UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

RODRIGO MEIRELLES DE AZEVEDO PIMENTEL

Qualidade pós-colheita da goiaba vermelha (*Psidium guajava* L.) submetida ao tratamento quarentenário por irradiação gama

Piracicaba

2007

RODRIGO MEIRELLES DE AZEVEDO PIMENTEL

Qualidade pós-colheita da goiaba vermelha (*Psidium guajava* L.) submetida ao tratamento quarentenário por irradiação gama

Tese apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura
Orientador: Prof. Dr. Julio Marcos Melges Walder

Piracicaba

2007

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Pimentel, Rodrigo Meirelles de Azevedo
Qualidade pós-colheita da goiaba vermelha (*Psidium guajava* L.) submetida ao tratamento quarentenário por irradiação gama / Rodrigo Meirelles de Azevedo Pimentel; orientador Julio Marcos Melges Walder. - - Piracicaba, 2007.
112 f. : fig.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Análise sensorial de alimentos 2. Controle fitossanitário 3. Fisiologia pós-colheita 4. Radiação ionizante 5. Refrigeração I. Título

CDU 634.42:631.56

Aos meus pais, Yara e Carlos Alberto,

Por serem minha referência,

Aos meus filhos, Lucas e Pedro,

Por serem minha vida,

À minha esposa, Adriana,

Porque nos amamos muito,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Julio Marcos Melges Walder, pela orientação, aprendizagem, confiança e amizade;

À Valfrutas pelas goiabas cedidas para realização da tese nos nomes de Alberto Y. Kamimura e Ricardo V. Rossi;

À Goiabrás pelas informações e contatos disponibilizados para a realização da tese;

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA-USP) pela oportunidade de realizar a tese;

Ao chefe do Centro Tecnológico do Norte de Minas (EPAMIG), Sr. Marco Antonio Viana Leite, pela confiança e apoio demonstrados na fase final da realização da tese;

Ao pesquisador Dr. Paulo Roberto Rela, pelas explicações e permissão de utilização do irradiador do IPEN e à equipe do setor de irradiação do IPEN formada por Yasko Kodama, Paulo de Souza Santos, Danilo Cardenuto Ferreira e Ethel Martins Pedroso;

À Prof. Dra. Marta Helena Fillet Spoto, pelas dicas relacionadas às análises sensoriais;

Ao Prof. Dr. Ângelo Pedro Jacomino pelos conselhos, sugestões e permissão para utilização do Laboratório de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças da ESALQ;

Ao técnico Marcos Trevizan, pelo auxílio na utilização do cromatógrafo;

Ao estagiário Renato Cancelieri, pelo auxílio prestado na realização das análises físico-químicas;

À Lucia Cristina S. Silva, pelo auxílio prestado na realização das análises sensoriais;

À Maria de Lourdes Zamboni Costa, pelo apoio logístico no laboratório e auxílio na irradiação das frutas, nos testes iniciais do trabalho;

À República VAKTÔA, pelo apoio, participação e generosidade demonstrada em momentos difíceis na realização da tese (Valeu Bixada!);

À bibliotecária Marília Ribeiro Garcia Henyei, pela normatização e correção das referências e auxílio na organização do 'layout' da tese;

Aos motoristas do CENA, pelo transporte das amostras e pelas boas e divertidas conversas de viagem;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa concedida;

E a Deus, por ter sempre me guiado e levado ao encontro de pessoas muito especiais.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

2. REVISÃO DE LITERATURA 16

2.1 A goiaba 16

2.2 Amadurecimento da goiaba 18

2.3 Irradiação como tratamento quarentenário 21

2.4 Irradiação de frutas 24

3 MATERIAIS E MÉTODOS 28

3.1 Primeiro experimento – Qualidade da goiaba submetida ao tratamento quarentenário por irradiação e armazenada em temperatura ambiente. 28

3.1.1 Análises físico-químicas 32

3.1.2 Análises fisiológicas 35

3.1.3 Análises sensoriais 36

3.2 Segundo experimento - Qualidade da goiaba submetida ao tratamento quarentenário por irradiação e armazenada em ambiente refrigerado 38

3.2.1 Análises físico-químicas 38

3.2.2 Análises sensoriais 38

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 40

4.1 Primeiro experimento – Qualidade da goiaba submetida ao tratamento quarentenário por irradiação e armazenada em temperatura ambiente. 40

4.1.1 Análises físico-químicas 40

4.1.2 Análises fisiológicas 55

4.1.3 Análises sensoriais 60

4.1.4 Considerações relativas ao tratamento quarentenário 64

4.2 Segundo experimento - Qualidade da goiaba submetida ao tratamento quarentenário por irradiação e armazenada em ambiente refrigerado. 65

4.2.1 Análises físico-químicas 65

4.2.2 Análise sensoriais 85

4.2.3 Considerações relativas ao tratamento quarentenário 89

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS 92

6 CONCLUSÕES 94

REFERÊNCIAS 97

APÊNDICE 110

RESUMO

PIMENTEL, R. M. de A. **Qualidade pós-colheita da goiaba vermelha (*Psidium guajava* L.) submetida ao tratamento quarentenário por irradiação gama.** 2007. 112 f. Tese (Doutorado)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

A goiaba vermelha é pouco conhecida pelos mercados importadores, porém tem um potencial de comercialização bastante grande, pois a goiaba é considerada um dos frutos mais completos em termos nutricionais. Porém, a presença de moscas-das-frutas nos frutos leva países importadores a impor restrições comerciais por motivos fitossanitários. Os EUA permitem que a irradiação seja utilizada para controle quarentenário de *Anastrepha* spp. e *Ceratitis capitata*, com dose mínima de 150 Gy e 225 Gy, respectivamente. Como existe variação de dose dentro do container irradiado, que pode ser de 1:3, frutos deverão apresentar qualidade comercial mesmo quando submetidos a doses até três vezes maiores que a dose mínima de controle. Portanto, este trabalho verificou a qualidade de goiabas 'Pedro Sato' irradiadas com 150 e 450 Gy e, também, com 225 e 675 Gy que representam as doses mínimas e máximas para controle quarentenário de *Anastrepha* spp. e *C. Capitata*, respectivamente. No primeiro experimento, goiabas foram irradiadas com 0, 150, 225, 450, 675 Gy e avaliadas a 0, 2, 4 e 6 dias após a irradiação para as análises físico-químicas. As determinações de incidência de doenças e escurecimento da casca, taxa respiratória e produção de etileno foram realizadas diariamente. As análises sensoriais ocorreram 5 dias após irradiação, sendo que as organolépticas foram irradiadas com 0, 225 e 675 Gy. As goiabas deste experimento foram armazenadas a 23 ± 1 ^{o}C e 85 ± 5% UR. Os resultados

indicaram que a irradiação acelerou o amadurecimento das goiabas, predispôs os frutos a doenças e favoreceu a perda de massa. A taxa respiratória e a produção de etileno foram maiores para os frutos irradiados até o quarto dia de armazenagem. Em relação às análises sensoriais, foi verificada qualidade organoléptica superior dos frutos não irradiados. No segundo experimento as doses aplicadas foram idênticas ao primeiro experimento. Goiabas foram armazenadas sob temperatura de refrigeração (TR) de 10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR e analisadas a 0, 7 e 14 dias, sendo que aos 7 e 14 dias as goiabas foram transferidas à temperatura ambiente (TA) de 23 ± 1 ^{o}C e 70 ± 5% UR durante dois dias quando foram novamente analisadas. As análises sensoriais foram realizadas nas goiabas armazenadas por 7 e 14 dias a TR + 2 a TA. Os resultados demonstram que goiabas irradiadas armazenadas por 7 dias a TR + 2 a TA estavam amolecidas e as irradiadas com 450 e 675 Gy apresentaram coloração interna menos intensa. Além destas alterações, frutos irradiados armazenados por 14 dias a TR + 2 a TA apresentaram incidência de casca escurecida e maior perda de massa. Em relação às análises sensoriais, goiabas irradiadas armazenadas por 7 dias a TR + 2 a TA apresentaram qualidade organoléptica aceitável, embora inferior às não irradiadas. Já as goiabas armazenadas por 14 dias a TR + 2 a TA apresentaram qualidade inaceitável quando irradiadas com 675 Gy, enquanto que as não irradiadas e as irradiadas com 225 Gy foram apenas um pouco superiores ao limite aceitável.

Palavras-chave: Refrigeração, moscas-das-frutas, sensorial, taxa respiratória, etileno

ABSTRACT

PIMENTEL, R. M. de A. **Postharvest quality of red guava (*Psidium guajava* L.) submitted to quarantine treatment by gamma irradiation.** 2007. 112 f. Thesis (Doctoral)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

Red guava is not a well-known fruit by importing markets; however, it has a great commercial potential, since it is considered one of the most complete fruits in terms of nutritional quality. However, the presence of fruit-flies in fruits leads importing countries to impose commercial restrictions due to phytosanitary risk. The USA permit the use of irradiation to the quarantine control of *Anastrepha* spp. and *Ceratitis Capitata* with a minimum dose of 150 and 225 Gy, respectively. Since, there is a dose variation inside an irradiated container, which can be of 1:3, fruits must present commercial quality, even after irradiation with doses of up to three times higher than the minimum required dose. Therefore this work's objective was the study of the quality of 'Pedro Sato' guavas irradiated with 150 and 450 Gy and, also, 225 and 675 Gy, which represented minimum and maximum doses of quarantine control of *Anastrepha* spp. and *C. capitata*, respectively. In the first experiment, guavas were irradiated with 0, 150, 225, 450, 675 Gy and evaluated at 0, 2, 4 e 6 days after irradiation for the physic-chemical analysis. The determinations of disease incidence, peel darkening incidence, respiration rate and ethylene production was done in a daily basis. The sensory assessments took place 5 days after irradiation, in which the organoleptic assessments were irradiated with 0, 225 e 675 Gy. Guavas during this experiment were stored at 23 ± 1 ^{o}C e 85 ± 5% RH. The results indicate that irradiation speeded up the ripening of guavas,

increased disease incidence and mass loss. The respiratory rate and ethylene production was higher to the irradiated fruits until the fourth day of storage. In relation to the sensory analysis, superior organoleptic quality was found in non-irradiated fruits. In the second experiment, applied doses were identical to the ones of the firs experiment. Guavas were stored under refrigerated temperature (RT) at 10 ± 1 ^{o}C and 80 ± 5% UR and analyzed at 0, 7 and 14 days; at 7 e 14 days guavas were transferred to ambient temperature (AT) of 23 ± 1 ^{o}C and 70 ± 5% UR during two days to be analyzed again. Sensory analysis were made in guavas stored for 7 and 14 days at RT + 2 at AT. The results showed that irradiated guavas stored by 7 days at RT + 2 at AT were softened and the ones irradiated with 450 e 675 Gy presented pulp color less intense. In addition to these alterations irradiated guavas stored for 14 days at RT + 2 at AT presented incidence of peel darkening and higher mass loss. In relation to the sensory analysis, irradiated guavas stored for 7 days at RT + 2 at AT presented acceptable organoleptic quality, although inferior to the non-irradiated ones. In the other hand, guavas stored for 14 days at RT + 2 a AT presented unacceptable quality when irradiated with 675 Gy, whereas the non-irradiated and the irradiated with 225 Gy were only barely acceptable.

Key-words: Refrigeration, fruit-flies, sensory, respiratory rate, ethylene

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas do mundo; em 2005, produziu 36,8 milhões de toneladas sendo superado pela Índia e China que produziram 47 e 87 milhões de toneladas, respectivamente (FAO, 2006). Porém, a maior parte desta produção é voltada para o mercado interno já que apenas cerca de 2% da produção foi exportado correspondendo a US$ 440 milhões. Apesar dos números modestos em relação ao seu potencial, o Brasil vem aumentando sua participação no comércio mundial de frutas a cada ano (INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF, 2006a).

Na América Latina, Chile, México e Equador exportam mais que o Brasil (FAO, 2006). O Chile aproveita a entressafra dos países do hemisfério norte para exportar frutas temperadas; o México leva vantagem por fazer fronteira com os Estados Unidos, fazer parte da NAFTA e por ter erradicado a *Ceratitis capitata* (Diptera:Tephritidae) e o Equador se tornou especialista na produção de bananas fazendo parcerias com empresas americanas.

Para o Brasil se tornar mais competitivo e exportar mais é necessário um produto de qualidade, diferenciado e cumprir as exigências fitossanitárias e comerciais dos países importadores. Os Estados Unidos respondem por 41 % das importações mundiais de frutas tropicais, seguidos da Europa que importam 32% e o Japão, sendo estes os principais mercados (FAO, 2005?). Grande parte das nossas exportações de frutas tem a Europa como destino (70%), porém existe um potencial enorme para exportação a outros mercados menos

explorados, principalmente na América do Norte e China (INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF, 2006b).

Segundo FAO (2005?) a produção mundial de goiabas já atingiu 4 milhões de toneladas. A Índia é a maior produtora, pois, em 2004, colheu 1,7 milhões de toneladas de goiaba. Outros países que se destacam na produção de goiabas são: México, Paquistão, Egito, Brasil entre outros, mas quando é computada somente a produção de goiabas vermelhas, o Brasil se torna o maior produtor mundial (FRANCISCO et al., 2005). O Brasil, em 2005, produziu 345,5 mil toneladas, sendo que os estados de São Paulo e Pernambuco se destacaram como os maiores produtores (FRANCISCO et al., 2005).

Entretanto, as exportações da goiaba ainda são insignificantes perto de outras frutas exportadas pelo Brasil uma vez que, em 2004, só foi exportado US$ 128 mil. (INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF, 2006a). Manica et al. (2000) atribuem ao pouco conhecimento da goiaba por parte dos consumidores nos mercados externos e a fragilidade do produto na fase pós-colheita, falta de tradição do Brasil como grande exportador de frutas, a inexistência de navios especializados no transporte de frutas e o preço final da venda no mercado externo muito alto em comparação às outras frutas que estão em oferta no mercado exterior.

Já Degner et al. (1997) explicaram que existe uma demanda importante de frutos típicos das etnias que imigraram aos EUA como os latino-americanos e os asiáticos. Os frutos já são conhecidos por estes compradores e dá a sensação de maior ligação com o país de origem. A goiaba, comum na América Latina e no sul da Ásia, certamente faz parte deste grupo de frutas.

A Associação Brasileira dos Produtores de Goiaba (s.d.) relatou o grande potencial nutricional da goiaba vermelha produzida no Brasil. Ela cita diversas fontes que demonstram que, no conjunto das características nutricionais, a goiaba vermelha é uma das frutas mais

completas e nutritivas (MELTZER, 1998), com altos teores de vitaminas, fibras, minerais, carotenóides e licopeno (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA, 2001). Tal potencial nutricional também pode se traduzir num alto potencial mercadológico, sendo a goiaba uma das frutas contempladas nos projetos de divulgação no exterior para estimular a exportação.

Para que seja possível aumentar as exportações, barreiras quarentenárias impostas aos nossos produtos também deverão ser contornadas. Um exemplo disso é a exportação do mamão brasileiro para os Estados Unidos que só foi viabilizada, após a prática do "systems approach", que implica no monitoramento da população de moscas-das-frutas e acompanhamento da cultura até o destino final para conferir segurança quarentenária aos frutos. O sistema baseia-se na seleção de mamões com grau de maturação mais verde que será mais resistente à infestação das moscas-das-frutas (MALAVASI et al., 1996).

A goiaba, porém, está sujeita à infestação das moscas-das-frutas em fases anteriores ao da maturidade fisiológica, sendo considerada uma das principais pragas da goiaba, responsável por um elevado índice de perdas (BRASIL, 1995). Neste caso, para se ter o controle quarentenário das moscas-das-frutas deve-se aplicar outras técnicas.

Dentre as técnicas existentes uma das mais práticas e eficientes é o controle por irradiação gama. Tal tratamento é relativamente rápido e as doses utilizadas para controle quarentenário de moscas-das-frutas não provoca danos na maioria das frutas e não produz calor. A alta penetrabilidade da radiação assegura que a praga é atingida em qualquer profundidade no fruto, podendo até mesmo fazer o tratamento com o produto já embalado para evitar reinfestações.

O Animal And Plant Health Inspection Service - APHIS (2002) regulamentou a importação pelos Estados Unidos de frutos e hortaliças submetidos à irradiação gama como tratamento quarentenário para moscas-das-frutas. Dentre estas, foram contempladas a

Ceratitis capitata e várias moscas da espécie *Anastrepha* comuns em pomares brasileiros cujas doses mínimas de controle são 225 e 150 Gy, respectivamente. Contudo, a operação comercial de irradiadores em lotes grandes de frutos pode trazer uma variação de dosagem de até três vezes entre os frutos mais externos (maior dose) e internos (menor dose) dentro do container onde se aplica a irradiação. Considerando que a dosagem mínima necessária possa ser de 225 Gy, em alguns irradiadores poderemos ter frutos submetidos à dose máxima de 675 Gy. Portanto, num tratamento comercial, é importante que o fruto resista à irradiação na dose máxima absorvida, mantendo qualidade para comercialização.

Em goiabas brancas, Frateschi (1999), identificou que a irradiação com doses de 600 Gy ou mais causava uma predisposição a doenças e quando armazenadas sob refrigeração ocorreram distúrbios como o escurecimento da casca.

Portanto, o presente trabalho visa avaliar a qualidade pós-colheita da goiaba vermelha submetida a diferentes doses de irradiação. As doses foram definidas considerando uma variação de dose de 1:3 em irradiador comercial, portanto foram utilizadas as doses de 150 e 450 Gy para simular a dose mínima e máxima do tratamento quarentenário para controle de *Anastrepha* spp., e de 225 e 675 Gy para simular a dose mínima e máxima do tratamento quarentenário para controle de *Ceratitis capitata.*

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A goiaba

A goiaba foi descrita por Pereira (1995), como sendo um fruto globoso do tipo baga que internamente apresenta um mesocarpo de textura firme e quatro a cinco lóculos cheios por uma massa de consistência pastosa onde estão numerosas sementes. A espessura da polpa, fator importante na seleção de goiabas de mesa, varia de menos de 1 cm a aproximadamente 2 cm. A coloração da casca em frutos maduros varia de verde a amarela e a polpa varia do branco ao vermelho intenso, passando pelo amarelo e rosa.

Segundo Manica et al. (2000), a goiabeira é uma planta considerada de clima tropical, mas ela é conhecida pela sua grande adaptação de crescimento e produção em diferentes locais do mundo, em climas subtropicais e mesmo em regiões de clima mais frio, em áreas com ausência ou curta duração de geadas. A época de colheita se concentra nos meses de janeiro a abril nos estados do Sudeste, porém em pomares que utilizam tecnologias modernas, como adubação correta, irrigação, podas e desfolhantes, as colheitas podem ser feitas durante oito a 12 meses por ano.

Carvalho (1994) relatou que a goiaba se destaca por sua excelente qualidade atribuída a três fatores: elevados teores nutritivos, sendo uma das melhores fontes de vitamina C, com valores seis a sete vezes superiores aos dos frutos cítricos e que perde somente para o caju, camu-camu e acerola, além de ter um conteúdo elevado de açúcares e vitaminas A e do grupo

B, como a tiamina e niacina e também por conter bons teores de fósforo, ferro e cálcio; excelentes propriedades organolépticas, pois possuí um moderado sabor e aroma característico, é muito saudável por causa de sua alta digestibilidade devido ao grande conteúdo de fibras e foi classificada como excelente para o consumo ao natural e para o processamento, e alto rendimento por hectare e de polpa de elevada qualidade industrial, o que permite seu aproveitamento como goiaba em calda, fatias, doces em massa, geléias, sucos, néctar, sorvete e bases para xaropes e bebidas.

Kavati (1997) identifica cinco mercados distintos para a goiaba no Estado de São Paulo. Segundo este autor o mercado de frutas de primeira qualidade, mercado interno de fruta comum, mercado de processamento na safra, mercado de processamento durante o ano todo, e para exportação, caracterizada por frutos de primeira qualidade exportados quase que exclusivamente para a Europa, por via aérea.

Outro entrave para as exportações, é o fato da goiaba ser um bom hospedeiro para as moscas-das-frutas, em qualquer fase da maturação fisiológica. Por se tratar de uma praga quarentenária muito importante, inviabiliza exportações para países livres da praga, como os Estados Unidos (BRASIL, 1995).

Castro e Sigrist (1991) explicaram que as condições do produto na época da colheita determinam seu comportamento subseqüente e a sua qualidade final, portanto a maturidade desempenha um importante papel na maneira como os produtos perecíveis serão transportados, manuseados e comercializados, bem como em seus períodos de armazenamento e qualidade organoléptica.

Segundo Manica et al. (2000), o ponto de colheita do fruto está relacionado ao mercado ao qual a goiaba se destina. Os frutos devem ser colhidos já totalmente desenvolvidos, porém com a cor externa ainda verde e polpa firme, quando destinados ao consumo ao natural em locais distantes; no ponto “de vez”, quando são utilizados no preparo de caldas e consumo ao

natural local; colhidos completamente maduros, porém ainda firmes, quando são utilizados para a fabricação de goiabada ou doce de massa.

Para Ahlawat et al. (1980) a goiaba deve ser colhida quando os frutos passam da coloração verde-escura para verde-clara, mas Bleinroth (1996) afirmou que a determinação do ponto de colheita pela aparência e mudança da cor da casca é muito falha. Castro e Sigrist (1991) citaram outros parâmetros de determinação do ponto de colheita em trabalho realizado na Índia, onde foi determinado que as goiabas devessem ser colhidas apresentando teor de sólidos solúveis totais de 12,0% a 12,6%, açúcares totais de 9,84% a 10,44%, acidez titulável de 0,36% a 0,41% e peso específico de 0,95 a 0,96.

2.2 Amadurecimento da goiaba

A respiração dos frutos está intimamente ligada ao seu amadurecimento. Quanto mais o fruto respira, maior a atividade fisiológica dos frutos, mais rápido é o amadurecimento.

Em função do padrão respiratório, os frutos são classificados em climatéricos e não-climatéricos. Os frutos não-climatéricos apresentam um declínio constante na taxa de respiração em função do tempo, enquanto que os climatéricos apresentam no amadurecimento, um período de aumento marcante na taxa respiratória e produção autocatalítica de etileno, sendo esta etapa denominada de período climatérico (KLUGE et al., 2002). O período necessário para atingir o pico climatérico e a intensidade de respiração neste pico depende do ponto de colheita e da temperatura de armazenamento (THOMAS, 2001). Para frutos climatéricos, o completo processo de amadurecimento pode ocorrer com o fruto ligado ou não a planta, enquanto que os frutos não-climatéricos são colhidos com o fruto já apresentando a maioria das modificações relacionadas ao amadurecimento (WILLS et al., 1981).

Outra característica típica dos frutos climatéricos é a resposta fisiológica à aplicação de etileno exógeno. Nestes casos, os climatérios para respiração e produção de etileno seriam maiores e se adiantariam, acelerando o amadurecimento dos frutos. Para os frutos não climatéricos a aplicação de etileno, somente causaria um aumento transitório da respiração (BUFLER,1986).

Após a colheita, a goiaba continua o processo de amadurecimento, que é próprio dos frutos climatéricos. Entretanto, a classificação da goiaba como fruto climatérico ou não-climatérico é bastante controvertido. Akamine e Goo (1979) ao analisarem as espécies *Psidium guajava* L. cv. Beaumont e Allahabed Safeda, *Psidium cattleianum sabine* e *Psidium cattleianum lucidens* Degener verificaram a presença de padrão climatérico. Resultado semelhante foi constatado por Brown e Wills (1983) avaliando as espécies *Psidium guajava* L. cv. Common, Ka Hua Kula, Beaumont, Ga 11-56, Ga 9-37 e Klom Sali e *Psidium cattleianum* cv. Yellow Cattley e Purple Cattley. Eles observaram que a goiaba já num estádio avançado de maturação apresentou pico climatérico de respiração e de produção de etileno.

Já, Biale e Barcus (1970) ao estudarem variedades amazônicas não evidenciaram nenhum aumento brusco na produção de gás carbônico, classificando os frutos como não climatérico. Medina et al. (1988) também consideraram a goiaba como um fruto não climatérico e Azzolini et al. (2005) explicam que goiabas 'Pedro Sato' apresentaram aumento gradual da taxa respiratória, mas atingiram os valores máximos quando já estavam maduras e na fase de senescência. Neste mesmo trabalho também foi verificado que as goiabas não responderam à aplicação exógena de etileno. Estas características revelam que a goiaba "Pedro Sato" não se comportou como frutos climatéricos típicos. Botelho (1996) acredita que o padrão respiratório para goiabas possa ser uma característica varietal.

Yang (1985) classifica os frutos climatéricos em frutos do tipo 1, cujo amadurecimento ocorrerá a partir do aumento na produção de etileno, e os frutos do tipo 2 cuja produção de etileno não definirá o início do amadurecimento, podendo ocorrer após o amadurecimento.

A goiaba é um fruto muito perecível. Em temperatura ambiente, frutos colhidos no estágio 1 (verde escuro) levaram 6 dias para amadurecer; no estágio 2 (verde claro), 4 dias e no estágio 3 (verde-amarelo), apenas 2 dias (AZZOLINI et al., 2005).

Para Salunke e Desai (1984), as técnicas de conservação visam reduzir tanto a taxa respiratória quanto a síntese e ação do etileno, mantendo-se os frutos na fase pré-climatérica por mais tempo. Segundo Pantástico et al. (1975), a refrigeração é o método mais eficiente para reduzir os processos metabólicos em frutos, porém frutos tropicais são sensíveis ao frio e podem apresentar características indesejáveis.

Castro e Sigrist (1991) descreveram os sintomas de dano fisiológico pelo frio em goiabas que inicialmente foram caracterizadas pela opacidade da coloração verde intensa da casca e, a seguir, por áreas irregulares verde-pardas, o mesocarpo (polpa) com coloração irregular e o endocarpo com algumas manchas escurecidas; e num estágio mais avançado, toda a superfície da fruta se tornou de cor parda e internamente escurecida. Portanto, com a intenção de se atingir uma temperatura mínima mais segura possível, Jacomino (1999) relatou que, em goiabas da variedade “Kumagai” a temperatura de armazenamento a 8º C e umidade relativa de 85 a 90% apresentou os melhores resultados ao final de 21 dias de conservação e 3 dias de comercialização simulada.

Reyes e Paull (1995) afirmaram que a refrigeração, em goiabas, além de reduzir a respiração e a biossíntese do etileno, também reduz a taxa de crescimento de microrganismos. Segundo Jeffries et al. (1990), o rápido amaciamento da polpa decorrente do amadurecimento favorece a incidência de podridões causadas por infecções fúngicas, sendo mais comum, a antracnose.

2.3 Irradiação como tratamento quarentenário

Como a maioria dos organismos biológicos não atingiu seu máximo potencial para distribuição geográfica, a maioria dos países tem agências regulatórias para prevenir a introdução de espécies exóticas. Portanto, a importação de produtos que podem carregar estes organismos é proibida ou permitida sob condições que reduzem o risco de introdução para níveis negligíveis. Tratamentos quarentenários são processos que eliminam ou tornam incapaz o estabelecimento de pragas quarentenárias que podem ser encontradas em produtos comercializados (HALLMAN, 2001). O controle pós-colheita de insetos é crítico para o comércio interestadual e internacional de produtos hortícolas. Muitos mercados estão abertos ao comércio, porém restrições fitossanitárias acabam se tornando limitantes. O futuro da comercialização de vários produtos será determinado pela capacidade de se controlar insetos de forma efetiva, sem danificar o produto (MITCHAM, 2001).

Existem vários métodos de tratamento quarentenário. O mais comum era o uso de fumegantes a base de brometo de metila pelo baixo custo e facilidade de aplicação. Porém, com a proibição de seu uso em 2005, para os países industrializados, e 2015, para países em desenvolvimento, tratamentos alternativos foram sugeridos. Moy e Wong (2002) relatam que a irradiação, além de ser extremamente efetiva no controle de insetos, também é eficiente quanto ao tempo de tratamento. A irradiação leva em torno de 15 a 20 minutos, enquanto que o aquecimento a vapor e ar forçado em alta temperatura requerem quatro horas para o tratamento, mais trinta minutos para o resfriamento, o tratamento por refrigeração requer 10 a 12 dias a 1 ou 2^{o} C antes que seja permitido o envio dos frutos ao supermercado.

A radiação gama também tem como característica uma alta penetrabilidade, podendo atravessar objetos sólidos, o que permite atuar em profundidade nos frutos ou até mesmo com

eles embalados e paletizados. Além do mais, por se tratar de um processo físico, não deixa resíduo químico nos frutos.

Segundo The International Consultative Group on Food Irradiation - ICGFI (1994), tratamentos quarentenários efetivos para romper restrições comerciais de produtos frescos se tornaram extremamente importantes. A irradiação pode ser considerada uma alternativa eficaz de tratamento quarentenário e faz-se necessário o reconhecimento e aceitação da irradiação como método de controle quarentenário. A dose de 150 Gy, suficiente para controlar totalmente a maioria das espécies e deverá servir como base para avaliação destes tratamentos.

Em 2003, foi adotado pela Convenção Internacional de Proteção Vegetal as Diretrizes para o Uso da Irradiação como Medida Fitossanitária fazendo parte das Normas Internacionais de Medidas Fitossanitárias (NIMF). Estas normas fornecem informação técnica na aplicação da irradiação apenas como medida fitossanitária. O significado da aprovação destas diretrizes é que elas são um documento de comprometimento legal para os 146 países membros da organização mundial do comércio, ou seja o uso da irradiação como medida fitossanitária deverá ser aceito pelos países membros (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – IAEA, 2004).

O Animal And Plant Health Inspection Service - APHIS (2002) regulamentou a importação pelos Estados Unidos de frutos e hortaliças submetidos à irradiação gama como tratamento quarentenário para moscas-das-frutas. Dentre estas, foram contempladas a *Ceratitis capitata* e várias moscas da espécie *Anastrepha* comuns em pomares brasileiros cujas doses mínimas de controle são 225 e 150 Gy, respectivamente. Contudo, a operação comercial de irradiadores em lotes grandes de frutos pode trazer uma variação de dosagem de até três vezes entre os frutos mais externos (maior dose) e internos (menor dose) dentro do container onde se aplica a irradiação. Considerando que a dosagem mínima necessária possa

ser de 225 Gy, em alguns irradiadores poderemos ter frutos submetidos à dose máxima de 675 Gy. Portanto, num tratamento comercial, é importante que o fruto resista à irradiação na dose máxima absorvida, mantendo qualidade para comercialização. Até porque, comparativamente, existe um maior número de frutos nas áreas mais externas de um palete do que nas internas, sendo assim, haverá uma quantidade maior de frutos absorvendo doses próximas às máximas.

Trabalhos sobre irradiação de frutas visam testar a qualidade das frutas submetidas ao tratamento quarentenário, levando-se em conta a absorção de radiação em doses maiores que a dose mínima de controle. Em alguns casos, são testados tratamentos combinados com o objetivo de atenuar o estresse causado pela radiação, diminuindo os danos causados na dose máxima absorvida. Miller et al. (2000) determinaram a tolerância de 10 cultivares de citros à irradiação em diversas doses com propósito quarentenário. Miller e McDonald, (1996) testaram a combinação de tratamento irradiado para quarentena e giberelina ou tiabendazole em pomelos para reduzir danos à casca do fruto sem obter resultados satisfatórios. McDonald et al. (2000) trataram os frutos com vapor a 48 ^{o}C para reduzir danos a casca de pomelos irradiados com 1 kGy. A incidência de danos a casca que era de 26 % nos frutos apenas irradiados, diminuiu para 17 % em frutos tratados com vapor a 48 ^{o}C por 2 horas.

O uso comercial da irradiação como tratamento quarentenário começou em 1995. Um lote de 240 caixas de mamão papaia foi enviado a Chicago para serem irradiados com dose mínima de 250 Gy e depois distribuídos em supermercados. Os envios continuaram e expandiram-se para outros frutos e mercados até que em 2000 um irradiador específico para tratamento quarentenário foi construído no Havaii. Na Florida, no ano de 1999, 18 toneladas de goiaba foram irradiadas para controlar a mosca-do-caribe e viabilizar o comércio com o Texas e a Califórnia (HALLMAN, 2001).

2.4 Irradiação de frutas

Além de ser muito eficiente no controle de moscas-das-frutas, a radiação ionizante pode, em determinados frutos, cultivares e condições, controlar microrganismos e alterar processos fisiológicos, acarretando no retardo de amadurecimento, sem modificações na qualidade do fruto. Moy (1977) cita uma série de autores que trataram bananas, mangas e mamões com irradiação. Foi verificado que a irradiação com 200 a 500 Gy retardou o amadurecimento em até 7 dias para bananas dependendo da variedade; para mamões, se estendeu a vida de prateleira de 3 a 4 dias em temperatura ambiente após irradiação com dose de 750 Gy; e em mangas a vida útil aumentou de 5 a 8 dias dependendo da variedade e da dose aplicada que variou de 400 a 750 Gy. Segundo Urbain (1986) a eficiência da irradiação para retardar o amadurecimento se perde, se esta se realizar depois do começo da fase de crescimento do climatérico. Thomas et al. (1971) e Akamine e Goo (1971), avaliando a taxa respiratória de banana e manga, respectivamente, verificaram atraso no pico climatérico quando tratados na fase pré-climatérica.

Segundo Maxie e Sommer (1968), os efeitos da irradiação na firmeza do tecido devem ser considerados em dois pontos de vista: o efeito direto na firmeza do tecido e um efeito secundário ao longo do tempo no amadurecimento do fruto. Existe uma perda de firmeza imediata decorrente da irradiação, mas se a irradiação inibe o amadurecimento, a perda de firmeza dos tecidos será retardada depois da perda inicial. Para mamões, a retenção da firmeza do fruto foi o principal efeito da irradiação, já que a coloração amarela se desenvolveu normalmente, como foi verificado por Moy et al. (1973), Zhao et al. (1996) e Pimentel e Walder (2004). D'innocenzo (1996) explicou que o mamão irradiado apresentou menor atividade ao longo do amadurecimento das enzimas PME, PG e β-galactosidase, responsáveis pela solubilização das pectinas que mantêm a firmeza do fruto.

Segundo Awad (1993), durante a maturação e o amolecimento dos frutos, observou-se liberação de diversos compostos solúveis que faziam parte da estrutura molecular da parede celular e da lamela média. Uns dos resíduos solúveis mais frequentemente identificados são os ácidos urônicos em vários graus de polimerização, sendo este resultado da atividade de várias enzimas hidrolíticas. Dentre estas se destacam a endo-poligalacturonase (PG); a mais comum, que despolimeriza o ácido poligalacturônico formando unidades cada vez menores até chegar ao ácido galacturônico, e a pectinametilesterase (PME) que desesterifica pectinas ácidas necessária à ação da PG que por si só já contribuí para o amolecimento, pois a desesterificação provoca desestruturação e solubilização parcial da lamela média causando perda de rigidez.

Já a aplicação da irradiação para controle da deterioração vai depender da sensibilidade do fruto ao tratamento. Em morangos, que resistem a doses acima de 2 kGy, o controle de podridões foi bastante eficiente como relataram Pimentel et al. (2001). Nos frutos que são mais sensíveis a irradiação, as doses que não causam dano ao fruto, muitas vezes podem não controlar doenças, porém com a irradiação combinada ao tratamento de água quente, Akamine e Wong (1966) obtiveram excelente controle em mamões e Brodrick e Thomas (1978) em mangas.

A irradiação de goiabas armazenadas em temperatura ambiente (25 ± 2º C) foi analisada por Ahmad et al. (1972). As doses de radiação mais eficientes foram as de 300 e 400 Gy, cujo resultado foi o amadurecimento após 9 dias comparado ao controle que foi de apenas 5. Porém, goiabas em filme de polietileno atingiram vida útil de 11 dias. Ao se avaliar diferentes frações de pectinas da goiaba, foi concluído que a irradiação causou amolecimento devido ao seu efeito direto logo após a aplicação, mas mantiveram firmeza maior do que a normal no final do período de armazenamento.

Em experimento realizado na Índia, Baghel et al. (2005) observaram que a irradiação com 100 Gy proporcionou aumento da vida útil e retardou o amadurecimento de goiabas armazenadas a temperatura ambiente. Goiabas irradiadas com 100 Gy apresentaram maior textura e menor alteração na cor em comparação com o tratamento não irradiado. Esta dose também diminuiu a incidência de doenças no fruto em comparação com todos os outros tratamentos. Doses acima de 100 Gy causaram o aparecimento de manchas pretas na casca após 4 dias de armazenamento.

Segundo Frateschi (1999), o principal fator para redução do período pós-colheita da goiaba branca armazenada a temperatura ambiente foram as podridões e aparecimento de manchas marrons. Num experimento onde a goiaba branca foi submetida a várias doses de radiação, a mais eficiente de 300 Gy resultou num nível de conservação pós-colheita igual ao controle não irradiado. As outras doses avaliadas, todas acima de 300 Gy predispuseram a goiaba à doenças. As goiabas do tratamento não irradiado também obtiveram firmeza superior às goiabas irradiadas. Quando as goiabas foram armazenadas sob refrigeração a 9^{o} C e 85 ± 5% UR foi verificado que os frutos não irradiados se conservaram por mais tempo. Já nas dosagens maiores, a incidência de doenças ocorrera mais cedo. O fator que mais contribuiu para comprometer a vida pós-colheita foi o aparecimento de manchas escuras a partir do 9^{o} dia para doses de 600 e 900 Gy e 12^{o} dia para as demais doses.

Segundo Maxie et al. (1971), em frutos normalmente sensíveis ao frio, a irradiação aumentou ainda mais a sensibilidade a baixas temperaturas, provocando uma maior incidência de injúrias fisiológicas pelo frio. Kluge et al. (2002) afirmam que existe uma hipótese que os danos por ‘chilling’ estão associados a alteração da membrana celular de líquida cristalina para gel sólida que resultaria em perda da integridade da membrana e extravasamento de solutos. O acúmulo de substâncias tóxicas e a oxidação de compostos fenólicos favoreceriam o ‘chilling’, sendo que um dos sintomas é o escurecimento da casca. A irradiação também

causa perda da integridade das membranas celulares como constatado por Voisine et al. (1993) o que possibilitaria um maior contato entre a polifenoloxidase e seus substratos. A atuação desta enzima na oxidação de compostos fenólicos resulta no escurecimento dos tecidos. Portanto, pode ser que a ação da irradiação facilite o processo de dano pelo frio ao ponto que mesmo em temperaturas de armazenagem consideradas seguras possa ocorrer o 'chilling'.

Clarke (1971) citou uma série de autores que verificaram predisposição ao ataque de patógenos causada pela irradiação gama. Segundo o autor, a irradiação pode aumentar a atividade de patógenos, cria um bom meio de cultura pelo aumento da permeabilidade das membranas celulares e pela redução da concentração de substâncias inibitórias presentes no fruto.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Primeiro experimento – Qualidade da goiaba submetida ao tratamento quarentenário por irradiação e armazenada em temperatura ambiente.

As goiabas da variedade 'Pedro Sato' foram colhidas num pomar comercial em Vista Alegre do Alto (48°21' W e 21°10' S), São Paulo. O ponto de maturação destes frutos foi o estádio 1 (verde escuro) (AZZOLINI et al., 2004a) sendo que o ângulo de cor (H*) apresentou média de 117º no dia da colheita**.** Os frutos foram trazidos para o Laboratório de Irradiação de Alimentos do CENA/USP, Piracicaba, SP, onde foram homogeneizados, selecionados e reembalados para que em seguida, fossem irradiados no irradiador de grande porte do Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN), São Paulo, SP, com doses de 150, 225, 450 e 675 Gy. As amostras não irradiadas (testemunhas) também foram submetidas às mesmas condições de transporte e temperatura e umidade que as irradiadas.

Figura 3.1 Casa de embalagem de goiabas da Val Frutas, Vista Alegre do Alto, SP.

Figura 3.2 Irradiador de grande porte do IPEN-CNEN, São Paulo, SP.

As goiabas foram irradiadas de maneira estática a uma distância de 1 m das fontes de ^{60}Co. As caixas foram posicionadas como exposto na Figura 3.3, de forma que todos os frutos estivessem a uma distância homogênea em relação à grade com as fontes. A irradiação foi monitorada através da utilização de dosímetros da marca Gammachrome, com sensibilidade para leitura de doses entre 0,1 a 3 kGy, colocados no interior das caixas. Os dosímetros quando absorvem radiação modificam a cor para tons mais escuros havendo uma relação entre cor e dose, assim sendo, com uso de um espectrofotômetro pode-se fazer a leitura da dose real absorvida (Figura 3.4). Foram feitas leituras prévias para se estimar com maior precisão o tempo necessário para se atingir doses mais próximas às solicitadas.

Figura 3.3 Posição das caixas prontas para irradiação.

Figura 3.4 Dosímetros Gammachrome após exposição a diferentes doses de radiação.

Na Tabela 3.1 estão apresentadas as doses reais absorvidas e a taxa de dose de todas as irradiações realizadas neste trabalho.

De volta ao CENA, os frutos foram armazenados à temperatura de 23 ± 1 ^{o}C e umidade relativa de 85 ± 5%. As avaliações físico-químicas dos frutos ocorreram no dia da irradiação e a 2, 4 e 6 dias de armazenamento. Estas avaliações foram realizadas no Laboratório de Irradiação de Alimentos do CENA/USP e no Laboratório de Pós-colheita do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP).

Tabela 3.1 Doses reais absorvidas e taxas de dose para seis irradiações realizadas no trabalho.

	Doses solicitadas (Gy)				
Irradiações	150	225	450	675	Taxa de dose Gy/h
	Doses reais absorvidas (Gy)				
Primeira[1]	160	225	480	690	550
Segunda[1]	150	230	440	670	550
Terceira[2]	165	230	440	690	538
Quarta[2]	145	240	450	670	538
Quinta[3]	170	220	435	665	471
Sexta[4]	165	260	480	710	450

[1] Irradiações referentes às análises físico-químicas do primeiro experimento
[2] Irradiações referentes às análises físico-químicas do segundo experimento
[3] Irradiação referente às análises fisiológicas e sensoriais do primeiro experimento
[4] Irradiação referente às análises sensoriais do segundo experimento

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 5 doses (0, 150, 225, 450 e 675 Gy) e 4 dias de análise (0, 2, 4 e 6). Cada tratamento foi composto de quatro repetições, sendo cada uma destas parcelas formada por cinco frutos.

3.1.1 Análises Físico-químicas

3.1.1.1 Perda de massa

A perda de matéria fresca foi determinada pela diferença entre a massa inicial e massa final da amostra, expressa em porcentagem da massa inicial, utilizando-se de uma balança digital GEHAKA BG 8000 com precisão de duas casas decimais.

3.1.1.2 Firmeza

A firmeza foi determinada através do penetrômetro digital Fruit Firmness Tester com 0,8 cm de diâmetro. Foram feitas duas leituras por fruto na sua região equatorial em lados opostos cujos resultados foram expressos em Newton.

3.1.1.3 Cor externa – Ângulo de cor (H*)

A coloração externa foi determinada por meio de colorímetro Minolta CR-300. Foram feitas duas mensurações no fruto, uma de cada lado, ao longo de sua região equatorial, sendo os resultados expressos em ângulo de cor (H*), de acordo com McGuire (1992).

3.1.1.4 Cor interna – Luminosidade (L*) e Cromaticidade (C*)

A coloração interna foi também determinada pelo colorímetro Minolta CR-300, fazendo-se uma leitura na parte interna do fruto cortado longitudinalmente, sendo os resultados expressos em Luminosidade (L*) e Cromaticidade (C*).

3.1.1.5 Teor de ácido ascórbico

O teor de ácido ascórbico foi determinado através de titulometria de acordo com metodologia de Carvalho et al. (1990) com os resultados expressos em mg de ácido ascórbico por 100g de polpa.

3.1.1.6 pH

O pH foi determinado através de pHametro Digimed DMPH, fazendo leitura da polpa.

3.1.1.7 Acidez titulável (AT)

A acidez titulável (AT) foi determinada segundo metodologia proposta por Carvalho et al. (1990) sendo os resultados expressos em porcentagem de ácido cítrico na polpa.

3.1.1.8 Teor de sólidos solúveis (SS)

O teor de sólidos solúveis totais (SS) foi determinado por refratômetro digital modelo Auto Abbe fazendo-se leitura direta da polpa expressa em porcentagem de sólidos solúveis.

3.1.1.9 Relação SS/AT

A relação obtida por meio da razão entre o teor de sólidos solúveis (SS) e a acidez titulável (AT).

3.1.1.10 Incidência de doenças (ID)

A incidência de doenças (ID) foi avaliada pela contagem de goiabas com lesões de doença de um total de 40 frutos. As avaliações ocorreram diariamente. Foram contabilizadas as goiabas com mais de três lesões ou com uma só lesão maior que 0,3 cm de diâmetro. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos lesionados. Metodologia adaptada de Azzolini et al. (2004a).

3.1.1.11 Incidência de escurecimento da casca

A incidência de escurecimento da casca foi avaliada pela contagem de goiabas com a presença do escurecimento de um total de 40 frutos. As avaliações ocorreram diariamente. Foram contabilizadas as goiabas com 10 % ou mais da superfície da casca escurecidas. Os resultados foram expressos em porcentagem de frutos danificados. Metodologia adaptada de Miller e McDonald (1999).

3.1.1.12 Análise dos dados

Os dados das análises físico-químicas foram submetidos à análise de variância para F significativo a 5%. A análise teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey com significância a 5%. Quando houve interação ou os dois efeitos foram significativos os dados foram analisados de maneira combinada. Se apenas um efeito foi significativo, este foi analisado separadamente.

3.1.2 Análises Fisiológicas

3.1.2.1 Taxa respiratória

Para esta análise, um novo lote de goiabas foi selecionado e irradiado da mesma maneira como foi descrito no item 3.1. As doses para análise foram 0, 225, 450 e 675 Gy. As análises de taxa respiratória foram realizadas diariamente por 6 dias, sendo que a primeira ocorreu um dia após a irradiação. Para os frutos irradiados e o controle foram utilizados 5 frutos por tratamento cada um representando uma parcela. Os frutos foram pesados e colocados em recipientes herméticos de vidro de 600 mL. Após 30 minutos à uma hora em ambiente fechado, amostras de 1 mL do gás foram retiradas do interior desses recipientes. Os teores de CO_2 foram determinados em cromatógrafo a gás (modelo GC Trace 2000, marca Termofinigan), com detector de ionização de chama, utilizando-se uma coluna 'Propak N'. A taxa respiratória foi calculada com base nas concentrações de CO_2 nas amostras, na massa dos frutos, no volume dos frascos e no tempo de incubação. Os resultados foram expressos em mL CO_2 kg^{-1} h^{-1}.

3.1.2.2. Determinação da produção de etileno.

A produção de etileno foi determinada da mesma forma que a respiração, porém os frutos ficaram fechados nos frascos durante 2 a 2,5 horas. Os resultados foram expressos em μL C_2H_4 kg^{-1} h^{-1}.

3.1.2.3 Análise dos dados

Os dados das análises fisiológicas foram submetidos à análise do desvio padrão onde as diferenças entre dois tratamentos devem ser maiores que a soma de dois desvios padrões para serem consideradas significativas.

3.1.3 Análises sensoriais

3.1.3.1. Avaliação visual

Goiabas foram selecionadas e irradiadas da mesma maneira como descrito no item 3.1., inclusive com as mesmas doses (150, 225, 450, 675 e o controle, não irradiado). Goiabas de cada tratamento foram dispostas em bandejas para serem avaliadas quanto ao atributo da aparência externa (Figura 3.5). Para tal, elas foram armazenadas a temperatura de 23 ± 1 ^{o}C e umidade relativa de 85 ± 5 % por 5 dias. Para cada dose, foram escolhidas de forma aleatória seis goiabas inteiras, que estiveram sujeitas à avaliação visual por 40 provadores não treinados utilizando-se de escala hedônica (Apêndice 1 - Figura 1).

Figura 3.5 Disposição das goiabas em bandejas para análise sensorial visual

3.1.3.2. Avaliação organoléptica

Uma nova remessa de goiabas foi selecionada e irradiada conforme descrito no item 3.1. Porém, somente as goiabas submetidas às doses 225, 675 Gy e o controle não irradiado foram utilizadas. Os frutos foram avaliados depois de armazenamento descrito no item anterior. Os testes contaram com 10 goiabas por tratamento escolhidas ao acaso, cortadas em fatias pequenas e servidas em pequenos recipientes (Figura 3.6). As amostras foram avaliadas por 40 provadores não treinados quanto aos atributos de doçura e firmeza e aceitabilidade, através de escala hedônica (Apêndice 1 - Figura 2).

Figura 3.6 Bandeja pronta para avaliação organoléptica.

3.1.3.3 Análise dos dados

Para análise sensorial, o delineamento foi em blocos ao acaso, sendo que cada provador foi considerado um bloco. Os dados foram submetidos à análise de variância e, obtendo-se o F significativo ao nível de 5%, a análise teve continuidade com a aplicação do teste de Tukey com significância a 5%.

3.2 Segundo experimento - Qualidade da goiaba submetida ao tratamento quarentenário por irradiação e armazenada em ambiente refrigerado.

A origem, seleção, método de irradiação, os locais para avaliação das goiabas e a análise dos dados foram idênticos aos do primeiro experimento (Item 3.1). Os fatores que diferiram foram as condições de armazenamento e os períodos para as análises físico-químicas. As goiabas foram armazenadas sob temperatura de refrigeração (TR) de 10 ± 1 ^{o}C e umidade de 80 ± 5% e analisadas a 0, 7 e 14 dias, sendo que aos 7 e 14 dias as goiabas foram retiradas da câmara fria e colocadas em temperatura ambiente (TA) de 23 ± 1 ^{o}C e umidade relativa de 70 ± 5% durante dois dias quando foram novamente analisadas.

Portanto, o delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 5 doses (0, 150, 225, 450 e 675 Gy) e 5 dias de análise (0, 7 TR , 7 TR + 2 TA, 14 TR e 14 TR + 2 TA). Cada tratamento foi composto de quatro repetições, sendo cada uma destas parcelas formada por cinco frutos.

3.2.1 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram as mesmas descritas no primeiro experimento (Item 3.1.1): perda de massa; coloração externa, ângulo de cor (H*); coloração interna, croma (C*) e luminosidade (L*); incidência de doenças, incidência de escurecimento da casca, firmeza da polpa, pH, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e teor de ácido ascórbico.

3.2.2 Análises sensoriais

As análises sensoriais deste experimento foram idênticas as análises descritas no experimento 1 (Item 3.1.3); foram utilizados os mesmos métodos de coleta, de irradiação, de análise dos dados e de avaliação sensorial das goiabas. Porém, os atributos de aparência

externa, doçura, firmeza e aceitabilidade foram avaliados em dois períodos de armazenagem distintos: o primeiro, após 7 dias sob temperatura de refrigeração (TR) de 10 ± 1 ^{o}C e UR de 80 ± 5% mais dois dias em temperatura ambiente (TA) de 23 ± 1 ^{o}C e UR de 70 ± 5%, e o segundo, após 14 TR + 2 TA.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Qualidade da goiaba submetida ao tratamento quarentenário por irradiação e armazenada em temperatura ambiente.

4.1.1 Análises físico-químicas

Os efeitos principais e as interações estão resumidos na Tabela 4.1.1. Os efeitos combinados relativos às variáveis perda de massa, firmeza, cor da casca (H*) e cor da polpa (C*) estão expostos na tabela 4.1.2. A tabela 4.1.3 apresenta os resultados das analises para cor da polpa (L*), teor de ácido ascórbico, pH, acidez titulável (AT), teor de sólidos solúveis (SS) e relação SS/AT quando apenas o fator período de armazenagem foi significativo.

Tabela 4.1.1 Efeitos principais e interações para variáveis referentes às análises físico-químicas de goiabas submetidas à irradiação (I) e avaliadas ao longo do período de armazenagem (P) a 23 ± 1 ^{o}C e a 85 ± 5% UR.

	Efeitos principais e interações		
Variáveis	Período (P)	Irradiação (I)	P x I
Perda de massa	+	+	+
Firmeza	+	+	ns
Cor externa - H*	+	+	+
Cor interna - C*	+	+	ns
- L*	+	ns	ns
Ácido ascórbico	+	ns	ns
pH	+	ns	ns
Acidez titulável (AT)	+	ns	ns
Sólidos solúveis (SS)	+	ns	ns
Relação SS/AT	+	ns	ns

$^{ns,+}$Não significativo ou significativo a $P \leq 0,05$.

Tabela 4.1.2. Valores médios de perda de massa, firmeza, cor externa (H* = ângulo de cor) e cor interna (C* = Cromaticidade) de goiabas 'Pedro Sato' em função de doses de irradiação e período de armazenagem a 23 ± 1 °C e a 85 ± 5% UR.

	Dias após tratamento				
Dose (Gy)	0	2	4	6	CV %
		Perda de massa (%)			
0	0 D a	1,48 C a	2,04 B b	3,42 A b	6,13
150	0 D a	1,74 C a	2,76 B a	4,35 A a	9,15
225	0 D a	1,62 C a	2,65 B a	4,12 A a	8,02
450	0 D a	1,71 C a	2,65 B a	4,16 A a	9,39
675	0 D a	1,65 C a	2,68 B a	4,32 A a	6,17
CV%	-	13,10	9,67	8,20	
		Firmeza (N)			
0	103,87 A a	92,48 AB a	65,81 BC a	43,18 C a	19,13
150	100,56 A a	54,47 B b	36,90 BC b	24,28 C b	17,71
225	96,03 A a	58,85 B b	35,17 BC b	23,37 C b	14,61
450	94,90 A a	50,74 B b	38,95 BC b	24,82 C b	18,22
675	97,03 A a	54,83 B b	36,22 BC b	22,29 C b	18,53
CV%	9,95	14,67	19,01	25,76	
		Cor externa (H*)			
0	117,83 A a	115,98 AB a	110,04 B a	103,81 C a	2,48
150	117,28 A a	110,33 B b	102,42 C b	93,11 D b	2,24
225	117,41 A a	111,12 B b	99,97 C b	92,66 D b	2,05
450	117,06 A a	110,33 B b	100,70 C b	90,98 D b	1,44
675	117,03 A a	108,20 B b	99,32 C b	92,73 D b	0,91
CV%	0,58	1,64	1,59	3,06	
		Cor interna (C*)			
0	30,24 C a	31,22 C b	36,05 B b	39,65 A a	4,40
150	29,64 C a	35,06 B a	39,04 AB a	40,08 A a	5,72
225	31,30 B a	33,81 B a	38,76 A a	40,45 A a	5,34
450	30,57 B a	33,90 B a	38,99 A a	38,14 A a	6,18
675	30,58 B a	35,09 AB a	39,23 A a	37,80 A a	6,08
CV%	5,50	2,83	2,25	4,23	

Valores seguidos por letras distintas (minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas) foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05)

Tabela 4.1.3 Valores médios de cor interna (L* = Luminosidade), teor de ácido ascórbico, pH, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT de goiabas 'Pedro Sato' em função do período de armazenagem a 23 ± 1 ^{o}C e a 85 ± 5% UR.

	Dias após tratamento				
	0	2	4	6	CV %
Cor interna (L*)	62,19 A	59,60 B	56,83 C	54,65 D	3,76
Ác. ascórbico mg/100g	39,41 B	37,39 B	46,86 A	44,49 A	12,87
pH	3,89 A	3,83 B	3,85 AB	3,90 A	1,39
Acidez titulável (%)	0,65 B	0,70 A	0,69 A	0,64 B	5,04
Sólidos solúveis (%)	10,66 A	10,48 A	10,42 A	10,09 B	3,41
Relação SS/AT	16,45 A	15,11 B	15,24 B	15,89 AB	6,19

Medias de quatro repetições e cinco doses de irradiação. Valores seguidos por letras distintas nas linhas foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05)

4.1.1.1 Perda de massa.

Os resultados indicam perda de massa das goiabas com o aumento do período de armazenamento (Tabela 4.1.2). Bem-Yehoshua (1985) explica que a perda de massa dos frutos pela transpiração é um dos fatores de perda de qualidade. Os frutos estão sujeitos a maiores perdas de firmeza e, conseqüentemente, mais susceptíveis a podridões e modificações de cor e sabor. Chitarra e Chitarra (2005) relatam que a transpiração excessiva também eleva a produção de etileno, de gás carbônico e a perda de clorofila.

O taxa de perda de massa das goiabas é afetada pela temperatura e umidade do ambiente. A perda de massa foi maior para goiabas colhidas em ambientes de baixa umidade e alta temperatura durante três semanas de armazenamento (VASQUEZ-OCHOA; COLINAS-LEON, 1990).

As goiabas irradiadas, independentemente da dose, apresentaram perda de massa superior às goiabas não tratadas (Tabela 4.1.2). Estes resultados se devem principalmente à maturação antecipada das goiabas e aos efeitos deletérios da irradiação nas membranas celulares dos

frutos. A irradiação diminui a atividade da H^+-ATPase da membrana das células de maçã (DONG et al., 1994), promove a degradação de fosfolipídeos da membrana celular de couve flor (VOISINE et al., 1993) e aumenta a peroxidação de lipídeos de membranas celulares (EDWARD et al., 1984). Maçã 'Gala' (AL-BACHIR, 2004) e Pomelo (MILLER; McDONALD, 1998) também perderam massa devido à irradiação com dose de 500 Gy.

Além dos danos causados pela irradiação, o mais avançado grau de maturação das goiabas irradiadas pode agravar a perda de massa. Saha (1971) aplicou reguladores vegetais em goiabas acelerando o amadurecimento e conduzindo a maior perda de massa. Porém, em goiabas 'Pedro Sato', o grau de maturação no momento da colheita exerceu pouca influência na perda de massa dos frutos (AZZOLINI et al., 2005) e goiabas menos maduras por causa da aplicação de 1-metilciclopropeno não apresentou diferenças quanto à perda de massa em relação a goiabas não tratadas (BASSETO, 2002).

4.1.1.2 Firmeza

Na medida em que as goiabas amadureceram, elas perderam firmeza. Porém, as goiabas que não foram submetidas à irradiação só amoleceram no quarto dia de armazenamento, enquanto que as irradiadas perderam firmeza logo no segundo dia. Comparando-se a firmeza das goiabas submetidas a diferentes doses de radiação, pode-se observar que não houve diferença de firmeza entre as doses. A partir do segundo dia de armazenamento, as goiabas irradiadas apresentaram valores de firmeza bastante inferiores em comparação com goiabas não tratadas (Tabela 4.1.2).

O amolecimento dos frutos é um processo natural do amadurecimento. A perda da firmeza está diretamente ligada à degradação da parede celular, através da atividade de enzimas que atuam na solubilização da pectina, que é o principal componente da lamela média responsável pela coesão das células (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A atividade

destas enzimas está relacionada com a produção de etileno nos frutos (LELIÈVRE et al., 1997).

Neste experimento, as goiabas irradiadas perderam a firmeza mais rapidamente, além de permanecerem mais moles até o fim do período de armazenagem (Tabela 4.1.2). A irradiação, mesmo em doses baixas, também causou perda de firmeza em mirtilo (MILLER et al., 1994), pomelo (MILLER; McDONALD, 1998) e laranjas Valência (MILLER et al., 2000). Logo após a irradiação, frutos sofrem estresse cuja resposta fisiológica é uma rápida produção de etileno. Este fenômeno foi observado por Larrigaudiere et al. (1991) em tomates, Arevalo-Galarza et al. (2002) em abacates e Maxie et al. (1966a) em pêras. O etileno produzido pela irradiação poderia ter induzido a atividade das enzimas (poligalagturonase e pectinametilesterase) que promovem a solubilização das pectinas das goiabas. Porém, Fan e Mattheis (2001) aplicando 1-metilciclopropeno (1-MCP) para bloquear a ação do etileno em maçãs irradiadas observaram que mesmo as maçãs submetidas ao 1-MCP perderam firmeza quando irradiadas, e quanto maior a dose absorvida pelas maçãs, menos firme elas se tornavam.

Outra causa para o amolecimento dos frutos é a ação direta da radiação na quebra de pectinas. Em mamões irradiados em diversas doses foi verificada uma significativa relação linear entre dose e firmeza imediatamente depois da irradiação. Despolimerização e demetoxilação das pectinas foram constatadas, embora ainda não houvesse sido detectada atividade da enzima pectinametilesterase (ZHAO et al., 1996). Outros danos à membrana celular também ocorrem com a irradiação que poderiam favorecer o amolecimento do fruto como a diminuição da atividade da H^+-ATPase incapacitando a regulação osmótica das células (DONG et al., 1994) e a degradação de fosfolipídeos das membranas diminuindo a resistência das mesmas (VOISINE et al., 1993). Porém neste trabalho, as goiabas irradiadas com diferentes doses apresentaram firmeza semelhante entre elas (Tabela 4.1.2), indicando

que o efeito não foi dependente da dose. Provavelmente, porque o efeito fisiológico posterior causado pela radiação, tenha sido mais significativo que o efeito do dano por radiação.

Ao contrário do que ocorreu com a goiaba, mamões irradiados a 0,75 kGy, apresentaram maior firmeza quando amadurecidos do que os frutos não irradiados, (PIMENTEL; WALDER, 2004; MOY et al.,1973).

Segundo Maxie e Sommer (1968), os efeitos da irradiação na firmeza do tecido devem ser considerados em dois pontos de vista: o efeito direto na firmeza do tecido e um efeito secundário ao longo do tempo no amadurecimento do fruto. Existe uma perda de firmeza imediata decorrente da irradiação, mas se a irradiação inibir o amadurecimento, a perda de firmeza dos tecidos será retardada depois da perda inicial.

4.1.1.3 Cor externa – Ângulo de cor (H*)

As goiabas, na medida em que amadureceram, passaram da cor verde (H*~117^{o}) para o amarelo (H*~90^{o}) (Tabela 4.1.2). Porém, os frutos irradiados, modificaram sua cor no segundo dia de armazenamento, enquanto que as goiabas não tratadas só começaram a amarelecer no quarto dia. A cor das goiabas irradiadas a partir do segundo dia estava mais amarelada que a cor das goiabas não irradiadas, sendo que no último dia as irradiadas estavam bastante amareladas (H* = 90^{o} a 93º) e as não tratadas ainda mantinham parte da coloração verde (H* = 103º). Considerando apenas as goiabas irradiadas, foi observado que elas amareleceram por igual, independentemente da dose. (Tabela 4.1.2 e Figura 4.1.1).

A pigmentação verde dos frutos é proveniente da clorofila. Na medida em que os frutos amadurecem ocorre a degradação da clorofila. Os carotenóides presentes no fruto se tornam visíveis ou também podem ser sintetizados pelo fruto modificando a cor para o amarelo ou vermelho. A rota de quebra de clorofila se inicia com a remoção da cauda de fitol pela clorofilase seguida pela remoção do magnésio pela magnésio-dequelatase. A estrutura de

porfirina é então aberta por uma enzima oxidase, formando tetrapirrol de cadeia aberta que se modifica em produtos hidrossolúveis e incolores (TAIZ; ZEIGER, 2004).

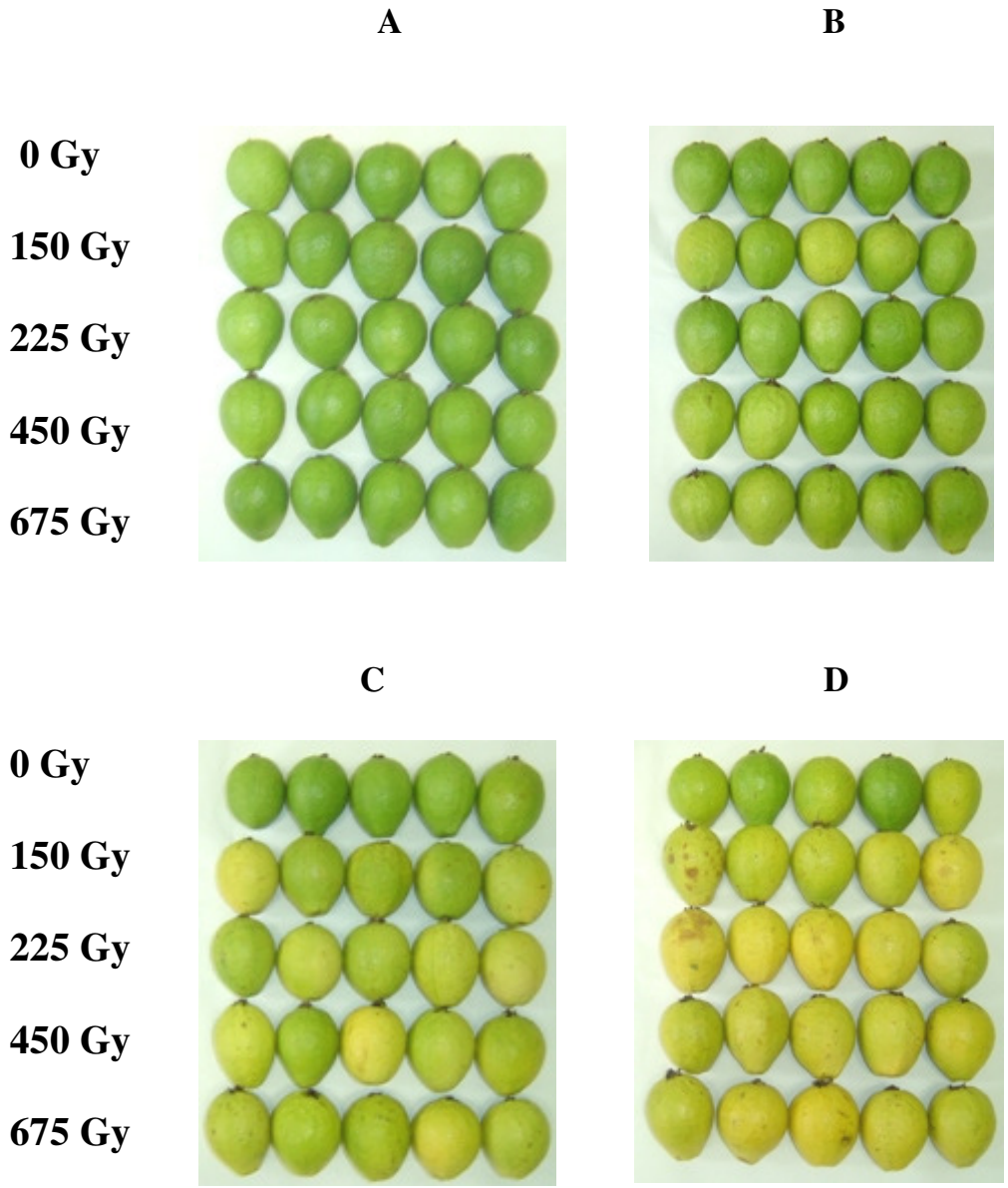


Figura 4.1.1 Alteração da cor de goiabas 'Pedro Sato' irradiadas e armazenadas à temperatura ambiente (23 ± 1 ^{o}C e a 85 ± 5% UR) por 0 (**A**), 2 (**B**), 4 (**C**) e 6 (**D**) dias após irradiação.

Gray et al. (1997) afirmaram que a aplicação de etileno exógeno causou o desverdecimento em mandarinas e explicaram que o etileno acelera a degradação da clorofila através do aumento da atividade da clorofilase que resultou em maior produção de clorofilida *a* na casca dos frutos.

Outro fator causador da degradação da clorofila estaria associado aos danos causados às membranas celulares pela irradiação. A irradiação diminui a atividade da H^+-ATPase da membrana das células de maçã (DONG et al., 1994), promove a degradação de fosfolipídeos da membrana celular de couve flor (VOISINE et al., 1993) e aumenta a peroxidação de lipídeos de membranas celulares (EDWARD et al., 1984). Todos estes eventos bioquímicos podem levar a uma desorganização de solutos no interior da célula e a clorofila em ambiente de pH baixo pode ser degradada (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Para outros frutos, a irradiação causou diferentes efeitos. Em mamões irradiados com 750 Gy, houve desenvolvimento normal da cor; não acelerou, nem atrasou o amarelecimento (PIMENTEL; WALDER, 2004). Em bananas irradiadas com 200 Gy houve atraso no desenvolvimento da cor para o amarelo (STRYDOM; WHITEHEAD, 1990). Em mangas irradiadas com diversas doses, foi observada maior retenção da cor verde da casca com o aumento da dose absorvida. Este efeito inibitório da irradiação no desenvolvimento da cor só foi possível se reverter através da aplicação de água quente antes da irradiação ou do tratamento com etileno (SPALDING; WINDEGUTH, 1988).

4.1.1.4 Cor interna – Cromaticidade e Luminosidade

A Cromaticidade da cor da polpa das goiabas aumentou na medida em que os frutos amadureceram, significando que aumentou a intensidade da cor vermelha (Tabela 4.1.2). Já os valores de Luminosidade diminuíram conforme foi amadurecendo os frutos, o que sugere um escurecimento da cor do fruto (Tabela 4.1.3). Considerando as duas características

estudadas, foi verificada a modificação da cor de rosa claro para o vermelho vivo. Resultado semelhante foi observado por (AZZOLINI et al., 2004a) para Cromaticidade da cor da polpa de goiabas 'Pedro Sato'.

O licopeno é o carotenóide responsável pela cor vermelha das goiabas (WONG, 1995). Uma das importantes características desta substância é o seu potencial anti-oxidante. As propriedades anti-oxidantes dos carotenóides que protegem as plantas na fotossíntese, aparentemente, pode também proteger humanos de carcinógenos e doenças do coração (SIMON, 1997). A atividade das enzimas catalisadoras do β-caroteno e licopeno, fitoeno sintase e fitoeno dessaturase é ativada pelo processo de maturação e podem ser adicionalmente influenciadas pela temperatura (SCHREINER; HUYSKENS-KEIL, 2006).

Em relação à dose de irradiação, entre as duas características estudadas para cor da polpa foi constatada diferença significativa apenas para Cromaticidade (Tabela 4.1.2). No segundo e quarto dia de armazenagem a Cromaticidade das goiabas não irradiadas foi menor que as goiabas irradiadas. As goiabas irradiadas a partir do quarto dia já alcançaram os valores de Cromaticidade para o fruto maduro enquanto que as não tratadas só atingiram este valor no sexto dia de armazenamento. Considerando apenas as goiabas irradiadas com diferentes doses, pode se observar que não houve diferença estatística entre elas (Tabela 4.1.2). Estes resultados demonstram que, independentemente da dose, houve modificação mais rápida da intensidade da cor da polpa nas goiabas irradiadas do que no controle, sendo este um indicativo de aceleração do amadurecimento da goiaba.

4.1.1.5 Ácido ascórbico

A irradiação não afetou o teor de ácido ascórbico das goiabas (Tabela 4.1.1), embora Ahmad et al. (1972) tenham verificado que goiabas 'Safeda' irradiadas apresentaram ligeira perda de ácido ascórbico imediatamente após irradiação, mas após 5 dias de armazenamento a

temperatura ambiente o teor de ácido ascórbico estava no mesmo nível que o controle não irradiado. Segundo Thomas (2001) a maioria dos estudos relatados na literatura sugere que não ocorre perda significativa de ácido ascórbico em frutas submetidas à irradiação nas doses toleradas pelo produto. Porém, doses relativamente altas (2 a 3,5 kGy) causaram ligeira perda de ácidos ascórbicos em uvas (THOMAS et al., 1995).

O conteúdo de ácido ascórbico produzido aumentou na medida em que os frutos amadureceram (Tabela 4.1.3). Resultado semelhante foi obtido em goiabas 'Pedro Sato' (AZZOLINI et al., 2004a). Mamões maduros produziram ácido ascórbico quatro vezes mais que os verdes. Quando infiltrados com o precursor do ácido ascórbico, L-galactono-1,4-lactona, foi observado incremento na produção de ácido ascórbico, embora este tenha sido menor para os frutos verdes que para os frutos maduros. Portanto, o teor de ácido ascórbico aumentou nos frutos depois de maduros por causa do aumento da produção de precursores e de atividade enzimática (BARATA-SOARES et al., 2004).

4.1.1.6 pH

A irradiação não causou alterações no pH das goiabas (Tabela 4.1.1). Resultados semelhantes também foram observados por Yu et al. (1995) em morangos irradiados com doses de até 2 kGy e por Follet e Sanxter (2000) em rambutam irradiados com 250 Gy. Conforme o fruto foi amadurecendo, foi observado inicialmente um decréscimo do pH para depois aumentar no final do amadurecimento (Tabela 4.1.3). Tal comportamento também foi verificado em goiabas por Fakhouri e Grosso (2003)**.** O pH significa potencial hidrogeniônico sendo o inverso da concentração de íons de hidrogênio, portanto pH aumenta com a redução da acidez. É possível relacionar alterações de pH com alterações na concentração de ácidos solúveis, porém o poder tampão das polpas de frutos minimiza variações de pH em comparação com as alterações decorrentes da avaliação de acidez titulável.

4.1.1.7 Acidez titulável

A irradiação não causou alteração na acidez titulável (Tabela 4.1.1). Resultado semelhante foi obtido por Ahmad et al. (1972) irradiando goiabas com doses até 750 Gy. Outros frutos submetidos à irradiação também não apresentaram diferenças de acidez titulável como foi o caso de morango (YU et al., 1995), mamão (PIMENTEL; WALDER, 2004) e laranjas (MILLER et al., 2000).

Na medida em que a goiaba amadureceu, foi observado aumento da acidez titulável para depois voltar a diminuir no sexto dia de armazenamento (Tabela 4.1.3). Estes resultados estão relacionados com os de pH que apresentaram tendência inversa (Item 4.1.1.6). Segundo Chitarra e Chitarra (2005), os ácidos orgânicos são sintetizados de açúcares ou por meio de oxidações, descarboxilações ou carboxilações de outros ácidos orgânicos na via respiratória do ciclo de Krebs. Estes também podem servir de substrato no processo de respiração.

Portanto, no início do amadurecimento, as goiabas sintetizaram ácidos orgânicos, principalmente o ácido cítrico, que se mantiveram em nível elevado até que começou a senescência da goiaba, onde as reações de degradação superaram as de síntese de ácidos orgânicos. Em trabalho realizado por Azzolini et al. (2004a), goiabas 'Pedro Sato' colhidas no estádio 1 de maturação também apresentaram este comportamento.

4.1.1.8 Sólidos solúveis

A irradiação não causou alterações no teor de sólidos solúveis das goiabas (Tabela 4.1.1). Goiabas irradiadas por Ahmad et al. (1972) também não apresentaram diferença entre as doses e controle não irradiado. Outros frutos submetidos à irradiação também não apresentaram diferenças no teor de sólidos solúveis como a laranja (MILLER et al.,2000), manga (SPALDING; WINDEGUTH, 1988) e mirtilo (MILLER et al., 1994).

As goiabas mantiveram o teor de sólidos solúveis em nível estável até o quarto dia de amadurecimento quando então, no sexto dia, os frutos atingiram a fase de senescência e apresentaram diminuição no teor de sólidos solúveis (Tabela 4.1.3). Os frutos com teores mais altos de amido, como a banana, na medida em que amadurecem, aumentam o teor de sólidos solúveis devido à hidrólise do amido em açúcares solúveis mais simples como a frutose, glicose e sacarose. Como o conteúdo de amido na goiaba é muito baixo, 1 a 3 % dos carboidratos não estruturais, (ALI; LAZAN, 1997) somente uma pequena quantidade açúcares seria produzida a partir da hidrólise do amido. Por outro lado, no final do amadurecimento, os frutos utilizam os açúcares no processo de respiração promovendo uma diminuição do teor de sólidos solúveis. Em trabalho realizado por Mattiuz e Durigan (2003), goiabas 'Pedro Sato' também apresentaram este comportamento.

4.1.1.9 Relação SS/AT

A irradiação também não influenciou a relação SS/AT (Tabela 4.1.1). Goiabas irradiadas por Ahmad et al. (1972) também não apresentaram diferenças entre as doses e controle não irradiado. Com o amadurecimento, os valores da relação SS/AT diminuíram. No sexto dia de armazenagem ocorreu um ligeiro aumento (Tabela 4.1.3).

As frutas apresentam uma quantidade de ácidos que, em balanço com os teores de açúcares, representam um importante atributo de qualidade (KLUGE et al., 2002). Azzolini et al. (2004a) sugerem que a relação SS/AT poderia ser usada como índice de maturação para goiabas de forma mais precisa que SS ou AT em separado. Porém, os resultados da relação SS/AT deste experimento não determinaram com precisão as diferenças de maturação das goiabas.

4.1.1.10 Incidência de doenças

As doenças começaram a aparecer no quinto dia de armazenagem sendo que a de maior prevalência foi a antracnose. As goiabas submetidas a 150, 225 e 450 Gy apresentaram maior incidência de podridões no quinto e no sétimo dia. No sexto dia, as goiabas submetidas à dose de 450 apresentavam a mesma incidência de doenças das goiabas irradiadas a 675 Gy. Porém, nestas doses e no controle não-irradiado a incidência de doenças já estava bastante alta, acima de 35%, e nas doses de 150 e 225 o número de goiabas infectadas superava 70%. Com 7 dias de armazenagem, todos os tratamentos estavam com mais da metade dos frutos infectados (Figura 4.1.2).

A irradiação até 450 Gy estimulou o aparecimento de podridões nas goiabas (Figura 4.1.2). Em mirtilos irradiados com doses entre 0,75 a 3 kGy também foi observado aumento da sensibilidade à infecção por doenças (MILLER et al., 1994). Clarke (1971) explica que em alguns frutos a irradiação promove uma mudança metabólica dos patógenos sobreviventes deixando-os mais agressivos, cria um bom meio de cultura pelo aumento da permeabilidade das membranas celulares e reduz a concentração de substâncias inibitórias presente no fruto.

Castro e Sigrist (1991) afirmam que o amolecimento dos tecidos causado pela maturação estimula a manifestação de doenças. Neste trabalho, a irradiação acelerou a maturação e a perda da firmeza (Item 4.1.1.2) sendo estas, provavelmente, uma das causas para a alta incidência de podridões nos frutos irradiados até 450 Gy. Outra possibilidade é que a predisposição de doenças causada pela irradiação está relacionada à qualidade inicial dos frutos, principalmente com o nível de infecção latente no início do armazenamento (MOY, 1977). Portanto, a irradiação pode ter estimulado o aparecimento de doenças em goiabas por causa do alto nível de infecção inicial das goiabas neste experimento.

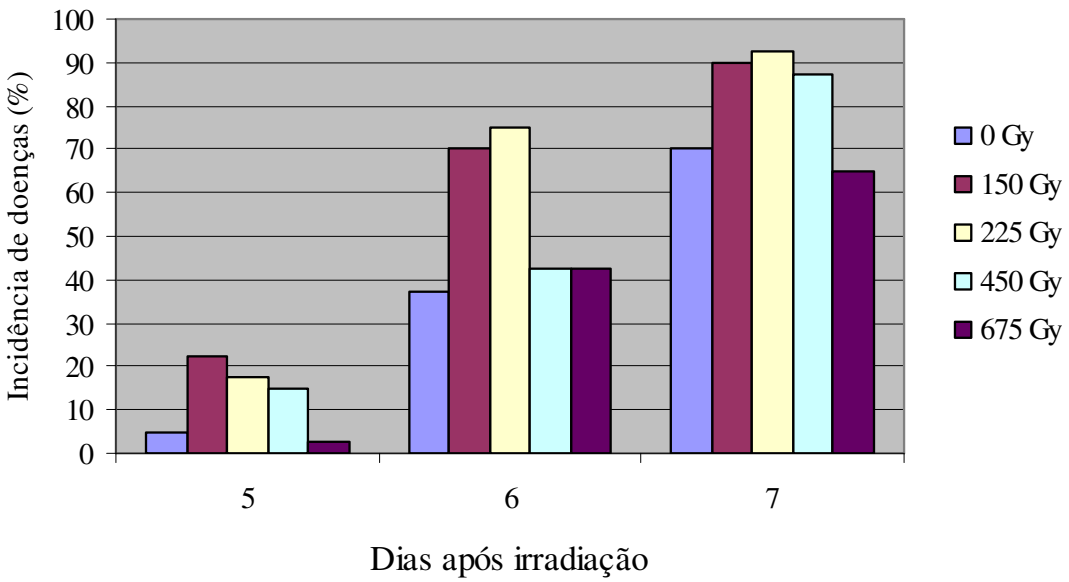


Figura 4.1.2. Incidência de doenças em goiabas irradiadas 'Pedro Sato' armazenadas a 23 ± 1 ^{o}C e a 85 ± 5% UR.

As goiabas tratadas com dose de 675 Gy não apresentaram maior incidência de doenças que o as goiabas não irradiadas, porque pode ter havido uma supressão das doenças pela ação fungicida da irradiação que compensou os outros efeitos que estimularam as doenças nas doses mais baixas.

Geralmente a irradiação em frutas não é efetiva para o controle de podridões. A dose para controle na maioria das vezes é maior que a dose máxima tolerável pelo fruto. Quando isso ocorre deve-se combinar a irradiação com outros tratamentos para atingir o controle desejado (THOMAS, 2001). Por outro lado, quando o fruto em questão é bastante resistente a irradiação, como os morangos, dose de 3 kGy possibilitou o controle de *Botritis cinerea* (PIMENTEL et al., 2001).

4.1.1.11 Incidência de escurecimento da casca

Não houve incidência de escurecimento da casca das goiabas armazenadas em 23 ± 1 ^{o}C. Existem exemplos de frutos que submetidos a doses baixas e armazenados à temperatura ambiente apresentaram escurecimento interno e da casca devido à ação da polifenoloxidase. Estes distúrbios ocorreram em abacaxis (DAMAYANTI et al., 1992) e plátanos (AINA et al., 1999) irradiadas com 250 Gy e 500 Gy, respectivamente. Injúrias causadas pela radiação são de incidência mais freqüente quando o período de armazenagem é mais longo (DAMAYANTI et al., 1992). Temperaturas mais baixas (10 ^{o}C) provocou danos (MILLER; MCDONALD, 1999) a mamões irradiados com 750 Gy; por outro lado, em laranjas 'Valencia' irradiadas com 300 Gy e expostas a armazenagem de 7,5 ^{o}C apresentaram menor incidência de escurecimento da casca (MACFARLANE; ROBERTS, 1968).

4.1.2 Análises fisiológicas

4.1.2.1 Taxa respiratória

As goiabas mesmo depois de colhidas verdes amadureceram como é característico dos frutos climatéricos. Porém, as goiabas deste experimento não apresentaram padrão respiratório típico dos frutos climatéricos, pois não foi possível identificar a fase pós-climatérica (Figura 4.1.3). Segundo Chitarra e Chitarra (2005), a fase pós-climatérica acontece logo após o climatério por um decréscimo da taxa respiratória que corresponde ao início da senescência dos frutos. Neste experimento, a taxa respiratória das goiabas se elevou continuamente até o quarto dia, quando então se manteve estável até o último dia de análise. No sexto dia, os frutos já estavam senescentes, mas, mesmo assim, não houve declínio na taxa respiratória das goiabas (Figura 4.1.3). Estes resultados corroboram com os de Azzolini et al.

(2005), que em goiabas ‘Pedro Sato’ a taxa respiratória máxima ocorreu, quando as goiabas já estavam maduras por muito tempo.

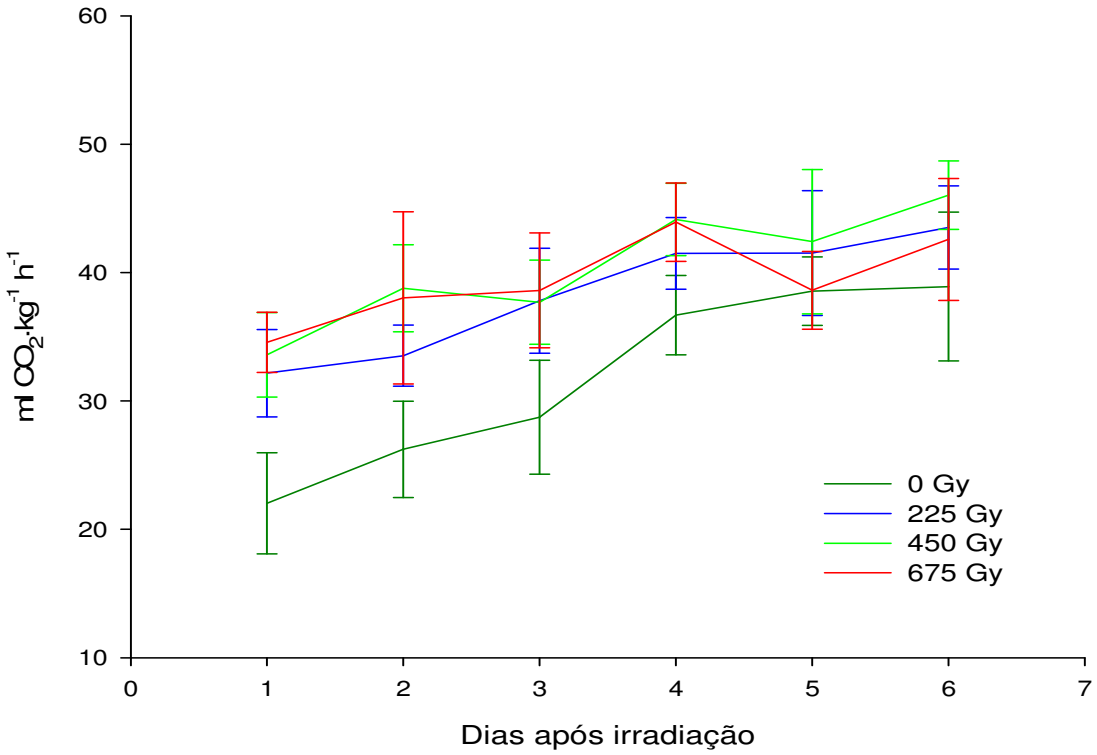


Figura 4.1.3 Atividade respiratória de goiabas ‘Pedro Sato’ irradiadas e armazenadas a 23 ± 1 ^{o}C e a 85 ± 5% UR. Barras verticais indicam o desvio padrão.

A intensidade da respiração é determinante para definir o período de conservação dos frutos (WILLS et al., 1981). Quanto mais o fruto respira, mais ele gasta as reservas do fruto, portanto, o uso de tratamentos que diminuem a taxa respiratória dos frutos é a principal estratégia para aumentar a conservação dos frutos.

Entretanto, as goiabas irradiadas produziram significativamente mais gás carbônico que as não irradiadas entre o primeiro e o quarto dia após a irradiação, com exceção da taxa respiratória das goiabas submetidas à dose de 225 Gy no quarto dia. No quinto e sexto dia, a

taxa respiratória de todos os tratamentos foi semelhante (Figura 4.1.3). Este aumento da atividade respiratória das goiabas irradiadas foi um dos motivos para antecipação do amadurecimento das goiabas como foi evidenciado pela rápida perda de firmeza (Item 4.1.1.2) e rápida modificação da cor da casca (Item 4.1.1.3) em comparação com os frutos não tratados.

Resultados semelhantes também foram observados em pêras submetidas a doses de 1 kGy (MAXIE et al., 1966a) e em pêssegos submetidos a doses de 1 kGy (MAXIE et al., 1966b) onde a taxa respiratória dos frutos irradiados aumentou logo após o tratamento, o que também causou aceleração do amadurecimento dos frutos. Thomas (1986) relata que este aumento da respiração depois da irradiação é uma resposta fisiológica do fruto para fornecer energia necessária para o reparo das lesões causadas pela irradiação.

Em alguns casos, quando a irradiação diminui a sensibilidade à ação do etileno é possível que ocorra atraso no amadurecimento. Akamine e Goo (1971), observaram que mangas cv. 'Haden' submetidas à irradiação com 750 Gy apresentaram um expressivo aumento na taxa respiratória logo após a irradiação, porém com o tempo de armazenagem a taxa diminuiu em níveis abaixo do controle não irradiado retardando o amadurecimento.

Não houve diferença na taxa respiratória entre as doses de 225 a 675 Gy (Figura 4.1.3). Nesta faixa de dose, o efeito da irradiação na respiração não foi proporcional a dose absorvida. Portanto, provavelmente deve haver um limiar de dose abaixo dos 225 Gy que desencadeia processos fisiológicos que causam a ascensão da taxa respiratória na goiaba.

4.1.2.2 Produção de etileno

A produção de etileno das goiabas não irradiadas aumentou gradativamente até o sexto dia de armazenamento (Figura 4.1.4). Comportamento semelhante foi observado para a taxa respiratória das goiabas (Item 4.1.2.1), portanto a produção de etileno acompanhou o aumento

da taxa respiratória como foi observado também por Azzolini et al. (2005). Em frutos climatéricos típicos o crescimento na produção de etileno precede o aumento da taxa respiratória. A goiaba 'Pedro Sato' se encaixaria pela definição de Yang (1985) como fruto climatérico do tipo 2, cuja produção de etileno não define o início do amadurecimento, podendo ocorrer depois do amadurecimento. Porém, goiabas 'Pedro Sato' submetidas à aplicação exógena de etileno não amadureceram (AZZOLINI et al., 2005) como era de se esperar para um fruto climatérico. Portanto, não é possível definir de acordo com a classificação vigente um padrão respiratório para goiabas 'Pedro Sato'.

Em relação aos tratamentos irradiados foi verificada alta produção de etileno pelas goiabas no primeiro dia após a irradiação, sendo que as submetidas à dose de 675 Gy apresentaram produção de etileno maior que as submetidas às doses de 450 e 225 Gy. Estas, por sua vez, produziram mais etileno que as não irradiadas (Figura 4.1.4). Esta rápida e alta produção de etileno que ocorreu logo após a irradiação também foi verificada em outros frutos. Tomates irradiados com doses abaixo de 1 kGy apresentaram um aumento drástico na produção de etileno causado pelo estímulo da transcrição de mRNAs pré-existentes no tomate (LARRIGAUDIERE et al., 1991). A síntese de etileno elevada em condições de estresse é causada por um aumento na transcrição do mRNA da ACC sintase. Esse 'etileno de estresse' está envolvido no início da resposta ao estresse (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A maior produção de etileno das goiabas verificada na Figura 4.1.4 pode ter sido um dos motivos para antecipação das alterações da cor externa (Item 4.1.1.3) e da aceleração da perda de firmeza (Item 4.1.1.2). O etileno provoca aumento da atividade da enzima clorofilase que acelera a degradação da clorofila e, também, induz a ação das pectinases que hidrolisam as pectinas das paredes celulares diminuindo a rigidez das células que leva ao amolecimento. Entretanto, Fan e Mattheis (2001) aplicando 1-MCP para bloquear a ação do etileno em maçãs

irradiadas observaram que mesmo as maçãs submetidas ao 1-MCP perderam firmeza quando irradiadas.

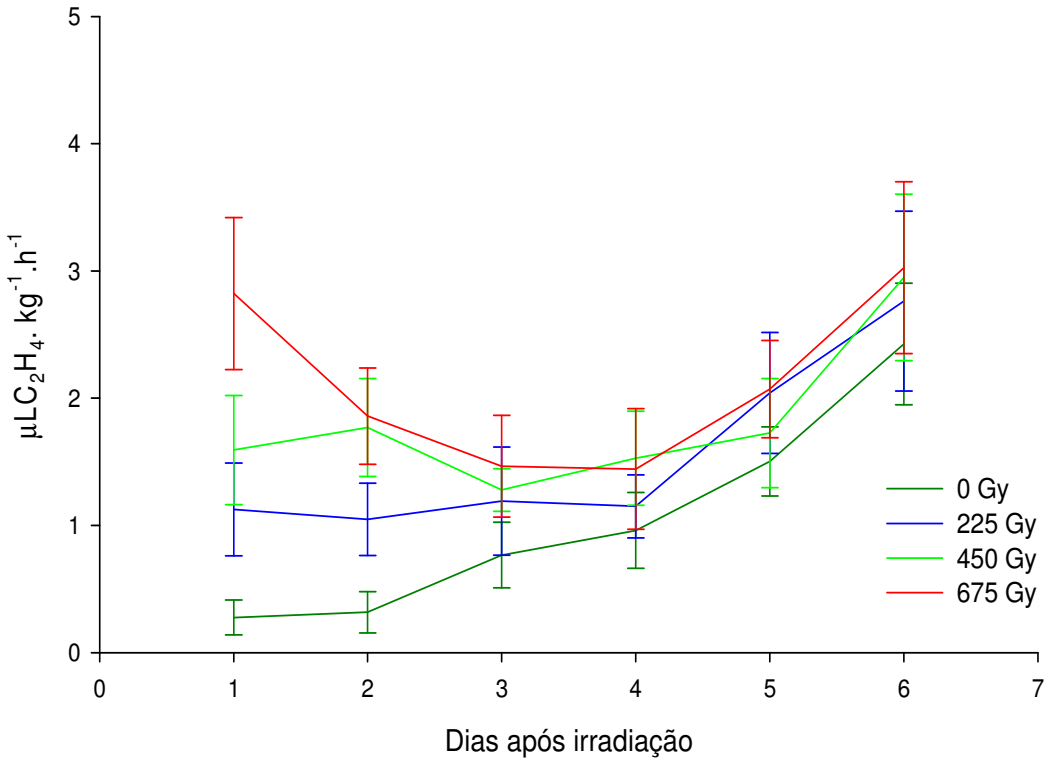


Figura 4.1.4 Produção de etileno em goiabas 'Pedro Sato' irradiadas e armazenadas a 23 ± 1 °C e a 85 ± 5% UR. Barras verticais indicam o desvio padrão.

Arevalo-Galarza et al. (2002) irradiaram abacates com 100 e 150 Gy e também verificaram aumento na produção de etileno logo após a irradiação, porém na medida em que o período de armazenagem foi aumentando, a produção de etileno diminuiu mantendo-se bem abaixo dos níveis produzidos por abacates não tratados. Os autores explicam que a irradiação causou danos as membranas celulares do abacate a ponto de inibir a produção de etileno, visto que a enzima ACC oxidase, responsável pela produção do etileno, está localizada na membrana celular do plasmalema e tonoplasto que poderiam ser danificados pela irradiação.

Voisine et al. (1993) relatam como a irradiação causou danos à membrana celular de couve flores irradiadas. A irradiação aumentou a atividade lipolítica da membrana através de

estresse induzido por radicais livres, causando um imediato aumento do catabolismo de fosfatidilcolina (16:0/18:2), um fosfolípideo comum da membrana celular, associada à elevação da atividade da enzima fosfolipase D.

Quando a irradiação causa retardo no amadurecimento, acredita-se que haja inibição da atividade de enzimas formadoras de etileno (LARRIGAUDIERE et al, 1991). Strydom e Whitehead (1990), ao irradiarem bananas com 200 Gy verificaram efetivo retardo no amadurecimento e diminuição da sensibilidade do próprio etileno endógeno sem causar fitotoxidez. Foi necessário mais tempo para amadurecer bananas irradiadas submetidas à aplicação de etileno exógeno.

Para as goiabas deste trabalho, o efeito da irradiação nas doses estudadas não inibiu a produção de etileno e, portanto, não retardou o amadurecimento. Na realidade, o que ocorreu foi o inverso; aceleração do amadurecimento em resposta aos danos causados pela radiação que promoveram maior evolução da taxa respiratória e produção de etileno nos primeiros dias de armazenamento.

4.1.3 Análises sensoriais

4.1.3.1 Avaliação visual

Os tratamentos não diferiram entre si em relação à aparência externa das goiabas. A pontuação obtida para aparência variou de 6,59 a 7,28 (Figura 4.1.5). A primeira impressão relacionada à apreciação de frutas se dá através do sentido da visão sendo essencial para aceitabilidade global. Nesta avaliação, não houve indução das respostas dos provadores para avaliarem características da aparência como coloração, defeitos ou manchas na casca. A avaliação foi livre e não foi possível detectar qualquer diferença ou as diferenças não provocaram reações na maioria dos provadores ao ponto de desclassificar o produto em

relação à qualidade. Portanto, frutos irradiados mais amarelos tiveram a mesma aceitabilidade que os frutos não irradiados, ou seja, a diferença de cor causada pela irradiação não foi determinante para os resultados de aparência da goiaba.

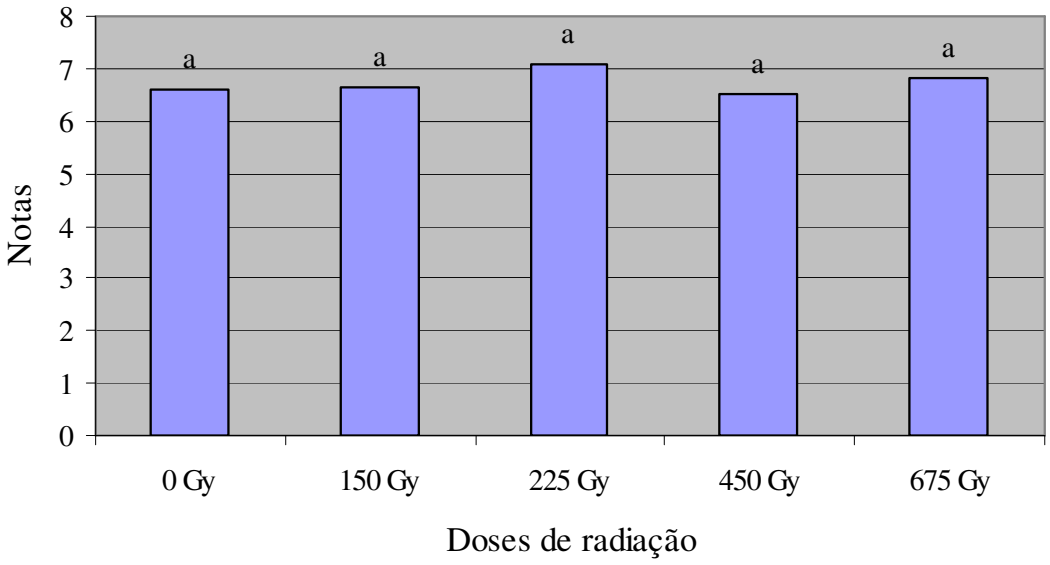


Figura.4.1.5 Aparência de goiabas 'Pedro Sato' irradiadas e armazenadas a 23 ± 1 ^{o}C e a 85 ± 5% UR por 5 dias. Notas de 1=desgostei muitíssimo até 9=gostei muitíssimo. Médias referentes a 40 avaliações. Valores seguidas de letras distintas foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05).

4.1.3.2 Avaliação organoléptica

A aceitabilidade das goiabas irradiadas, independentemente da dose, foi menor que a das goiabas não tratadas, embora tenham obtido pontuações médias admissíveis (Apêndice-Figura 1); 6,0 para a dose de 225 Gy e 5,7 para dose de 675 Gy, enquanto que as goiabas controle obtiveram pontuação média de 7,0 (Figura 4.1.6). Por outro lado, goiabas Safeda irradiadas de 100 a 500 Gy foram mais bem aceitas que as goiabas não irradiadas após 10 dias com armazenamento a temperatura ambiente (AHMAD et al., 1972). A pontuação para os atributos de firmeza e doçura também foi menor para as goiabas irradiadas (Figura 4.1.6). A doçura e a firmeza são atributos muito importantes para a qualidade geral dos frutos, portanto a menor

aceitabilidade dos frutos, provavelmente, ocorreu por causa da baixa pontuação na avaliação dos atributos doçura e firmeza. Observações dos provadores indicaram que as pontuações mais baixas para firmeza ocorreram por causa de maior amolecimento do fruto e, para doçura, a justificativa foi um sabor mais ácido que o normal.

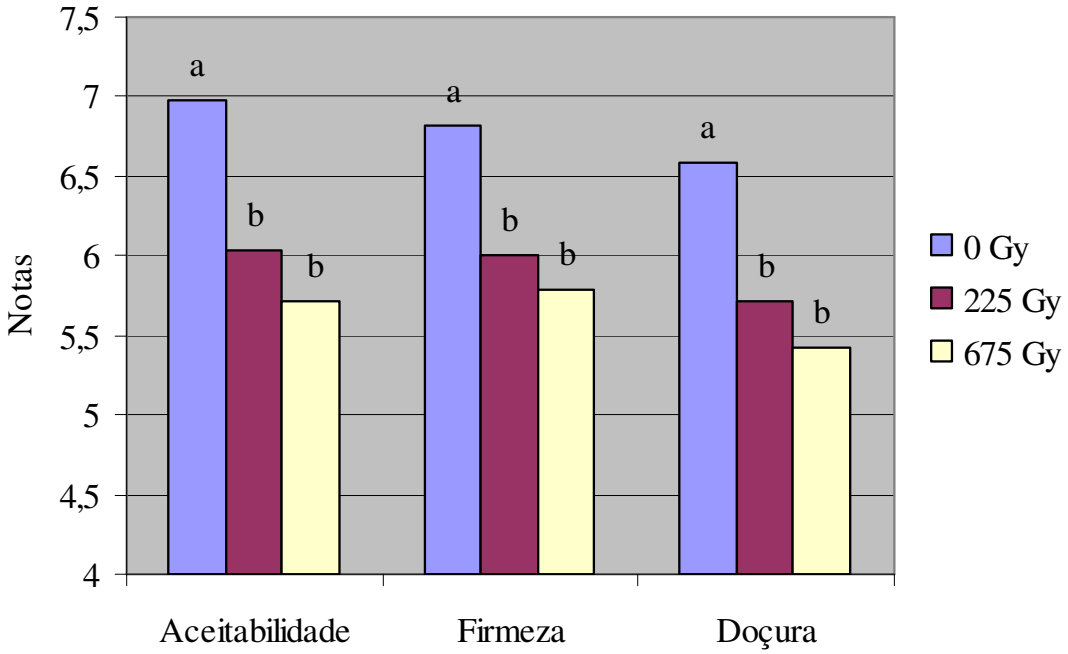


Figura 4.1.6 Avaliação organoléptica de goiabas 'Pedro Sato' irradiadas e armazenadas a 23 ± 1 ^{o}C e a 85 ± 5% UR por 5 dias. Notas de 1=desgostei muitíssimo até 9=gostei muitíssimo. Médias referentes a 40 avaliações. Valores seguidas de letras distintas foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05).

A avaliação organoléptica de firmeza confirma as diferenças observadas na análise de firmeza no item 4.1.1.2. As diferenças foram bastante expressivas, a ponto de serem perceptíveis ao paladar. Em mamões, Pimentel (2001) verificou firmeza mais elevada nos frutos irradiados tanto nas análises sensoriais quanto nas análises instrumentais, onde os frutos de maior firmeza também foram mais bem aceitos. Por outro lado, a avaliação sensorial para

firmeza de mirtilos irradiados verificou frutos menos firmes e menos saborosos (MILLER et al., 1994). A menor firmeza de morangos irradiados foi constatada mecanicamente e sensorialmente, mas não houve diferenças no sabor entre morangos irradiados e não irradiados (YU et al., 1995).

A avaliação de doçura demonstrou que os goiabas irradiados estavam menos doces que as não tratadas (Figura 4.1.6). Contudo, as análises de sólidos solúveis e a relação SS/AT nos itens 4.1.1.8 e 4.1.1.9 não apresentaram diferenças entre os frutos irradiados e não irradiados. Muitas vezes, o que não é detectado analiticamente é perceptível sensorialmente. Azzolini et al. (2004b) só detectou diferenças de firmeza entre goiabas colhidas em diferentes pontos de maturação através da análise sensorial. As análises sensoriais podem ser mais sensíveis, porque o paladar tem alta capacidade de detecção de pequenas variações no sabor dos alimentos e também porque um número grande de provadores dilui o erro experimental permitindo que haja maiores chances de diferenciação entre tratamentos.

Nem sempre o uso das variáveis Sólidos Solúveis e Acidez Titulável indicam com precisão o sabor dos frutos. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o poder adoçante de cada açúcar é diferente sendo a frutose maior que a sacarose que, por sua vez, é maior que a glicose Portanto para se verificar o grau de doçura de um produto deve se quantificar o teor individual dos açúcares. No caso deste experimento, uma hipótese é ter havido uma modificação na composição destes açúcares.

Chitarra e Chitarra (2005) explicam que os compostos fenólicos têm papel no sabor de muitos produtos, contribuindo para adstringência, a acidez, ou para o sabor amargo de alguns frutos. Portanto, outro fator que pode ter causado a diminuição da doçura das goiabas irradiadas foi o provável aumento do conteúdo de compostos fenólicos nas goiabas irradiadas. A L-fenilalanina amonialiase é ativada de forma sintomática quando ocorre estresse nos tecidos vegetais. A irradiação, como agente causador de estresse, também promove aumento

na atividade da enzima em pomelos (McDONALD et al., 2000) e abacates (AREVALO-GALARZA et al, 2002). Em resposta ao estresse pela irradiação, a L-fenilalanina amonialiase catalisa a síntese de compostos fenólicos como ocorrido em mangas (THOMAS; JANAVE, 1973), laranjas (MOUSSAID et al., 2004) e abacates (AREVALO-GALARZA et al., 2002).

4.1.4 Considerações relativas ao tratamento quarentenário

As doses de radiação utilizadas neste trabalho simulam o tratamento quarentenário em irradiador cuja variação de dose dentro de um palete seja de 1:3, ou seja, as frutas mais externas do palete absorverão três vezes mais radiação que as frutas no centro do palete. Portanto, para se fazer o tratamento quarentenário (ANIMAL AND PLANT HEALTH INSPECTION SERVICE – APHIS, 2002) para *Anastrepha* spp. a dose mínima deverá ser de 150 Gy com a máxima atingindo até 450 Gy e para o tratamento de *Ceratitis capitata* a dose mínima deverá ser de 225 Gy atingindo uma máxima de até 675 Gy.

Com exceção da incidência de doenças nas goiabas, em nenhuma outra variável foi observada diferença entre as doses de irradiação (150, 225, 450 e 675 Gy), o que sugere que as características das goiabas irradiadas dentro de um palete possam ser homogêneas, no que se refere à cor da casca, cor da polpa, firmeza, perda de massa, acidez titulável, sólidos solúveis, razão SS/AT, teor de ácido ascórbico e incidência de escurecimento da casca. Além do mais, não haveria muita diferença de qualidade entre os frutos tratados para *Anastrepha* spp. e *C. capitata*. Em relação à incidência de doenças, como a dose de 675 Gy apresentou menores valores que as demais, o tratamento quarentenário para *C. capitata* apresentaria menor incidência de doenças que o tratamento para *Anastrepha* spp. e poderia ser menos uniforme.

Se as goiabas fossem submetidas ao tratamento quarentenário por irradiação para controle dessas moscas-das-frutas amadureceriam mais rapidamente que as goiabas não tratadas,

apresentando grau de coloração amarela maior, mais amolecidas, rápido avermelhamento da polpa e maior perda de massa que as goiabas não tratadas. O tratamento quarentenário não afetaria teor de sólidos solúveis, ácido ascórbico, acidez titulável, pH, relação SS/AT e incidência de escurecimento da casca. Em relação à incidência de doenças, o tratamento para *Anastrepha* spp. apresentaria uma alta incidência, enquanto que no tratamento para *C. capitata* as goiabas no centro do palete estariam com mais lesões que as goiabas na parte mais externa do palete.

A aparência externa das goiabas foi semelhante para as tratadas e não tratadas, porém a apreciação das goiabas irradiadas para controle de *C. capitata* foi pior que as não tratadas para os atributos aceitabilidade, doçura e firmeza. Não havendo diferença significativa entre a dose mínima (225 Gy) e máxima (675 Gy).

Pelo verificado, recomenda-se que, no uso da radiação como tratamento quarentenário em goiabas, se faz necessário um tratamento adicional antimicrobiano que poderá ser um banho em solução fungicida antes da irradiação.

4.2 Qualidade da goiaba submetida ao tratamento quarentenário por irradiação e armazenada em ambiente refrigerado.

4.2.1 Análises físico-químicas

Os efeitos principais e as interações estão resumidos na Tabela 4.2.1. Os efeitos combinados relativos às variáveis perda de massa, firmeza, cor da casca (H*) estão apresentados na Tabela 4.2.2. Os efeitos para cor da polpa (C* e L*) estão expostos na tabela 4.2.3. Os resultados das análises de teor de ácido ascórbico, pH, acidez titulável (AT), e relação SS/AT, onde apenas o fator período de armazenagem foi significativo estão apresentados na tabela 4.2.4.

Tabela 4.2.1 Efeitos principais e interações para variáveis referentes às análises físico-químicas de goiabas submetidas à irradiação (I) e avaliadas ao longo do período de armazenagem (P) a 10 ± 1 ^{o}C, a 80 ± 5% UR e após transferência a temperatura ambiente a 23 ± 1 ^{o}C, a 70 ± 5% UR.

	Efeitos principais e interações		
Variáveis	Período (P)	Irradiação (I)	P x I
Perda de massa	+	+	+
Firmeza	+	+	+
Cor da casca - H*	+	+	+
Cor da polpa - C*	+	+	+
- L*	+	+	+
Ácido ascórbico	+	ns	ns
pH	+	ns	ns
Acidez titulável (AT)	+	ns	ns
Sólidos solúveis (SS)	ns	ns	ns
Relação SS/AT	+	ns	ns

$^{ns,+}$ Não significativo ou significativo a $P \leq 0,05$.

Tabela 4.2.2. Valores médios de perda de massa, firmeza, cor externa (H* = ângulo de cor) de goiabas 'Pedro Sato' em função de doses de irradiação e período de armazenagem refrigerada (10 ± 1 °C e 80 ± 5% UR) e após transferência a temperatura ambiente (23 ± 1 °C e 70 ± 5% UR).

	Dias após tratamento					
Dose (Gy)	0 TR	7 TR	7TR+2TA	14TR	14TR+2TA	CV %
			Perda de massa (%)			
0	0 D a	2,86 C a	4,92 B a	5,33 B b	6,98 A b	5,62
150	0 E a	2,94 D a	4,79 C a	5,9 B ab	7,39 A ab	5,96
225	0 E a	2,88 D a	4,76 C a	5,72 B ab	7,49 A ab	6,63
450	0 E a	2,96 D a	4,97 C a	5,74 B ab	7,66 A a	5,93
675	0 E a	2,99 D a	5,11 C a	6,11 B a	7,70 A a	6,50
CV%	-	10,56	5,45	5,33	3,79	
			Firmeza (N)			
0	101,26 A a	99,59 Aa	55,94 BCa	65,88 Ba	39,77 Ca	10,77
150	96,04 A a	70,62 Bb	33,99 C b	39,66 C b	25,71 C b	11,70
225	84,04 A a	71,79 Bb	40,41 C b	36,15 CDb	24,45 Db	12,72
450	93,78 A a	54,36 Bc	37,12 C b	46,44 BC b	22,93 D b	10,60
675	83,69 A a	54,69 Bc	36,97 BCb	40,74 Bb	21,93 Cb	16,64
CV%	9,72	9,92	12,60	16,09	12,29	
			Cor externa (H*)			
0	117,35 A a	114,28 A a	108,64 B a	110,79 B a	105,25 C a	1,27
150	116,67 A a	111,40 B b	105,84 C a	109,31 B a	102,59 D a	1,03
225	117,00 A a	111,76 B b	107,15 C a	108,59 BC a	103,06 D a	1,49
450	117,15 A a	111,16 B b	106,89 C a	109,95 B a	104,86 D a	0,87
675	116,63 A a	110,75 BC b	108,84 BC a	107,91 C a	104,65 D a	0,93
CV%	0,53	0,68	1,50	1,29	1,44	

Valores seguidos por letras distintas (minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas) foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05)

TR: Temperatura refrigerada (10 ± 1 °C e 80 ± 5% UR)

TA: Temperatura ambiente (23 ± 1 °C e 70 ± 5% UR)

Tabela 4.2.3. Valores médios da cor interna em termos de Luminosidade (L*) e Cromaticidade (C*) de goiabas 'Pedro Sato' em função de doses de irradiação e período de armazenagem refrigerada (10 ± 1 °C e 80 ± 5% UR) e após transferência a temperatura ambiente (23 ± 1 °C e 70 ± 5% UR).

	Dias após tratamento					
Dose (Gy)	0 TR	7 TR	7TR+2TA	14TR	14TR+2TA	CV %
			Luminosidade (L*)			
0	64,27 A a	64,29 A a	59,15 B a	59,43 B a	53,52 C a	3,15
150	63,56 A a	61,41 A abc	54,90 B a	55,08 B ab	55,58 B a	4,23
225	65,42 A a	63,14 A ab	57,50 B a	52,25 B b	54,75 B a	4,43
450	64,10 A a	60,49 A bc	54,33 B a	52,88 B b	51,38 B a	4,18
675	66,47 A a	59,85 B c	56,86 BC a	53,44 BC b	52,35 C a	4,74
CV%	2,79	2,23	3,85	3,61	4,60	
			Cromaticidade (C*)			
0	29,15Da	31,63 Cb	37,24Aa	35,61ABa	33,96BCa	3,41
150	29,34Ba	34,77 Aa	35,12Aa	32,44Ab	35,02Aa	4,43
225	29,41Ca	33,67 BAab	34,99Aa	31,38BCb	33,54BAa	5,03
450	29,19Ba	34,56 Aa	30,94Bb	30,04Bb	29,40Bb	5,42
675	29,55Ba	33,21 Aab	30,70ABb	31,19ABb	29,64Bb	4,61
CV%	3,67	3,89	4,27	4,06	5,1	

Valores seguidos por letras distintas (minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas) foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05)
TR: Temperatura refrigerada (10 ± 1 °C e 80 ± 5% UR)
TA: Temperatura ambiente (23 ± 1 °C e 70 ± 5% UR)

Tabela 4.2.4. Valores médios de teor de ácido ascórbico, pH, acidez titulável (AT) e relação SS/AT de goiabas 'Pedro Sato' em função do período de armazenagem refrigerada (10 ± 1 °C e 80 ± 5% UR) e após transferência a temperatura ambiente (23 ± 1 °C e 70 ± 5% UR).

	Dias após tratamento					
	0 TR	7 TR	7TR+2TA	14TR	14TR+2TA	CV %
Ác. ascórbico mg/100g	32,89 c	43,69 b	47,66 ab	51,16 a	50,75 a	12,37
pH	3,87a	3,79b	3,84a	3,81b	3,84a	1,05
Acidez titulável (%)	0,58 c	0,65 b	0,66 ab	0,69 a	0,67 ab	5,26
Relação SS/AT	18,48 a	16,20 b	16,39 b	15,89b	15,61 b	5,56

Medias de quatro repetições e cinco doses de irradiação. Valores seguidos por letras distintas nas linhas foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05)
TR: Temperatura refrigerada (10 ± 1 °C e 80 ± 5% UR)
TA: Temperatura ambiente (23 ± 1 °C e 70 ± 5% UR)

4.2.1.1 Perda de massa

Na medida em que o período de armazenamento aumentou também houve maior perda de massa dos frutos. Ocorreu uma taxa de perda de massa menor em goiabas armazenadas em refrigeração (Tabela 4.2.2) quando comparadas com as goiabas armazenadas à temperatura ambiente (Item 4.1.1.1). Goiabas não tratadas armazenadas a temperatura ambiente por 6 dias perderam em média 0,57% da massa fresca por dia, enquanto que as goiabas não tratadas armazenadas em refrigeração por 14 dias perderam 0,38% em média por dia. Armazenamento em temperaturas de 3 a 11^{o}C também resultou em redução da perda de massa em goiabas (VASQUEZ-OCHOA; COLINAS-LEON, 1990). Os frutos perdem bastante água por transpiração. Condições ambientais são importantes para se evitar ao máximo a transpiração excessiva, portanto, quanto menor a temperatura e maior a umidade relativa, menor será a taxa de transpiração e menor a perda de massa.

Os valores de perda de massa das goiabas irradiadas não diferiram entre si em todos os períodos de análise. Mas em relação a testemunha, na dose de 675 Gy, elas apresentaram maior perda de massa aos 14 dias após irradiação e, depois da retirada das goiabas por mais dois dias à temperatura ambiente foi constatada maior perda de massa para as goiabas submetidas às doses de 450 e 675 Gy (Tabela 4.2.2). Comparando estes resultados com os do experimento anterior (Item 4.1.1.1), observou-se que a refrigeração suprimiu o efeito da irradiação sobre a perda de massa das goiabas. Em goiabas armazenadas à temperatura ambiente, já no quarto dia, a perda de massa foi maior para todas as goiabas irradiadas em relação às não tratadas. Portanto, neste trabalho, a irradiação teve um efeito muito mais pronunciado no aumento da perda de massa em goiabas armazenadas em temperatura ambiente do que aquelas armazenadas sob refrigeração.

Os danos na membrana celular causado pela irradiação podem levar a descompartimentalização celular e a redução da resistência à perda da água por transpiração

(MAXIE et al., 1971). Provavelmente, os danos de irradiação só elevam a taxa de transpiração da goiaba se o déficit de pressão de vapor estiver suficientemente alto. Como a refrigeração reduz este déficit, ela estaria amenizando o impacto da radiação.

4.2.1.2 Firmeza

A firmeza das goiabas diminuiu na medida em que o período de armazenamento foi aumentando (Tabela 4.2.2). Mas, a perda de firmeza de goiabas sob refrigeração ocorreu mais lentamente que em temperatura ambiente (Item 4.1.1.2). A redução da perda da firmeza ocorre porque a refrigeração diminui a atividade respiratória e os processos metabólicos, retardando o amadurecimento dos frutos (PANTÁSTICO et al., 1975). Num estudo com goiabas híbridas brancas, a refrigeração a 8 ^{o}C permitiu conservação da goiaba por 16 dias, porém, quando transferidas à temperatura ambiente, perderam rapidamente a sua firmeza (CASTRO; SIGRIST, 1991). Neste experimento, também ocorreu efeito parecido, já que as goiabas armazenadas por 7 ou 14 dias a 10 ± 1 ^{o}C quando transferidas para temperatura ambiente por apenas dois dias tornaram-se menos firmes para todos os tratamentos (Tabela 4.2.2).

Apesar de a refrigeração ter retardado a perda de firmeza das goiabas, não foi possível atenuar o efeito da radiação na firmeza das goiabas, pois perderam firmeza mais rapidamente que as goiabas não tratadas durante a primeira semana em ambiente refrigerado. Além do mais, as goiabas irradiadas apresentaram sempre firmeza menor que as não irradiadas, para todos os períodos de análise (Tabela 4.2.2). Provavelmente, o metabolismo do fruto pode ter aumentado com o estresse inicial causado pela irradiação (Item 4.1.2.1) (LARRIGAUDIERRE et al, 1991) e associado a este estresse os danos causados às membranas celulares (VOISINE et al., 1993; DONG et al., 1994) intensificaram o efeito de amolecimento da goiaba.

Após 7 dias de armazenamento refrigerado a 10 ± 1^{o} C observou-se que as goiabas não irradiadas estavam mais firmes que todos os outros tratamentos. Porém, as goiabas submetidas às doses de 150 e 225 Gy estavam mais firmes que as submetidas às doses de 450 e 675 Gy (Tabela 4.2.2), indicando que o efeito do amolecimento neste período foi dependente da dose absorvida. Estes resultados sugerem que os danos causados pela radiação foram determinantes no efeito de perda de firmeza para este período de análise. Por outro lado, goiabas irradiadas mantidas em temperatura ambiente (Item 4.1.1.2) apresentaram valores de firmeza semelhantes entre elas, ou seja, o metabolismo acelerado das goiabas mantidas a temperatura ambiente pode ter mascarado o efeito do dano de irradiação na firmeza das goiabas. Aos 7 dias sob refrigeração a 10 ± 1^{o} C, o metabolismo das goiabas estava mais lento, então foi possível verificar o efeito da radiação na firmeza das goiabas.

Outros frutos em condições de refrigeração quando irradiados também apresentaram perda de firmeza. Morangos irradiados com doses de 0,5 a 2,0 kGy e armazenados a 2 ^{o}C amoleceram com a mesma intensidade (YU et al., 1995), tangerinas Murcot e Temple quando irradiadas com doses entre 150 e 450 Gy e armazenadas por 14 dias a 1 e 5 ^{o}C, respectivamente, perderam firmeza somente quando submetidas a maior dose (MILLER et al., 2000).

Em maçãs 'Gala' irradiadas com doses de 0,44 a 1,32 kGy quando armazenadas a temperatura de 20 ^{o}C por três semanas apresentaram perda de firmeza proporcional a dose absorvida, enquanto que com o armazenamento refrigerado a 0 ^{o}C por 8 semanas mais sete dias a 20 ^{o}C não foi observada diferença de firmeza entre os tratamentos. Portanto, maçãs irradiadas amolecem numa taxa menor em ambiente refrigerado, indicando que a perda de firmeza causada pela irradiação em maçãs pode ser suprimida pela refrigeração (FAN; MATTHEIS, 2001). Em relação às goiabas irradiadas deste experimento, não foi observada a supressão da perda de firmeza pela refrigeração, apesar das goiabas irradiadas terem

amolecido num ritmo mais lento na segunda semana de refrigeração do que na primeira (Tabela 4.2.2).

4.2.1.3 Cor externa – Ângulo de cor (H*)

A diminuição do ângulo de cor da casca da goiaba indicou a alteração da cor verde escura (H*~ 117^{o}) das goiabas no dia da irradiação para cor verde-amarela (H* de 105 a 103^{o}) alcançada pelas goiabas armazenadas por 14 dias sob refrigeração e mais 2 dias a temperatura ambiente (Tabela 4.2.2 e Figura 4.2.1).

A refrigeração atrasou o desenvolvimento da cor dos frutos, já que as goiabas não irradiadas armazenadas em temperatura ambiente apresentaram valores médios de H* de 103^{o} após 6 dias (Item 4.1.1.3), enquanto que goiabas expostas à temperatura refrigerada de 10 ± 1 ^{o}C por 14 dias obtiveram valores médios de H* ~ 111º (Tabela 4.2.2). A transferência para temperatura ambiente por dois dias reduziu bastante os valores de H*, mas mesmo assim, as goiabas de todos os tratamentos não atingiram valores médios abaixo de H* = 102º (Tabela 4.2.2 e Figura 4.2.1), indicando que as goiabas não se tornaram totalmente amarelas (AZZOLINI et al., 2004a). Por outro lado, goiabas irradiadas armazenadas a temperatura ambiente ficaram totalmente amarelas (Item 4.1.1.3).

Goiabas irradiadas armazenadas por 7 dias sob refrigeração apresentaram valores mais baixos de H* que as goiabas não irradiadas indicando alteração da cor; porém, conforme os frutos foram amadurecendo, não foi constatada diferença de H* entre os tratamentos. Estes resultados demonstram que o armazenamento refrigerado de goiabas irradiadas suprimiu o efeito de aceleração do amarelecimento causada pela irradiação, pois goiabas irradiadas e armazenadas em temperatura ambiente amareleceram muito mais rapidamente que as não irradiadas (Item 4.1.1.3).

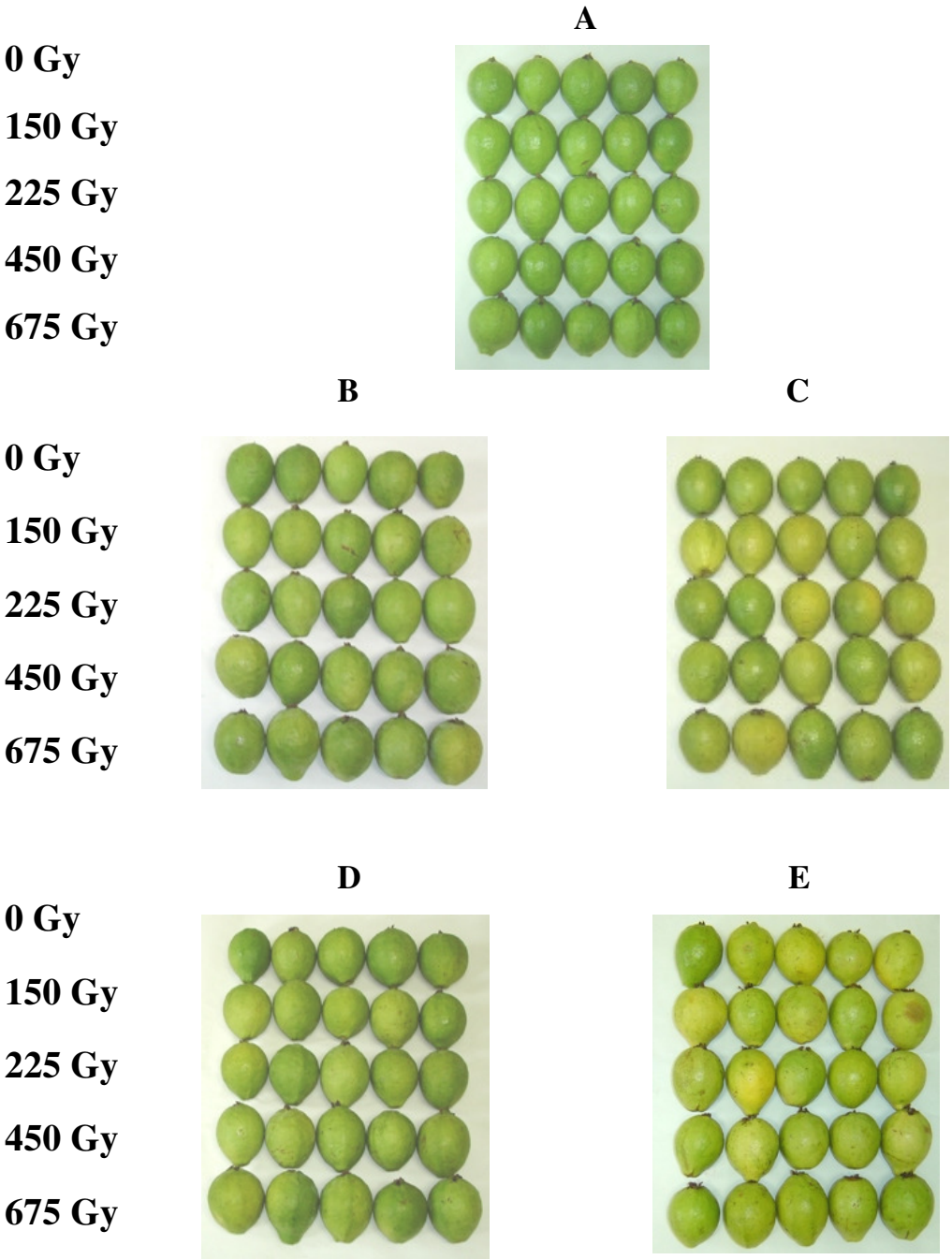


Figura 4.2.1 Alteração da cor de goiabas 'Pedro Sato' irradiadas e armazenadas durante 0 dias (**A**), 7 dias em temperatura refrigerada (TR) (**B**) mais 2 em temperatura ambiente (TA) (**C**) 14 dias em TR (**D**) e mais 2 em TA (**E**). TR: 10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR. TA: 23 ± 1 ^{o}C e 70 ± 5% UR.

A alteração de cor verificada uma semana após irradiação das goiabas, provavelmente, foi causada pelo estresse de irradiação que promove aumento no metabolismo dos frutos e aumento drástico da produção de etileno (LARRIGAUDIERE et al., 1991).

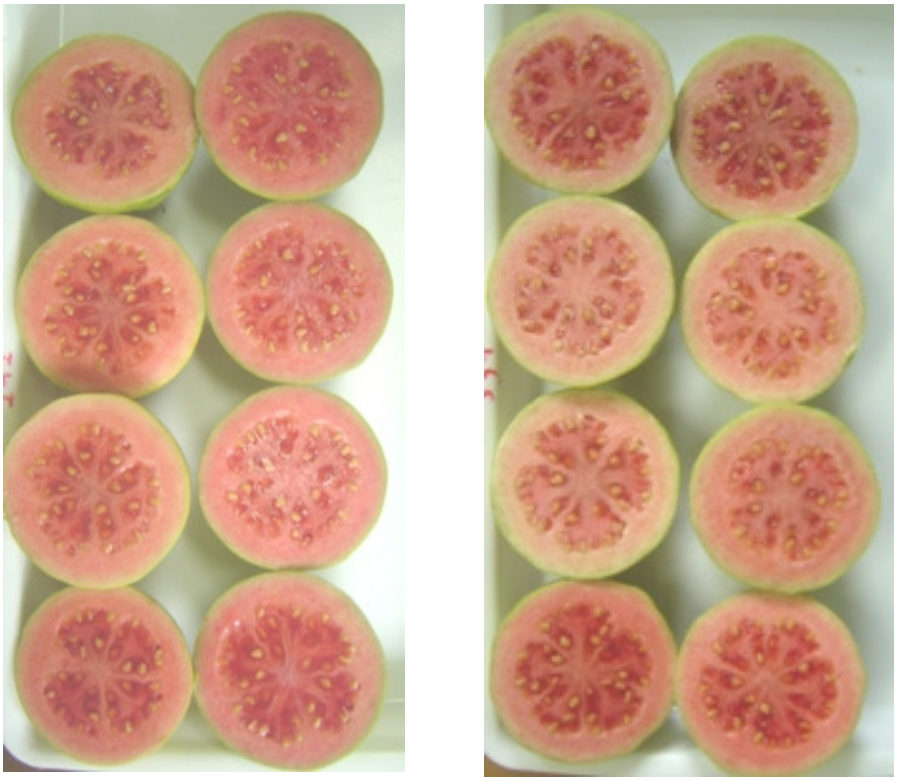
4.2.1.4 Cor interna – Cromaticidade (C*) e Luminosidade (L*)

Conforme os frutos amadureceram, os valores de L* diminuíram demonstrando que a cor rosa claro dos frutos no inicio da estocagem escureceu e se tornou vermelha no fim do amadurecimento. Porém as goiabas irradiadas, com exceção da dose de 225 Gy aos 7 dias de refrigeração, escureceram mais rapidamente que as goiabas não irradiadas durante o período de armazenamento em refrigeração. Quando as goiabas foram transferidas à temperatura ambiente, todos os tratamentos apresentaram valores de L* semelhantes (Tabela 4.2.3).

Os valores de C*, que representam a intensidade da cor vermelha da polpa da goiaba, aumentaram com o amadurecimento dos frutos não tratados, porém atingindo valores abaixo daqueles observados em frutos armazenados em temperatura ambiente (Item 4.1.1.4). Resultados semelhantes foram observados por Basseto (2002), onde os valores de C* foram maiores para goiabas 'Pedro Sato' armazenadas a 25 ^{o}C do que a 10 ^{o}C. O licopeno é o carotenóide responsável pela cor vermelha da polpa da goiaba (WONG, 1995) e pode ser que os valores de C* tenham relação com o conteúdo de licopeno. Chiesa et al. (1998) relataram que a quantidade de licopeno sintetizado durante o amadurecimento do tomate foi maior quando armazenado a 20 ^{o}C do que a 10º C.

As goiabas irradiadas apresentaram valores de C* mais altos na primeira semana de armazenamento, porém com a continuação do processo de maturação, os valores de C* se mantiveram estáveis para as doses de 150 e 225 Gy e diminuíram para as doses de 450 e 675 Gy (Tabela 4.2.3). A alteração normal da coloração interna da goiaba deveria ser o escurecimento da cor rosa associado ao aumento da intensidade da cor vermelha, porém para

um bom número de goiabas irradiadas com 450 e 675 Gy a cor da polpa estava pálida parecendo estar mais clara (Figura 4.2.2), apesar dos resultados de L* não terem indicado diferença significativa.



A **B**

Figura 4.2.2 Coloração da polpa de goiabas 'Pedro Sato' não tratadas (**A**) ou irradiadas com 675 Gy (**B**) armazenadas por 14 dias sob refrigeração (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR) e mais 2 dias a temperatura ambiente (23 ± 1 ^{o}C e 70 ± 5% UR).

As implicações destas alterações de cor na goiaba são: a perda do atrativo visual e a possibilidade dos frutos apresentarem teor mais baixo de licopeno, por se tratar de substância

responsável pela pigmentação vermelha em goiabas. Até as goiabas não tratadas apresentaram, após duas semanas em refrigeração e mais dois dias a temperatura ambiente, valores de C* médios relativamente baixos (C*=33,96) (Tabela 4.2.3) comparados aos das goiabas mantidas em temperatura ambiente (C*=39,65) (Item 4.1.1.4).

A região placental das goiabas irradiadas (450 e 675 Gy), que apresentaram coloração atípica com maior magnitude, parecia estar pastosa e desestruturada, sem oferecer resistência quando pressionada. A impressão que se deu era que se tratava de um tecido em processo avançado de senescência (Figura 4.2.3). Segundo Kluge et al. (2002), injúrias pelo frio se caracterizam muitas vezes por degenerescência da polpa e mudanças na coloração interna. Estes danos ocorrem devido à alteração da membrana lipídica que tem sua permeabilidade reduzida. Já Voisine et al. (1993) e Dong et al. (1994) relataram que os danos causados pela irradiação estão relacionados às disfunções das membranas celulares.

Figura 4.2.3 Sintomas de distúrbio fisiológico em goiabas 'Pedro Sato' irradiadas e armazenadas sob refrigeração (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR).

Portanto, a refrigeração a 10 ± 1^{o} C pode ter propiciado as condições para a modificação da cor da polpa da goiaba sendo potencializada pela irradiação cujos efeitos foram mais evidentes com o aumento da dose absorvida.

4.2.1.5 Ácido ascórbico

Não houve influência da irradiação no conteúdo de ácido ascórbico das goiabas sob refrigeração (Tabela 4.2.1). Verificou-se pelos resultados que o teor de ácido ascórbico aumentou com o amadurecimento (Tabela 4.2.4) como também aconteceu com as goiabas armazenadas em temperatura ambiente (Item 4.1.1.5).

Goiabas mantidas em ambiente refrigerado por 14 dias e mais dois dias a temperatura ambiente apresentaram 51,16 mg de ácido ascórbico por 100 g de polpa (Tabela 4.2.4), enquanto que goiabas armazenadas em temperatura ambiente apresentaram teor de ácido ascórbico de 46,86 mg/100 g de polpa (Item 4.1.1.5), o que indica que a refrigeração não reduziu a produção de vitamina C das goiabas. O metabolismo mais lento promovido pela refrigeração pode ter diminuído as reações oxidativas que degradam o ácido ascórbico.

4.2.1.6 pH

O pH das goiabas não foi influenciado pela a irradiação (Tabela 4.2.1). As goiabas aos 7 dias de armazenamento refrigerado apresentaram valores de pH mais baixos e se mantiveram assim aos 14 dias de refrigeração. Quando as goiabas foram transferidas para temperatura ambiente o pH aumentou (Tabela 4.2.4.), indicando que as goiabas se tornaram ácidas no início do amadurecimento, e assim continuaram até que começaram a senescer, degradar os ácidos orgânicos e perder a acidez.

Goiabas armazenadas em temperatura ambiente também apresentaram resultados parecidos. No inicio do armazenamento o pH diminuiu para depois voltar a aumentar na fase de senescência do fruto (Item 4.1.1.6).

4.2.1.7 Acidez titulável

A acidez titulável das goiabas não foi influenciada pela irradiação (Tabela 4.2.1). Goiabas armazenadas sob refrigeração a 10 ± 1º C precisou de 14 dias para atingir o maior nível de acidez (Tabela 4.2.4). A refrigeração diminuiu o metabolismo dos frutos e, conseqüentemente, reduziu drasticamente a velocidade de reações bioquímicas. Provavelmente, a hidrólise de pectinas ficou mais lenta, assim como a produção de ácidos urônicos e galacturônicos, que segundo Draetta et al. (1975), seriam os responsáveis pelo aumento da acidez em mamões no início do armazenamento.

Após a transferência para temperatura ambiente não houve muita alteração na acidez titulável das goiabas (Tabela 4.2.4), pois os processos de oxidação dos ácidos orgânicos na respiração ainda não haviam superados os processos de síntese de maneira significativa. Até porque, em temperatura ambiente, o aumento da atividade metabólica poderia levar a síntese de ácidos orgânicos como também foi observado por Paull e Chen (1983) em mamões.

4.2.1.8 Teor de sólidos solúveis

A irradiação, como também o período de armazenagem, não causou alteração no teor de sólidos solúveis em goiabas mantidas em refrigeração (Tabela 4.2.1). Resultados semelhantes também foram observados por Wills et al. (1983) em goiabas armazenadas a 8º C. Em temperatura ambiente as goiabas só apresentaram redução no teor de sólidos solúveis no último período de análise, quando os frutos já estavam sobremaduros e em processo de senescência (Item 4.1.1.8). Os sólidos solúveis são utilizados no processo respiratório quando

as goiabas atingem um estádio avançado de amadurecimento, porém a refrigeração desacelerou a atividade metabólica e retardou o amadurecimento evitando perdas significativas de sólidos solúveis, até mesmo depois que as goiabas foram transferidas para temperatura ambiente por mais dois dias.

4.2.1.9 Relação SS/AT

A irradiação não influenciou a relação SS/AT das goiabas (Tabela 4.2.1). Passados 7 dias em ambiente refrigerado, as goiabas apresentaram relação SS/AT menor e permaneceu estável até o final do período de armazenamento (Tabela 4.2.4). Como não houve diferença em relação ao teor de sólidos solúveis das goiabas (Item 4.2.1.8), a relação SS/AT se alterou por causa das diferenças relativas às modificações de acidez titulável das goiabas (Item 4.2.1.7).

4.2.1.10 Incidência de doenças

Não foi observado sintoma de doenças aos 7 dias de armazenamento refrigerado, nem mesmo após a transferência a temperatura ambiente. Aos 14 dias de refrigeração foi possível detectar lesões cuja incidência aumentou ainda mais com a transferência para a temperatura ambiente (Figura 4.2.3). Entretanto, a quantidade de frutos com doença nestas condições foi menor do que nas goiabas armazenadas por 6 dias em temperatura ambiente (Item 4.1.1.10), o que demonstra a inibição do aparecimento de lesões em goiabas frigoconservadas.

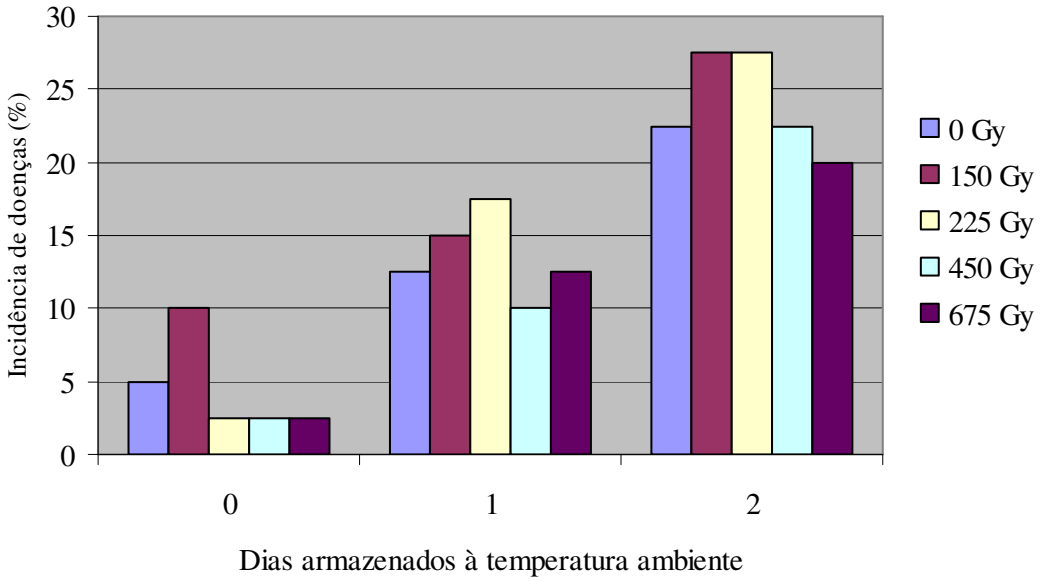


Figura 4.2.4. Incidência de doenças em goiabas 'Pedro Sato' irradiadas surgida durante o período de armazenamento a temperatura ambiente (23 ± 1 ^{o}C e 70 ± 5% UR) após 14 dias sob refrigeração (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR).

Durante o período em que se detectaram sintomas de doença em goiabas, a maior diferença entre os tratamentos irradiados e o controle foi de 5% de incidência a mais para as goiabas submetidas a 150 e 225 Gy. Enquanto que as irradiadas com 450 e 675 Gy praticamente apresentaram a mesma incidência de doenças que as goiabas não irradiadas (Figura 4.2.4). Portanto, o efeito da irradiação na incidência de doenças não foi muito expressivo. Estes resultados corroboram com os obtidos por Ahmad et al. (1972) que não verificou controle de doenças em goiabas irradiadas com doses entre 100 e 750 Gy.

De acordo com os resultados obtidos no primeiro experimento, goiabas irradiadas com doses de 150 a 450 Gy armazenadas em temperatura ambiente apresentaram alta incidência de doenças (Item 4.1.1.10), porém, somente aos 14 dias de armazenamento sob refrigeração foram detectadas lesões nas goiabas. Após este período, a diferença na incidência de doenças

entre os tratamentos foi pouco expressiva (Figura 4.2.4), indicando que a refrigeração de goiabas inibiu a predisposição de doenças causada pela radiação. De qualquer forma, deve-se considerar também a qualidade inicial dos frutos em relação ao nível de infecção de doenças latentes que poderia estar pior para as goiabas armazenadas em temperatura ambiente.

As doses utilizadas para controle de doenças geralmente causam distúrbios na maioria dos frutos por serem bem mais altas que a dose máxima tolerável. No caso de morango, que é muito resistente a irradiação, doses de até 2,0 kGy foram usados para o controle de doenças (YU et al., 1995). Em frutos menos resistentes o recomendado é a combinação de tratamentos para o controle de doenças. O tratamento térmico com água quente combinado à irradiação com 750 Gy resultou num efeito sinérgico para o controle de doenças no mamão (AKAMINE; WONG, 1966).

4.2.1.11 Incidência de escurecimento da casca

Não foi observado escurecimento da casca em goiabas não tratadas. Por outro lado, quanto maior a dose absorvida pelas goiabas, maior foi a incidência de escurecimento da casca (Figura 4.2.5 e 4.2.6). Estes danos ocorreram somente quando as goiabas foram transferidas à temperatura ambiente, após armazenamento por 14 dias sob refrigeração a 10 ± 1º C. Portanto, dose de irradiação e o período de exposição a temperaturas refrigeradas foram determinantes para o aparecimento dos danos fisiológicos.

Injúrias causadas pela radiação gama em frutas muitas vezes são caracterizadas pelo escurecimento da casca. Laranjas 'Navel' e 'Hamlin' irradiadas com 150 Gy e armazenadas por 14 dias a 1º C e mais 3 dias a 20º C apresentaram escurecimento da casca em 40% dos frutos, aproximadamente. Enquanto que laranjas 'Ambersweet' e 'Valência' praticamente não apresentaram danos (MILLER et al., 2000). Pomelos irradiados com 0,5 e 1 kGy apresentaram escurecimento da casca, sendo que a dose de 1 kGy havia maior incidência. Os

danos foram amenizados em 50% com uso de aquecimento com vapor a 38º C por 2 horas (MILLER; MCDONALD, 1998). Já laranjas 'Valencia' irradiadas com 300 Gy e expostas a armazenagem de 7,5 ^{o}C apresentaram menor incidência de escurecimento da casca comparado a frutos armazenados a temperatura ambiente (MACFARLANE; ROBERTS, 1968). Por outro lado, mamões irradiados com 250 Gy apresentaram escaldadura na casca somente quando imediatamente transferidos para refrigeração a 10º C, mas se os mamões forem armazenados por 12 horas em temperatura ambiente antes do armazenamento refrigerado, não haverá aumento do nível de escaldadura em relação aos frutos não irradiados (PAULL, 1996). Goiabas 'Kumagai' irradiados com 600 Gy ou mais, independentemente da temperatura de armazenamento, apresentaram manchas pretas na casca (FRATESCHI, 1999).

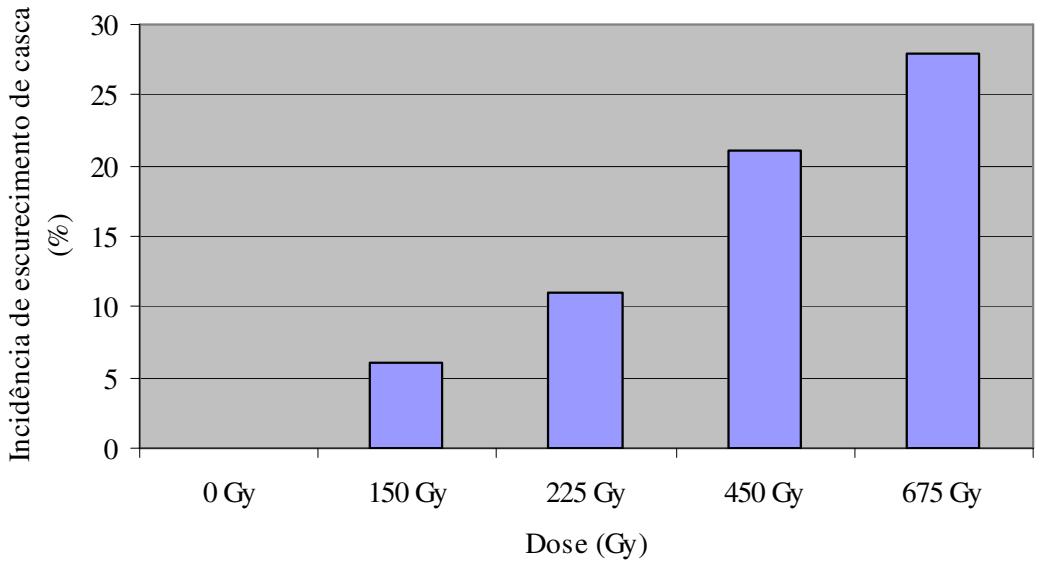


Figura 4.2.5. Incidência de escurecimento da casca em goiabas irradiadas 'Pedro Sato' armazenadas por 14 dias sob refrigeração (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR), após transferência a temperatura ambiente (23 ± 1 ^{o}C e 70 ± 5% UR) por mais 2 dias.

As condições para manifestação dos danos causados nas goiabas foram parecidas com o que normalmente ocorre quando há distúrbios fisiológicos causados pelo frio ('chilling').

Geralmente, o ‘chilling’ só se torna visível depois que os frutos são expostos a temperaturas mais altas próximas a temperatura ambiente. A manifestação do ‘chilling’ está relacionada à temperatura de armazenamento e a duração deste período de estocagem, ou seja, quanto mais baixa a temperatura, menor o período necessário para os sintomas de ‘chilling’ se manifestarem. Frutos menos maduros tendem a ser mais susceptíveis a estes danos (SHEWFELT, 1993).

Figura 4.2.6. Goiabas ‘Pedro Sato’ irradiadas com sintoma de escurecimento da casca após armazenamento refrigerado (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR) por 14 dias e transferência a temperatura ambiente (23 ± 1 ^{o}C e 70 ± 5% UR) por 2 dias.

A radiação em sistemas biológicos, cujo teor de água é muito alto, induz a formação de radicais livres que também podem promover a produção de peróxidos na presença de oxigênio (URBAIN, 1986). Estas moléculas altamente reativas atuam nas membranas celulares

causando uma série de distúrbios. Além disso, a irradiação pode causar a inibição da H^+-ATPase das membranas reduzindo a capacidade de controle osmótico das células (DONG et al., 1994). As próprias membranas são degradadas pela radiação modificando sua composição e resultando em perda da integridade física gerando descompartimentalização (VOISINE et al., 1993). O aumento da permeabilidade de membranas pode permitir maior contato entre enzima e substrato, além do mais o estímulo do metabolismo de compostos fenólicos e a redução da capacidade antioxidante leva a condições próprias para a indução de escurecimento em tecidos vegetais irradiados (HANOTEL et al., 1995). Riov et al. (1972) propuseram a hipótese que o incremento da atividade da fenilalanina amonialiase em resposta a radiação gama induz a formação e ao acúmulo de compostos fenólicos que causam morte celular, sendo esta a manifestação eventual da injúria de radiação. Como a causa dos danos por "chilling" também é atribuída à perda da permeabilidade das membranas celulares, a associação da refrigeração e irradiação poderia potencializar o aparecimento de danos fisiológicos.

Outro fator importante que deve ser considerado foi a excessiva transpiração das goiabas após 14 dias de refrigeração e mais dois dias a temperatura ambiente. A perda de massa foi de 6,98 a 7,70 % sendo que as goiabas submetidas às doses de 450 e 675 Gy apresentaram maior perda de massa (7,66 e 7,70, respectivamente) que as goiabas controle (Item 4.2.1.1). Além do mais aonde havia o sintoma de escurecimento da casca a superfície estava áspera como se tivesse ocorrido ressecamento. Ben-Yehoshua et al. (1987) explicaram que a prevenção da perda de água é um dos principais motivos pela qual o uso de embalagens com filmes plásticos ameniza o 'chilling'. Em pimentas a severidade do 'chilling' foi relacionada com a maior perda de massa (SMITH et al., 2006)**,** da mesma forma que abacates apresentaram maior severidade de 'chilling' quando não houve o controle da perda de água (BOWER et al., 2003).

O armazenamento prolongado viabilizado pela refrigeração permitiu que a transpiração total das goiabas fosse bastante alta. Portanto, os danos relativos à irradiação podem ter causado extravasamento de solutos que combinado à excessiva transpiração pode ter facilitado reações oxidativas que induziram o escurecimento da casca. Talvez, se houvesse algum controle da perda de água, como armazenamento em locais com alta umidade relativa ou a utilização de cera, estes danos poderiam ser evitados.

4.2.2 Análises sensoriais

4.2.2.1 Avaliação visual

Os tratamentos não diferiram entre si em relação à aparência externa das goiabas armazenadas por 7 dias sob refrigeração a 10 ±1º C e depois transferida a temperatura ambiente a 23±1º C. Porém, quando os frutos foram armazenados por 14 dias sob refrigeração e transferidos à temperatura ambiente, houve diferença em relação à aparência dos frutos (Figura 4.2.7). A aparência dos frutos não irradiados foi melhor que dos frutos irradiados o que revela que os danos fisiológicos na casca da goiaba depreciaram as goiabas. Goiabas irradiadas com 225 Gy obtiveram melhor pontuação que as outras doses de irradiação, revelando que a menor incidência de danos fisiológicos pode ter relação com a aparência dos frutos, contudo goiabas submetidas à dose de 150 Gy não apresentaram boa pontuação apesar da baixa incidência de danos fisiológicos.

Portanto, a incidência de danos fisiológicos na casca da goiaba causados pela irradiação tem um efeito importante na depreciação das goiabas. Devido a isto, é necessário que se evite condições que propiciem o dano como, por exemplo, evitar armazenamento prolongado sob refrigeração e temperaturas muito baixas, controlar a perda de massa dos frutos irradiados e colher goiabas mais maduras.

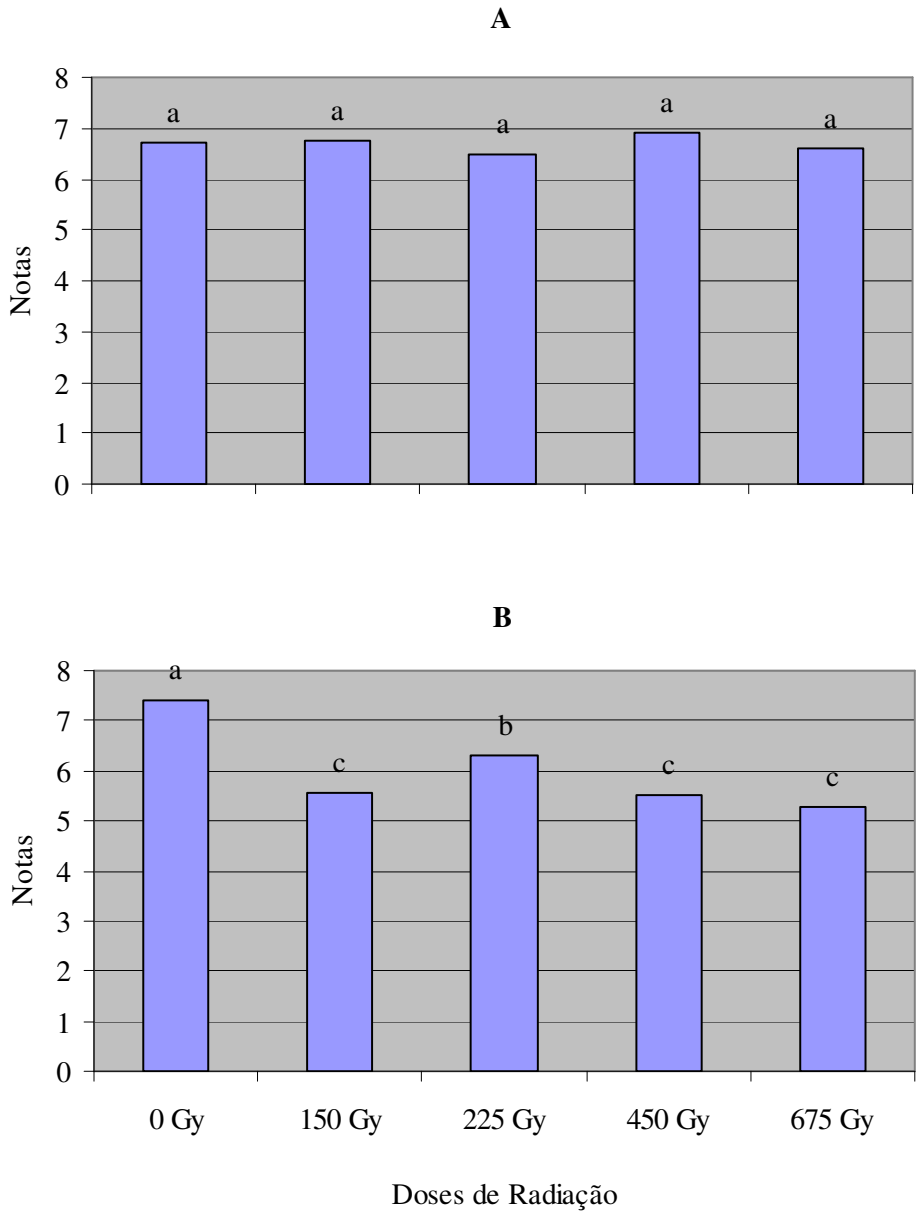


Figura.4.2.7 Aparência de goiabas 'Pedro Sato' irradiadas e armazenadas por 7 (**A**) e 14 (**B**) dias sob refrigeração (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR), e mais 2 dias a temperatura ambiente (23 ± 1 ^{o}C e 70 ± 5% UR). Notas de 1=desgostei muitíssimo até 9=gostei muitíssimo. Médias referentes a 40 avaliações. Valores seguidos de letras distintas foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05).

4.2.2.2 Avaliação organoléptica

Goiabas não irradiadas e armazenadas por 7 dias sob refrigeração e mais 2 a temperatura ambiente apresentaram melhor pontuação para o atributo aceitabilidade que as goiabas irradiadas. A avaliação dos atributos doçura e firmeza também apontou melhores notas para os frutos não irradiados (Figura 4.2.8), indicando que a perda de firmeza verificada nas análises físicas foi detectada pelos provadores. Contudo, a pontuação para doçura das goiabas irradiadas foi menor, apesar das avaliações de sólidos solúveis e acidez titulável não terem revelado diferença entre os tratamentos. Resultados semelhantes foram observados nas análises sensoriais realizadas para frutos armazenados em temperatura ambiente por 5 dias (Item 4.1.3.2).

Portanto, a irradiação causou outras modificações na composição química das goiabas que podem ter levado a alterações de sabor. Provavelmente a ação da radiação no aumento do metabolismo de compostos fenólicos (HANOTEL et al., 1995) pode ter causado alterações no sabor, considerando que estes compostos estão relacionados com sabores amargos e ácidos (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Apesar da menor pontuação das goiabas irradiadas para as avaliações organolépticas, verificou-se que as notas apresentadas para o atributo aceitabilidade ainda estavam em nível admissível, onde a média foi por volta de 6 (Figura 4.2.8) referente à classificação ‘gostei ligeiramente’ (Apêndice-Figura 2).

Comparando as avaliações organolépticas dos frutos armazenados a 7 e 14 dias sob refrigeração, verificou-se que a pontuação para todos os atributos e tratamentos foi melhor para as goiabas armazenadas por 7 dias (Figura 4.2.8), indicando que as goiabas armazenadas por mais tempo estavam com características de fruto sobremaduro ou ‘passado’.

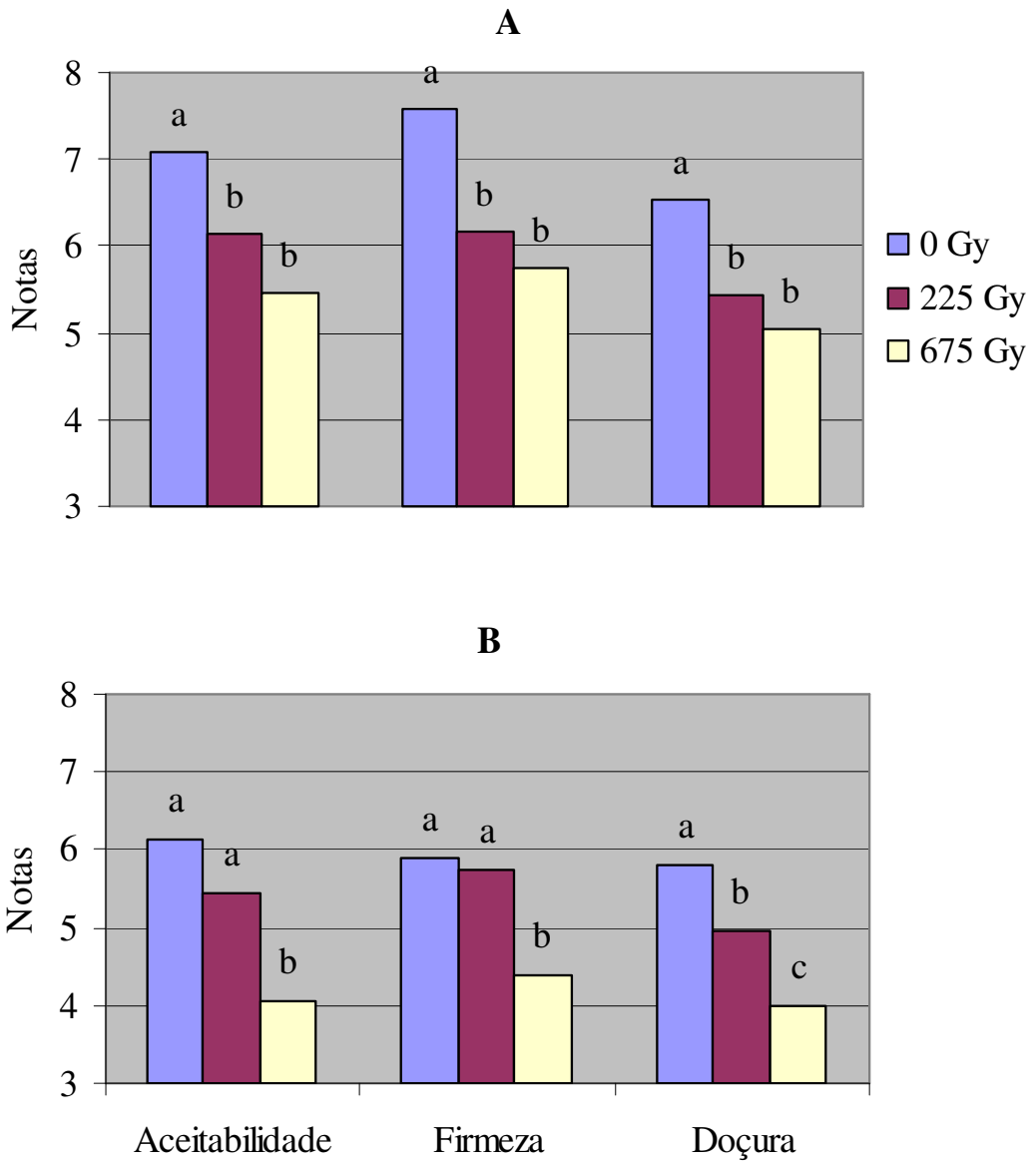


Figura.4.2.8 Avaliação organpléptica de goiabas 'Pedro Sato' irradiadas e armazenadas por 7 (**A**) e 14 (**B**) dias sob refrigeração (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR), e mais 2 dias a temperatura ambiente (23 ± 1 ^{o}C e 70 ± 5% UR). Notas de 1=desgostei muitíssimo até 9=gostei muitíssimo. Médias referentes a 40 avaliações. Valores seguidas de letras distintas foram diferentes pelo teste de Tukey (α=0,05).

Goiabas irradiadas com 650 Gy armazenadas sob refrigeração por 14 dias apresentaram notas de aceitabilidade menor que as goiabas dos outros tratamentos. Goiabas não irradiadas

receberam melhores notas para o atributo de doçura do que goiabas irradiadas com 225 Gy, que, por sua vez, estavam mais doces que as goiabas submetidas às doses de 675 Gy. Já para o atributo de firmeza, as goiabas irradiadas com 675 Gy obtiveram menor pontuação que os outros tratamentos (Figura 4.2.8). Estes resultados indicam que pode ter havido maior importância para avaliação de aceitabilidade o atributo de firmeza do fruto. Foi observado, também, que as goiabas irradiadas com 675 Gy apresentaram pontuação mais baixa para todos os atributos, demonstrando que a qualidade sensorial dos frutos pode depender da dose em determinadas condições de armazenamento.

Em resumo, a qualidade dos frutos armazenados em temperatura refrigerada por menor tempo (7 dias) foi melhor como um todo. Para estes frutos, a irradiação apresentou menor qualidade sensorial, porém em níveis admissíveis. Já o armazenamento por 14 dias a temperatura refrigerada, resultou em frutos de qualidade inaceitável quando irradiados com 675 Gy, enquanto que os frutos dos outros tratamentos estavam apenas um pouco acima do nível 'Indiferente' (Apêndice 1– Figura 2).

4.2.3 Considerações relativas ao tratamento quarentenário

As doses de radiação utilizadas neste trabalho simulam o tratamento quarentenário em irradiador cuja variação de dose dentro de um palete seja de 1:3, ou seja, as frutas mais externas do palete absorverão três vezes mais radiação que as frutas no centro do palete. Portanto, para se fazer o tratamento quarentenário (ANIMAL AND PLANT HEALTH INSPECTION SERVICE – APHIS, 2002) para *Anastrepha* spp. a dose mínima deverá ser de 150 Gy com a máxima atingindo até 450 Gy e para o tratamento de *Ceratitis capitata* a dose mínima deverá ser de 225 Gy atingindo uma máxima de até 675 Gy.

As goiabas apresentariam melhor qualidade após transferência à temperatura ambiente por dois dias se fossem armazenadas por 7 dias de refrigeração ao invés de 14 dias. Pois, com

apenas 7 dias de refrigeração, as goiabas apresentariam cor um pouco mais verde, menor perda de massa, nenhum distúrbio fisiológico e nenhum sintoma de doenças. Considerando somente o tratamento para *C. capitata* para goiabas armazenadas há 7 dias sob refrigeração e mais dois dias a temperatura ambiente, a aceitabilidade seria superior tanto para aparência externa quanto para o sabor.

Não houve diferença entre goiabas tratadas e não tratadas, em qualquer condição de armazenamento, para cor externa e incidência de doenças.

Goiabas armazenadas por 7 ou 14 dias de refrigeração, se tratadas para controle de *Anastrepha* spp. ou *C. capitata*, apresentariam menor firmeza e a cor da polpa das goiabas da parte mais externa do palete seria menos intensa do que goiabas não tratadas. Para o tratamento de *Anastrepha* spp., menor quantidade de frutos apresentaria alteração de cor devido a menor dose para seu controle.

Na condição de armazenamento de 14 dias de refrigeração e mais dois dias a temperatura ambiente, goiabas tratadas para controle de ambas as pragas, apresentariam, além das diferenças já citadas, maior perda de massa para frutos da região externa do palete e maior incidência de escurecimento da casca que as goiabas não tratadas; sendo que, para o tratamento de *C. capitata*, ocorreria maior incidência de danos na casca pela necessidade de maior dose de irradiação para o controle.

Apesar das diferenças entre goiabas tratadas e não tratadas, goiabas submetidas ao tratamento quarentenário por irradiação, independentemente da praga a ser controlada e das condições de armazenamento, apresentariam firmeza e perda de massa uniforme dentro do palete.

Considerando apenas o tratamento quarentenário para *C. capitata* e armazenamento sob refrigeração por 7 dias, o sabor das goiabas não tratadas seria melhor. Porém, os frutos tratados por irradiação ainda apresentariam sabor aceitável. Por outro lado, o sabor das

goiabas não tratadas quando armazenadas por 14 dias sob refrigeração apresentaria sabor melhor do que as goiabas tratadas da parte mais externa do palete que estaria com sabor inaceitável. Porém, na região interna do palete o sabor estaria parecido com as goiabas não tratadas. A aparência externa das goiabas também seria pior para as goiabas tratadas, sendo que as goiabas da parte externa do palete estariam mais depreciadas que da parte interna.

O tratamento quarentenário por irradiação, independentemente das condições de estocagem e da praga a ser controlada, não alteraria o pH, a acidez titulável (AT), o teor de sólidos solúveis (SS), a relação SS/AT e o teor de ácido ascórbico das goiabas; além do mais, haveria uniformidade dentro do palete para estas características.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados dos dois experimentos revelam que goiabas 'Pedro Sato' são bastante sensíveis ao tratamento por irradiação. A irradiação acelera o amadurecimento de goiabas armazenadas a temperatura ambiente e, em temperatura refrigerada, as goiabas ficam mais susceptíveis a danos fisiológicos.

Portanto, há necessidade de se utilizar uma série de medidas pode ser utilizada para amenizar estes efeitos, como por exemplo, o tratamento por imersão em solução com cálcio, que foi utilizado com sucesso para aliviar o amolecimento causado pela irradiação em morangos (PIMENTEL et al., 2001). Em goiabas, a aplicação de cálcio retardou a perda de firmeza de goiabas por manter a integridade das membranas celulares (XISTO et al., 2004).

Medidas para retardar o amadurecimento das goiabas, como a utilização do 1-metilciclopropeno (1-MCP), foi eficiente em goiabas (AZZOLINI et al.,2005). Fan e Mattheis (2001) combinaram o tratamento de irradiação e 1-MCP em maçãs resultando em maior firmeza e maior retenção de acidez em relação às maçãs que foram apenas irradiadas.

A atmosfera modificada poderia ser interessante para se utilizar em combinação com a irradiação. Por causa da alta penetrabilidade da radiação os frutos poderiam ser tratados depois de embalados, porém ambientes com baixa concentração de oxigênio também aumentariam a resistência das moscas-das-frutas à irradiação. Portanto, novos estudos para se estabelecer doses mínimas de controle de moscas-das-frutas em atmosfera modificada

deveriam ser realizados ou os frutos deveriam ser colocados em atmosfera modificada somente após a irradiação (HALLMAN, 2001).

O uso de emulsões de cera de carnaúba (JACOMINO et al., 2000) e o armazenamento em ambientes mais úmidos (VASQUEZ-OCHOA; COLINAS-LEON, 1990) diminuem a taxa de transpiração dos frutos, evitando a elevada perda de água das goiabas, que foi agravada pela irradiação.

Irradiar goiabas colhidas no estádio 2, ao invés do 1 pode resultar em um melhor sabor da goiaba (AZZOLINI et al., 2004b) e assim amenizar ou evitar o efeito negativo da irradiação no sabor do fruto. Além do mais, goiabas no estádio 2, provavelmente, poderiam se conservar por uma semana sob refrigeração sem maiores perdas.

Cuidados na pré-colheita e durante a colheita devem ser tomados para evitar ferimentos nas goiabas e evitar condições favoráveis à patógenos de infecção quiescente, podendo, até mesmo, utilizar fungicidas.

O uso de variedades menos perecíveis também poderia ser interessante. A goiaba 'Paluma' (CAVALINI et al. 2006) demonstrou ser menos perecível que as goiabas 'Pedro Sato' (AZZOLINI et al., 2004a) e goiabas brancas 'Kumagai' parecem ser mais resistente à irradiação (FRATESCHI, 1999) que as goiabas 'Pedro Sato'.

Diferentes irradiadores podem ser dimensionados de forma que a variação de dose dentro do palete seja menor que 3:1. Assim, goiabas da parte externa do palete vão receber dosagens menores. Irradiar volumes menores também reduziria a variação de dose, porém haveria diminuição na quantidade irradiada por unidade de tempo. Alguns efeitos da irradiação, como a alteração da cor da polpa ocorre somente com doses mais altas (450 e 675 Gy), portanto uma menor variação de dose evitaria que as doses mais altas fossem absorvidas pela goiaba, amenizando a alteração de cor da polpa das goiabas.

6 CONCLUSÕES

1. Goiabas armazenadas em temperatura ambiente (23 ± 1 ^{o}C e a 85 ± 5% UR):

A) Análises físico-químicas:

- A irradiação de goiabas promoveu aceleração do amadurecimento. Goiabas amoleceram e desenvolveram a cor da casca e da polpa mais rapidamente.
- Goiabas irradiadas apresentaram maior perda de massa.
- Goiabas irradiadas com 150, 225 e 450 Gy foram mais susceptíveis a podridões.

B) Análises fisiológicas:

- Goiabas irradiadas no início do amadurecimento apresentaram maior taxa respiratória e maior produção de etileno que as goiabas não irradiadas.

C) Análises sensoriais:

- A aparência externa das goiabas de todos os tratamentos foi semelhante.
- Goiabas não irradiadas apresentaram qualidade sensorial superior em relação às irradiadas.
- Goiabas irradiadas ainda apresentaram características sensoriais aceitáveis.

2. Goiabas armazenadas em temperatura refrigerada (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR) com transferência à temperatura ambiente por 2 dias (23 ± 1 ^{o}C e a 70 ± 5% UR):

A) Refrigeração por 7 dias:

a) Análises físico-químicas:

- Goiabas irradiadas apresentaram maior perda de firmeza.
- Goiabas irradiadas com 450 e 675 Gy apresentaram coloração da polpa menos intensa, ou seja, mais pálida que as goiabas dos demais tratamentos.

b) Análises sensoriais:

- A aparência externa das goiabas de todos os tratamentos foi semelhante.
- Goiabas não irradiadas apresentaram qualidade sensorial superior em relação às irradiadas.
- Goiabas irradiadas ainda apresentaram características sensoriais aceitáveis.

B) Refrigeração por 14 dias:

a) Análises físico-químicas:

- Goiabas armazenadas nestas condições apresentaram, de maneira geral, qualidade inferior em relação as goiabas armazenadas por apenas 7 dias de refrigeração
- Goiabas irradiadas perderam firmeza em relação as não-irradiadas.
- Goiabas irradiadas com 450 e 675 Gy apresentaram coloração da polpa mais pálida que as goiabas dos demais tratamentos e, também, apresentaram perda de massa maior que as goiabas não irradiadas.
- Goiabas irradiadas apresentaram casca escurecida, cuja incidência foi proporcional a dose.

b) Análises sensoriais:

- A aparência das goiabas irradiadas foi pior que as goiabas não irradiadas.
- A qualidade sensorial das goiabas não irradiadas ou submetidas à dose de 225 Gy foi no limite do aceitável.
- A qualidade sensorial das goiabas irradiadas com 675 Gy foi inaceitável.

Goiabas 'Pedro Sato' submetidas ao tratamento quarentenário por irradiação apresentarão qualidade aceitável se armazenadas por 7 dias sob refrigeração (10 ± 1 ^{o}C e 80 ± 5% UR).

REFERÊNCIAS

AHLAWAT, V. P.; YAMDAGNI, R.; JINDAL, P. C. Studies on the effect of post-harvest treatments on the storage behavior of guava (*Psidium guajava* L.) cv.Sardar (L 49). **Haryana Agricultural University Journal Research**, Hisar, v. 10, n. 2, p. 242-247, 1980.

AHMAD, M. et al. Effect of gamma irradiation and packing on the post-harvest life of guava (*Psidium guajava* L.) **The Philippine Journal of Science**, Manila, v. 101, n. 1, p. 71-80, 1972.

AINA, J. O.; ADESIJI, O. F.; FERRIS, S. R. B. Effect of gamma-irradiation on post-harvest ripening of plantain fruit (*Musa paradisiaca*) cultivars. **Journal of Science of Food and Agriculture**, London, v. 79, n. 5, p. 653-656, 1999.

AKAMINE, E. K.; GOO, T. Respiration of gamma irradiated fresh fruits. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 36, p. 1074-1077, 1971.

AKAMINE, E. K.; GOO, T. Respiration and ethylene production in fruits of species and cultivars of *Psidium* and species of *Eugenia*. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Geneva, v. 104, p. 632-635, 1979.

AKAMINE, E. K.; WONG, R. T. E. Extending the shelf life of papayas with gamma irradiation. **Hawaii Farm Science,** Honolulu, v. 15, n. 4, p. 4-6, 1966.

AL-BACHIR, M. Effect of gamma irradiation on storability of apples (*Malus domestica* L.). **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 54, n. 1, p.1-11, 1999.

ALI, Z. M.; LAZAN, H. Guava. In: MITRA, S. K. **Postharvest of physiology and storage of tropical and subtropical fruits**. Wallingford: CAB International, 1997. p. 145-165.

ANIMAL AND PLANT HEALTH INSPECTION SERVICE - APHIS. Irradiation phytosanitary treatment of imported fruits and vegetables (Final rule). **Federal Register**, Washington, v. 67, n. 205, 2002. Disponível em: http://frwebgate.access.gpo.gov/cgi-bin/multidb.cgi . Acesso em: 3 nov. 2002.

AREVALO-GALARZA, L. et al. Ripening of Hass avocado fruit treated with gamma rays. **Agrociencia**, Chapingo, v. 36, p. 667-673, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE GOIABAS. **O caso goiabrás.** Brotas, s.d. 1 CD-ROM.

AWAD, M. **Fisiologia pós-colheita de frutos**. São Paulo: Nobel, 1993. 114 p.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; BRON, I. U. Índices para avaliar qualidade pós-colheita de goiabas em diferentes estádios de maturação **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 139-145, 2004a.

AZZOLINI, M.; JACOMINO, A. P.; SPOTO, M. H. F. Estádios de maturação e qualidade pós-colheita de goiabas 'Pedro Sato'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Caçador, v. 26, n. 1, p. 29-31, 2004b.

AZZOLINI, M. et al. Ripening of "Pedro Sato" guava: study on its climacteric or non-climacteric nature. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 3, p. 299-306, 2005.

BAGHEL, B. S. et al. Effect of different doses of gamma radiation on shelf-life of guava. **Indian Journal of Horticulture**, Bangalo, v. 62, n. 2, p. 129-132, 2005.

BARATA-SOARES, A. D. et al. Ascorbic acid biosynthesis: a precursor study on plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 3, p. 147-154, 2004.

BASSETO, E. **Conservação de goiabas 'Pedro Sato' tratadas com 1-metilciclopropeno: concentrações e tempo de exposição**. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BEN-YEHOSHUA, S. Individual seal-packaging of fruit and vegetables in plastic film: a new postharvest technique. **HortScience**, Alexandria, v. 20, p. 32-37, 1985.

BEN-YEHOSHUA, S.; SHAPIRO, B.; MORAN, R. Individual seal-packaging enables the use of curing at high temperatures to reduce decay and heal injury of citrus fruits. **HortScience**, Alexandria, v. 22, n. 5, p. 777-783, 1987.

BIALE J. B.; BARCUS, D. E. Respiratory patterns in tropical fruits of the Amazon basin. **Tropical Science**, London, v. 12, p. 93-104, 1970.

BLEINROTH, E. W. Colheita e beneficiamento. In: BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Goiaba para exportação**: procedimentos de colheita e pós-colheita. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1996. p. 12-23. (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 20).

BOTELHO, R. V. **Efeito do tratamento pós-colheita com cálcio na ocorrência de antracnose (*Coletotrichum gloeosporioide*s Penz.) no amadurecimento de goiabas (*Psidium guajava* L.)**. 1996. 122p. Dissertação (Mestrado) – Faculdades de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Botucatu, 1996.

BOWER, J. P.; DENNISON, M. T.; FOWLER, K. Avocado and mango cold storage damage as related to water loss control. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 628, p. 401-406, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. **Goiaba para exportação**: aspectos técnicos da produção. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1995. 49 p. (Serie Publicações Técnicas FRUPEX, 5).

BRODRICK, H. T.; THOMAS, A. C. Radiation preservation of subtropical fruits in South Africa. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Food preservation by irradiation**. Vienna: IAEA, 1978. v. 1, p. 167-178.

BROWN, B. I.; WILLS, R. B. H. Post-harvest changes in guava fruit of different maturing. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 237-243, 1983.

BUFLER, G. Ethylene-promoted conversion of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid to ethylene in apple at various stages of fruit development. **Plant Physiology**, Rockville, v. 80, p. 539-543, 1986.

CARVALHO, V. D. Qualidade e conservação pós-colheita da goiaba. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 179, p. 48-54, 1994.

CARVALHO, C. R. L. et al. **Análises químicas de alimentos**. Campinas: ITAL, 1990. 121 p.

CASTRO, J. B.; SIGRIST, J. M. M. Matéria-prima. In: INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. **Goiaba:** cultura, matéria prima, processamento e aspectos econômicos. 2. ed. Campinas: ITAL, 1991. cap. 2, p. 121-139.

CAVALINI, F. C. et al. Maturity indexes for 'Kumagai' and 'Paluma' guavas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Caçador, v. 28, n. 2, p. 176-179, 2006.

CHIESA, A.; SACKMANN-VARELA, M.; FRASCHINA, A. Acidity and pigment changes in tomato (*lycopersicon esculentum* mill.) fruit ripening. **Acta Horticulturae,** The Hague, n. 464, p. 487-487, 1998.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**: fisiologia e manuseio. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2005. 783 p.

CLARKE, I. D. Effects of radiation treatments. In: HULME, A. C. **The biochemistry of fruits and their products**. London: Academic Press, 1971. v. 2, cap. 20, p. 687-705.

DAMAYANTI, M.; SHARMA, G. J.; KUNDU, S. C. Gamma radiation influences postharvest disease incidence of pineapple fruits. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 7, p. 807-808, 1992.

DEGNER, R. L.; MOSS, S. D.; CRANE, J. H. **Market development strategies for the Florida tropical fruit industry** Gainesville: University of Florida, 1997. 137 p. Disponível em: http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/FE/FE38200.pdf. Acesso em: 13 abr. 2007.

D`INNOCENZO, M. **Comportamento de enzimas da parede celular e textura da polpa relacionados ao tratamento de irradiação de mamões (*Carica papaya* L. Cv solo) durante o amadurecimento**. 1996. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

DONG, C. Z.; MONTILLET, J. L.; TRIANTAPHYLIDES, C. Effect of gamma irradiation on the plasma membrane of suspension-cultured apple cells. Irreversible short-term inhibition of H+ATPase activity. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 90, n. 2, p. 307-312, 1994.

DRAETTA, I. S. et al. Transformações bioquímicas do mamão (*Carica papaya* L.) durante a maturação. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 395-408, 1975.

EDWARDS, J. C. et al. The effects of gamma radiation on biomembrane structure and function. **Progress in Biophysics and Molecular Biology**, New York, v. 43, n. 1, p. 71-93, 1984.

FAKHOURI, F. M.; GROSSO, C. Efeito de coberturas comestíveis na vida útil de goiabas in natura (*Psidium guajava* l.) mantidas sob refrigeração. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 6, n. 2, p. 203-211, 2003.

FAN, X.; MATTHEIS, J.P. 1-Methylcyclopropene and storage temperature influence responses of 'Gala' apple fruit to gamma irradiation. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 23, p. 143-151, 2001.

FAO. **FAOSTAT**. Roma, 2006. Disponível em: http://faostat.fao.org/site/ 291/default.aspx. Acesso em: 15 dez. 2006.

FAO. **Current situation and medium-term outlook for tropical fruits.** Roma, [2005?]. Disponível em: http://www.fao.org/es/esc/en/20953/21038/highlight_108849en.html. Acesso em: 13 abr. 2007.

FOLLETT, P. A.; SANXTER, S. S. Comparison of rambutan quality after hot forced-air and irradiation quarantine treatments. **HortScience**, Alexandria, v. 35, n. 7, p. 1315-1318, 2000.

FRANCISCO, V. L. F. S.; BAPTISTELLA, C. S. L.; AMARO, A. A. **A cultura da goiaba em São Paulo.** São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 2005. Disponível em: http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=1902. Acesso em: 26 jul. 2005.

FRATESCHI, P. W. B. **Radiação gama com ^{60}cobalto na conservação pós-colheita de goiaba branca**. 1999. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1999.

GRAY, G. D. et al. Chlorophyll degradation in Wase satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) fruit with on-tree maturation and ethylene treatment. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 71, n. 1, p. 35-42, 1997.

HALLMAN, G. J. Irradiation as a quarantine treatment. In: MOLINS, R. A. **Food irradiation** principles and applications. New York: Wiley & Sons, 2001. cap. 5, p. 113-130.

HANOTEL, L.; FLEURIET, A.; BOISSEAU, P. Biochemical changes involved in browning of gamma-irradiated cut witloof chicory. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 5, p. 199-210, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS – IBRAF. Resultados das exportações - 2005. **Fruit News,** São Paulo, n. 42, 2006a. Disponível em: http://www.ibraf.org.br/OLD%5FSITE/envio/a7n42/inf42mail.htm. Acesso em: 14 mai. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS – IBRAF. Novos mercados para a exportação de frutas brasileiras. **Fruit News,** São Paulo, n. 45, 2006b. Disponível em: http://www.ibraf.org.br/_OLD%5FSITE/_x%2Dno/iol/a7n45/inf45mail.htm. Acesso em: 14 mai. 2007.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Irradiation as a phytosanitary treatment of food and agricultural commodities**. Vienna: IAEA, 2004. p. 1-8. (TecDoc, 1427).

INTERNATIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION. **Irradiation as a quarantine treatment of fresh fruits and vegetables**. Washington, 1994. (Document, 17). Disponível em: http://www.iaea.or.at/icgfi/index.html. Acesso em: 12 out. 2002.

JACOMINO, A. P. **Conservação de goiabas "Kumagai" em diferentes temperaturas e materiais de embalagem**. 1999. 90p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, piracicaba, 1999.

JACOMINO, A. P. et al. Armazenamento de goiabas 'Kumagai' sob diferentes temperaturas de refrigeração. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 3, p. 165-169, 2000.

JEFFRIES, P. J.; DODD, J. C.; JEGER, M. J.; PLUMBLEY, R. A. The biology and control of *Colletotrichum* species on tropical fruit crops. **Plant Pathology**, London, v.3 9, n. 3, p. 343-366, 1990.

KAVATI, R. Cultivares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA GOIABEIRA, 1., Jaboticabal, 1997. **Anais**. Jaboticabal: FUNEP, 1997. p. 1-16.

KLUGE, R. A. et al. **Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado**. 2. ed. Campinas: Editora Rural, 2002. 214 p.

LARRIGAUDIERE, C. et al. Relationship between stress ethylene production induced by gamma irradiation and ripening of cherry tomatoes. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v. 116, n. 6, p. 1000-1003, 1991.

LELIÈVRE, J. M. et al. Ethylene and fruit ripening. **Physiologia Plantarum**, Kobenhavn, v. 101, p. 727-739, 1997.

MacFARLANE, J. J.; ROBERTS, E. A. Some effects of gamma radiation on Washington navel and Valencia oranges. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, Melbourne, v. 8, n. 34, p. 625-629, 1968.

MANICA, I. et al. **Fruticultura tropical**. 6. Goiaba. Porto Alegre: Cinco Continentes Ed. Ltda., 2000. 374 p.

MALAVASI, A. et al. "System Approach" em relação a tefritídeos para mamão produzido no estado do Espírito Santo. In: MENDES, L. G.; DANTAS, J. L. L.; MORALES, C. F. G. (Ed.). **Mamão no Brasil**. Cruz das Almas: EAUFBA; EMBRAPA, CNPMF, 1996. p. 85-88.

MATTIUZ, B.; DURIGAN, J. F. Fisiologia e qualidade pós-colheita de goiabas 'Paluma' e 'Pedro Sato', submetidas à injúria mecânica por impacto. **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 46-50, 2003.

MAXIE, E. C. et al. Effect of gamma radiation on the ripening of Bartlett pears **Plant Physiology**, Rockville, v. 41, p. 437-442, 1966a.

MAXIE, E. C. et al. Effect of gamma irradiation on ripening and quality of nectarines and peaches. **Proceedings of the American Society of Horticultural Science**, Geneva, v. 89, p. 91-99, 1966b.

MAXIE, E. C.; SOMMER, N. F. Changes in some chemical constituents in irradiated fruits and vegetables. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Preservation of fruit and vegetables by radiation**. Vienna: IAEA, 1968. p. 39-56.

MAXIE, E. C.; SOMMER, N. F.; MITCHELL, F. G. Chemical, economic, physical and physiological limitations to irradiation of fruits. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Disinfestation of fruit by irradiation**. Vienna: IAEA, 1971. p. 93-100.

MEDINA, J. C. et al. **Goiaba**: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. 2. ed. Campinas: ITAL, 1988. 224 p. (Série Frutas Tropicais, 6).

MELTZER, W. **Fantastic fruit**. Washington, DC: Center for Science in the Public Interest, 1998. (Nutrition Action Health Letter). Disponível em: http://www.cspinet.org/nah/fantfruit.htm. Acesso em: 26 jul. 2005.

McDONALD, R. E.; MILLER W. R.; McCOLLUM, T. G. Canopy position and heat treatments influence gamma-irradiation-induced changes in phenylpropanoid metabolism in grapefruit. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Geneva, v. 125, n. 3, p. 364-369, 2000.

McGUIRE, R. G. Reporting of objective colour measurements. **HortScience**, Alexandria, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MILLER, W. R.; McDONALD, R. E. Amelioration of irradiation injury to Florida grapefruit by pretreatment with vapor heat or fungicides. **HortScience**, Alexandria, v. 33, n. 1, p. 100-102, 1998.

MILLER, W. R., McDONALD, R. E. Irradiation, stage of maturity at harvest, and storage temperature during ripening affect papaya fruit quality. **HortScience**, Alexandria, v. 34, n. 6, p. 1112-1115, 1999.

MILLER W. R.; McDONALD, R. E. Postharvest quality of GA-treated Florida grapefruit after gamma irradiation with TBZ and storage. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 7, p. 253-260, 1996.

MILLER W. R.; McDONALD, R. E.; CHAPARRO, J. Tolerence of selected orange and mandarin hybrid fruit to low-dose irradiation for quarantine purposes. **HortScience**, Alexandria, v. 35, n. 7, p. 1288-1291, 2000.

MILLER, W. R. et al. Postharvest storage quality of gamma-irradiated 'Climax' rabbiteye blueberries. **HortScience**, Alexandria, v. 29, n. 2, p. 98-101, 1994.

MITCHAM, E. Quarantine issues in 2000. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 553, p. 451-455, 2001.

MOUSSAID, M. et al. Phenolic compounds and the color of oranges subjected to a combination treatment of waxing and irradiation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 84, n. 13, p. 1625-1631, 2004.

MOY, J.H. Potential of gamma irradiation of fruits: a review. **Journal of Food Technology**, Oxford, v. 12, p. 449-457, 1977.

MOY, J. H. et al. Tolerance, quality, and shelf life of gamma irradiated papaya grown in Hawaii, Taiwan and Venezuela. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Radiation preservation of food**. Vienna: IAEA, 1973. p. 375-387.

MOY, J. H.; WONG, L. The efficacy and progress in using radiation as a quarantine treatment of tropical fruits – a case study in Hawaii. **Rad. Phys. Chem.,** v. 63, p.397-401, 2002.

PANTASTICO, Er. B.; CHATTOPADHYAY, T. K.; SUBRAMANYAM, H. Storage and commercial storage operations. In: PANTASTICO, Er. B. **Postharvest physiology, handling and utilization of tropical and subtropical fruits and vegetables**. Westport: Avi, 1975. cap. 16, p. 315-338.

PAULL, R. E. Ripening behaviour of papaya (Carica papaya L.) exposed to gamma irradiation. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 7, n. 4, p. 359-370, 1996.

PAULL, R. E.; CHEN, N. J. Postharvest variation in cell wall degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. **Plant Phys.,** Rockville, v. 72, p. 382-385, 1983.

PEREIRA, F. M. **Cultura da goiabeira**. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 47 p.

PIMENTEL, R. M. A. **Efeito da irradiação gama em mamão papaia (*Carica papaya* L.) colhido em três pontos de maturação**. 2001. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

PIMENTEL, R. M. A.; WALDER, J. M. M. Gamma radiation in papaya harvested at three stages of maturation **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 2, p. 146-150, 2004.

PIMENTEL, R. M. A.; WALDER, J. M. M.; MARINELLI, D. Conservação do morango (*Fragaria sp*.) por tratamentos de irradiação e imersão em cálcio. In: ENCONTRO

CIENTÍFICO DOS PÓS-GRADUANDOS NO CENA/USP, 7., Piracicaba, 2001. **Resumos**. Piracicaba: CENA, 2001. 1 CD-ROM.

REYES, M. U.; PAULL, R. E. Effect of storage temperature and ethylene treatment on guava (*Psidium guajava* L.) fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 6, n. 3, p. 357-365, 1995.

RIOV, J. et al. Stimulation of phenolic biosynthesis in citrus fruit peel by gamma radiation. **Radiation Research Review**, Amsterdam, v. 3, p. 417-427, 1972.

SAHA, A. K. Effect of postharvest treatment with growth regulators on the ripening and the chemical composition of guava (*Psidium guajava* L.) fruits. **Indian Journal of Horticulture**, Bangalo, v. 28, n. 1, p. 11-15, 1971.

SALUNKHE, D. K.; DESAI, B. B. **Post-harvest biotechnology of vegetables**. Boca Raton: CRC Press, 1984. v. 2, 147 p.

SCHREINER, M.; HUYSKENS-KEIL, S. Phytochemicals in fruit and vegetables: Health promotion and postharvest elicitors. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 25, n. 3, p. 267-278, 2006.

SHEWFELT, R. L. Stress physiology: a cellular approach to quality. In: SHEWFELT, R. L.; PRUSSIA, S. E. **Postharvest handling**: a systems approach. San Diego: Academic Press, 1993. cap. 12, p. 257-276.

SIMON, P. W. Plant pigments for color and nutrition. **HortScience**, Alexandria, v. 32, n. 1, p. 12-13, 1997.

SMITH, D. L. et al. Influence of cultivar and harvest method on postharvest storage quality of pepper (*Capsicum annuum* L.) fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 42, n. 3, p. 243-247, 2006.

SPALDING, D. H.; von WINDEGUTH, D. L. Quality and decay of irradiated mangoes. **HortScience**, Alexandria, v. 23, n. 1, p. 187-189, 1988.

STRYDOM, G. J.; WHITEHEAD, C. S. The effect of ionizing radiation on ethylene sensitivity and postharvest ripening of banana fruit. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 41, n. 4, p. 293-304, 1990.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

THOMAS, P. Irradiation of fruits and vegetables In: MOLINS, R. A. **Food irradiation:** principles and applications. New York: Wiley & Sons, 2001. cap. 8, p. 213-240.

THOMAS, P. Radiation preservation of foods of plant origin. Part V. Temperate fruits: pome fruits, stone fruits, and berries. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 24, n. 4, p. 357-400, 1986.

THOMAS, P.; BHUSHAN, B.; JOSHI, M. R. Comparasion of the effect of gamma irradiation, heat-treatment combination and sulphur dioxide generating pads on decy and quality of grapes. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 32, n. 6, p. 477-481, 1995.

THOMAS, P.; DHARKAR, S. D.; SCREENIVASAN, A. Effect of gamma irradiation on the postharvest physiology of five banana varieties grown in India. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 36, p. 243-247, 1971.

THOMAS, P.; JANAVE, M. T. Polyphenoloxidase activity and browning of mango fruits induced by gamma irradiation. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 38, n. 7, p. 1149-1152, 1973.

URBAIN, W. M. **Food irradiation**. Orlando: Academic Press, 1986. 351 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. **Nutrient database for standard reference**. Washington, DC, 2001. Disponível em: www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp. Acesso em: 26 jul. 2005.

VASQUEZ-OCHOA, R. J.; COLINAS-LEON, M. T. Changes in guavas of three maturity stages in response to temperture and relative humidy. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n. 1, p. 86-87, 1990.

VOISINE, R.; VEZINA, L. P.; WILLEMOT, C. Modification of phospholipid catabolism in microsomal membranes of gamma-irradiated cauliflower (Brassica oleracea L.). **Plant Physiology**, Rockville, v. 102, n. 1, p. 213-218, 1993.

WILLS, R. H. H. et al. **Postharvest** - an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Kensington: New South Wales University Press, 1981. 161 p.

WILLS, R. B. H.; MULHOLLAND, E. E.; BROWN, B. I. Storage of two new cultivars of guava fruit for processing. **Tropical Agriculture,** Trindad, v. 60, n. 3, p. 175-178, 1983.

WONG, D. W. S. **Química de los alimentos**: mecanismos y teoria. Zaragoza: Editorial Acribia, 1995. p. 165-215.

XISTO, A. L. R. P. et al. Textura de goiabas "Pedro Sato" submetidas à aplicação de cloreto de cálcio **Ciência e Agrotecnologia,** v. 28, n. 1, ,p. 113-118, 2004.

YANG, S. F. Biosynthesis and action of ethylene **HortScience**, Alexandria, v. 20, n. 1, p. 41-45, 1985.

YU, L. et al. Quality of electron beam irradiated strawberries. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 5, p. 1084-1087, 1995.

ZHAO, M.; MOY, J.; PAULL, R. E. Effect of gamma-irradiation on ripening papaya pectin. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 8, n. 3, p. 209-222, 1996.

APÊNDICE 1

Nome: Data:

Neste teste sensorial será avaliada a aparência das goiabas. Para cada uma das bandejas de goiaba, assinale a preferência de acordo com a escala. Por favor, deixe os seus comentários.

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei pouco
5. Indiferente
4. Não gostei um pouco
3. Não gostei moderadamente
2. Não gostei muito
1. Não gostei muitíssimo

Coloque o número das bandejas na primeira coluna e as notas para aparência na segunda coluna.

Bandeja	Aceitabilidade
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentários:

_____

_____

Figura 1. Ficha de avaliação para análise visual de goiabas.

Nome: Data:

Neste teste sensorial serão avaliados os seguintes atributos: aceitabilidade, doçura e firmeza das goiabas. Anote o número da amostra de goiaba. Para cada amostra e para cada atributo, assinale a preferência de acordo com a escala. Por favor, deixe os seus comentários.

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei pouco
5. Indiferente
4. Não gostei um pouco
3. Não gostei moderadamente
2. Não gostei muito
1. Não gostei muitíssimo

Coloque o número das amostras na primeira coluna e as notas dos atributos nas demais colunas.

Amostras	Aceitabilidade	Doçura	Firmeza
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Comentários:

_____

_____

Figura 2. Ficha de avaliação para análise organoléptica de goiabas.