais análises, três repetições por tratamento, e cada repetição com dois frutos, totalizando seis frutos por tratamento e um total de cinco tratamentos.

#### Cor da Casca

A cor da casca dos frutos foi avaliada baseada numa escala visual adaptada de Medina (1989) com cinco notas: **1**-Frutos com casca verde; **2**-Frutos com estria levemente amarela; **3**-Frutos com estrias amarelas; **4**-Frutos com região equatorial amarelo-esverdeada; **5**-Frutos amarelos com pontos verdes (Figura 9). A avaliação foi feita nos tempos de análise 0, 4, 7, 11 e 14 dias de armazenamento.



**Figura 9** Escala de notas para análise visual da cor da casca de mamão ‘Golden’: **1**-Frutos com casca verde; **2**-Frutos com estria levemente amarela; **3**-Frutos com estrias amarelas; **4**-Frutos com região equatorial amarelo-esverdeada; **5**- Frutos com casca amarela com pontos verdes.

#### Análise fitopatológica

A avaliação fitopatológica foi feita avaliando-se os sintomas das principais doenças do mamão, antracnose e podridão peduncular.

Para os sintomas de antracnose, os frutos foram analisados baseados numa escala subjetiva conforme adaptação por Pimentel et al. (2007). A escala foi composta de três notas: **1**- mamão com lesões de diâmetro inferior a 1,0cm; **2**- mamão com lesões de diâmetro entre 1,0 e 2,0cm e **3**- mamão com lesão de diâmetro maior que 2,0cm. As lesões típicas de antracnose foram medidas com uma régua. O número médio de lesões por fruto também foi avaliado.

Para lesões típicas de podridão peduncular foi estabelecido um índice de contaminação, em função do número de frutos contaminados com variação de 0-5: **0**- 0% de frutos contaminados; **1**- 15% de frutos contaminados; **2**- 30% de frutos contaminados; **3**- 50% de frutos contaminados; **4**- 80% de frutos contaminados; **5**- 100% de frutos contaminados.

## 2.6 Estatística

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), em esquema fatorial 5 x 5 (tratamentos x dias de análise). Foram utilizadas três repetições por tratamento, sendo cada representada por uma parcela composta por dois frutos, totalizando seis frutos por tratamento por dia de análise, perfazendo um total de trinta frutos por tratamento (Figura 10).

Tratamentos/Repetições		Quantidade de Frutos por dia de análise					Total de frutos por tratamento
		0 dia	4 dias	7 dias	11 dias	14 dias	
T1 - Testemunha	R1	2	2	2	2	2	30
	R2	2	2	2	2	2	
	R3	2	2	2	2	2	
T2 - Dose de 1 KGy	R1	2	2	2	2	2	30
	R2	2	2	2	2	2	
	R3	2	2	2	2	2	
T3 - Dose de 3 KGy	R1	2	2	2	2	2	30
	R2	2	2	2	2	2	
	R3	2	2	2	2	2	
T4 - Dose de 5 KGy	R1	2	2	2	2	2	30
	R2	2	2	2	2	2	
	R3	2	2	2	2	2	
T5 - Hidrotérmico (54°C/3 minutos)	R1	2	2	2	2	2	30
	R2	2	2	2	2	2	
	R3	2	2	2	2	2	

**Figura 10** Delineamento experimental.

Os tratamentos foram definidos por: T1-Controle (sem irradiação); T2-Dose de 1 kGy; T3-Dose de 3 kGy; T4-Dose de 5 kGy e T5-Hidrotérmico.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F), e quando houve diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo programa estatístico SISVAR 5.3, desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análises físico-químicas

##### Acidez Titulável Total (ATT)

Ao final do período de armazenamento a 12°C, os frutos irradiados apresentaram mesmo teor de ATT que aqueles tratados hidrotermicamente, e valores superiores à acidez dos frutos controle (Tabela 1).

**Tabela 1** Acidez Titulável Total (g.100 g<sup>-1</sup> de ácido cítrico) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
T1-Controle	0,13aA	0,11bB	0,11bB	0,10aC	0,14aA
T2-1kGy	0,13aAB	0,12abB	0,13aAB	0,11aC	0,14aA
T3-3kGy	0,13aA	0,13aA	0,13aA	0,11aB	0,12bA
T4-5kGy	0,13aA	0,12aA	0,13aA	0,11aB	0,10cB
T5-Hidrotérmico	0,13aAB	0,12abB	0,12abAB	0,10aC	0,13abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A maior dose de irradiação testada interferiu no teor de ATT dos frutos quando mantidos a 22°C, com menor teor observado ao final do período de armazenamento. No entanto, a diferença de 0,04g.100 g<sup>-1</sup> de ácido cítrico entre o teor de ATT destes e os frutos controle pode ser considerada sensorialmente imperceptível.

Resultado semelhante foi encontrado por Wei et al. (2014) em damascos, em que a ATT de frutos irradiados por feixe de elétrons na dose de 1kGy diferiu da ATT dos frutos controle em apenas um dia de análise, do total de sete dias de avaliação, porém, quando irradiados nas maiores doses, 4 e 5kGy, os damascos tiveram ATT superior a dos frutos controle durante os dez dias de armazenamento a temperatura ambiente.

Carocho et al. (2013) não notaram efeito significativo da irradiação por feixe de elétrons nas doses de 0,5, 1, 3 e 6kGy sobre a composição dos ácidos orgânicos encontrados em castanhas.

Em frutos irradiados houve manutenção dos valores de ATT, quando armazenados a 12°C, e comportamento semelhante aos frutos controle quando mantidos a 22°C, com exceção daqueles irradiados na dose de 5kGy.

Valores de ATT em torno de  $0,10\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$  de ácido cítrico foi observado em todos os frutos após o aumento da temperatura de armazenamento, condizendo com o início do amadurecimento e com o valor de mercado requerido de ATT abaixo de 0,11 (RASHID et al., 2015). O uso de altas temperaturas durante o armazenamento dos frutos aumenta a taxa respiratória, que também utiliza dos ácidos orgânicos como substrato respiratório, justificando a diminuição da ATT com o acréscimo da temperatura nos frutos de todos os tratamentos.

Não houve diferença estatística entre os frutos irradiados nas doses de 1 e 3kGy e os tratados hidrotêrmicamente, quanto ao comportamento da ATT em todos os dias de análise.

Os menores valores de ATT naqueles irradiados nas doses de 3 e 5kGy no final do período de armazenamento pode ser resultante à maior atividade respiratória, provavelmente causada pela produção de etileno de estresse, por ter sido considerada altas doses para o mamão 'Golden', em comparação aos frutos dos demais tratamentos.

## pH

Tanto a irradiação por feixe de elétrons, quanto o tratamento hidrotérmico interferiram no valor de pH, e maior valor foi observado em frutos controle quando armazenados a  $12^{\circ}\text{C}$  (Tabela 2). Durante o armazenamento a  $22^{\circ}\text{C}$ , frutos controle e irradiados na dose de 1kGy apresentaram menor valor de pH, em comparação aos demais tratamentos.

**Tabela 2** Valor de pH de mamões 'Golden' submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a  $12^{\circ}\text{C}$  + 7 dias a  $22^{\circ}\text{C}$ ) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	5,26aC	5,36aB	5,36aB	5,42cA	5,12bD
<b>T2-1kGy</b>	5,26aB	5,22cB	5,25bB	5,44bcA	5,13bC
<b>T3-3kGy</b>	5,26aC	5,23cC	5,22bC	5,51aA	5,34aB
<b>T4-5kGy</b>	5,26aC	5,15dD	5,17cD	5,46bcA	5,36aB
<b>T5-Hidrotérmico</b>	5,26aD	5,29bCD	5,33aBC	5,47abA	5,34aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com o provável uso dos ácidos orgânicos na respiração dos frutos, o aumento da temperatura de armazenamento, pode ser correlacionado com o aumento dos valores de pH nos frutos de todos os tratamentos no décimo primeiro dia de armazenamento, em acordo com o proposto por Chitarra & Chitarra (2005) que valores de pH aumentam com a redução da acidez, sendo utilizados como indicativo da variação de acidez.

Os valores de pH encontrados para os frutos controle e irradiados na dose de 1kGy no décimo quarto dia de armazenamento, em torno de 5,11, foram semelhantes aos valores encontrados por Lima et al. (2009) em mamão ‘Formosa’ e por Kelebek et al. (2015) em mamão ‘Tainung’, porém inferior ao encontrado por Pinto et al. (2011) em mamão ‘Golden’, valor médio de 5,52. Diferenças nos valores de pH podem ocorrer em função do uso de cultivares diferentes, e mesmo entre uma mesma cultivar, valores de pH podem diferir, devido, às condições de cultivo do mamoeiro, tais como, adubação e acidez do solo.

### Sólidos Solúveis Totais (SST)

De maneira geral, os teores de SST dos frutos irradiados por feixe de elétrons e tratados hidrotermicamente não diferiram estatisticamente do teor dos frutos controle em todos os dias de análise (Tabela 3). Cia et al. (2007) também não verificaram influência da irradiação por raio gama até a dose de 1,0kGy sobre o teor de sólidos solúveis de mamão ‘Golden’.

**Tabela 3** Sólidos Solúveis Totais (° Brix) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	7,60aC	8,90bBC	8,90bBC	10,05abAB	10,85abA
<b>T2-1kGy</b>	7,60aC	9,83abB	9,90abB	10,80aAB	11,30aA
<b>T3-3kGy</b>	7,60aB	10,53aA	10,45aA	9,35bA	9,55bA
<b>T4-5kGy</b>	7,60aB	8,93bAB	9,00bA	8,85bAB	9,80bA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	7,60aC	9,06bB	9,00bB	9,70abAB	10,46abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Frutos controle, irradiados na dose de 1kGy e tratados hidrotermicamente tiveram comportamento semelhante ao longo do período de armazenamento, e conforme a tendência de aumento do °Brix com a fase de maturação (CHITARRA & CHITARRA, 2005), maior teor de SST foi observado no último dia de armazenamento.

Os valores de SST encontrados para os frutos controle e irradiados na dose de 1kGy no décimo primeiro dia de armazenamento, foram compatíveis aos encontrados por Tezotto et al. (2011) em mamão ‘Golden’ e por Kelebek et al. (2015) em mamão ‘Tainung’.

### Teor de Açúcares

Na polpa dos frutos foram detectados os açúcares frutose e glicose, a sacarose não foi detectada. Kelebek et al. (2015) detectaram sacarose no mamão 'Tainung', porém em quantidade bem inferior aos teores de glicose e frutose, e a glicose foi o açúcar predominante nos frutos.

As diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons e o tratamento hidrotérmico aplicados aos frutos não interferiram nos teores de frutose e glicose. Conteúdos de frutose e glicose dos frutos de tratamento tiveram comportamento semelhante ao longo do período de armazenamento. Wei et al. (2014) também não verificaram influência da irradiação por feixe de elétrons sobre o conteúdo de açúcares totais de damascos irradiados nas doses de 1, 2 e 3kGy durante os dez dias de armazenamento a temperatura ambiente.

### Frutose

O teor de frutose aumentou no quarto dia de armazenamento nos frutos controle e irradiados nas doses de 1 e 3kGy, mantendo constante com o passar do tempo de armazenamento. Nos frutos dos demais tratamentos não foram observados aumento no teor de frutose (Tabela 4).

**Tabela 4** Teor de Frutose ( $\text{g} \cdot 100\text{g}^{-1}$ ) de mamões 'Golden' submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a  $12^\circ\text{C}$  + 7 dias a  $22^\circ\text{C}$ ) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
T1-Controle	3,08aB	4,28aA	3,91aA	4,32abA	4,19abA
T2-1kGy	3,08aC	4,23aAB	3,87aBC	4,61aAB	4,95aA
T3-3kGy	3,08aB	4,51aA	3,81aAB	4,01abA	3,95bA
T4-5kGy	3,08aB	3,83aAB	3,73aAB	3,58bB	4,41abA
T5-Hidrotérmico	3,08aB	3,83aAB	3,74aAB	3,86abAB	4,22abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### Glicose

No último dia de análise, maior teor de glicose foi observado nos frutos irradiados na dose de 1kGy, em comparação aos demais tratamentos (Tabela 5).

**Tabela 5** Teor de Glicose ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a  $12^{\circ}\text{C}$  + 7 dias a  $22^{\circ}\text{C}$ ) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	3,39aB	4,46aA	4,09aAB	4,51abA	4,31bA
<b>T2-1kGy</b>	3,39aC	4,34aB	4,02aBC	4,70aAB	5,35aA
<b>T3-3kGy</b>	3,39aB	4,60aA	4,22aA	4,16abA	4,13bA
<b>T4-5kGy</b>	3,39aB	3,96aAB	3,85aAB	3,87bAB	4,40bA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	3,39aB	4,04aAB	3,96aAB	4,21abA	4,35bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apenas os frutos irradiados na dose de 1kGy tiveram os teores de frutose e glicose afetados pelo aumento da temperatura de armazenamento. Entretanto, não diferiram dos teores dos demais, comprovando a utilização do ácido cítrico, ácido orgânico presente em maior quantidade no mamão (KELEBEK et al., 2015), no processo respiratório, visto que com o aumento da temperatura, e conseqüentemente aumento da taxa respiratória, houve diminuição da ATT nos frutos de todos os tratamentos e não houve interferência sobre o conteúdo de glicose e frutose.

### Cor da Polpa

As doses de irradiação por feixe de elétrons testadas e o tratamento hidrotérmico não interferiram na coloração interna da polpa, em comparação com a cor da polpa dos frutos controle, visto que não houve diferença estatística entre os tratamentos estudados em cada tempo e ao longo do período de armazenamento nos parâmetros  $L^*a^*b^*$ . Resultado semelhante foi encontrado por Egea et al. (2007) que também não verificaram influência das doses de irradiação por feixe de elétrons testadas (0,5 e 1,0kGy) sobre os parâmetros da cor de damasco. Gomes et al. (2008) também encontraram resultado semelhante em brócolis irradiados por feixe de elétrons nas doses de 1, 2 e 3kGy.

### Parâmetro $L^*$

O parâmetro de cor luminosidade ( $L^*$ ) da polpa dos frutos não sofreu interferência dos tratamentos aplicados, e praticamente não variou com o passar do tempo de armazenamento (Tabela 6).

**Tabela 6** Luminosidade ( $L^*$ ) da polpa de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	62,35aAB	63,00aA	62,09aAB	59,85aAB	57,77aB
<b>T2-1kGy</b>	62,35aA	60,17aA	60,14aA	57,37aA	57,56aA
<b>T3-3kGy</b>	62,35aA	59,96aA	59,58aA	62,50aA	59,24aA
<b>T4-5kGy</b>	62,35aAB	64,37aA	63,27aAB	58,38aB	58,72aB
<b>T5-Hidrotérmico</b>	62,354aA	63,01aA	62,08aA	60,82aAB	56,65aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

#### Parâmetros $a^*$

Mesma intensidade de vermelho/verde ( $a^*$ ) foi mantida na polpa de todos os frutos analisados ao longo do período de armazenamento (Tabela 7). A coloração da polpa tendeu para a cor vermelha, visto o valor positivo do parâmetro  $a^*$ .

**Tabela 7** Intensidade de vermelho/verde ( $a^*$ ) da polpa de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	15,36aAB	12,86aB	13,15aAB	15,69aAB	17,87aA
<b>T2-1kGy</b>	15,36aA	14,16aA	14,83aA	17,88aA	17,29aA
<b>T3-3kGy</b>	15,36aA	15,78aA	16,44aA	14,74aA	15,93aA
<b>T4-5kGy</b>	15,36aA	13,02aA	11,74aA	14,62aA	16,60aA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	15,36aA	14,96aA	14,45aA	14,30aA	18,23aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### Parâmetro b\*

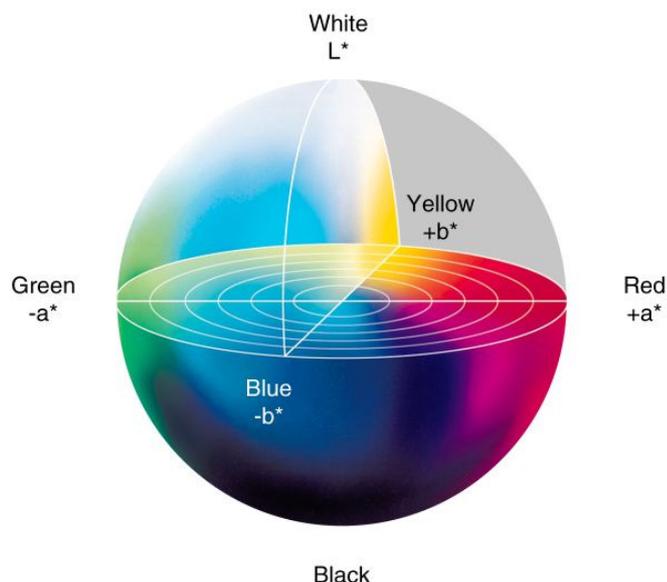
Mesmo resultado foi encontrado para o parâmetro b\* ao longo do período de armazenamento dos frutos (Tabela 8). Não houve variação no valor de b\*, quando comparado os frutos do dia zero com aqueles dos dias após o aumento da temperatura de armazenamento. Tendência à cor amarela foi notada na polpa, em função dos valores positivos do parâmetro b\*.

**Tabela 8** Intensidade de amarelo/azul (b\*) da polpa de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	32,74aAB	29,62aB	31,13aB	35,25aA	34,96aA
<b>T2-1kGy</b>	32,74aAB	31,54aB	31,17aB	35,93aA	36,19aA
<b>T3-3kGy</b>	32,74aA	31,09aA	32,42aA	32,73aA	33,89aA
<b>T4-5kGy</b>	32,74aA	29,84aA	31,44aA	32,38aA	33,38aA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	32,74aAB	30,50aB	31,89aAB	33,53aAB	34,92aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O parâmetro L\* indica a luminosidade da amostra, variando de 0: escura até 100: clara, enquanto os parâmetros a\* e b\* são coordenadas cromáticas, que indicam a direção das cores: +a\* indica a direção do vermelho e -a\* direção da cor verde; +b\* indica a direção da cor amarelo e -b\* a direção da cor azul (Figura 11) (MINOLTA, 1993).



**Figura 11** Diagrama de cromaticidade CIELAB.

### Firmeza

A importância do uso de baixa temperatura na pós-colheita de frutas para a manutenção da qualidade foi reforçada com os dados de firmeza da polpa obtidos para os frutos controle, irradiados na dose de 1kGy e tratados hidrotermicamente. Com o aumento da temperatura de armazenamento no sétimo dia, de 12 para 22°C, significativa redução da firmeza da polpa destes frutos foi observada, a qual foi mais acentuada nos controle e tratados hidrotermicamente (Tabela 9). Hussain et al. (2015) também verificaram redução de firmeza significativamente maior em ameixas mantidas em temperatura ambiente do que refrigeradas.

**Tabela 9** Firmeza (N) da polpa de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	19,73aB	31,71aA	31,42aA	3,41dC	2,11bC
<b>T2-1kGy</b>	19,73aA	15,99bA	15,32bA	8,79bcB	1,50bC
<b>T3-3kGy</b>	19,73aA	17,33bAB	15,96bAB	14,49aB	2,78bC
<b>T4-5kGy</b>	19,73aA	13,82bB	12,26bB	9,90abBC	7,54aC
<b>T5-Hidrotérmico</b>	19,73aB	30,84aA	30,83aA	4,84cdC	1,87bC

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Frutos controle e tratados hidrotermicamente apresentaram mesmo comportamento ao longo do período de armazenamento. Naqueles irradiados nas doses de 1 e 3kGy foi observada manutenção da firmeza inicial da polpa durante os sete dias de armazenamento a 12°C. Com a elevação da temperatura foi observada redução da firmeza apenas nos irradiados na dose de 1kGy, porém redução menor do que nos frutos controle e tratados hidrotermicamente no décimo primeiro dia.

Resultado semelhante foi encontrado por Camargo et al. (2007) em mamão 'Golden' irradiados por raios gama, em que aqueles irradiados tiveram menor firmeza do que os controle (não irradiados), quando foram mantidos na temperatura de 9,8°C, e com a elevação da temperatura para 24,8°C, os irradiados tiveram firmeza maior do que os controle.

Silva (2008) também verificou menor perda da firmeza da polpa de mamões 'Golden' irradiados por radiação gama na dose de 0,8kGy, mantidos a temperatura de 25°C, em comparação aos controle. Já Molinari (2007) não observou influência da irradiação por radiação gama sobre a firmeza de mamões 'Golden' tratados nas doses de 0,4 e 0,7kGy.

O aumento da firmeza da polpa dos frutos controle e tratados hidrotermicamente no quarto dia de armazenamento, pode ser devido ao maior tempo em que eles foram mantidos sob baixa temperatura, quando comparado aos dados de firmeza daqueles do tempo zero, os quais ficaram apenas um dia de armazenamento a 12°C.

A perda de firmeza da polpa dos frutos está associada ao afrouxamento dos constituintes da parede celular pelas pectinases. Segundo Bueno et al. (2005) entre as enzimas responsáveis pela degradação da pectina se encontram a PME e a PG, com atuação diferente sobre a pectina, enquanto a PME atua sobre a molécula da pectina causando sua desmetilação, a PG age sobre as ligações glicosídicas  $\alpha$ -1,4 do ácido poligalacturônico quebrando a molécula.

Asmar et al. (2010) observaram efeito da PME sobre a parede celular de mamão 'Sunrise Solo', visto que com o aumento da atividade da PME houve diminuição do teor de pectina total dos frutos e conseqüentemente aumento do teor de pectina solúvel. Para os autores, outras enzimas pectinases, como a PG também estariam envolvidas no processo de degradação da parede celular de frutas, desencadeando o amaciamento da polpa.

### **Perda de Massa**

Até o sétimo dia de armazenamento, com a manutenção da baixa temperatura de armazenamento, os tratamentos testados não interferiram na perda de massa, em comparação com os frutos controle em todos os dias de análise (Tabela 10).

**Tabela 10** Perda de Massa (%) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	0,00aE	1,46aD	3,16abC	5,70cB	8,07cA
<b>T2-1kGy</b>	0,00aE	1,34aD	2,87bC	5,81cB	7,34dA
<b>T3-3kGy</b>	0,00aE	1,28aD	2,85bC	6,04bcB	10,15aA
<b>T4-5kGy</b>	0,00aE	1,32aD	3,01abC	6,69aB	10,66aA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	0,00aE	1,69aD	3,51aC	6,42abB	9,31bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com o aumento da temperatura de armazenamento de 12°C para 22°C, no décimo primeiro dia, os frutos submetidos ao tratamento hidrotérmico apresentaram maior perda de massa, em relação aos dos demais tratamentos e resultado semelhante foi notado naqueles irradiados na dose de 5kGy. No último dia de armazenamento, os frutos tratados nas doses de 3 e 5kGy tiveram maior perda de massa, enquanto que menor perda foi observada naqueles irradiados na dose de 1kGy, seguido dos controle.

Ao longo de período de armazenamento, os frutos de todos os tratamentos mostraram comportamento semelhante entre si, e maior perda de massa ocorreu com passar do tempo de armazenamento.

A perda de massa dos frutos é resultante do processo natural de respiração, ou seja, com a utilização dos açúcares e ácidos no metabolismo temos a produção de CO<sub>2</sub> e água mais energia e com uma maior respiração, maior será a perda de água, resultando em maior perda de massa. Um dos fatores que aumenta a taxa respiratória dos frutos é a alta temperatura durante o armazenamento. Para cada aumento de 10°C na temperatura há um aumento de aproximadamente duas vezes na taxa respiratória (Quociente de Temperatura - Q<sub>10</sub>) (SILVA et al., 2008).

A umidade relativa (UR) do ar do ambiente de armazenamento também influencia diretamente na perda de massa, visto que, quanto menor for a UR do ambiente, maior será a perda de água do fruto.

O aumento do estresse causado aos frutos aumenta a produção de etileno, o qual promove aumento da taxa respiratória. O uso de alta temperatura para o tratamento hidrotérmico, embora feito em espaço muito curto de tempo, três minutos, pode ter induzido algum tipo de estresse nos frutos, resultando na maior perda de massa no décimo primeiro dia de armazenamento, em comparação aos demais tratamentos, exceto para aqueles tratados na dose de 5kGy.

As maiores doses de irradiação usadas, 3 e 5kGy, causaram injúrias na casca dos frutos, manchas de queimadura, resultado que pode explicar as maiores perdas de massa no último dia de armazenamento, em relação aos outros tratamentos. Na dose de 1kGy não foram

observadas injúrias na casca dos frutos, e eles tiveram menor perda de massa entre todos os tratamentos.

## Teores de Clorofila

### Clorofila Total

Ao final do período de armazenamento a 12°C menor degradação de clorofila total foi observada nos frutos tratados hidrotermicamente. No entanto, quando eles foram armazenados a 22°C mesmo teor de clorofila total foi observado nestes frutos e nos controle (Tabela 11). Aqueles irradiados tiveram mesmo teor de clorofila total do que os tratados hidrotermicamente no último dia de armazenamento.

**Tabela 11** Teor de Clorofila Total ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
T1-Controle	86,47aA	80,00aA	62,92bB	18,84aC	22,15aC
T2-1kGy	86,47aA	62,19bB	53,24cC	15,70aD	10,41bE
T3-3kGy	86,47aA	47,44cB	42,88dB	18,13aC	16,30abC
T4-5kGy	86,47aA	49,70cB	35,33dC	23,89aD	20,16aD
T5-Hidrotérmico	86,47aA	86,07aA	76,40aB	18,84aC	17,59abC

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultado diferente foi notado por Gomes et al. (2008) em brócolis, em que não foi notada diferença estatística entre os teores de clorofila total de brócolis controle e aqueles irradiados por feixe de elétrons nas dose de 1, 2 e 3kGy em cada tempo de armazenamento a 4°C. No entanto, a degradação de clorofila foi mais ligeira naqueles irradiados do que em brócolis controle com o passar do tempo de armazenamento. Hussain et al. (2015) também notaram degradação da clorofila mais lentamente em ameixas irradiadas por raio gama na dose de 1,5kGy do que nas controle ao longo do período de armazenamento a 3°C; e em cada dia de análise, aquelas irradiadas tiveram maior teor de clorofila total do as ameixas controle.

### Clorofila a

O tratamento hidrotérmico foi o que manteve a coloração verde dos frutos durante os sete dias de armazenamento a 12°C (Tabela 12). Ao final do período de armazenamento a 22°C não houve diferença entre aqueles irradiados na dose de 1kGy e os tratados hidrotérmicamente.

**Tabela 12** Teor de Clorofila 'a' ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) de mamões 'Golden' submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
T1-Controle	63,69aA	58,11aA	42,10bB	8,86bC	8,65abC
T2-1kGy	63,69aA	37,83bB	35,46bcB	6,43bC	4,27bC
T3-3kGy	63,69aA	30,46bB	28,10cB	10,89abC	9,89abC
T4-5kGy	63,69aA	36,85bB	26,63cC	19,54aCD	14,72aD
T5-Hidrotérmico	63,69aA	61,78aA	58,81aA	7,40bB	4,89bB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em frutos tratados hidrotérmicamente, a degradação da clorofila 'a' só foi observada após o aumento da temperatura de armazenamento. Nos frutos controle, a degradação foi iniciada a partir do sétimo dia, enquanto que naqueles tratados por feixe de elétrons, independentemente da dose, perda de clorofila foi notada já no quarto dia de armazenamento.

Com o amadurecimento dos frutos ocorre à degradação da clorofila e síntese de outros pigmentos, no caso do mamão, síntese de carotenoides (Tabela 14). A clorofilase é a enzima responsável pela degradação das clorofilas. O uso de alta temperatura no tratamento hidrotérmico dos frutos pode ter inibido a atividade da clorofilase enquanto eles foram mantidos a baixa temperatura de armazenamento, resultando na manutenção do teor de clorofila 'a' durante os sete dias a 12°C, enquanto que as doses testadas de irradiação por feixe de elétrons podem ter induzido a atividade da clorofilase, resultando na degradação precoce da clorofila 'a'.

### Clorofila b

No caso da clorofila 'b', encontrada em menor quantidade nos frutos, os teores obtidos para aqueles irradiados nas doses de 1 e 3kGy foram semelhantes aos dos frutos controle em todos os dias de análise (Tabela 13). Menor degradação da clorofila 'b' também foi verificada naqueles tratados hidrotérmicamente.

**Tabela 13** Teor de Clorofila 'b' ( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ ) de mamões 'Golden' submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	22,78aA	21,89bA	20,83bA	10,99abB	11,34abB
<b>T2-1kGy</b>	22,78aA	22,08bA	18,55bA	9,27bB	6,14bB
<b>T3-3kGy</b>	22,78aA	17,40bAB	16,05bB	7,24bC	6,41bC
<b>T4-5kGy</b>	22,78aA	10,01cB	9,33cB	5,42bB	4,91bB
<b>T5-Hidrotérmico</b>	22,78aBC	28,87aAB	32,82aA	17,40aC	16,85aC

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## Carotenoides

### Carotenoides Totais

Em todos os frutos analisados, com exceção dos tratados hidrotermicamente, o teor de carotenoides totais aumentou com a elevação da temperatura de armazenamento (Tabela 14). Quando mantidos a 22°C, os teores de carotenoides totais dos frutos de todos os tratamentos aumentaram com o passar do tempo de armazenamento, compatível com os resultados encontrados por Jing et al. (2015) em mamão 'Sui hong'.

**Tabela 14** Carotenoides Totais ( $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	867aC	917bC	838aC	1502abB	2492abA
<b>T2-1kGy</b>	867aC	1121bC	1000aC	1760aB	2799aA
<b>T3-3kGy</b>	867aD	1505aB	1096aCD	1414bBC	1827cA
<b>T4-5kGy</b>	867aB	1043bB	985aB	1388bA	1655cA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	867aC	1233abB	1119aBC	1376bB	2265bA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

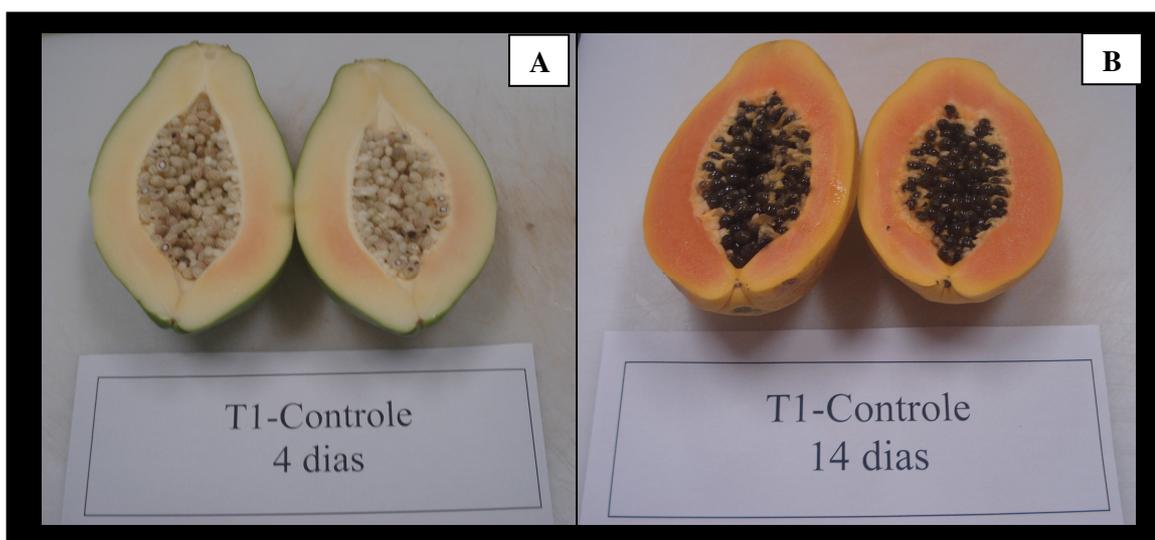
Menor conteúdo de carotenoides totais foi verificado naqueles irradiados nas doses de 3 e 5kGy no décimo quarto dia de armazenamento. Wei et al. (2014) encontraram resultado diferente em damascos, em que aumento no conteúdo de carotenoides totais foi notado com o aumento das doses de irradiação por feixe de elétrons (1, 2, 3, 4 e 5kGy) aplicadas aos frutos em todos os dias de análise.

Os frutos irradiados na dose de 1kGy e tratados hidrotêmicamente tiveram mesmo conteúdo de carotenoides totais que os controle e mesmo comportamento ao longo do tempo. Resultado semelhante foi notado por Egea et al. (2007) em damasco, que o teor de carotenoides daqueles irradiados nas dose de 0,5 e 1,0kGy não diferiu estatisticamente do teor dos controle. Efeito da irradiação por feixe de elétrons sobre o pigmento antocianina também não foi observado por Kong et al. (2014) em mirtilos irradiados em doses  $\leq 3\text{kGy}$ .

Em cada dia de análise os frutos irradiados na dose de 1kGy e tratados hidrotêmicamente não diferiram estatisticamente dos controle. Quando armazenados a 22°C houve aumento dos teores de carotenoides totais nos frutos de todos os tratamentos, com exceção daqueles tratados hidrotêmicamente, em que houve aumento significativo somente no décimo quarto dia.

Frutos mantidos sob temperaturas mais elevadas durante o armazenamento têm o metabolismo acelerado e com isso mais rapidamente entram na fase de amadurecimento, etapa final da maturação que coincide com mudanças de cor e firmeza da polpa. Com o amadurecimento dos mamões, a firmeza é diminuída, devido ao afrouxamento dos constituintes da parede celular, enquanto que a cor é alterada, cor da casca e da polpa, devido à degradação de clorofila, conforme observado nos dados de clorofila total da casca dos frutos (Tabela 11), e há síntese de carotenoides, conforme notado o aumento de carotenoides totais na polpa dos frutos de todos os tratamentos (Tabela 14).

Frutos verdes tem a polpa de coloração bem clara, e com o amadurecimento há expressão de carotenoides, os quais conferem a coloração laranja à polpa (Figura 12).

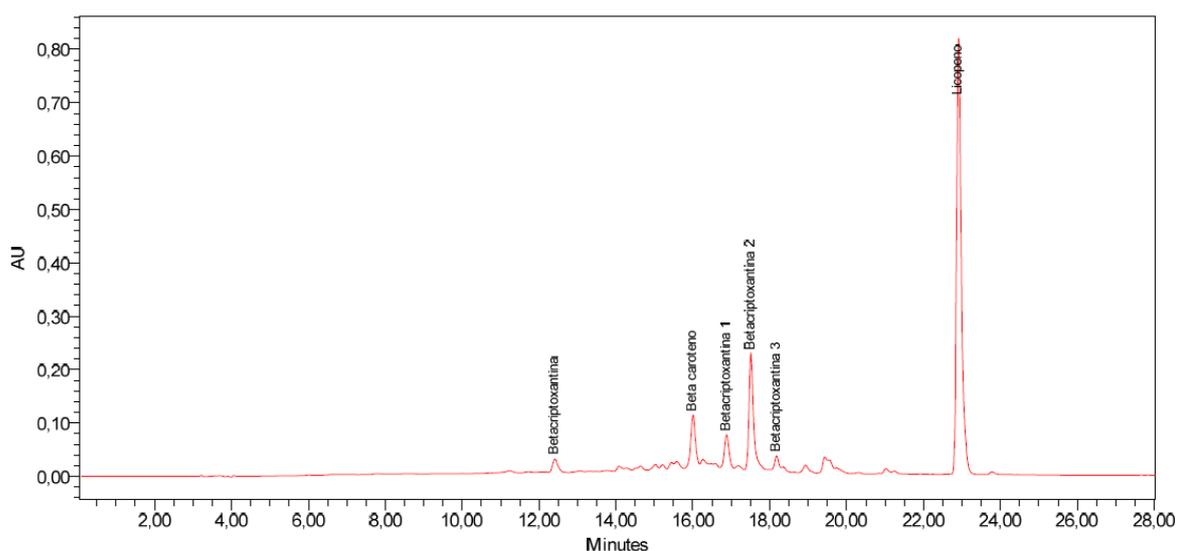


**Figura 12** Cor da polpa de mamões ‘Golden’ mantidos durante 4 dias a 12°C (A) e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) (B) em câmara de refrigeração.

## Perfil e Quantificação de Carotenoides

### Licopeno

Licopeno foi o carotenoide encontrado em maior quantidade no mamão ‘Golden’, seguidos de  $\beta$ -criptoxantina e  $\beta$ -caroteno (Figura 13). Jing et al. (2015) também verificaram maior conteúdo de licopeno no mamão ‘Sui hong’, porém seguidos de  $\beta$ -caroteno, zeaxantina e  $\beta$ -criptoxantina.



**Figura 13** Perfil de carotenoides no mamão ‘Golden’.

Nos dias zero, sétimo e décimo primeiro de armazenamento não houve diferença significativa entre os tratamentos testados. No entanto, no último dia de análise, maior teor de licopeno foi detectado nos frutos irradiados na dose de 1kGy e tratados hidrotérmicamente (Tabela 15). Frutos controle não diferiram quanto ao teor de licopeno daqueles irradiados nas doses de 3 e 5kGy no décimo quarto dia de armazenamento.

O teor de licopeno daqueles irradiados na dose de 1kGy teve o mesmo comportamento que os frutos controle ao longo do período de armazenamento, aumento foi observado com a elevação da temperatura de 12°C para 22°C, e conforme o esperado, maior teor foi quantificado no último dia de análise nos frutos de todos os tratamentos. Tal comportamento semelhante demonstra a pouca interferência do feixe de elétrons na qualidade de frutas, desde que aplicada na dose adequada.

**Tabela 15** Teor de licopeno ( $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	489aC	523cC	504aC	820aB	1139bcA
<b>T2-1kGy</b>	489aC	738abcC	643aCD	987aB	1584aA
<b>T3-3kGy</b>	489aD	966aAB	676aCD	787aBC	1114bcA
<b>T4-5kGy</b>	489aC	659bcBC	567aC	894aAB	1092cA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	489aC	855abB	712aBC	820aB	1341abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### **$\beta$ -criptoxantina**

Frutos irradiados na dose de 1kGy e tratados hidrotérmicamente apresentaram mesmo teor de  $\beta$ -criptoxantina que os controle em todos os dias de análise (Tabela 16).

Nos irradiados na dose de 1kGy e controle houve aumento do teor de  $\beta$ -criptoxantina no décimo primeiro dia de armazenamento. Maior teor foi detectado no último dia de análise nos frutos de todos os tratamentos.

**Tabela 16** Teor de  $\beta$ -criptoxantina ( $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a  $12^{\circ}\text{C}$  + 7 dias a  $22^{\circ}\text{C}$ ) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	194aC	244bcBC	180aC	306abB	570aA
<b>T2-1kGy</b>	194aC	323bBC	173aC	377aB	597aA
<b>T3-3kGy</b>	194aC	442aA	240aBC	326abB	415bA
<b>T4-5kGy</b>	194aB	250bcAB	177aB	257bAB	321cA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	194aB	196cB	204aB	249bB	527aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### $\beta$ -caroteno

Frutos irradiados na dose de 1kGy apenas diferiram estatisticamente dos controle no último dia de análise. No entanto, teve maior teor de  $\beta$ -caroteno (Tabela 17). Conforme observado para a  $\beta$ -criptoxantina, o teor de  $\beta$ -caroteno destes frutos foi influenciado pelo aumento da temperatura de armazenamento.

**Tabela 17** Teor de  $\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a  $12^{\circ}\text{C}$  + 7 dias a  $22^{\circ}\text{C}$ ) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	52aD	80bB	58aCD	73abBC	118bA
<b>T2-1kGy</b>	52aC	79bB	48aC	93aB	175aA
<b>T3-3kGy</b>	52aC	117aA	55aC	63bcC	91cB
<b>T4-5kGy</b>	52aB	79bA	48aB	43cB	57dB
<b>T5-Hidrotérmico</b>	52aB	56cB	61aB	66bB	109bcA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

### Fenólicos Totais

Os teores de fenólicos não foram afetados pelas doses de irradiação de 1 e 3kGy e pelo tratamento hidrotérmico (Tabela 18). A irradiação na dose de 5kGy reduziu o teor de fenólicos dos frutos ao final período de armazenamento a 22°C.

**Tabela 18** Fenólicos Totais (mg de ácido gálico.100 g<sup>-1</sup> de amostra) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
T1-Controle	44,59aA	23,76aC	23,17aC	28,78aBC	33,79aB
T2-1kGy	44,59aA	24,74aC	24,03aC	30,45aBC	35,81aB
T3-3kGy	44,59aA	25,99aC	25,94aC	24,09abC	33,11aB
T4-5kGy	44,59aA	21,36aB	21,73aB	21,46bB	24,99bB
T5-Hidrotérmico	44,59aA	22,98aC	24,31aC	25,86abC	34,36aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de fenólicos totais obtidos para todos os frutos no quarto e sétimo dia de análise foram compatíveis aos valores encontrados por Kelebek et al. (2015) nos mamões ‘Sel-42’ e ‘Tainung’, 25,20 e 22,26 mg de ácido gálico.100g<sup>-1</sup> de amostra, respectivamente.

Fernandes et al. (2015) verificaram influência positiva da irradiação por feixe de elétrons sobre o conteúdo de fenólicos de cogumelos *Amanita curtipes*, uma vez que o cogumelos irradiados na dose de 10kGy apresentaram maior teor de fenólicos do que cogumelos controle e irradiados em doses menores, sem interferência na sua qualidade. Hussain et al. (2013) também observaram aumento no teor de fenólicos totais de damascos secos ao sol e irradiados por raio gama na dose de 3kGy, em comparação ao frutos controle.

Os compostos fenólicos estão entre os principais antioxidantes encontrados nos vegetais (SILVA et al., 2010), os quais oferecem proteção ao organismo humano através da captura de radicais livres. É importante um tratamento pós-colheita manter os níveis de compostos fenólicos dos frutos, importantes agentes antioxidantes presentes no mamão, no caso, apenas a dose de irradiação de 5kGy afetou o conteúdo de fenólicos após o décimo primeiro dia de armazenamento do frutos.

## 3.2 Análises Bioquímicas

### 3.2.1 Análises enzimáticas

#### Pectinametilesterase (PME)

A atividade da PME dos frutos tratados hidrotermicamente foi semelhante à atividade dos controle durante o período de armazenamento.

Ao longo do período de armazenamento, a atividade da PME teve comportamento semelhante nos frutos tratados por irradiação, independente da dose usada, e pico máximo foi observado no sétimo dia de armazenamento. No entanto, redução da firmeza da polpa não foi notada neste dia de análise.

No caso dos frutos irradiados na dose de 1kGy foi observado redução da firmeza da polpa no décimo primeiro dia de armazenamento. No entanto como a atividade da PME destes permaneceu constante após o sétimo dia de armazenamento, a perda de firmeza da polpa pode ter sido devido ao aumento da temperatura. No décimo primeiro dia de armazenamento, frutos tratados por feixe de elétrons e hidrotermicamente não diferiram quanto à atividade da PME dos controle (Tabela 19).

**Tabela 19** Atividade da Pectinametilesterase (U.E.min<sup>-1</sup>.g<sup>-1</sup>) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	6493,74aB	5952,60bB	6542,92bB	9740,61aA	10429,34abA
<b>T2-1kGy</b>	6493,74aB	7641,62aB	9248,66aA	9150,27aA	9150,27bA
<b>T3-3kGy</b>	6493,74aB	7379,26abB	9871,80aA	9347,10aA	9051,88bA
<b>T4-5kGy</b>	6493,74aB	7084,08abB	9675,02aA	9150,27aA	9379,85bA
<b>T5-Hidrotérmico</b>	6493,74aB	6460,94abB	7280,86bB	10593,32aA	11413,23aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Efeito do aumento da temperatura de armazenamento não foi observado sobre a atividade da PME dos frutos irradiados, visto que não houve alteração da atividade com a elevação da temperatura. A irradiação por feixe de elétrons parece ter acelerado a síntese da PME, e no sétimo dia de armazenamento maior atividade da PME foi notada em relação aos frutos controle e tratados hidrotermicamente, independentemente do aumento da temperatura de armazenamento. Esse aumento na atividade da PME, no entanto não foi seguido de perda de firmeza da polpa daqueles irradiados no sétimo dia de armazenamento, nos irradiados na dose de 1kGy redução de firmeza foi observada no décimo primeiro dia enquanto que nos

irradiados na dose de 3kGy apenas houve perda de firmeza no último dia de armazenamento, dados mostrados acima (Tabela 9) .

Maior atividade da PME, valor de  $10429,34 \text{U.E.} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ , foi observada em frutos controle no décimo quarto dia de armazenamento, e não houve diferença estatística com os demais tratamentos. Resultado diferente foi encontrado por Pinto et al. (2011) em mamão ‘Golden’, em que maior atividade da PME foi notada no primeiro dia de armazenamento a  $20^{\circ}\text{C}$ . Asmar et al. (2010) observaram em mamão ‘Sunrise Solo’ maior atividade da PME no sexto dia de armazenamento dos frutos controle a  $22^{\circ}\text{C}$ .

A redução acentuada da firmeza da polpa dos frutos controle e tratados hidrotermicamente no décimo primeiro dia de armazenamento foi resultante do efeito sinérgico entre a atividade da PME e a temperatura de armazenamento, visto que, com o aumento da temperatura houve aumento na atividade da PME e redução acentuada da firmeza destes frutos. Fontes et al. (2008) também verificaram esta relação entre a atividade da PME e a firmeza da polpa de mamão ‘Sunrise Solo’.

A PME é classificada com enzima desmetoxilante ou desesterificante por agir sobre a pectina removendo grupos metoxílicos ( $\text{OCH}_3$ ), liberando metanol e íons hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) (CHITARRA & CHITARRA, 2005). Após a atuação da PME sobre a pectina há formação de pectato (polímero não esterificado), o qual é substrato para as enzimas despolimerizantes (UENOJO & PASTORE, 2007).

Para Ali et al. (2004), a participação da PME no amaciamento diferencial de frutos tropicais ainda não é claro. Os autores consideram que a participação da PME sobre a pectina, causando sua desmetilação, é necessária não somente para ação subsequente da PG, mas também para modificar o pH e propriedades de permuta catiônica da parede, que pode, por sua vez, afetar a atividade de outras enzimas degradantes da parede celular. Eles consideram ainda que as modificações da pectina por si só não pode ser o suficiente para explicar as taxas diferenciais de amolecimento entre os frutos; outros componentes da parede celular, particularmente as hemiceluloses, as quais também são modificadas durante a fase de amadurecimento, podem contribuir para a taxa de amolecimento dos frutos tropicais.

De acordo com Cia et al. (2007), estudos bioquímicos revelam que alterações na parede celular durante o amadurecimento de frutos é resultante de modificações estruturais conjuntas da pectina, hemicelulose e celulose.

### **Poligalacturonase (PG)**

Frutos irradiados a 3kGy apresentaram maior atividade da PG ao final do período de armazenamento a  $12^{\circ}\text{C}$ , em relação aos demais tratamentos, e com o aumento da temperatura não houve alteração enzimática (Tabela 20).

**Tabela 20** Atividade da Poligalacturonase (U.E.min<sup>-1</sup>.g<sup>-1</sup>) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
<b>T1-Controle</b>	7279,75aB	9693,06aA	996,37cC	737,60bCD	0,00bD
<b>T2-1kGy</b>	7279,75aB	8586,20bA	2409,98bC	2192,39aC	0,00bD
<b>T3-3kGy</b>	7279,75aA	7875,41bA	3550,69aB	2138,63aC	0,00bD
<b>T4-5kGy</b>	7279,75aA	2053,17cB	547,88cC	529,51bC	0,00bC
<b>T5-Hidrotérmico</b>	7279,75aA	953,97dBC	270,60cC	0,00bC	1731,66aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Redução acentuada da atividade enzimática foi observado nos frutos tratados na dose de 5kGy e mais intensamente naqueles tratados hidrotermicamente. Após o sétimo dia de análise, redução menos acentuada da PG foi notada nos irradiados nas doses de 1 e 3kGy, em comparação aos demais tratamentos.

Maior atividade da PG foi notada no quarto dia de armazenamento, sendo que os frutos controle tiveram maior atividade da PG do que os demais tratamentos, valor de 9693,06U.E.min<sup>-1</sup>.g<sup>-1</sup>. No caso da PG, o aumento da temperatura de armazenamento não interferiu na atividade da enzima dos frutos de todos os tratamentos, já que não houve alteração da atividade da PG do sétimo para o décimo primeiro dia de armazenamento, com exceção dos irradiados na dose de 3kGy. A atividade da PG de frutos controle e irradiados na dose de 1kGy teve comportamento semelhante ao longo do período de armazenamento.

Naqueles tratados hidrotermicamente não foi observada atividade da PG no décimo primeiro dia de armazenamento. No entanto, no último dia de análise foi detectada uma elevação nos valores encontrados anteriormente. Tal aumento se deve provavelmente à produção de PG por fungos presentes nos frutos, uma vez que nos demais tratamentos não houve atividade da enzima no décimo quarto dia de armazenamento, e que o tratamento hidrotérmico pode ter afetado a atividade da PG, resultando em menor atividade, quando comparado aos demais tratamentos desde o quarto dia de análise.

Pectinases, como a PG, podem ser produzidas por fungos filamentosos a fim de degradar a pectina para obtenção de fonte de carbono (SANDRI, 2010; SOUZA et al., 2010). Bueno et al. (2005) relataram a produção de PG pelo fungo *Aspergillus niger* e destacaram grande uso deste fungo para a produção de enzimas pectinolíticas para fins industriais. Santi et al. (2014) consideram em termos comerciais, que os fungos filamentosos constituem a maioria absoluta da fonte de enzimas pectinolíticas. *Aspergillus*, *Rhizopus* e *Trichoderma* são os principais gêneros de fungos usados como fonte de enzimas pectinolíticas (FREITAS, 2009).

A PG de origem fúngica tem sido usada na indústria para diversos fins, tais como: produção de purês com alta viscosidade, produção de sucos vegetais não clarificados de baixa viscosidade, clarificação de sucos de frutas, produção de ketchup de alta qualidade e polpa de frutas e para melhorar o rompimento da fruta e aumentar a extração de pigmentos de cor (UENOJO & PASTORE, 2007).

A PG é uma enzima despolimerizante que atua sobre a pectina de forma aleatória sobre as ligações glicosídicas internas, liberando resíduos de ácido galacturônico (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Ela atua sobre a pectina sem os grupamentos metoxílicos, papel exercido pela PME. No entanto, baseados nos dados apresentados, não foi observado relação entre a atividade da PG com a atividade da PME, uma vez que maior atividade da PME foi observada no décimo primeiro dia de armazenamento dos frutos, enquanto que no caso da PG, maior atividade foi detectada no quarto dia de análise. Souza et al. (2009) também notaram tendências distintas entre a atividade da PG e da PME durante os seis dias de armazenamento do mamão 'Golden' a 25°C.

Em relação à firmeza, a PG também parece não ter tido relação, conforme observado em frutos controle, os quais tiveram maior atividade da PG do que os demais no quarto dia de armazenamento, porém máxima firmeza foi registrada, mantendo seus valores até o sétimo dia de armazenamento. Cábria & Vieites (2013) também não verificaram correlação entre a PG e o amaciamento de abacates.

Lazan et al. (1995) observaram em mamão 'Eksotika' maior envolvimento da enzima  $\beta$ -galactosidade (EC 3.2.1.23) no amolecimento dos frutos, do que das enzimas PME e PG. Os autores verificaram que houve despolimerização da pectina e também da hemicelulose quase ao mesmo tempo em que houve aumento da atividade da  $\beta$ -galactosidade, coincidindo com rápida diminuição da firmeza dos tecidos. Eles observaram solubilização da pectina à medida que houve aumento na atividade da PG e da PME, sugerindo que a solubilização e a despolimerização da pectina são dois eventos independentes, e que a PG tem papel importante apenas na solubilização de pectinas, sem intervenção no amolecimento dos frutos (MANRIQUE & LAJOLO, 2004).

Lazan et al. (2004) verificaram capacidade de modificação diferencial da parede celular intacta de mamões por três tipos de enzimas  $\beta$ -galactosidade isoladas do fruto,  $\beta$ -Gal I, II e III, como resultado *in vitro* da hidrólise da pectina e hemicelulose, na ausência da atividade da PME e da PG. Segundo Lazan et al. (1995), a  $\beta$ -galactosidade do mamão parece ser uma importante enzima que degrada a parede celular, e pode contribuir significativamente para o amolecimento diferencial dos frutos.

Ali et al. (2004) verificaram que nos frutos tropicais: manga, goiaba, carambola, banana e mamão, a forma predominante de ação da PG foi a exo-poligalacturonase (EXO PG<sub>1</sub>, EC 3.2.1.67), devido a liberação de apenas ácido monogalacturônico, resultante da ação desta enzima, após reação da PG com o ácido poligalacturônico. Tal predominância da forma exo sobre a endo-poligalacturonase no mamão exclui a possibilidade de participação significativa da PG no amaciamento do fruto durante o amadurecimento (LAZAN et al., 2004). Tais considerações estão em acordo com o resultado encontrado neste trabalho para o mamão 'Golden', em que a enzima PG parece não estar relacionada com o amaciamento dos frutos.

### Clorofilase

Quando os frutos foram mantidos sob baixa temperatura de armazenamento, aqueles irradiados na dose de 1kGy tiveram maior atividade da clorofilase do que os demais, e menor atividade foi verificada naqueles tratados hidrotermicamente e irradiados nas doses de 3 e 5kGy (Tabela 21). Kaewsuksaeng et al. (2011, 2015) também verificaram redução significativa da atividade da clorofilase de limão tratados hidrotermicamente (50°C durante 5 minutos), e conseqüentemente menor degradação de clorofila foi observada; frutos irradiados por UV-B tiveram mesmo comportamento, durante armazenamento a temperatura ambiente no escuro.

Ao final do período de armazenamento a 22°C, a atividade da clorofilase não diferiu entre os frutos de todos os tratamentos.

**Tabela 21** Atividade da Clorofilase (Variação de absorvância (A663nm)) de mamões 'Golden' submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

Tratamentos	Tempo de armazenamento (Dias)				
	0	4	7	11	14
T1-Controle	0,026aAB	0,028dA	0,030bA	0,030bA	0,023aB
T2-1kGy	0,026aC	0,052aA	0,037aB	0,025bcC	0,027aC
T3-3kGy	0,026aB	0,046bA	0,017cC	0,024cB	0,025aB
T4-5kGy	0,026aB	0,040cA	0,018cC	0,022cBC	0,024aB
T5-Hidrotérmico	0,026aB	0,018eC	0,017cC	0,038aA	0,028aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nos frutos tratados na dose de 3kGy e hidrotermicamente houve aumento da atividade da clorofilase com o aumento da temperatura de armazenamento, o que não foi observado nos demais tratamentos. Yang et al. (2009) verificaram maior atividade da clorofilase de bananas, quando mantidas a 30°C, em comparação às armazenadas a 20°C.

O aumento da temperatura não influenciou a atividade da clorofilase dos frutos controle e irradiados na dose de 5kGy. Independentemente da elevação da temperatura de armazenamento ter aumentado ou diminuído a atividade da clorofilase, redução significativa dos teores de clorofila total foi observado nos frutos de todos os tratamentos (Tabela 11).

A atividade da clorofilase dos frutos de cada tratamento foi relacionada aos dados de clorofila total, visto que quanto maior a atividade da clorofilase, menor foram os teores de clorofila, e vice-versa. Resultado semelhante foi notado por Wang et al. (2005) em lichias, em que a degradação de clorofila do pericarpo foi estritamente relacionada à atividade da clorofilase.

### 3.2.2 Atividade Respiratória

Maior taxa respiratória foi observada nos frutos tratados nas doses de 3 e 5kGy, em função do maior consumo de O<sub>2</sub>, valores de 0,54 e 0,49mmol O<sub>2</sub>.Kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, e a maior produção de CO<sub>2</sub>, valores de 0,59 e 0,58mmol CO<sub>2</sub>.Kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 22). Resultado semelhante foi observado por Gomes et al. (2008) em brócolis, em que as maiores doses de irradiação por feixe de elétrons testadas (2 e 3kGy) aumentaram a taxa respiratória. Moreno et al. (2007<sup>a</sup>) também verificaram aumento da atividade respiratória em mirtilos irradiados na maior dose testada (3,2kGy). No entanto, diferentemente do que ocorreu para o mamão, todas as três doses de irradiação por feixe de elétrons testadas (1,1; 1,6 e 3,2kGy) aumentaram a atividade respiratória dos mirtilos, quando comparado aos controle.

Resultado diferente foi observado por Rivera et al. (2011) em trufas *Tuber melanosporum*, em que a irradiação por feixe de elétrons na dose de 2,5kGy, maior dose usada, diminuiu a atividade respiratória das trufas, em comparação às controle e irradiadas na dose de 1,5kGy. Em alfaces irradiados por feixe de elétrons nas doses de 1, 1,5 e 3,2kGy, houve maior atividade respiratória naqueles irradiados na dose de 1,5kGy, em comparação aos controle e irradiados nas demais no dia zero de análise (HAN et al., 2004).

**Tabela 22** Taxa respiratória (mmol O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>.Kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>) e Quociente respiratório (IRCO<sub>2</sub>/IRO<sub>2</sub>) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos em jarros de vidro (3,300 mL) hermeticamente fechados durante 46 horas sob condições ambientais médias de 22 °C e umidade relativa de 77%.

TRATAMENTOS	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	QR
T1-Controle	0,41	0,35	0,86
T2-1kGy	0,45	0,41	0,91
T3-3kGy	0,54	0,59	1,09
T4-5kGy	0,49	0,58	1,19
T5-Hidrotérmico	0,46	0,42	0,91

Provavelmente, os frutos irradiados nas doses de 3 e 5kGy utilizaram os ácidos orgânicos como substrato respiratório, visto o valor de QR>1 (Tabela 22), concordando com os dados de ATT mostrados, quando mantidos durante sete dias a 22°C, os quais tiveram menores teores de ácido cítrico do que os demais tratamentos (Tabela 1). Os frutos dos demais tratamentos tiveram valor de QR<1. Bhande et al. (2008) também verificaram QR>1 em bananas armazenadas a 20 e 30°C, devido a maior taxa respiratória em comparação àquelas mantidas a 10°C, as quais tiveram QR<1.

Barbosa (2013) verificou em mamão ‘Golden’ QR próximo de 1, quando mantidos em atmosfera contendo 17% de O<sub>2</sub> e 0,6% de CO<sub>2</sub> durante armazenamento a 24°C, e observou QR<1 quando houve aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera contendo os frutos. Valor de QR>1 foi notado quando houve aumento da concentração de CO<sub>2</sub> e redução da

concentração de O<sub>2</sub> na atmosfera. Wang & Long (2014) também verificaram valores de QR>1 em duas cultivares de cereja, quando a concentração de O<sub>2</sub> da atmosfera ficou abaixo de 3%.

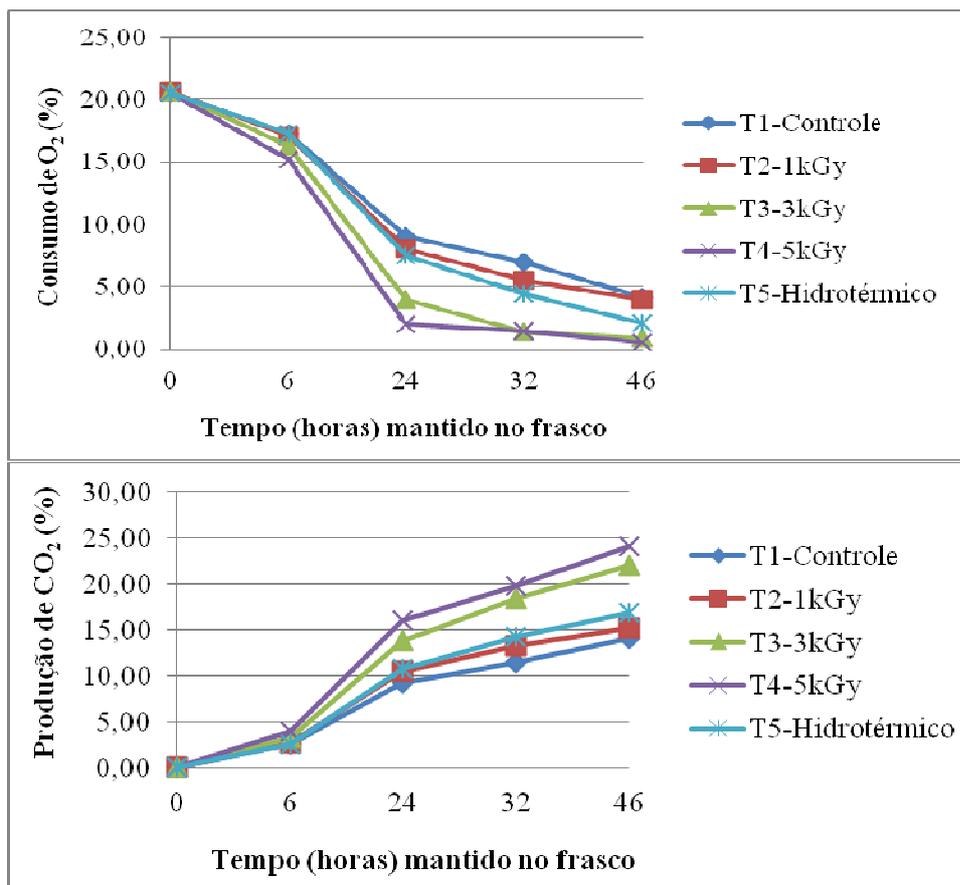
O valor do QR (quociente respiratório) é usado para identificar a natureza do substrato orgânico utilizado no processo respiratório dos frutos. QR=1: indica a utilização dos açúcares como substrato respiratório, QR>1: indica a utilização de ácidos orgânicos e QR<1: o uso de lipídeos no processo respiratório (CHITARRA & CHITARRA, 2005; VIEIRA et al., 2010).

Os valores de QR encontrados estão dentro da normalidade segundo Zerbini et al. (2015), valores entre 0,8 a 1,2, dependendo do substrato usado na respiração dos frutos. Os autores destacam que valores mais altos indicam mudança de respiração aeróbica para anaeróbica.

A irradiação dos frutos nas doses de 3 e 5kGy causou injúrias do tipo queimadura na casca, o que geralmente induz a produção de etileno, o qual provoca aumento significativo na atividade respiratória de frutos climatéricos, como é o caso do mamão. Larrigaudière et al. (1990) observaram em tomates cereja aumento da produção de etileno após 15 minutos da irradiação dos frutos por raio-gama nas doses de 1, 2, 3kGy, e maior produção foi notada na dose de 3kGy. Os autores verificaram maior atividade da enzima ACC-sintase e maior conteúdo de ACC (ácido 1-aminociclopropano1-carboxílico), precursor imediato do etileno, naqueles irradiados, resultando na maior produção de etileno em comparação aos frutos controle. Para Larrigaudière et al. (1991), o etileno de estresse induzido pela radiação provoca a produção autocatalítica de etileno, ou seja, o etileno estimula a sua própria biossíntese (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Resultado diferente foi observado por Egea et al. (2007) em damascos irradiados por feixe de elétrons, em que menor produção de etileno foi observado naqueles irradiados em comparação aos controle, e menor atividade das enzimas envolvidas na síntese do etileno, ACC-sintase e ACC-oxidase, foi observada. Em bananas, as maiores doses de radiação gama usadas (0,8 e 1,0kGy) resultaram em menor produção de etileno, do que aquelas irradiadas nas doses de 0,2 e 0,4kGy, as quais tiveram produção de etileno maior do que as controle (STRYDOM & WHITEHEAD, 1990). Para Egea et al. (2007), os efeitos da ionização sobre a síntese de etileno variam para cada fruta, dependendo também do estágio de maturação e da dose aplicada.

O uso de baixas doses de irradiação por feixe de elétrons parece não afetar a respiração dos frutos, visto que aqueles irradiados na dose de 1kGy não diferiram dos tratados hidrotermicamente, e tiveram consumo de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub> semelhantes aos frutos controle ao longo do tempo de armazenamento (Figura 14).

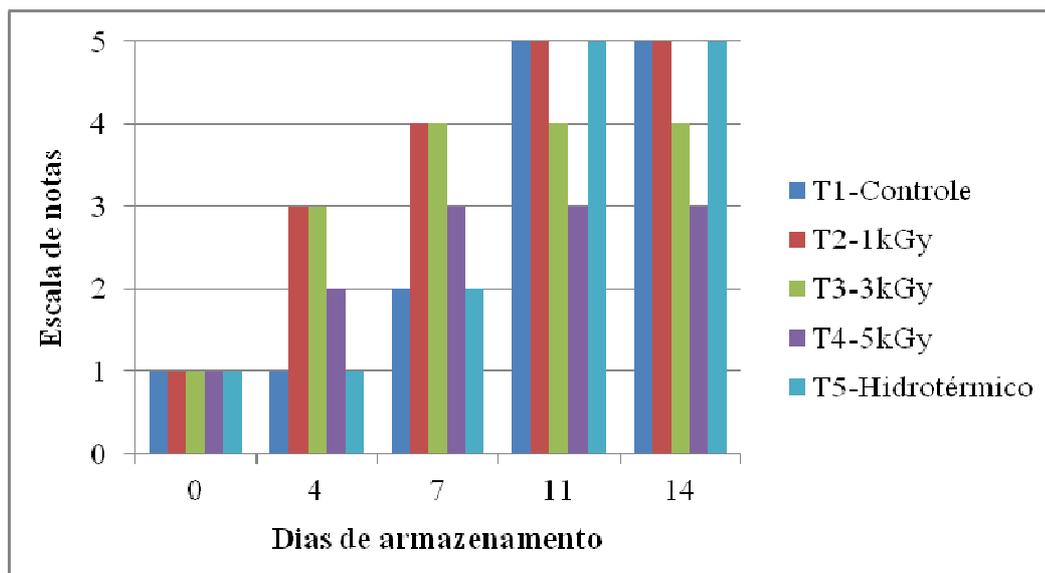


**Figura 14** Taxas de consumo de O<sub>2</sub> e de produção de CO<sub>2</sub> (%) de mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos em jarros de vidro (3,300 mL) hermeticamente fechados durante 46 horas sob condições ambientais médias de 22°C e umidade relativa de 77%.

### 3.3 Análises Visuais

#### Cor da Casca

Com o aumento da temperatura de armazenamento, os frutos controle e tratados hidrotermicamente, passaram de frutos com estrias levemente amarela (nota 2) para frutos com a casca amarela (nota 5) (Figura 15). Aqueles tratados na dose de 1kGy também atingiram nota 5 no décimo primeiro dia de armazenamento, apesar do amadurecimento precoce, enquanto que nos irradiados nas doses de 3 e 5kGy não foi observado evolução da coloração da casca a partir do sétimo dia de armazenamento, em função da injúria causada pelas maiores doses testadas (Figura 19).



**Figura 15** Cor da casca de mamão ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração, segundo escala de notas: **1**-Frutos com casca verde; **2**-Frutos com estria levemente amarela; **3**-Frutos com estrias amarelas; **4**-Frutos com região equatorial amarelo-esverdeada; **5**-Frutos com casca amarela com pontos verdes.

O aparecimento de estrias amarelas nos frutos irradiados já no quarto dia de análise se deve ao pico da clorofilase neste dia de armazenamento, e conseqüentemente maior degradação de clorofila total, surgindo os carotenoides totais, os quais tiveram teores constante na polpa dos irradiados nas doses de 1 e 5kGy até o sétimo dia de análise, e posteriormente aumentaram com a elevação da temperatura de armazenamento, assim como ocorreu nos frutos controle (Tabela 14).

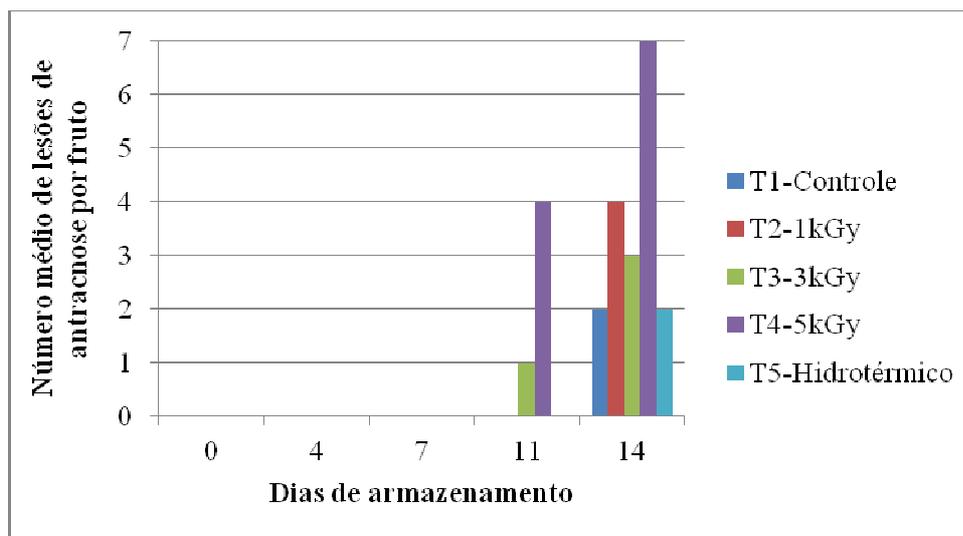
Molinari (2007) também verificou em mamões ‘Golden’ irradiados por radiação gama nas doses de 0,4 e 0,7kGy o surgimento de estrias amarelas um dia após a irradiação, diferentemente dos frutos controle. Camargo et al. (2007) sugerem que a formação de radicais livres durante a irradiação pode causar mudanças na estrutura da clorofila, visto a maior predominância de cor verde na casca de mamões ‘Golden’ controle do que nos irradiados por raio gama nas doses de 0,5; 0,75 e 1,0kGy durante o armazenamento a temperatura de 9,8°C.

As doses de irradiação por feixe de elétrons de 3 e 5kGy aplicadas ao mamão ‘Golden’ causaram injúrias do tipo queimadura, que ao longo do armazenamento escureceram a casca, interferindo no processo de mudança da cor. Menor teor de carotenoides totais foi observado nestes frutos no último dia de armazenamento, em comparação com os demais tratamentos. Na dose de 1kGy apenas foi observado pequenos pontos na casca dos frutos, sem evolução do sintomas (Figura 20).

## Análises Fitopatológicas

### Antracnose

Durante o armazenamento a 12°C não foram observadas lesões nos frutos (Figura 16). Com o aumento da temperatura, lesões típicas de antracnose foram detectadas naqueles irradiados nas doses de 3 e 5kGy, maior número de lesões foi encontrado nos irradiados na dose de 5 kGy, porém, lesões maiores (diâmetro maior que 2,0 cm) estavam presentes nos irradiados nas doses de 3kGy (Figura 17).

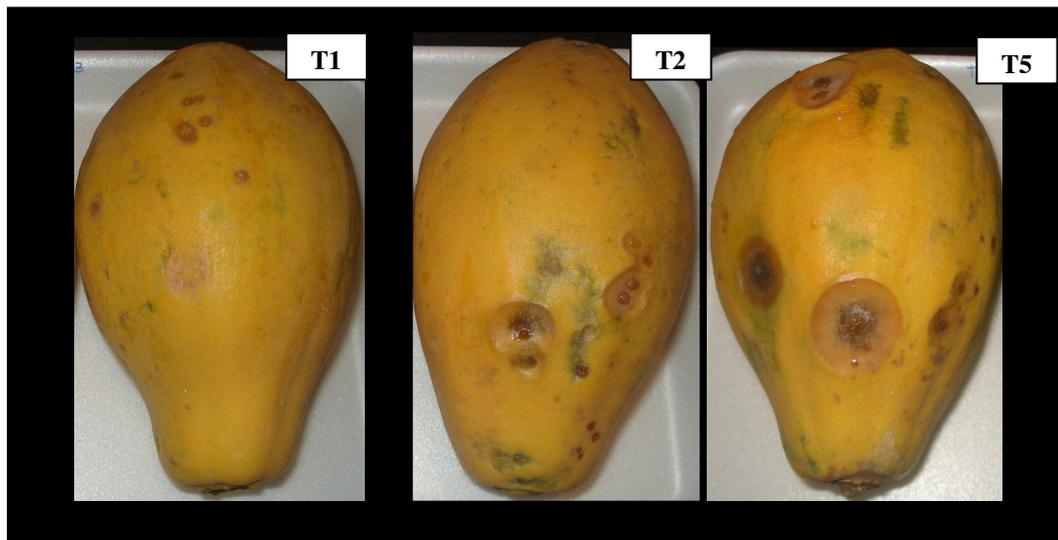


**Figura 16** Número médio de lesões típicas de antracnose por mamão ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.

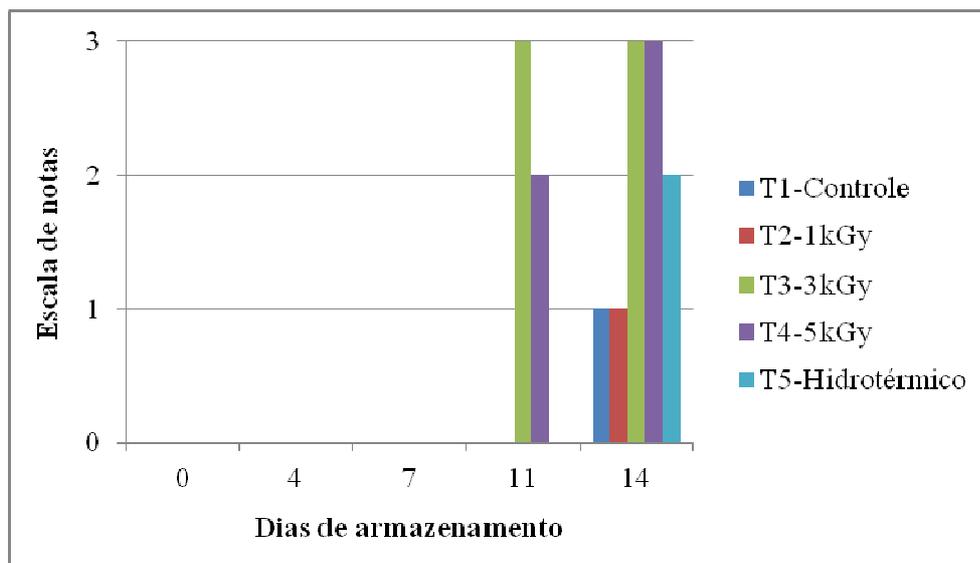
Nos frutos controle, lesões de antracnose foram verificadas apenas no último dia de análise e em pequeno número, lesões com menos de 1,0 cm de diâmetro. Nos irradiados na dose de 1kGy e tratados hidrotérmicamente também só foi observado lesões de antracnose no décimo quarto dia de armazenamento, no entanto, os tratamentos não foram eficientes para reduzir a incidência de antracnose, uma vez que tiveram, respectivamente, maior e mesmo número de lesões por fruto do que os frutos controle.

A maior incidência de lesões de antracnose e lesões maiores naqueles irradiados na dose de 3 e 5kGy foi devido ao dano causado na casca, favorecendo a incidência de doenças.

Embora os frutos tratados hidrotérmicamente apresentaram mesmo número de lesões do que os controle, as lesões foram maiores nestes (diâmetro entre 1,0 e 2,0 cm) (Figura 17), enquanto que aqueles irradiados na dose de 1kGy apresentaram pequenas lesões (diâmetro menor do que 1,0 cm) assim como os controle no último dia de armazenamento (Figura 18).



**Figura 17** Lesões típicas de antracnose em mamão ‘Golden’ controle (T1), mamão irradiado na dose de 1kGy (T2) e tratado hidrotêrmicamente (T5) após 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração.



**Figura 18** Incidência de lesões típicas de antracnose em mamão ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração, baseada em escala de notas: **0**-Mamão sem lesão; **1**-Mamão com lesões de diâmetro inferior a 1,0 cm; **2**-Mamão com lesões de diâmetro entre 1,0 e 2,0 cm; **3**-Mamão com lesão de diâmetro maior que 2,0 cm.

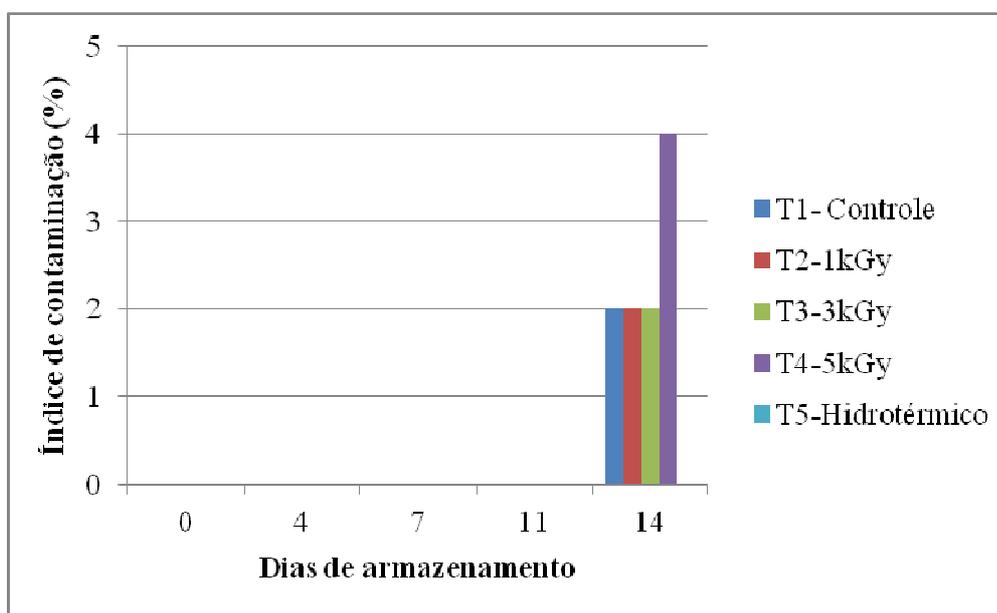
Doses menores do que 1kGy devem ser testadas com o intuito de controle da antracnose, visto que, quando comparado as doses de irradiação por feixe de elétrons usadas, a menor dose, de 1kGy, foi eficaz em retardar o aparecimento de lesões de antracnose e

também em reduzir o tamanho das lesões. No entanto, os frutos irradiados na dose de 1kGy tiveram maior número de lesões do que os controle.

### Podridão Peduncular

A incidência de podridão peduncular só foi observada no último dia de armazenamento nos frutos de todos os tratamentos, com exceção dos tratados hidrotérmicamente (Figura 19).

Aqueles irradiados nas doses de 1 e 3kGy não diferiram dos controle, e tiveram 30% dos frutos com podridão peduncular. Conforme ocorreu para a antracnose, nos irradiados na dose de 5kGy houve maior incidência de podridão peduncular, 80% dos frutos, devido ao dano causado pela alta dose de irradiação aplicada para o mamão ‘Golden’.



**Figura 19** Índice de contaminação por podridão peduncular em mamão ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração, índice de 0-5: **0**- 0% de frutos contaminados; **1**- 15% de frutos contaminados; **2**- 30% de frutos contaminados; **3**- 50% de frutos contaminados; **4**- 80% de frutos contaminados; **5**- 100% de frutos contaminados.

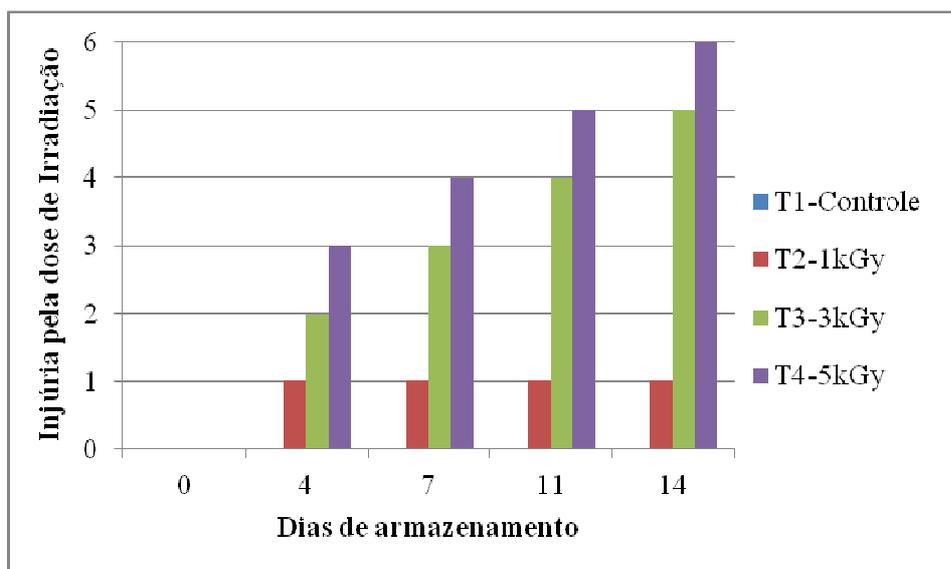
Doses de irradiação por feixe de elétrons abaixo de 1kGy podem ser eficazes para a redução de doenças na pós-colheita do mamão ‘Golden’, visto o resultado obtido por Rashid et al. (2015) em mamão ‘Frangi’ irradiado por radiação gama na dose de 0,8kGy, em que houve menor incidência e lesões menos severas de antracnose e podridões em frutos irradiados do que nos controle, estendendo a vida útil em nove dias à temperatura de 11°C. Resultado semelhante foi observado por Cia et al. (2007) em mamão ‘Golden’, a medida que a dose de irradiação por raio gama foi aumentada até 1,0kGy.

A irradiação por feixe de elétrons tem potencial para controlar fungos na pós-colheita de frutas, desde que estabelecida a dose ideal, conforme notado por Kong et al. (2014) em mirtilos irradiados por feixe de elétrons na dose de 3,0kGy, em que não foi observado

crescimento fúngico nos irradiados e mantidos a temperatura ambiente no oitavo dia de armazenamento, quando comparado aos controle, os quais tinham 70% dos frutos com crescimento micelial.

### 3.4 Injúrias às altas doses de irradiação por feixe de elétrons

Quanto maior foi a dose de irradiação por feixe de elétrons aplicada, maior foram os sintomas de danos (Figura 20). Frutos irradiados na dose de 1kGy não tiveram evolução dos sintomas, apenas apresentaram pequenos pontos.

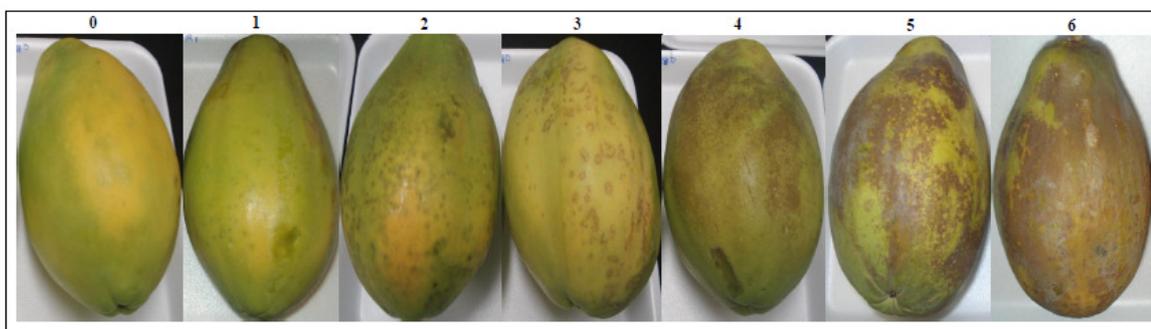


**Figura 20** Sintomas de injúrias às doses de irradiação por feixe de elétrons na casca de mamão ‘Golden’ mantidos durante 14 dias (7 dias a 12°C + 7 dias a 22°C) em câmara de refrigeração, segundo escala de notas: **0**-Frutos sem pontos; **1**-Frutos com pequenos pontos; **2**-Frutos com pontos escuros; **3**-Pontos evoluíram para manchas arredondadas de cor marrom; **4**-Manchas do tipo queimadura; **5**-Manchas do tipo queimadura de coloração bem mais acentuada; **6**-Frutos com a casca totalmente queimada.

A injúria causada aos frutos pelas doses de 3 e 5kGy se manifestou inicialmente com pequenos pontos, os quais se tornaram escuros e evoluíram para manchas arredondadas de cor marrom, que com o tempo escureceram e se assemelharam a manchas do tipo queimadura, e no caso da dose de 5kGy tomaram toda a casca no último dia de armazenamento.

Estes sintomas foram parecidos aos que ocorrem comumente em maçãs e peras quando armazenadas por meses a baixa temperatura (MORCILLO, 2015). É um distúrbio fisiológico conhecido por escaldadura superficial ou escaldadura que ocasiona o escurecimento superficial das células da epiderme, as quais entram em colapso e morrem (GIRARDI & FLORES-CANTILLANO, 2004). Em maçã, o distúrbio é induzido quando a fruta é exposta a baixas temperaturas de armazenamento, e os sintomas se tornam mais intensos quando as frutas são colocadas em altas temperaturas, com maior manifestação nas partes verdes (GIRARDI & FLORES-CANTILLANO, 2004). No caso do mamão, os sintomas progrediram com o passar do tempo de armazenamento nos frutos irradiados nas

doses de 3 e 5kGy, independentemente da temperatura usada (Figura 21).



**Figura 21** Evolução dos sintomas de injúrias causadas pela dose de irradiação por feixe de elétrons em mamão ‘Golden’: **0**-Frutos sem pontos; **1**-Frutos com pequenos pontos; **2**-Frutos com pontos escuros; **3**-Pontos evoluíram para manchas arredondadas de cor marrom; **4**-Manchas do tipo queimadura; **5**-Manchas do tipo queimadura de cor bem mais acentuada; **6**-Frutos com a casca totalmente queimada.

Resultado semelhante foi observado por Moy et al. (1973, citado por PIMENTEL, 2001, p. 11) em mamões procedentes da Venezuela, Havaí e Taiwan, os quais toleraram doses de radiação de no máximo 1,5, 1,0 e 1,0kGy, respectivamente; aqueles irradiados em doses acima dessas sofreram escaldadura.

Paull (1996) também verificaram escaldadura em mamões ‘Sunset’ irradiados por raio gama na dose de 0,25kGy, quando os frutos usados tiveram menos de 25% da superfície da casca de cor amarela e foram imediatamente armazenados a 10°C após a irradiação. Naqueles irradiados e armazenados após 12 horas, sintoma de escaldadura não foi observado. Os autores também verificaram escurecimento da casca dos tratados hidrotérmicamente (49°C por 20 minutos) e imediatamente armazenados, e consideram que o atraso para o armazenamento dos frutos tratados pode ter permitido reparos no metabolismo e fisiologia celular.

Em mangas irradiadas por raio gama também foi notado manchas marrons na casca, resultantes das maiores doses aplicadas as cultivares ‘Dushehri’ (6-10kGy) e ‘Fazli’ (1-10kGy) (MAHTO & DAS, 2013).

### **3.5 Viabilidade Econômica da Irradiação por Feixe de Elétrons**

Baseado nos resultados apresentados, a irradiação por feixe de elétrons na dose de 1kGy não interferiu na qualidade do mamão ‘Golden’, porém não foi eficaz para o controle de antracnose, assim como o tratamento hidrotérmico. Resultados positivos da irradiação por feixe de elétrons foram observados na pós-colheita de amêndoas irradiadas na dose de 3kGy para controle do fungos *Aspergillus* (SÁNCHEZ-BEL et al., 2005), e em alface minimamente processado efeito fungicida foi observado quando foram irradiados na dose de 1kGy (HAN et al., 2004). No caso do mamão que se mostrou um fruto sensível a altas doses de irradiação por feixe de elétrons, talvez doses abaixo de 1kGy possam ser mais eficazes para o controle de doenças fúngicas.

A irradiação por feixe de elétrons é um tratamento rápido e econômico, que não altera a qualidade do produto, quando estabelecida a dose ideal para cada um. No caso do irradiador usado para o tratamento do mamão 'Golden' pertencente a empresa Acelétron, para a dose de 1kGy, a mais adequada das três testadas, da forma em que os frutos foram irradiados em caixas de 10 Kg (dimensões de 59 x 29 x 13cm), a capacidade produtiva do irradiador é de 50 toneladas de frutos irradiados por hora, com custo em torno de R\$ 0,04 a R\$0,10 por Kg.

O mamão é um fruto sensível, em função de sua casca fina, talvez por isso as maiores doses testadas causaram danos à sua casca. No entanto, Chatterjee et al. (2013) verificaram que até a dose de irradiação por raio gama de 2,0kGy não houve alteração significativa das características sensoriais estudadas do mamão, uma vez que os provadores não conseguiram distinguir frutos controle dos irradiados quanto aos parâmetros cor, aroma, textura, sabor e aceitação global.

Novos estudos devem ser feitos testando doses de irradiação por feixe de elétrons abaixo de 1kGy para o mamão 'Golden', visando o controle de doenças fúngicas, visto que o tratamento tem potencial; frutos irradiados tiveram maior número de lesões de antracnose do que os controle. No entanto, a dose de 1kGy foi eficaz em reduzir o tamanho das lesões, o que não foi observado naqueles do tratamento hidrotérmico, tratamento usual em frutas para a exportação.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALI, Z. M.; CHIN, L. H.; LAZAN, H. A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. **Plant Science**, v. 167, p. 317-327, 2004.
- AL-FARISI, M.; ABUAGLA, A.; MOHAMED, E.; GOHS, U. The effect of electron beam on dates infestation. **Food Control**, v. 33, p. 157-161, 2013.
- ASMAR, S. A.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; CORRÊA, A. D.; SANTOS, C. D. Firmeza de mamão tratado com 1-MCP em diferentes tempos de exposição. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 440-444, 2010.
- BARBOSA, N. C. **Taxa de respiração do mamão em função das diferentes condições de atmosferas de armazenamento em temperatura ambiente**. 2013. 71 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2013.
- BHANDE, S. D.; RAVINDRA, M. R.; GOSWAMI, T. K. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions at different storage temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 116-123, 2008.
- BUENO, M. C.; PERES, M. F. S.; GATTÁS, E. A. L. Produção de poligalacturonase por três linhagens de *Aspergillus* isolados do solo. **Alimentos e Nutrição**, v.16, n.3, p. 253-257, 2005.
- CÁBIA, N. C.; VIEITES, R. V. Alterações físicas do abacate Hass submetido à aplicação de 1-MCP. **Energia na Agricultura**, v. 28, n. 2, p. 129-134, 2013.
- CAMARGO, R. J.; TADINI, C. C.; SABATO, S. F. Physical-chemical analyses of irradiated papayas (*Carica papaya* L.). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 76, p. 1866-1868, 2007.
- CAROCHO, M.; BARROS, L.; ANTONIO, A. L.; BARREIRA, J. C. M.; BENTO, A.; KALUSKA, I.; FERREIRA, I. C. F. R. Analysis of organic acids in electron beam irradiated chestnuts (*Castanea sativa* Mill.): Effects of radiation dose and storage time. **Food and Chemical Toxicology**, v. 55, p. 348-352, 2013.
- CHATTERJEE, S.; VARIYAR, P. S.; SHARMA, A. Phenol induced by irradiation does not impair sensory quality of fenugreek and papaya. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 92, p. 121-122, 2013.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: Fisiologia e manuseio**. 2º ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

- CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; BENATO, E. A.; CAMILI, E. C.; SANTOS, C. A. Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, p. 366-373, 2007.
- EGEA, M. I.; MARTÍNEZ-MADRID, M. C.; SÁNCHEZ-BEL, P.; MURCIA, M. A.; ROMOJARO, F. The influence of electron-beam ionization on ethylene metabolism and quality parameters in apricot (*Prunus armeniaca* L., cv Búlida). **LWT**, v. 40, p. 1027-1035, 2007.
- FERNANDES, A.; BARREIRA, J. C. M.; ANTONIO, A. L.; RAFALSKI, A.; OLIVEIRA, M. B. P. P.; MARTINS, A.; FERREIRA, I. C. F. R. How does electron beam irradiation dose affect the chemical and antioxidant profiles of wild dried *Amanita* mushrooms? **Food Chemistry**, v. 182, p. 309-315, 2015.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.
- FISHER, R. L.; BENNET, A. B. Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 675-703, 1991.
- FOLLETT, P. A.; WEINERT, E. D. Phytosanitary irradiation of fresh tropical commodities in Hawaii: Generic treatments, commercial adoption, and current issues. **Radiation Physics Chemistry**, v. 81, p. 1064-1067, 2012.
- FONSECA, M. J. DE O. **Conservação pós-colheita de mamão (*Carica papaya* L.): análise das cultivares Sunrise Solo e Golden, sob controle de temperatura e da atmosfera**. 2002. 177 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias. Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2002.
- FONTES, R. V.; SANTOS, M. P.; FALQUETO, A. R.; SILVA, D. M. Atividade da pectinametilesterase e sua relação com a perda de firmeza da polpa de mamão cv. Sunrise Solo e Tainung. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 1, p. 54-58, 2008.
- FREITAS, P. M. **Produção de poligalacturonase termoestável pelo fungo *Rhizomucor pusillus* A 13.36 em fermentação em estado sólido, purificação e caracterização da enzima**. 2009. 95 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociência. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2009.
- FUNAMOTO, Y.; YAMAUCHI, N.; SHIGENAGA, T.; SHIGYO, M. Effects of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 24, n. 2, p. 163-170, 2002.
- GEORGÉ, S.; BRAT, P.; ALTER, P.; AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamina C in plant-derived product. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 1370-1373, 2005.

- GIRARDI, C. L.; FLORES-CANTILLANO, R. F. Distúrbios fisiológicos. In: NACHTIGALL, G. R. (Ed.). **Maçã Produção**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 143-147.
- GOMES, C.; SILVA, P.; CHIMBOMBI, E.; KIM, J.; CASTELL-PEREZ, E.; MOREIRA, R. G. Electron-beam irradiation of fresh broccoli heads (*Brassica oleracea* L. *italica*). **LWT - Food Science and Technology**, v. 4, p. 1828-1833, 2008.
- HAN, J.; GOMES-FEITOSA, C. L.; CASTELL-PEREZ, E.; MOREIRA, R. G.; SILVA, P. F. Quality of packaged romaine lettuce hearts exposed to low-dose electron beam irradiation. **Lebensm Wiss Technol**, v. 37, p. 705-715, 2004.
- HUSSAIN, P. R.; CHATTERJEE, S.; VARIYAR, P. S.; SHARMA, A.; DAR, M. A.; WANI, A. M. Bioactive compounds and antioxidant activity of gamma irradiated sun dried apricots (*Prunus armeniaca* L.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 30, p. 59-66, 2013.
- HUSSAIN, P. R.; SURADKAR, P. P.; WANI, A. M.; DAR, M. A. Retention of storage quality and post-refrigeration shelf-life extension of plum (*Prunus domestica* L.) cv. Santa Rosa using combination of carboxymethyl cellulose (CMC) coating and gamma irradiation. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 107, p. 136-148, 2015.
- International Organization for Standardization (ISO) (1998). ISO 750:1998 (2nd ed.). Fruit and vegetable products. Determination of titrable acidity.
- International Organization for Standardization (ISO) (1978). ISO 2173:1978 (1st ed.). Fruit and vegetable products. Determination of soluble solids content – Refractometric method.
- JEN, J. J.; ROBINSON, M. L. P. Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annum* L.). **Journal of food Science**, v. 9, n. 4, p.1045-1087, 1984.
- JING, G.; LI, T.; QU, H.; YUN, Z.; JIA, Y.; ZHENG, X.; JIANG, Y. Carotenoids and volatile profiles of yellow- and red-fleshed papaya fruit in relation to the expression of carotenoid cleavage dioxygenase genes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 108, p. 114-119, 2015.
- JOMORI, M. L. L.; SASAKI, F. F. C.; BERNO, N. D.; GIMENES, L. C.; KLUGE, R. A. Desverdecimento e armazenamento refrigerado de tangor ‘Murcott’ em função de concentração e tempo de exposição ao etileno. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 825-834, 2014.
- KAEWSUKSAENGA, S.; URANO, Y.; AIAMLA-OR, S.; SHIGYO, M.; YAMAUCHI, N. Effect of UV-B irradiation on chlorophyll-degrading enzyme activities and postharvest quality in stored lime (*Citrus latifolia* Tan.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 61, p. 124-130, 2011.

- KAEWSUKSAENGA, S.; TATMALAA, N.; SRILAONG, V.; PONGPRASERT, N. Postharvest heat treatment delays chlorophyll degradation and maintains quality in Thai lime (*Citrus aurantifolia* Swingle cv. Paan) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p. 1-7, 2015.
- KELEBEK, H.; SELLI, S.; GUBBUK, H.; GUNES, E. Comparative evaluation of volatiles, phenolics, sugars, organic acids and antioxidant properties of Sel-42 and Tainung papaya varieties. **Food Chemistry**, v. 173, p. 912-919, 2015.
- KONG, Q.; WU, A.; WU, Q.; QI, R.; CARTER, J. M.; RASOOLY, R.; HE, X. Effects of electron-beam irradiation on blueberries inoculated with *Escherichia coli* and their nutritional quality and shelf life. **Postharvest Biology and Technology**, v. 95, p. 28-35, 2014.
- LARRIGAUDIÈRE, C.; LATCHÈ, A.; PECH, J. C.; TRIANTAPHYLIDÈS, C. Short-term effects of  $\gamma$ -irradiation on 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid metabolism in early climacteric cherry tomatoes. **Plant Physiology**, v. 92, p. 577-581, 1990.
- LARRIGAUDIÈRE, C.; LATCHÈ, A.; PECH, J. C.; TRIANTAPHYLIDÈS, C. Relationship between stress ethylene production induced by gamma irradiation and ripening of cherry tomatoes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 116, p. 1000-1003, 1991.
- LAZAN, H.; SELAMAT, M. K.; ALI, A. M.  $\beta$ -Galactosidase, polygalacturonase and pectinesterase in differential softening and cell wall modification during papaya fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, v. 95, p. 106-112, 1995.
- LAZAN, H.; NG, S. Y.; GOH, L. Y.; ALI, A. M. Papaya  $\beta$ -galactosidase/galactanase isoforms in differential cell wall hydrolysis and fruit softening during ripening. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 42, p. 847-853, 2004.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, n. 22, p. 346-382, 1987.
- LIMA, L. M.; MORAIS, P. L. D.; MEDEIROS, E. V.; MENDONÇA, V.; XAVIER, I. F.; LEITE, G. A. Qualidade pós-colheita do mamão formosa 'Tainung 01' comercializado em diferentes estabelecimentos no município de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 902-906, 2009.
- MACRAE, R. **Food Science and technology – A series of monographs: HPLC in food analysis**. Editora Academic Press, 2ª ed. 1998, p.77.
- MANRIQUE, G. D.; LAJOLO, F. M. Cell-Wall polysaccharide modification during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v.33, p.11-26, 2004.
- MAHTO, R.; DAS, M. Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.), cv. 'Dushehri' and 'Fazli'. **Postharvest Biology and Technology**, v. 86, p. 447-455, 2013.

- MEDINA, J.C. **Cultura:** mamão. Campinas: ITAL 1989. 117p. (ITAL. Série Frutas Tropicais, 7).
- MINOLTA. Precise Color Communication – Color Control, from Feeling to Instrumentation. Minolta Camera Co., Ltd., Osaka-Japan, 1993, 49p.
- MOLINARI, A. C. F. **Métodos combinados para preservar a qualidade pós-colheita do mamão ‘Golden’ tipo exportação.** 2007. 75 p. Tese (Doutorado em Ciência) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- MORCILLO, M. **Solución al problema del "escaldado" en manzanas y peras.** Disponível em: <<http://www.freshplaza.es/article/88853/Soluci%C3%B3n-al-problema-del-escaldado-en-manzanas-y-peras>> Acesso em: 14 jul. 2015.
- MORENO, M. A.; CASTELL-PEREZ, M. E.; GOMES, C.; SILVA, P. F.; MOREIRA, R. G. Quality of electron beam irradiation of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) at medium dose levels (1.0-3.2 kGy). **LWT**, v. 40, p. 1123-1132, 2007<sup>a</sup>.
- MORENO, M. A.; CASTELL-PEREZ, M. E.; GOMES, C.; SILVA, P. F.; KIM, J.; MOREIRA, R. G. Optimizing electron beam irradiation of “Tommy Atkins” mangoes (*Mangifera indica* L.). **Journal of Food Process Engineering**, v. 30, p. 436-457, 2007<sup>b</sup>.
- MOSTAFAVI, H. A.; MIRMAJLESSI, S. M.; FATHOLLAHI, H. The Potential of Food Irradiation: Benefits and Limitations. In: EISSA, A. H. (Ed). **Trends in Vital Food and Control Engineering**, 2012. p. 43-68.
- NELSON, N. A. A photometric adaptation of Somogy method for the determination of glucose. **The Journal of Biology Chemistry**, v. 153, p. 375-80, 1994.
- PACHECO, S. **Preparo de padrões analíticos, estudo de estabilidade e parâmetros de validação para ensaio de carotenóides por cromatografia líquida.** 2009. 117 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Tecnologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.
- PAULL, R. E. Ripening behavior of papaya (*Carica papaya* L.) exposed to gamma irradiation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 7, p. 359-370, 1996.
- PIMENTEL, R. M. A. **Efeito da irradiação gama em mamão papaia (*Carica papaya* L.) colhido em três pontos de maturação.** 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001.
- PIMENTEL, R. M. A.; MARCONDES, Y. E. M.; WALDER, J. M. M. Qualidade do mamão cv. Solo submetido ao choque térmico e tratamento quarentenário por radiação gama. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 483-487, 2007.

- PINTO, L. K. A.; MARTINS, M. L. L.; RESENDE, E. D.; THIÈBAUT, J. T. L. Atividade da pectina metilesterase e da  $\beta$ -galactosidase durante o amadurecimento do mamão cv. Golden. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 713-722, 2011.
- PRESSEY, R.; AVANTS, J. K. Separation and characterization of the exopolygalacturonase and endopolygalacturonase from peaches. **Plant Physiology**, v. 52, p. 252-256, 1973.
- RASHID, M. H. A.; GROUT, B. W. W.; CONTINELLA, A.; MAHMUD, T. M. M. Low-dose gamma irradiation following hot water immersion of papaya (*Carica papaya* linn.) fruits provides additional control of postharvest fungal infection to extend shelf life. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 110, p. 77-81, 2015.
- RIVERA, C. S.; VENTURINI, M. E.; MARCO, P.; ORIA, R.; BLANCO, D. Effects of electron-beam and gamma irradiation treatments on the microbial populations, respiratory activity and sensory characteristics of *Tuber melanosporum* truffles packaged under modified atmospheres. **Food Microbiology**, v. 28, p. 1252-1260, 2011.
- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A Guide to Carotenoid analysis in Foods**. Washington: Ilsi, 2001, 64p.
- RUGGIERO, C.; MARIN, S. L. D.; DURIGAN, J. F. Mamão, uma história de sucesso. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Volume Especial, p. 76-82, 2011.
- SÁNCHEZ-BEL, P.; MARTÍNEZ-MADRID, M. C.; EGEA, I.; ROMOJARO, F. Oil quality and sensory evaluation of almond (*Prunus amygdalus*) stored after electron beam processing. **Journal Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 2567-2573, 2005.
- SANDRI, I. G. **Enzimas pectinolíticas: seleção de linhagens fúngicas produtoras, caracterização e aplicação em processos da indústria de alimentos**. 2010. 129 p. Tese (Doutorado em Biotecnologia) – Biotecnologia. Universidade de Caxias do Sul. Caxias do Sul, 2010.
- SANTI, L.; BERGER, M.; SILVA, W. O. B. Pectinases e pectina: aplicação comercial e potencial biotecnológico. **Caderno pedagógico**, v. 11, n. 1, p. 130-139, 2014.
- SILVA, G. G. **Avaliação do efeito da radiação gama na qualidade do mamão (*Carica papaya* L.): características nutricionais, textura, parâmetros de estresse oxidativo e genéticos**. 2008. 157 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Biologia Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.
- SILVA, J. S.; FINGER, F. L.; CORRÊA, P. C. Armazenamento de frutas e hortaliças. In: SILVA, J. S. (Ed). **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil. 2008. p. 469-502.

- SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI Jr. J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-168, 1965.
- SOUZA, M. S.; AZEVEDO, I. G.; CORRÊA, S. F.; SILVA, M. G.; PEREIRA, M. G.; OLIVEIRA, J. G. Resposta da aplicação do 1-MCP em frutos de mamoeiro 'Golden' em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p. 693-700, 2009.
- SOUZA, R. L. A.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H.; AMORIM, B. C. Caracterização da poligalacturonase produzida por fermentação semi-sólida utilizando-se resíduo do maracujá como substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 987-992, 2010.
- STRYDOM, G. J.; WHITEHEAD, C. S. The effect of ionizing radiation on ethylene sensitivity and postharvest ripening of banana fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 41, p. 293-304, 1990.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artimed, 2009. 848 p.
- UENOJO, M.; PASTORE, G. M. Pectinases: Aplicações industriais e perspectivas. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 388-394, 2007.
- VAROQUAUX, P.; GOUBLE, B.; DUCAMP, M. N.; SELF, G. Procedure to optimize modified atmosphere packaging for fruit. **Fruits**, v. 57, p. 313-322, 2002.
- VIEIRA, E. L.; SOUZA, G. S.; SANTOS, A. R.; SANTOS, S. J. **Manual de Fisiologia Vegetal**. São Luis: EDUFMA, 2010. 230p.
- VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; FANARO, G. B.; ARAÚJO, M. M.; AQUINO, S.; SILVA, P. V.; MANCINI-FILHO, J. Detection of *Phakopsora pachyrhizi* by polymerase chain reaction (PCR) and use of germination test and DNA comet assay after feixe de elétrons processing in soybean. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 6, p. 1878-1881, 2007.
- WANG, H-C.; HUANG, X-M.; HU, G-B.; YANG, Z-Y.; HUANG, H-B. A comparative study of chlorophyll loss and its related mechanism during fruit maturation in the pericarp of fast-and slow-degreening litchi pericarp. **Scientia Horticulturae**, v. 106, p. 247-257, 2005.
- WANG, Y.; LONG, L. E. Respiration and quality responses of sweet cherry to different atmospheres during cold storage and shipping. **Postharvest Biology and Technology**, v. 92, p. 62-69, 2014.

- WEI, M.; ZHOU, L.; SONG, H.; YI, J.; WU, B.; LI, Y.; ZHANG, L.; CHE, F.; WANG, Z.; GAO, M.; LI, S. Electron beam irradiation of sun-dried apricots for quality maintenance. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 97, p. 126-133, 2014.
- YANG, X-T.; ZHANG, Z-Q.; JOYCE, D.; HUANG, X-M.; XU, L-Y.; PANG, X-Q. Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature. **Food Chemistry**, v. 114, p. 383-390, 2009.
- YUN, S. H.; LEE, S. W.; KOO, H. N.; KIM, G. H. Assessment of electron beam-induced abnormal development and DNA damage in *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae). **Radiation Physics and Chemistry**, v. 96, p. 44-49, 2014.
- ZAICOVSKI, C. B.; PEGORARO, C.; FERRAREZZE, J. P.; DAL CERO, J.; LUND, D. G.; ROMBALDI, C. V. Efeito de danos mecânicos, da redução de temperatura e 1-MCP no metabolismo pós-colheita de brócolis Legacy. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 4, p. 840-845, 2008.
- ZERBINI, P. E.; VANOLI, M.; RIZZOLO, A.; GRASSI, M.; PIMENTEL, R. M. A.; SPINELLI, L.; TORRICELLI, A. Optical properties, ethylene production and softening in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 101, p. 58-65, 2015.

## **CAPÍTULO II**

### **EFEITO DE DIFERENTES DOSES DE IRRADIAÇÃO POR FEIXE DE ELÉTRONS NO CONTROLE DE DOENÇAS FÚNGICAS NA PÓS-COLHEITA DO MAMÃO 'GOLDEN'**

## RESUMO

O mamão é altamente susceptível ao ataque de fungos, os quais são responsáveis por elevadas perdas na pós-colheita, sendo os fungos *Colletotrichum gloeosporioides* e *Phoma caricae-papayae* os principais causadores das doenças antracnose e podridão peduncular, respectivamente. Com o intuito de controlar o crescimento destes fungos, três doses de irradiação por feixe de elétrons foram testadas no mamão 'Golden'. Discos dos fungos *C. gloeosporioides* e *P. caricae-papayae* foram inoculados em dois pontos nos frutos e em placas de Petri contendo BDA (batata-dextrose-ágar) como meio de cultura. Foram usados sete frutos para cada fungo por tratamento, e oito placas foram empilhadas para verificar o alcance do feixe de elétrons, foram usadas três pilhas de placa por tratamento. Após 12 horas da inoculação, os frutos e as placas receberam os tratamentos: T1-Controle (sem irradiação), T2-Dose de 1kGy, T3-Dose de 3kGy e T4-Dose de 5kGy. Sete dias após o armazenamento a 22°C foi medido o diâmetro (cm) de crescimento das lesões dos dois fungos nos frutos e nas placas. Para os testes *in vivo*, menor crescimento de *P. caricae-papayae* foi observado nos frutos irradiados na dose de 5kGy, as doses de 1 e 3kGy não diferiram quanto ao tamanho da lesão nos frutos, mas as lesões foram menores do que as lesões dos frutos controle. Apesar de não ter havido diferença entre os tratamentos para o fungo *C. gloeosporioides* no teste *in vivo*, as lesões dos frutos controle foram maiores do que as lesões dos demais frutos. Diferença entre o posicionamento das placas na pilha em relação ao alcance do feixe de elétrons não foi observado para as placas inoculadas com *P. caricae-papayae*, no entanto, para as placas contendo discos de *C. gloeosporioides* foi notado maior crescimento das colônias da última placa da pilha, em relação às demais placas. Nas placas de ambos os fungos, as placas controle tiveram maior crescimento das colônias do que as placas dos demais tratamentos. Das três doses de irradiação por feixe de elétrons testadas, a dose de 1kGy foi eficiente para a redução do crescimento dos fungos analisados no mamão 'Golden', quando comparada ao controle. Entretanto, não foi eficiente para inibir o crescimento dos fungos estudados. Doses de irradiação por feixe de elétrons abaixo de 1kGy devem ser testadas, em busca da dose adequada para o controle de fungos pós-colheita no mamão 'Golden', sem intervenção na qualidade dos frutos.

**Palavras-chave:** *Carica papaya*, Fungos Pós-colheita, Irradiação por Feixe de Elétrons.

## ABSTRACT

Papaya is highly susceptible to fungi, which are responsible for high losses in post-harvest, and the fungi *Colletotrichum gloeosporioides* and *Phoma caricae-papayae* are the main causes of the of disease anthracnose and stem-end rot, respectively. In order to control the growth of these fungi, three doses of electron beam irradiation were tested in 'Golden' papaya. Discs of fungi *C. gloeosporioides* and *P. caricae-papayae* were inoculated at two points in the fruits and in Petri plates containing PDA (Potato Dextrose Agar) as culture medium. Seven fruits were used for each fungus per treatment, and eight plates were stacked to verify the achievement of the electron beam, were used three stacks of plate per treatment. After 12 hours inoculation, the fruits and the plates received treatments: T1-control (no irradiation), T2-dose 1kGy, T3-dose 3kGy and T4-Dose 5kGy. Seven days after storage at 22°C was measured the diameter (cm) of growth of lesions of both fungi on fruit and on the plates. For in vivo tests, lower growth of *P. caricae-papayae* was observed in the fruits irradiated at dose of 5kGy, the dose of 1 and 3kGy did not differ in the size of lesion in the fruits, but the lesions were smaller than those of the control fruits. Although there was no difference between treatments for fungus *C. gloeosporioides* in the vivo test, the lesions of control fruits were larger than the injuries of other fruits. The difference between the position of the plates in the stack in relation to the range of the electron beam was not observed for the plates inoculated with *P. caricae-papayae*. However, to the plates containing *C. gloeosporioides* discs was noticed greater growth of colonies of the last plate of the stack, compared to other plates. The plates of both fungi, the control plates had higher growth of colonies than the plates of the other treatments. The three doses of beam electrons irradiation tested, the dose of 1kGy was efficient in reducing the growth of fungi analyzed in 'Golden' papaya compared to the control. However, it was not sufficient to inhibit the growth of fungi studied. Doses electron beam irradiation down 1kGy should be tested, in search of the appropriate dose for the control of post-harvest fungi in 'Golden' papaya, without intervention on fruit quality.

**Key words:** 'Golden' papaya, Post-harvest fungi, Electron beam irradiation.

## 1 INTRODUÇÃO

Os fungos são grandes causadores de perdas na pós-colheita de frutas. No caso do mamão, fatores como a casca fina e a polpa rica em açúcares favorecem ainda mais o crescimento de fungos. Antracnose e podridão peduncular são as principais doenças fúngicas na pós-colheita do mamão (DANTAS et al., 2003; CIA et al., 2007).

Frutos destinados à exportação devem estar livres de fungos e pragas para evitar a entrada de pragas exóticas nos países de destino. O tratamento fitossanitário usado atualmente para o mamão é o hidrotérmico, no entanto, a irradiação por feixe de elétrons tem mostrado potencial para substituição (YUN et al., 2014), por ser um tratamento rápido e sem interferência na qualidade dos produtos tratados, desde que aplicada na dose adequada.

A dose de irradiação por feixe de elétrons é modificada alterando a velocidade da esteira transportadora, e para cada alimento deve ser escolhida observando um equilíbrio entre o que se deseja e o que é tolerado pelo alimento (FARKAS et al., 2006; MOSTAFAVI et al., 2012).

O uso do feixe de elétrons para a irradiação de alimentos tem aumentado e os resultados têm mostrado eficácia no controle de pragas agrícolas (FOLLET & WEINERT, 2012; AL-FARISI et al., 2013), no entanto, para o controle de fungos fitopatogênicos em frutas ainda existem poucos estudos.

Diante disto, três doses de irradiação por feixe de elétrons foram testadas em mamão ‘Golden’ objetivando o controle dos fungos *C.gloeosporioides* e *P. caricae-papayae*. Foram feitos testes *in vivo* e *in vitro* para os dois fungos e os tratamentos foram: T1-Control (sem irradiação), T2-Dose de 1kGy, T3-Dose de 3kGy e T4-Dose de 5kGy.

Nos testes *in vivo* e *in vitro* foram avaliados os crescimentos dos dois fungos e comparado o efeito das três doses de irradiação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Material

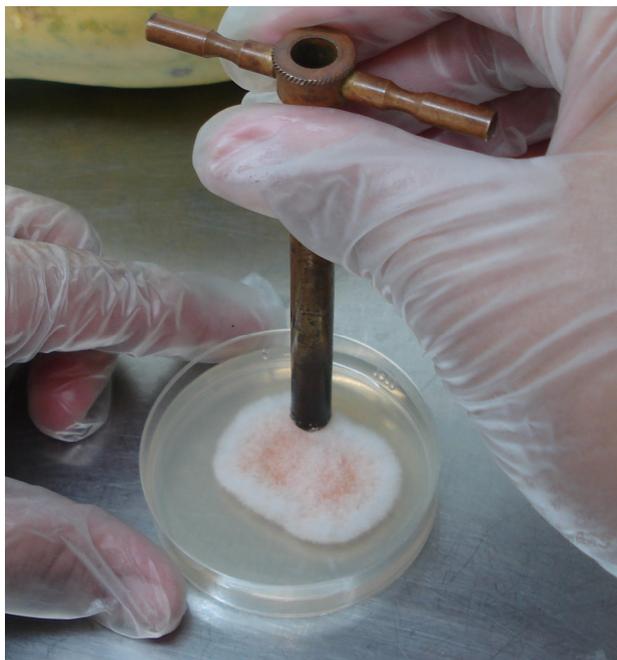
Foram utilizados mamões ‘Golden’, calibre 15, da empresa Marin Papaya, adquiridos no Ceasa-RJ no dia 06/04/2015, onde foram selecionados e padronizados no 4º estágio de maturação, caracterizados com 50 a 75% da coloração da casca amarela, adquiridos em caixas de papelão de 10 Kg (dimensões de 59 x 29 x 13cm).

Após a aquisição, os frutos foram conduzidos à Planta Piloto de Pós-colheita da Embrapa. Antes da inoculação, eles foram submetidos à desinfecção com hipoclorito de sódio (0,5%), e posteriormente secos ao ar.

### 2.2 Inoculação

No laboratório de Micologia da Planta Piloto de Pós-colheita da Embrapa, os frutos foram inoculados com os fungos *C. gloeosporioides* e *P. caricae-papayae*, ambos isolados de mamões adquiridos no comércio na cidade de Seropédica-RJ.

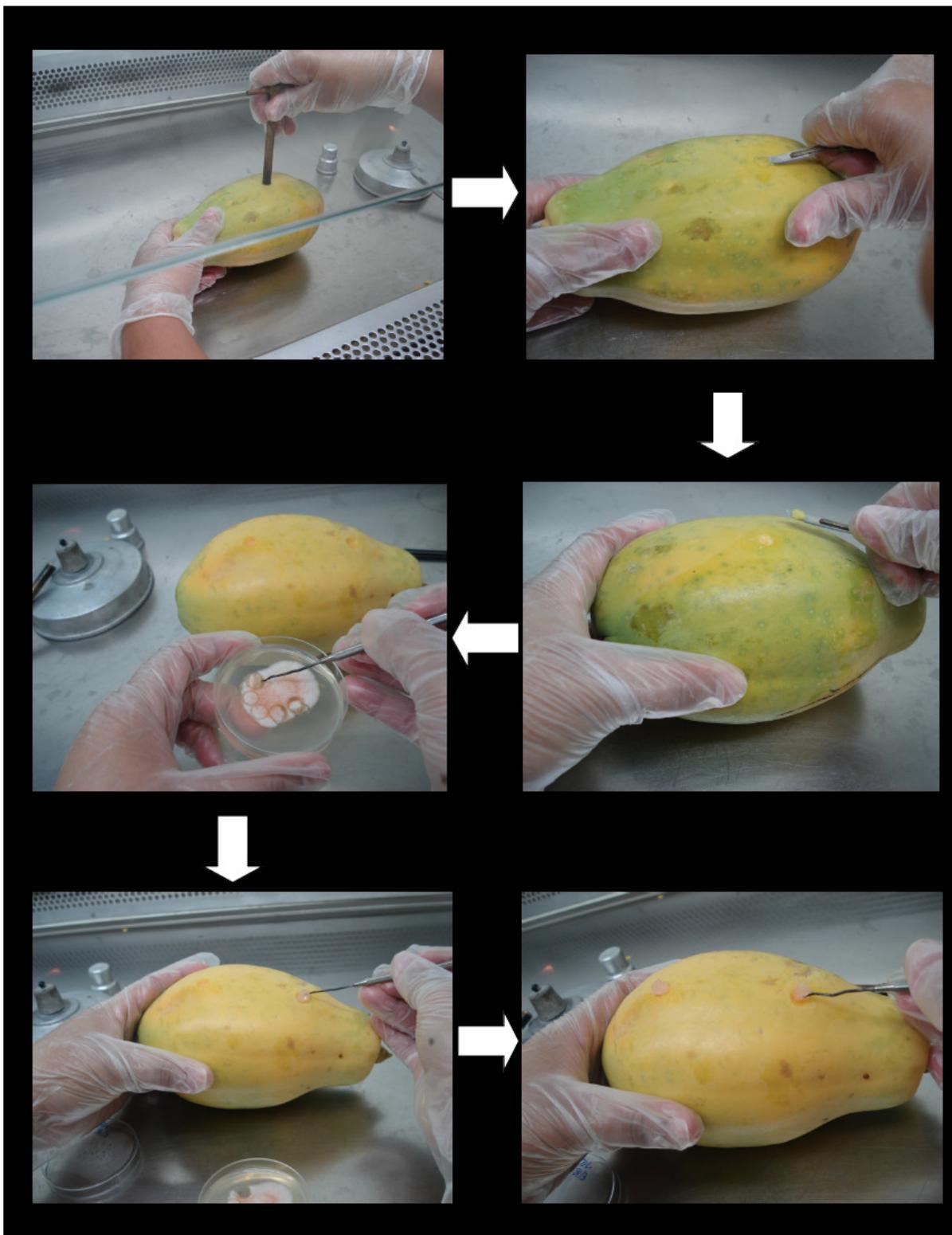
Os fungos isolados foram cultivados em placas de Petri de 6,0cm de diâmetro com BDA (Batata-Dextrose-Ágar) como meio de crescimento, e incubados a 20°C. Após seis dias de incubação, discos miceliais de 0,7cm de diâmetro foram feitos com o auxílio de um furador (Figura 1), para ambos os fungos isolados, e posteriormente inoculados nos frutos.



**Figura 1** Furador usado para obtenção de discos miceliais.

Para receber o disco micelial foram feitos dois furos superficiais na casca dos frutos com o mesmo furador usado para fazer o disco dos fungos, os quais foram retirados superficialmente com o auxílio de uma lâmina de bisturi, e o disco micelial foi encaixado

nestes locais (Figura 2). Todo o procedimento de inoculação dos frutos foi feito em capela com fluxo laminar.



**Figura 2** Preparo dos mamões ‘Golden’ para o recebimento dos discos miceliais.

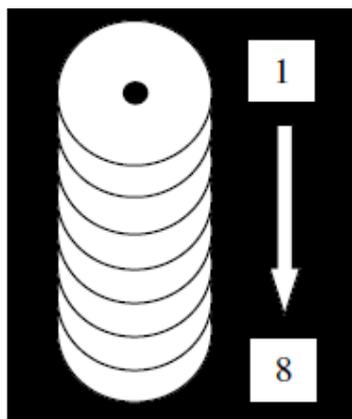
Após receberem os discos, os frutos foram colocados individualmente em sacos plásticos com zíper (20x30cm) (Figura 3), para evitar o ressecamento dos discos miceliais, e foram armazenados em câmara de refrigeração a 22°C. Para cada tratamento foram usados sete frutos, e em cada um foi feito duas inoculações do mesmo fungo. No total cada tratamento recebeu sete frutos inoculados com *C. gloeosporioides* e sete inoculados com *P. caricae-papayae*.



**Figura 3** Acondicionamento dos frutos em sacos plásticos com zíper.

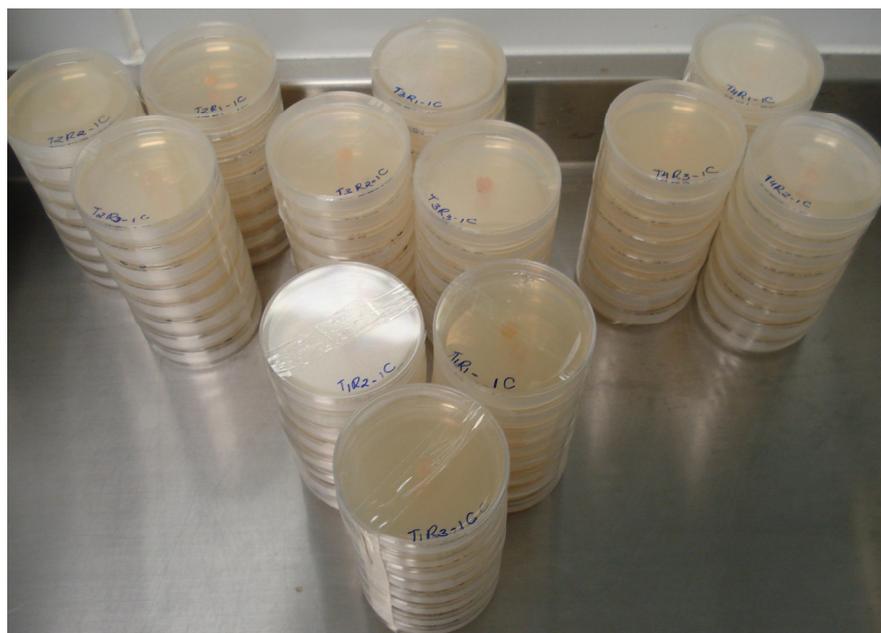
Testes *in vitro* também foram feitos para os dois fungos isolados, a fim de testar a profundidade de ação do feixe de elétrons sobre o crescimento fúngico. Para isto, um disco micelial de 0,7cm de diâmetro foi colocado no centro de uma placa de Petri descartável contendo BDA como meio de cultura. Foram usados aproximadamente 12mL de BDA para cada placa. Todo o procedimento foi feito para os dois fungos testados.

Para verificar o alcance de ação do feixe de elétrons, oito placas contendo um disco micelial cada uma foram empilhadas e numeradas em ordem crescente de cima para baixo (Figura 4). A altura de cada pilha foi de 12,0cm, e cada placa continha aproximadamente 0,4cm de BDA sólido.



**Figura 4** Empilhamento de placas de Petri com BDA contendo discos fúngicos.

As pilhas foram envolvidas por uma volta de fita adesiva para garantir a fixação das placas na pilha. Para cada tratamento foram usadas três pilhas para cada fungo, contendo oito placas cada pilha (Figura 5). As placas foram mantidas em câmaras B.O.D. a 22°C.



**Figura 5** Pilhas de placas de Petri com BDA contendo discos de *Colletotrichum gloeosporioides*.

Passadas doze horas da inoculação, os frutos e as pilhas de placas de Petri contendo os discos miceliais foram conduzidos até a Acelétron para a irradiação por feixe de elétrons.

### 2.3 Tratamentos

Foram inoculados 28 frutos para cada fungo, e cada um com dois pontos de inoculação. Apesar de constatado no capítulo 1 injúria no fruto causada pelas doses de 3 e 5kGy, as mesmas doses usadas no capítulo 1 foram testadas, a fim de observar os efeitos dessas doses sobre o crescimento dos fungos inoculados. Os tratamentos foram: T1-Controle (sem irradiação), T2- dose de 1kGy, T3- dose de 3kGy e T4- dose de 5kGy. Cada tratamento recebeu sete frutos e três pilhas de placas de Petri inoculados com *C. gloeosporioides* e sete frutos e três pilhas de placas de Petri inoculados com *P. caricae-papayae*.

### 2.4 Método

#### Irradiação

A irradiação dos frutos e das placas foi feita na Acelétron Irradiação Industrial, empresa localizada na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Diferentemente da forma de irradiação do capítulo I, a irradiação dos frutos e placas inoculados foi feita usando somente um acelerador linear de elétrons (LINAC) de 18kW de potência e 10MeV de energia, com emissão do feixe de elétrons de cima para baixo, a fim de observar a profundidade de alcance do feixe de elétrons em cada placa da pilha, verificando o efeito sobre o crescimento dos fungos testados.

Os frutos foram irradiados embalados nos sacos plásticos com zíper dentro de caixas de papelão, as mesmas em que foram adquiridos, com os pontos de inoculação voltados para cima (Figura 6).



**Figura 6** Irradiação de mamões 'Golden' e pilhas de placas de Petri com BDA inoculados com *Colletotrichum gloeosporioides*.

As três doses de radiação por feixe de elétrons (1, 3 e 5kGy) testadas foram obtidas ajustando a velocidade da esteira transportadora para 12, 20 e 60fpm (pés por minuto) para a irradiação dos frutos e das placas nas doses respectivamente de 5, 3 e 1kGy.

Após a irradiação, os frutos e as placas foram conduzidos a Planta Piloto de Pós-colheita da Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, local onde foram armazenados.

## 2.5 Experimentação

Após os tratamentos, os frutos inoculados foram armazenados em câmaras de refrigeração a  $22\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ , sob  $89,5\pm 2,9\%$  de UR. Eles foram retirados dos sacos plásticos 24 horas após a inoculação e foram colocados individualmente em bandejas de isopor (14x21cm).

As pilhas de placas de Petri foram desfeitas e armazenadas em câmara B.O.D. também a  $22^{\circ}\text{C}$  (Figura 7).



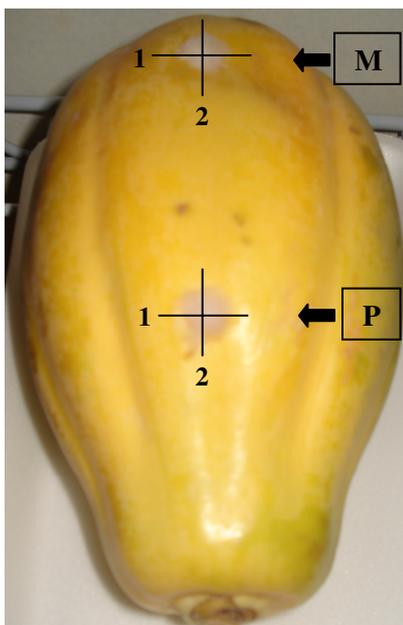
**Figura 7** Armazenamento em câmara B.O.D. de placas de Petri com BDA inoculadas.

## 2.6 Análises

O crescimento micelial *in vitro* e *in vivo* foi medido pelo crescimento das colônias dos dois fungos isolados em dois sentidos opostos com o auxílio de uma régua graduada ao final do período de sete dias de armazenamento.

### **Análise *in vivo***

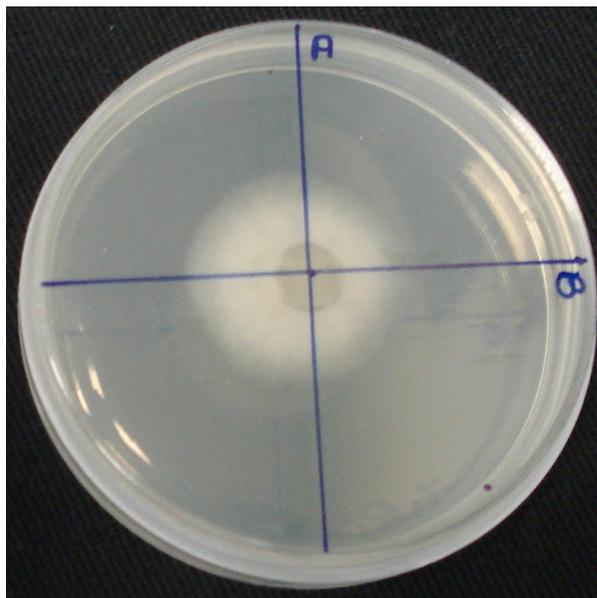
Após sete dias da irradiação dos frutos inoculados foi medido o crescimento das colônias dos fungos *C. gloeosporioides* e *P. caricae-papayae*. Para isso, os pontos de inoculação foram denominados de P: para a inoculação próxima ao pedúnculo e M: para as inoculações na região mediana e 1: a leitura na horizontal e 2: para a leitura do diâmetro na vertical (Figura 8). Para cada ponto de inoculação foi feito a média dos valores 1 e 2 para o cálculo do diâmetro das colônias.



**Figura 8** Pontos de inoculação dos fungos: **P**-Região peduncular e **M**-Região mediana, e orientação das medições (cm): **1**-Medida na horizontal e **2**-Medida na vertical.

### **Análise *in vitro***

O crescimento das colônias nas placas de Petri foi feito sete dias após o tratamento das placas contendo os discos miceliais. O diâmetro das colônias foi obtido através da média de duas medições em pontos opostos, conforme mostra a Figura 9.



**Figura 9** Pontos A e B de medições (cm) na placa de Petri.

Para avaliar o alcance do feixe de elétrons foi comparado o crescimento dos fungos das placas localizadas em diferentes posições dentro das pilhas ao final de sete dias de armazenamento.

## 2.7 Estatística

O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). Para o teste *in vivo* foram utilizadas sete repetições por tratamento para cada fungo, sendo cada repetição representada por um fruto com dois pontos de inoculação. No teste *in vitro*, o delineamento foi DIC em esquema fatorial 4 x 8 (tratamentos x localização da placa na pilha) e foram usadas três repetições por tratamento, e a repetição foi representada por uma pilha de placas com um total de oito placas cada.

Os tratamentos foram definidos por: T1-Controle (sem irradiação); T2-Dose de 1kGy; T3-Dose de 3kGy e T4-Dose de 5kGy.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F), e quando houve diferença significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo programa estatístico SISVAR 5.3, desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras (FERREIRA, 2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Análise *in vivo*

##### *Phoma caricae-papayae*

Maiores lesões de *P. caricae-papayae* foram observadas nos frutos controle (sem irradiação) (Tabela 1). Lesões dos irradiados nas doses de 1 e 3kGy não diferiram quanto ao diâmetro, e menores lesões foram observadas nos tratados na dose de 5kGy (Figura 1). Resultado semelhante foi observado por Coelho (2012) em amêndoas, em que a maior dose de irradiação por feixe de elétrons usada, 10kGy, foi eficiente em inibir o crescimento de *Aspergillus flavus* em 94% das amêndoas inoculadas. Santos et al. (2010) também verificaram redução do crescimento das lesões de *Fusicoccum parvum* inoculados em mangas ‘Tommy Atkins’ irradiadas por raio gama, e redução maior foi observada na maior dose testada, 0,45kGy.

Maiores lesões de *P. caricae-papayae* foram notadas no ponto de inoculação mais próximo ao pedúnculo, ponto definido por P, nos frutos de todos os tratamentos. Nery-Silva et al. (2007) notaram alta agressividade de *P. caricae-papayae* em mamão ‘Sunrise Solo’ quando associado a algum estresse causado no fruto.

**Tabela 1** Diâmetro médio (cm) de lesões de *Phoma caricae-papayae* em mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 7 dias em câmara de refrigeração a 22°C.

Tratamentos				
Local da lesão	T1-Controle	T2-1kGy	T3-3kGy	T4-5kGy
Peduncular (P)	3,9±0,4a	2,1±0,6b	1,9±0,6b	1,0±0,4c
Mediana (M)	2,6±0,3a	1,6±0,4b	1,7±0,4b	0,8±0,0c

Médias e desvios padrão seguidos de mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nos frutos inoculados com *P. caricae-papayae* as lesões foram circundadas por uma área aquosa (Figura 10), conforme sintoma descrito por Teodosio (2014) para o fungo *Lasiodiplodia theobromae*, fungo mais comumente associado à podridão peduncular.



**Figura 10** Mamões ‘Golden’ inoculados com *Phoma caricae-papayae* e submetidos a diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons, e mantidos durante 7 dias em câmara de refrigeração a 22°C.

Mais uma vez foi observado injúria do tipo queimadura na casca dos frutos irradiados nas doses de 3 e 5kGy, confirmando serem doses altas para o mamão ‘Golden’. Um atraso no crescimento micelial foi notado nestes em relação aos frutos dos demais tratamentos, e na dose de 5kGy só houve crescimento das lesões fúngicas sete dias após a irradiação. O sintoma de queimadura foi mais intenso na dose de 5kGy, houve ressecamento de quase todos os discos inoculados (Figura 11). Como os frutos estavam maduros, a cor da queimadura diferiu dos frutos do capítulo I, os quais foram irradiados mais verdes.



**Figura 11** Mamões ‘Golden’ inoculados com *Phoma caricae-papayae* e irradiados por feixe de elétrons na dose de 5kGy, e mantidos durante 7 dias em câmara de refrigeração a 22°C.

No caso do teste *in vivo* para o *P. caricae-papayae*, a dose de 1kGy foi eficiente para reduzir o crescimento das lesões nos mamões ‘Golden’, em comparação aos frutos do tratamento controle.

### ***Colletotrichum gloeosporioides***

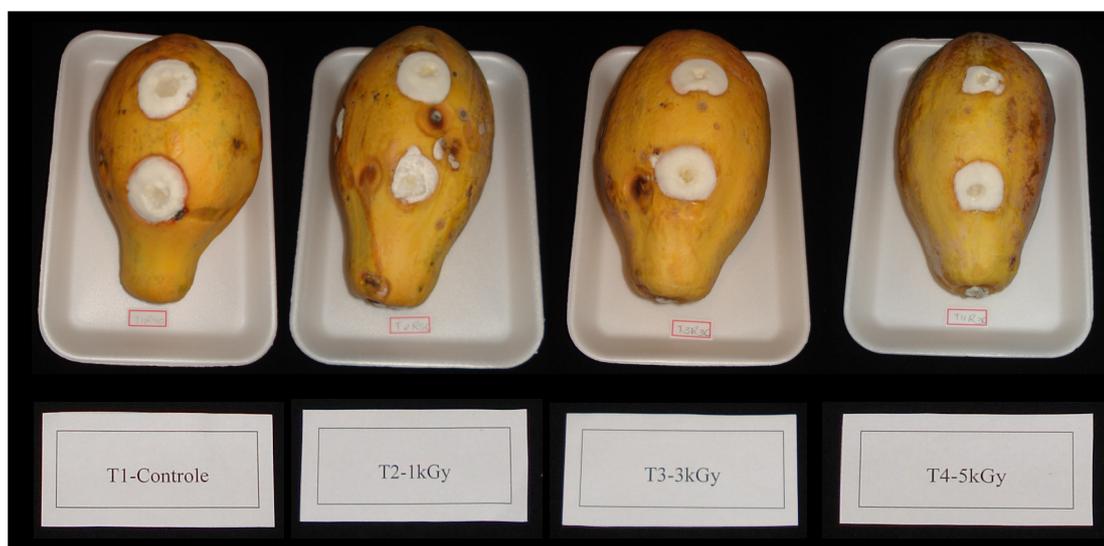
Nos frutos inoculados com *C. gloeosporioides* não foi observada diferença estatística entre os tratamentos testados (Tabela 2). Resultado diferente foi encontrado por Cia et al. (2007), que observaram em mamão ‘Golden’ redução do crescimento de lesões de *C. gloeosporioides* nos frutos irradiados por raio gama nas doses de 0,75 e 1,0kGy.

**Tabela 2** Diâmetro médio (cm) de lesões de *Colletotrichum gloeosporioides* em mamões ‘Golden’ submetidos a diferentes tratamentos e mantidos durante 7 dias em câmara de refrigeração a 22°C.

Local da lesão	Tratamentos			
	T1-Controle	T2-1kGy	T3-3kGy	T4-5kGy
<b>Peduncular (P)</b>	2,7±0,4a	2,4±0,7a	2,4±0,7a	2,5±0,6a
<b>Mediana (M)</b>	2,7±0,5a	2,6±0,5a	2,6±0,7a	2,5±0,7a

Médias e desvios padrão seguidos de mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar de não terem diferido estatisticamente, maior diâmetro da lesão foi notado nos frutos controle, em comparação aos demais (Figura 12). O fungo *C. gloeosporioides* se mostrou mais resistente à irradiação por feixe de elétrons do que o *P. caricae-papayae*, visto que na dose de 5kGy, houve crescimento das lesões já no terceiro dia após a irradiação, enquanto que naqueles inoculados com *P. caricae-papayae*, as lesões apresentaram crescimento apenas após sete dias da irradiação e o crescimento foi reduzido.



**Figura 12** Mamões ‘Golden’ inoculados com *Colletotrichum gloeosporioides* e submetidos a diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons, e mantidos durante 7 dias em câmara de refrigeração a 22°C.

Resultado diferente foi encontrado por Lopes (2009), em que todas as doses de radiação por raio gama testadas (0,6 a 1,8kGy) foram eficientes em inibir o crescimento de *C. gloeosporioides* em mamões 'Golden', e também os fungos *Cladosporium herbarum*, *Fusarium verticillioides*, *Geotrichum candidum* e *Alternaria alternata*, e melhor aspecto visual foi notado nos frutos irradiados.

O efeito de queimadura da casca que também ocasionou o ressecamento dos discos de *P. caricae-papayae*, parece não ter sido a causa do controle do crescimento das lesões em frutos tratados na dose de 5kGy, e sim devido à baixa resistência desta espécie ao feixe de elétrons na dose usada, pois os frutos passaram por um período de incubação de 12 horas antes da irradiação. Naqueles inoculados com *C. gloeosporioides* não foi observado ressecamento dos discos inoculados, apenas queimadura da casca (Figura 13).



**Figura 13** Mamões 'Golden' inoculados com *Colletotrichum gloeosporioides* e irradiados por feixe de elétrons na dose de 5kGy, e mantidos durante 7 dias em câmara de refrigeração a 22°C.

Colônias de *C. gloeosporioides* têm aspecto cottonoso, e apesar de cautela durante o processo de inoculação dos frutos, houve contaminação nas áreas próximas à inoculação, conforme foi visto durante as avaliações algumas lesões arredondadas próximas ao local de

inoculação em alguns frutos de todos os tratamentos. Talvez essa característica diferiu *C. gloeosporioides* do *P. caricae-papayae* quanto a resistência ao feixe de elétrons.

### 3.2 Análise *in vitro*

#### Alcance do feixe de elétrons

##### *Phoma caricae-papayae*

O alcance do feixe de elétrons foi o mesmo para as oito placas colocadas em ordem crescente de numeração de cima para baixo na pilha, visto que não houve diferença significativa dentro da cada dose testada em relação ao crescimento das colônias de *P. caricae-papayae* nas placas posicionadas em diferentes locais na pilha (Tabela 3).

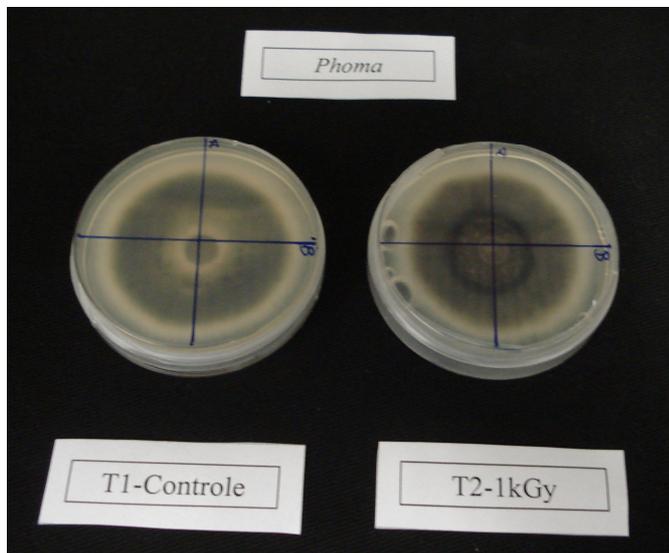
**Tabela 3** Crescimento (cm) de colônias de *Phoma caricae-papayae* em placas de Petri com BDA como meio de cultura submetidas a diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

Tratamentos				
Localização das placas na pilha	T1-Controle	T2-1kGy	T3-3kGy	T4-5kGy
1	4,9a	4,7a	5,1a	4,4a
2	4,9a	4,7a	4,8a	4,4a
3	4,7a	4,6a	4,7a	4,5a
4	4,8a	4,8a	4,4a	4,6a
5	4,9a	4,4a	4,8a	4,7a
6	4,9a	4,6a	4,6a	4,8a
7	4,9a	4,5a	4,7a	4,6a
8	4,9a	4,5a	4,6a	5,0a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Segundo Tahergorabi et al. (2012), entre as diferenças do feixe de elétrons e o raio gama está o poder de penetração nos produtos. As dimensões do alimento devem ser levadas em consideração antes do uso do feixe de elétrons, pois, os elétrons podem penetrar eficazmente cerca de 8 a 10 cm do alimento. De acordo com os autores, o reduzido poder de penetração do feixe de elétrons, em comparação com outros tipos de radiação ionizante é devido os elétrons serem facilmente atenuados e dispersados pelo alimento.

Quando os tratamentos foram comparados entre si, diferença significativa foi notada, e menor lesão foi observada nas placas irradiadas na dose de 1kGy em comparação com o tratamento controle (sem irradiação) (Figura 14).



**Figura 14** Crescimento de discos de *Phoma caricae-papayae* em placas de Petri (6,0cm) contendo BDA como meio de cultura, submetidas à irradiação na dose de 1kGy e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

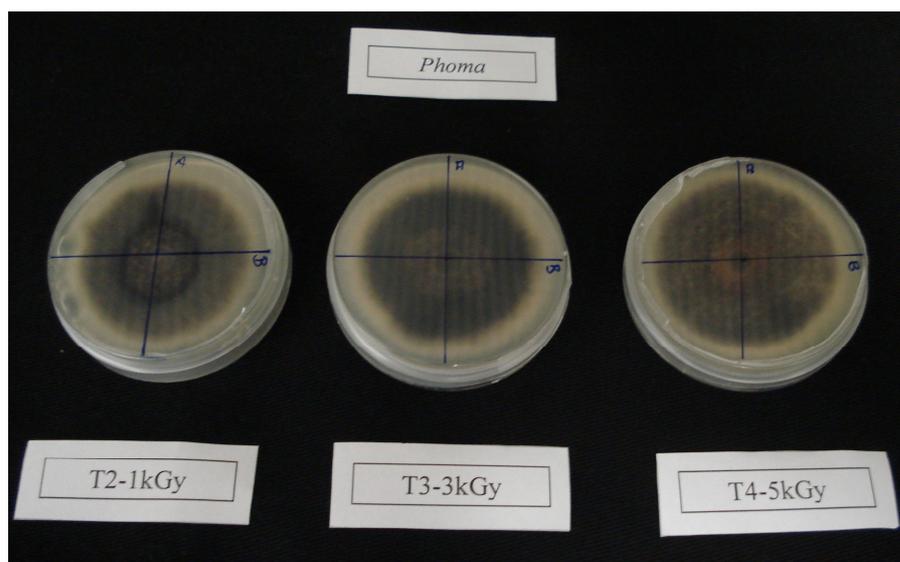
Não houve diferença significativa entre as três doses de irradiação testadas (Tabela 4). Resultado diferente foi encontrado por Lopes (2009), para os fungos *Cladosporium herbarum*, *Fusarium verticillioides*, *Geotrichum candidum* e *Lasiodiplodia theobromae*, isolados de mamão e inoculados em meio BDA, em que houve diferença entre as doses de irradiação por raio gama aplicadas, e em doses maiores do que 1,0kGy não houve crescimento dos fungos.

**Tabela 4** Crescimento médio (cm) de colônias de *Phoma caricae-papayae* em placas de Petri com BDA como meio de cultura submetidas a diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

	Tratamentos			
	T1-Controle	T2-1kGy	T3-3kGy	T4-5kGy
<b>Diâmetro (cm)</b>	4,9±0,19a	4,6±0,31b	4,7±0,47ab	4,7±0,22ab

Médias e desvios padrão seguidos de mesma letra na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Menor crescimento das lesões de *Phoma caricae-papayae* foi observado em placas tratadas na dose de 1kGy, apesar de não ter havido diferença estatística entre as doses testadas (Figura 15). Cia (2007) também notaram menor crescimento de *C. gloeosporioides* em placas irradiadas por raio gama na dose de 1,0kGy.



**Figura 15** Crescimento de discos de *Phoma caricae-papayae* em placas de Petri (6,0cm) contendo BDA como meio de cultura, irradiadas por feixe de elétrons em três doses e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

#### *Colletotrichum gloeosporioides*

Diferença estatística quanto ao posicionamento das placas na pilha durante a irradiação foi notada apenas para as placas irradiadas na dose de 5kGy, em que a oitava placa da pilha, ou seja, a última placa, foi a que teve maior crescimento de *C. gloeosporioides* (Tabela 5).

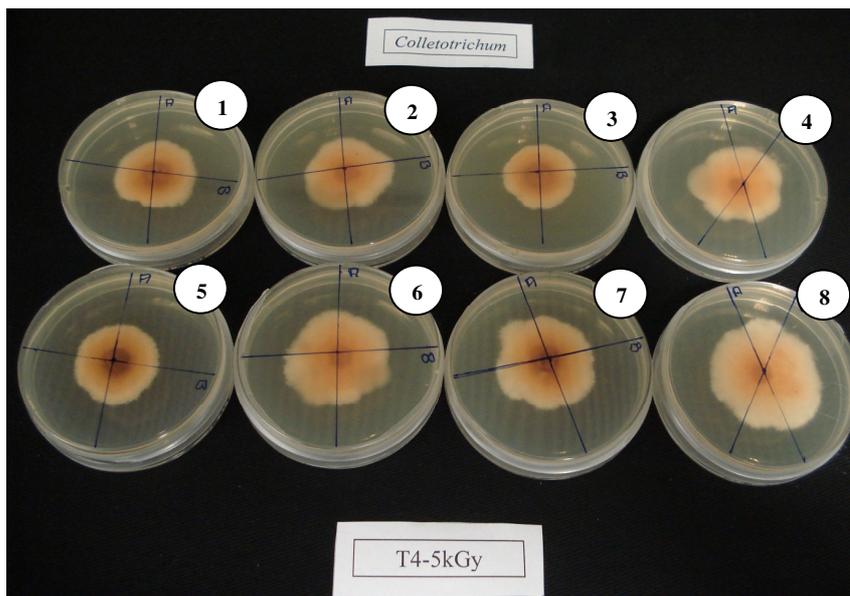
**Tabela 5** Crescimento (cm) de colônias de *Colletotrichum gloeosporioides* em placas de Petri com BDA como meio de cultura submetidas a diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

Tratamentos				
Localização das placas na pilha	T1-Controle	T2-1kGy	T3-3kGy	T4-5kGy
1	3,2a	3,2a	2,9a	2,7b
2	3,3a	3,1a	3,0a	2,5b
3	3,2a	3,1a	3,1a	2,7b
4	3,4a	3,2a	2,9a	2,7b
5	3,3a	3,1a	3,0a	2,4b
6	3,2a	2,8a	2,9a	2,8ab
7	3,2a	3,0a	2,9a	2,7b
8	3,2a	3,1a	2,9a	3,3a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

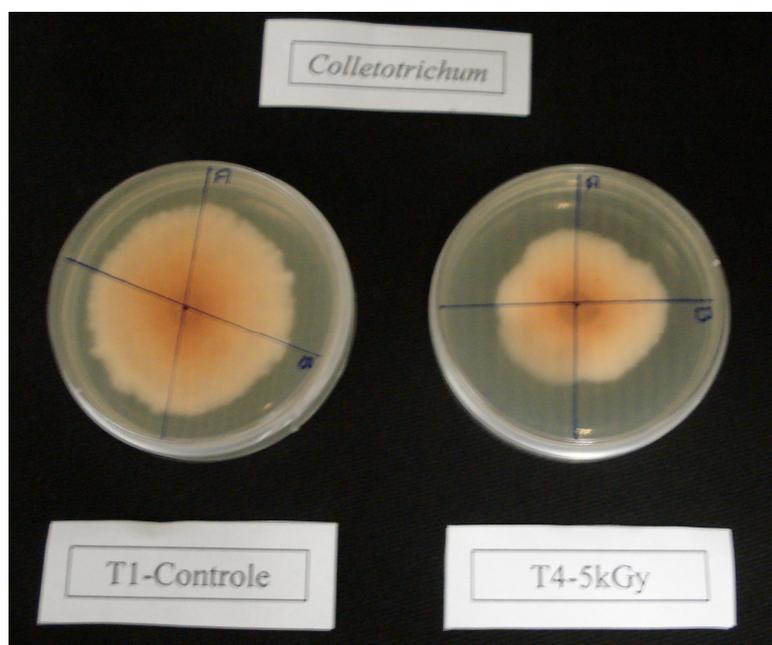
Resultado semelhante foi encontrado por Lopes (2009) em placas inoculadas com discos de *C. gloeosporioides*, isolado de mamão, em que a irradiação por raio gama nas doses entre 0,8 e 1,4kGy inibiram o crescimento fúngico, no entanto, em doses mais altas, 1,8 e 2,2kGy, foi observado crescimento. Segundo Griffin (1994), os fungos quando submetidos a condições adversas, aumentam a produção de esporos como forma de garantir a sobrevivência da espécie.

Dessa forma, talvez a dose de 5kGy tenha induzida a esporulação de *C. gloeosporioides*, conforme observado por Cia (2007) em que a irradiação de *C. gloeosporioides* em meio BDA nas doses de 0,5; 0,75 e 1,0kGy induziram a maior esporulação do fungo; e por isso na última placa da pilha, que teoricamente recebeu menor quantidade de radiação por feixe de elétrons, foi observado crescimento maior do que nas demais (Figura 16).



**Figura 16** Crescimento de discos de *Colletotrichum gloeosporioides* em placas de Petri (6,0cm) contendo BDA como meio de cultura, numeradas de 1 a 8 e irradiadas por feixe de elétrons na dose de 5kGy, e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

Menor crescimento de colônias de *C. gloeosporioides* foi observado nas placas irradiadas na dose de 5kGy (Figura 17).



**Figura 17** Crescimento de discos de *Colletotrichum gloeosporioides* em placas de Petri (6,0cm) contendo BDA como meio de cultura, irradiadas por feixe de elétrons na dose de 5kGy, e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

Diferentemente do observado para o teste *in vivo*, as doses de irradiação por feixe de elétrons testadas reduziram o crescimento de *C. gloeosporioides*, e placas controle (sem irradiação) apresentaram maior crescimento do que aquelas dos demais tratamentos (Tabela 6).

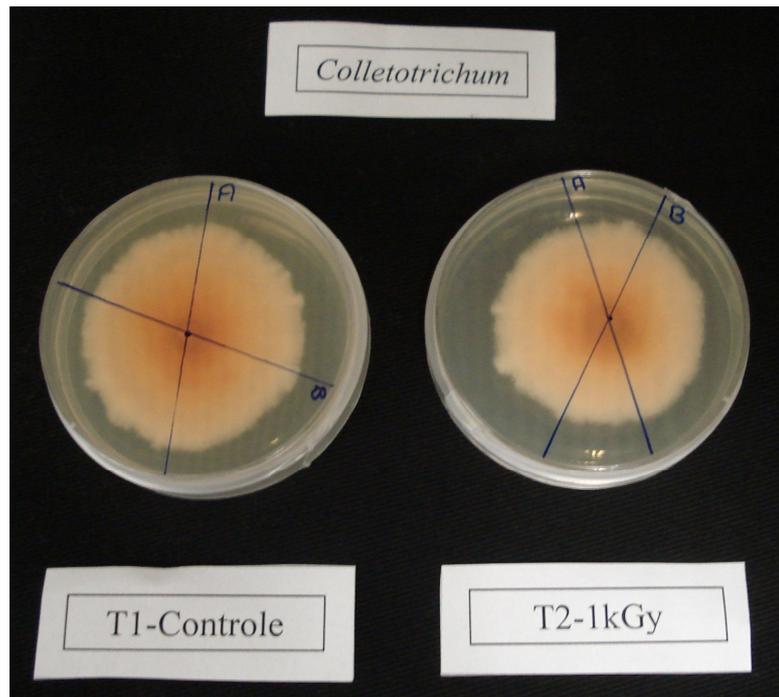
**Tabela 6** Crescimento médio (cm) de colônias de *Colletotrichum gloeosporioides* em placas de Petri com BDA como meio de cultura submetidas a diferentes doses de irradiação por feixe de elétrons e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

	Tratamentos			
	T1-Controle	T2-1kGy	T3-3kGy	T4-5kGy
Diâmetro (cm)	3,2±0,18a	3,0±0,22b	2,9±0,17b	2,7±0,29c

Médias e desvios padrão seguidos de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aquino (2003) também verificaram efeito positivo da irradiação por raio gama nas doses de 2, 5 e 10kGy aplicadas em grãos de milho inoculados com *A. flavus*. No teste *in vitro* feito a partir de grãos irradiados não foi observado formação de colônias de *A. flavus*.

Apesar da maior interferência da dose de 5kGy no crescimento das colônias de *C. gloeosporioides*, essa dosagem foi considerada alta para o mamão ‘Golden’, visto as injúrias causadas na casca dos frutos. No entanto, a dose de 1kGy também foi eficiente em reduzir o crescimento de *C. gloeosporioides* em comparação às placas controle (Figura 18).



**Figura 18** Crescimento de discos de *Colletotrichum gloeosporioides* em placas de Petri (6,0cm) contendo BDA como meio de cultura, irradiadas por feixe de elétrons na dose de 1kGy e mantidas durante 7 dias em câmara B.O.D. a 22°C.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-FARISI, M.; ABUAGLA, A.; MOHAMED, E.; GOHS, U. The effect of electron beam on dates infestation. **Food Control**, v. 33, p. 157-161, 2013.
- AQUINO, S. **Efeitos da radiação gama no crescimento de *Aspergillus flavus* produtor de aflatoxinas e no emprego da técnica da reação em cadeia da polimerase (PCR) em amostras de grãos de milho inoculadas artificialmente**. 2003. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- CIA, P.; PASCHOLATI, S. F.; BENATO, E. A.; CAMILI, E. C.; SANTOS, C. A. Effects of gamma and UV-C irradiation on the postharvest control of papaya anthracnose. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, p. 366-373, 2007.
- CIA, P. **Avaliação de agentes bióticos e abióticos na indução de resistência e no controle pós-colheita da antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) em mamão (*Carica papaya*)**. 2007. 197 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- COELHO, E. A. A. **Efeitos da radiação gama e feixe de elétrons sobre amostras de castanhas-do-Brasil inoculadas artificialmente com *Aspergillus flavus***. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Ciências Biomédicas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- DANTAS, S. A. F.; OLIVEIRA, S. M. A.; MICHEREFF, S. J.; NASCIMENTO, L. C.; GURGEL, L. M. S.; PESSOA, W. R. L. S. Doenças fúngicas pós-colheita em mamões e laranjas comercializados na Central de Abastecimento do Recife. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, p. 528-533, 2003.
- FARKAS, J. Irradiation for better foods. **Trends in Food Science & Technology**, v. 17, p. 148-152, 2006.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR - Sistema de análise de variância**. Versão 5.3. Lavras-MG: UFLA, 2010.
- FOLLETT, P. A.; WEINERT, E. D. Phytosanitary irradiation of fresh tropical commodities in Hawaii: Generic treatments, commercial adoption, and current issues. **Radiation Physics Chemistry**, v. 81, p. 1064-1067, 2012.
- GRIFFIN, D. H. **Fungal Physiology**. 2 .ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 444p.
- LOPES, A. L. **Epidemiologia e controle com radiação gama de doenças pós-colheita do mamão**. 2009. 75 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Departamento de Agronomia. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

- MOSTAFAVI, H. A.; MIRMAJLESSI, S. M.; FATHOLLAHI, H. The Potential of Food Irradiation: Benefits and Limitations. In: EISSA, A. H. (Ed). **Trends in Vital Food and Control Engineering**, 2012. p. 43-68.
- NERY-SILVA, F. A.; MACHADO, J. C.; RESENDE, M. L. V.; LIMA, L. C. O. Metodologia de inoculação de fungos causadores da podridão peduncular em mamão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 5, p. 1374-1379, 2007.
- SANTOS, A. M. G.; OLIVEIRA, S. M. A.; SILVA, J. M.; DANIEL TERAPO. Podridão por *Fusicoccum* em mangas submetidas a baixas doses de radiação gama. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1066-1072, 2010.
- TAHERGORABI, R.; MATAK, K. E.; JACZYNSKI, J. Application of electron beam to inactivate Salmonella in food: Recent developments. **Food Research International**, v. 45, p. 685-694, 2012.
- TEODOSIO, A. E. M. M. **Qualidade pós-colheita do mamão 'Golden' (Carica papaya L.) utilizando recobrimentos biodegradáveis**. 2014. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Tecnologia de Alimentos) – Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- YUN, S. H.; LEE, S. W.; KOO, H. N.; KIM, G. H. Assessment of electron beam-induced abnormal development and DNA damage in *Spodoptera litura* (F.) (Lepidoptera: Noctuidae). **Radiation Physics Chemistry**, v. 96, p. 44-49, 2014.

## CONCLUSÕES GERAIS

❖ A importância do uso de baixa temperatura durante o armazenamento foi destacada para a manutenção da qualidade pós-colheita dos frutos.

❖ Das doses testadas, a dose de 1kGy foi a que menos interferiu na qualidade do mamão 'Golden', no entanto, ainda pode ser considerada uma dose alta para o mamão, pois sintomas iniciais de injúria pela irradiação por feixe de elétrons foi observado na casca destes frutos, porém sem progressão.

❖ Os teores de ATT, pH e SST dos frutos irradiados na dose de 1kGy não diferiram dos frutos controle ao final do período de armazenamento dos frutos a 22°C.

❖ A irradiação por feixe de elétrons, bem como o tratamento hidrotérmico dos frutos não afetaram os teores dos açúcares frutose e glicose, e a cor da polpa dos frutos.

❖ O tratamento hidrotérmico foi o que ocasionou maior perda de massa dos frutos.

❖ Redução da firmeza da polpa dos frutos menos intensa foi observada nos frutos irradiados na dose de 1kGy, quando armazenados a 22°C.

❖ Ao final do período de armazenamento dos frutos a 22°C, mesmo teor de clorofila foi observado em frutos irradiados e frutos tratados hidrotérmicamente.

❖ Os antioxidantes presentes no mamão, os carotenoides e os compostos fenólicos, não foram afetados pela irradiação dos frutos na dose de 1kGy, bem como pelo tratamento hidrotérmico dos frutos.

❖ A atividade das enzimas PME e clorofilase não foram afetadas pela irradiação dos frutos na dose de 1kGy e pelo tratamento hidrotérmico dos frutos no final do armazenamento a 22°C, no entanto, no caso da PG, maior atividade foi observada nos frutos irradiados.

❖ A irradiação por feixe de elétrons não foi eficiente para controle de antracnose, assim como tratamento hidrotérmico.

❖ As doses de 3 e 5kGy causaram injúrias à casca dos frutos, e provocaram maior atividade respiratória, portanto podem ser consideradas altas dosagens e impróprias para o mamão 'Golden'.

❖ *Colletotrichum gloeosporioides* foi mais resistente à irradiação por feixe de elétrons do que *Phoma caricae-papayae* no teste *in vivo*.

❖ A dose de 1kG foi eficiente em reduzir o crescimento de lesões de *C. gloeosporioides* e *P. caricae-papayae* inoculados no mamão 'Golden'.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Novos estudos devem ser realizados, utilizando doses de irradiação por feixe de elétrons abaixo de 1kGy em busca de uma dose que não cause injúria ao mamão e que seja eficiente no controle das principais doenças pós-colheita do mamão, preservando a sua qualidade.

A irradiação por feixe de elétrons é um tratamento rápido e prático, com potencial para uso na pós-colheita de frutas; e para a redução de custos e melhor logística é importante à construção de irradiadores por feixe de elétrons nas proximidades da zona de produção.

# ANEXOS

## TABELAS ANÁLISE DE VARIÂNCIA

### 1º CAPÍTULO

**Tabela 1:** Resumo da análise de variância das variáveis: acidez Titulável Total (ATT), pH, sólidos solúveis totais (SST), frutose (F), glicose (G) e parâmetro L (L\*).

Quadrados Médios							
FV	GL	ATT	pH	SST	F	G	L*
<b>Tratamentos</b>	4	0,0001*	0,0132*	2,2972*	0,4456	0,4684*	7,8220
<b>Dias</b>	4	0,0013*	0,1230*	16,2359*	3,6243*	2,7867*	50,2680*
<b>Trat.*Dias</b>	16	0,0002*	0,0180*	0,9652*	0,1875*	0,2052*	6,4418*
<b>Resíduo</b>	50	0,0000	0,0003	0,3528	0,1252	0,0991	5,0680
<b>CV (%)</b>		4,41	0,36	6,37	9,10	7,68	3,71

\*F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 2:** Resumo da análise de variância das variáveis: parâmetro a (a\*), parâmetro b (b\*), firmeza (F), perda de massa (PM) e clorofila total (Clt).

Quadrados Médios						
FV	GL	a*	b*	F	PM	Clt
<b>Tratamentos</b>	4	6,2548	4,6125	104,2342*	1,9568*	676,0184*
<b>Dias</b>	4	23,4889*	42,7424*	1100,8593*	202,8987*	13466,2728*
<b>Trat.*Dias</b>	16	4,2266*	2,2623*	112,3685*	1,1700*	279,0645*
<b>Resíduo</b>	50	4,6537	2,4005	4,1219	0,0634	12,7558
<b>CV (%)</b>		14,14	4,74	13,67	6,38	7,38

\*F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 3:** Resumo da análise de variância das variáveis: clorofila a (Cla), clorofila b (Clb), carotenoides totais (Cat), licopeno (Li),  $\beta$ -criptoxantina ( $\beta$ -cri).

Quadrados Médios						
FV	GL	Cla	Clb	Cat	Li	$\beta$ -cri
Tratamentos	4	308,4360*	361,6845*	198826,8994*	90735,2577*	21493,7402*
Dias	4	8305,3351*	587,6341*	4275133,6901*	1280139,4675*	212774,8601*
Trat.*Dias	16	231,9358*	35,5768*	181818,8334*	42518,3714*	14127,7889*
Resíduo	50	14,9513	8,0772	19240,1247	11304,0493	1486,2488
CV (%)		11,65	17,43	10,30	13,38	13,12

\*F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 4:** Resumo da análise de variância das variáveis:  $\beta$ -caroteno ( $\beta$ -car), fenólicos totais (Ft), pectinametilesterase (PME), poligalacturonase (PG) e clorofilase (Cl).

Quadrados Médios						
FV	GL	$\beta$ -car	Ft	PME	PG	Cl
Tratamentos	4	2263,7121*	56,4504*	976659,3820	17271216,1870*	0,0001*
Dias	4	8550,2854*	1163,9689*	35448059,3070*	145302106,0292*	0,0004*
Trat.*Dias	16	1471,1818*	13,3261*	2875121,1487*	10451443,6760*	0,0001*
Resíduo	50	77,1461	8,7248	423818,4474	180014,0017	0,0000
CV (%)		11,99	9,80	7,86	13,15	8,09

\*F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

## 2° CAPÍTULO

**Tabela 5:** Resumo da análise de variância do diâmetro médio de lesões de *Phoma caricae-papaya* e *Colletotrichum gloeosporioides* inoculados em frutos em dois pontos.

Quadrados Médios					
FV	GL	<i>Phoma</i>		<i>Colletotrichum</i>	
		Lesão P	Lesão M	Lesão P	Lesão M
<b>Tratamentos</b>	3	4,9965*	4,0200*	0,0898	0,0480
<b>Resíduo</b>	24	0,2421	0,1075	0,0374	0,3772
<b>CV (%)</b>		24,21	19,29	24,39	23,56

\*F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 6:** Resumo da análise de variância do diâmetro médio de lesões de *Phoma caricae-papaya* e *Colletotrichum gloeosporioides* inoculados em placas de Petri com BDA.

Quadrados Médios			
FV	GL	<i>Phoma</i>	<i>Colletotrichum</i>
<b>Tratamentos</b>	3	0,3637*	1,0181*
<b>Localização</b>	7	0,0259	0,0451
<b>Tratamentos*Localização</b>	21	0,0924	0,0731*
<b>Resíduo</b>	64	0,1081	0,0412
<b>CV (%)</b>		6,95	6,73

\*F significativo ao nível de 5% de probabilidade.