

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

ANA CAROLINA LEME CASTELUCCI

**Avaliação da estabilidade dos compostos bioativos de polpas de frutas
nativas submetidas ao processo de irradiação**

Piracicaba

2015

ANA CAROLINA LEME CASTELUCCI

**Avaliação da estabilidade dos compostos bioativos de polpas de frutas
nativas submetidas ao processo de irradiação**

Versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

**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 e no Ambiente**

**Orientadora: Profa. Dra. Marta Helena Fillet
Spoto**

Piracicaba

2015

AUTORIZO A 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

Castelucci, Ana Carolina Leme

Avaliação da estabilidade dos compostos bioativos de polpas de frutas nativas submetidas ao processo de irradiação / Ana Carolina Leme Castelucci; orientadora Maria Helena Fillet Spoto. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2015.

133 p. : il.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Compostos fenólicos 2. Cromatografia líquida de alta eficiência 3. Irradiação de alimentos 4. Myrtaceae – Mata Atlântica 5. Radiação gama I.
Título

CDU 664.8.039.5 : 54-78

DEDICO

Aos meus pais, José Américo e Azize, por todo amor e dedicação e por estarem sempre ao meu lado, me mostrando que tudo é possível. Vocês são meus grandes incentivadores e exemplos.

Dedico igualmente ao meu esposo, Ricardo, por seu imenso amor, apoio e paciência e por estar sempre ao meu lado. Você é minha fortaleza e torna cada momento único e especial.

Ao meu querido e amado filho, Rafael, por permitir que através de sua existência, me torne uma pessoa melhor a cada dia. Com certeza, aprender a ser mãe foi e é o maior desafio e o melhor aprendizado que eu pude ter nestes anos.

A minha querida orientadora, Prof^a. Marta, que sempre me acolheu com muito carinho. Exemplo de pessoa, de profissional e de ser humano, que me permitiu mais esta conquista.

AGRADECIMENTOS

À Deus, presença constante na minha vida, agradeço pelo dom da vida e por sua infinita bondade, colocando em meu caminho, pessoas tão especiais.

Aos meus irmãos Rodrigo e Fábio e minhas cunhadas Vanessa e Flávia, que são meus exemplos e grandes incentivadores.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Marta Helena Fillet Spoto pela ajuda, compreensão, apoio e imensa sabedoria. Por tornar o laboratório de Frutas e Hortaliças um ambiente acolhedor, saudável e prazeroso para se trabalhar.

Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura e no Ambiente - CENA, Universidade de São Paulo, pela oportunidade.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela bolsa de estudo.

Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN - São Paulo/SP), principalmente aos técnicos responsáveis, Paulo Santos e Pablo Vasquez, pela realização da irradiação das amostras.

Ao Professor Daniel Rodrigues Cardoso e ao pós-graduando Leandro Arrivetti do Instituto de Química da USP - São Carlos, pelo auxílio na execução da análise do perfil dos compostos fenólicos das polpas de frutas.

Ao Douglas e Cíntia, do "Sítio do Bello", pela colaboração na obtenção das amostras das frutas nativas.

Aos professores e funcionários do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição da ESALQ/USP.

Aos funcionários da seção de Pós Graduação do CENA/USP, Fabio Antônio de Souza Oliveira, Daiane Vieira, Neuda Fernandes de Oliveira e Sônia Aparecida Barros de Campos, agradeço pela ajuda neste trabalho, sempre com muita simpatia e dedicação.

Ao Grupo de Estudos em Frutas e Hortaliças (GEFH), agradeço à amizade, auxílio e companheirismo que obtive por parte dos membros, Samuel Zanatta, Angela Correa, Igor Silva, Jacqueline de Oliveira, Giovanna Dellaqua, Bruna Carneiro, Vanessa Groppo, Ana Loro, Ana Caroline Budin, Fernanda Francetto Juliano, Rafaela Zillo, Anaíle Biazotto, Pedro Borghesi, Cíntia Sabbadotto, Thaís Bertolotti, Vitória Sartori, Carol Sales, Juliana Prando, Maria Helena Costa, Edinéia Mooz, Guilherme Mei Silva.

À querida amiga e companheira Paula Porrelli Moreira da Silva, uma pessoa especial, que não mede esforços para ajudar a quem precisa. Nunca me esquecerei das nossas conversas e trocas de ideias e por sempre poder contar com seu auxílio e apoio em momentos de dúvidas durante a execução dos experimentos. Muito obrigada!!

À querida amiga Vanessa Groppo Ortiz, companheira de todas as horas, agradeço pela amizade, generosidade e carinho e por toda ajuda.

As minhas queridas amigas e estagiárias Ana Caroline Budin e Fernanda Francetto Juliano, que se dedicaram de forma exemplar em todos os momentos da execução deste trabalho. Jamais vou esquecer o que vocês fizeram por mim. Agradeço também por se tornarem minhas amigas e companheiras.

Ao José Guilherme Martin, técnico do Laboratório de Frutas e Hortaliças, por todo auxílio e disponibilidade e também pela amizade.

Agradeço a todos que contribuíram de alguma maneira para realização deste trabalho.

O meu agradecimento transcende as palavras e alcança todo infinito.

MUITO OBRIGADA!!!

"Não há saber mais, nem saber menos. Há saberes diferentes".

(Paulo Freire)

*"As nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o bem que
poderíamos conquistar, se não fosse o medo de tentar"*

(William Shakespeare)

RESUMO

CASTELUCCI, A. C. L. **Avaliação da estabilidade dos compostos bioativos de polpas de frutas nativas submetidas ao processo de irradiação.** 2015. 133 p. Tese (Doutorado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

O Brasil é um dos principais produtores de frutas, porém esta produção está pautada em frutas na maioria das vezes exóticas. Existe uma diversidade de frutas nativas brasileiras ainda desconhecidas e pouco exploradas. Tendo em vista a grande importância da Myrtaceae no que diz respeito à conservação da Mata Atlântica; o potencial econômico e nutricional da produção de polpa de frutas nativas; e considerando que o processamento de alimentos pode exercer efeitos sobre o nível de nutrientes, particularmente no que tange ao teor de compostos bioativos e sua atividade antioxidante, este trabalho teve como objetivo gerar conhecimento sobre a composição e capacidade antioxidante das polpas de frutas, com o intuito de ampliar seu consumo, potencial de comercialização e agregar valor as mesmas, bem como, avaliar o efeito da radiação gama nas propriedades bioativas, durante o período de armazenamento refrigerado das polpas e, por fim, a identificação e quantificação dos compostos fenólicos. As polpas de uvaia (*Eugenia pyriformis* Camb.), cambuci (*Campomanesia phaea*), feijoa (*Acca sellowiana*), grumixama (*Eugenia brasiliensis*) e cereja do rio grande (*Eugenia involucrata*), foram divididas em 5 lotes, 4 deles foram submetidos ao tratamento de irradiação (0, 2, 4, e 6 kGy) e 1 lote a pasteurização (85°C/5min.). Os resultados demonstraram que as polpas possuem quantidades expressivas de compostos com atividade antioxidante, sendo que, a polpa de uvaia destacou-se pelos teores de ácido ascórbico, que variaram de 89,99 mg.100 g⁻¹ na pasteurizada a 64,74 mg.100 g⁻¹ a 6 kGy, e pelos carotenoides, que variaram de 24,7 µg.g⁻¹ no controle a 15,94 µg.g⁻¹ a 4 kGy. Na feijoa destacam-se os flavonoides no controle, 10,21 mg de ác. gálico.mL⁻¹, nas irradiadas com 2; 4 e 6 kGy, 9,75; 11,58 e 12,79 mg de ác. gálico.mL⁻¹, respectivamente, e na pasteurizada 12,64 mg de ác. gálico.mL⁻¹. As antocianinas foram encontradas em maiores quantidades nas polpas de grumixama (pasteurizadas, 106,01 mg eq. cianidina-3-glicosídeo.L⁻¹, irradiadas a 2, 4 e 6 kGy, 52,93; 32,36 e 48,64, respectivamente e no controle 59,75) e cereja do rio grande (pasteurizadas 136,33 mg eq. cianidina-3-glicosídeo.L⁻¹, controle 77,11 mg eq. cianidina-3-glicosídeo.L⁻¹ e nas irradiadas 74,91; 77,7 e 69,47 mg eq. cianidina-3-glicosídeo.L⁻¹, respectivamente a 2, 4 e 6 kGy). Na polpa de cambuci não foram encontrados teores de flavonoides e antocianinas e apresentaram valores relativamente baixos dos outros compostos estudados. O composto fenólico majoritariamente encontrado na polpa de uvaia foi o ácido gálico, na feijoa os ácidos elágico e quínico, no cambuci, o ácido quínico, na grumixama o ácido elágico e a quercetina e na cereja do rio grande o ácido quínico e a rutina. Apesar da radiação gama ser um eficiente método de conservação e poder ser utilizada sem prejuízo dos compostos bioativos, nas condições estudadas, as doses entre 2 e 6 kGy, não foram efetivas para evitar as perdas dos compostos bioativos de interesse, no período de armazenamento, apresentando resultados inferiores em relação à pasteurização quanto às antocianinas, compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante, medida por ABTS e DPPH.

Palavras-chave: Mata Atlântica. Myrtaceae. Radiação gama. Compostos fenólicos. UHPLC-MS.

ABSTRACT

CASTELUCCI, A. C. L. **Evaluation of the stability of bioactive compounds in native fruit pulp exposed to irradiation process.** 2015. 133 p. Tese (Doutorado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

Brazil is a major producer of exotic native fruits. There is a diversity of native fruits still unknown and slightly researched. Taking into consideration the great importance of Myrtaceae regarding the conservation of the Atlantic Forest; the economic and nutritive potential of the production of native fruit pulp; and considering that the food processing may affect the level of nutrients, particularly with regard to the bioactive compound content and its antioxidant activity, the purpose of this study is to generate knowledge on the composition and the antioxidant capability of Myrtaceae pulps. The study aims at enlarging the consumption of Myrtaceae pulps, their marketing potential and their value-added, as well as at evaluating the effect of gamma radiation on bioactive properties during the cold storage period of pulps, and finally, the identification and quantification of the phenolic compounds. The pulps of uvaia (*Eugenia pyriformis* Camb.), cambuci (*Campomanesia phaea*), feijoa (*Acca sellowiana*), grumixama (*Eugenia brasiliensis*) and cereja do rio grande (*Eugenia involucrata*) were divided into 5 batches, 4 of them were exposed to irradiation (0, 2, 4, e 6 kGy) and one batch pasteurization (85°C/5min.) treatments. The results showed that the pulps have an expressive quantity of compounds with antioxidant activity. Uvaia pulp stood out by the ascorbic acid contents, which decreased from 89,99 mg.100 g⁻¹ in pasteurization to 64,74 mg.100 g⁻¹ by 6 kGy, and by the carotenoids, which varied from 24,7 µg.g⁻¹ in the control sample to 15,94 µg.g⁻¹ by 4 kGy. Feijoa presented high levels of flavonoids in the control sample, 10,21 mg of gallic acid.mL⁻¹, in irradiation 2; 4 and 6 kGy, 9,75; 11,58 e 12,79 mg of gallic acid.mL⁻¹, respectively, and in pasteurization 12,64 mg of gallic acid.mL⁻¹. The anthocyanins were found in major quantities in the grumixama pulps (in pasteurization, 106,01 mg eq. cianidina-3-glicosideo.L⁻¹, irradiated by 2, 4 e 6 kGy, 52,93; 32,36 e 48,64, respectively and in the control sample 59,75) and cereja do rio grande (in pasteurization 136,33 mg equ. cianidina-3-glicosideo.L⁻¹, in the control sample 77,11 mg equ. cianidina-3-glicosideo.L⁻¹ and irradiated 74,91; 77,7 and 69,47 mg equ. cianidina-3-glicosideo.L⁻¹, respectively by 2, 4 e 6 kGy). Flavonoids and anthocyanins were not found in cambuci pulps. Also, there were low values of the others researched compounds in cambuci pulps. The phenolic compound majorly found in the uvaia pulp was the gallic acid, in the feijoa was the ellagic and quinic acids, in cambuci was the quinic acid, in the grumixama was the ellagic acid and quercetin, and in the cereja do rio grande was the quinic acid and the rutin. Although the gamma radiation revealed to be an efficient conservation method and may be used without prejudice of bioactive compounds, based on the conditions researched, the doses between 2 and 6 kGy were not effective to prevent losses of bioactive compounds of interest in the cold storage period, presenting lower results in relation to the pasteurization treatment as anthocyanins, total of phenolic compounds and the antioxidant activity measured by ABTS and DPPH.

Keywords: Atlantic Forest. Myrtaceae. Gamma radiation. Phenolic compounds. UHPLC-MS.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1 Mata Atlântica	17
2.2 Frutas nativas brasileiras	18
Uvaia (<i>Eugenia pyriformis</i> Camb.)	20
Cambuci (<i>Campomanesia phaea</i>)	21
Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>)	23
Grumixama (<i>Eugenia brasiliensis</i>)	24
Cereja do rio grande (<i>Eugenia involucrata</i>)	25
2.3 Processamento e estabilidade de polpas de frutas	26
2.4 Pasteurização	27
2.5 Irradiação	28
2.6 Efeito da radiação gama nos alimentos	32
2.7 Compostos bioativos e Capacidade antioxidante	35
2.7.1 Avaliação da capacidade antioxidante	41
3 MATERIAL E MÉTODOS	43
3.1 Matéria prima e processamento	43
3.2 Análises químicas das amostras	46
3.2.1 Preparo das amostras	46
3.2.2 Ácido ascórbico	46
3.2.3 Compostos fenólicos totais	47
3.2.4 Carotenoides	47
3.2.5 Flavonoides totais	48
3.2.6 Antocianinas	48
3.2.7 Atividade antioxidante	49
3.2.8 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos por UHPLC-MS	50
3.3 Análise estatística	51

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1 Ácido ascórbico.....	52
4.2 Compostos fenólicos	58
4.3 Carotenoides.....	65
4.4 Flavonoides	70
4.5 Antocianinas.....	75
4.6 Atividade antioxidante pelo método de sequestro do radical DPPH	79
4.7 Atividade antioxidante pelo método ABTS	84
4.8 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos	90
5 CONCLUSÃO	103
REFERÊNCIAS.....	104
ANEXO A.....	125
ANEXO B.....	126

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O bioma Mata Atlântica vem perdendo espécies constantemente devido ao processo de expansão das fronteiras agrícolas, principalmente de monoculturas que são baseados em espécies exóticas. Porém existe uma abundante riqueza natural de frutas nativas, com sabores peculiares e atraentes para a industrialização, que são pouco conhecidas e negligenciadas. A ciência e a tecnologia dos alimentos se tornam, então, ferramentas fundamentais para estudar a potencialidade dos alimentos oriundos deste bioma, propiciando um manejo sustentável desse ecossistema, auxiliando na sua preservação e aumentando as alternativas de renda pela utilização dos recursos naturais.

Dentre as fruteiras nativas da Mata Atlântica, a família Myrtaceae destaca-se entre as famílias com grande potencial econômico a ser explorado. São encontradas desde o Amazonas até o Rio Grande do Sul, apresentando espécies que produzem frutos pequenos, como os já comercialmente conhecidos, goiaba (*Psidium guajava* L.), jabuticaba (*Plinia culiflora* (Mart.) O. Berg) e a pitanga (*Eugenia uniflora* L.). Essas espécies representam apenas uma pequena fração do grande potencial econômico desta família, tendo em vista o grande número de frutos comestíveis produzidos por espécies não comerciais. Algumas delas estão desaparecendo da natureza antes mesmo que se tenha conhecimento básico de sua biologia (KAWASAKI; LANDRUM, 1997).

Os frutos se caracterizam por serem perecíveis e possuírem vida pós-colheita muito curta, e também, devido à sazonalidade da produção e às perdas ocasionadas por condições climáticas, pela colheita e pela distância, é estimulada a produção industrial de polpas como forma de aproveitamento industrial desses frutos, além de ter um diferencial que é o de agregar valor ao produto. No entanto, a escassez de estudos disponíveis sobre a produção de polpa de frutas nativas e suas características, deixa uma lacuna quanto ao emprego de processos adequados de industrialização e à obtenção de polpa de boa qualidade. Um dos aspectos referentes à qualidade da polpa que é de suma importância é a preservação dos nutrientes, além de suas características microbiológicas, físico-químicas e sensoriais, que devem ser próximas da fruta *in natura*, de forma a atender as exigências do consumidor (BRASIL, 2000). Porém alterações de seu valor nutricional, do aroma e do sabor podem ocorrer durante o processamento e a estocagem da polpa, limitando sua vida útil e qualidade (CORRÊA NETO; FARIA, 1999; SHAW et al., 1993).

Tecnologias que minimizam perdas nutricionais e sensoriais, dos produtos, mantendo-os mais próximos do *in natura* e com vida de prateleira mais estável são estudadas, como por exemplo, o uso da irradiação para assegurar maior estabilidade da polpa. Esta técnica tem sido utilizada como um método alternativo de preservação, que tem como vantagens não deixar resíduos no alimento, não prejudicar o meio ambiente e reduzir a incidência de doenças associadas com patógenos dos alimentos (CAROCHO et al., 2012). Quando devidamente controlada, não altera fisicamente a aparência, a forma ou a temperatura dos produtos, provocando alterações químicas insignificantes em alimentos (VERRUMA-BERNARDI; SPOTO, 2003).

Desta forma, tendo em vista a grande importância da Myrtaceae no que diz respeito à conservação da Mata Atlântica, o potencial econômico e nutricional da produção de polpa de frutas nativas e considerando que o processamento de alimentos possa exercer efeitos sobre o nível de nutrientes, particularmente no que tange ao teor de compostos antioxidantes, este trabalho teve como objetivo:

- ✓ Identificar as fontes potenciais de compostos bioativos através da determinação dos teores de ácido ascórbico, compostos fenólicos, carotenoides, flavonoides, antocianinas e atividades antioxidante total (métodos DPPH e ABTS) de cinco polpas de frutas nativas brasileiras;
- ✓ Avaliar o efeito da radiação gama nas propriedades bioativas das polpas de frutas nativas brasileiras, armazenadas sob-refrigeração (5°C) por um período de 42 dias;
- ✓ Identificar e quantificar os compostos fenólicos por cromatografia, presentes nas polpas de frutas irradiadas, não irradiadas e pasteurizadas.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Mata Atlântica

Estima-se que possam existir mais de 50 mil plantas alimentícias no mundo, e pelo menos 10 mil estão no Brasil, e destas cerca de 3 mil espécies de frutas ocorram em nosso País. Porém, a falta de conhecimento e divulgação de sua existência faz com que a oferta das mesmas seja reduzida, privando a população de alternativas de alimentos, ficando restrito a poucas espécies, consideradas “mais produtivas”, geralmente exóticas.

A Mata Atlântica é um dos biomas que está entre os 25 *hotspots* mundiais de biodiversidade (MYERS et al., 2000). Originalmente, o domínio da Mata Atlântica compreendia um contínuo ao longo da costa brasileira, penetrando até o leste do Paraguai e nordeste da Argentina que abrangia mais de 1,5 milhão de km² com 92% dessa área localizando-se no Brasil, cobrindo 15% do território nacional. Porém, devido ao acelerado processo de devastação provocado pela intensa atividade agropastoril, industrial e urbana, a Mata Atlântica foi praticamente dizimada ao longo dos séculos, restando entre 5 e 8% da cobertura original (GALINDO-LEAL; CÂMARA, 2003; INPE, 2014).

Boa parte dos remanescentes da Mata Atlântica está situada no estado de São Paulo e, em razão de algumas localidades apresentarem relevo e solos propícios para agricultura, essa região tem expandido sua fronteira agrícola e causado sérios problemas para a flora local (IVANAUSKAS et al., 2001). Além disso, a Mata Atlântica oferece outras possibilidades de atividades econômicas, que não implicam na destruição do meio ambiente e, em alguns casos, podem gerar renda para comunidades locais e tradicionais. Alguns exemplos são o uso de plantas para se produzir remédios, matérias-primas para a produção de vestimentas, corantes, essências de perfumes, assim como insumos para a indústria alimentícia, ou ainda a exploração de árvores, por meio do corte seletivo, para a produção de móveis certificados (manejo sustentável), o ecoturismo e mais recentemente o mercado de carbono (IBF, 2009).

O abundante número de frutos nativos encontrados neste ecossistema ameaçado, que são consumidos tipicamente em pequena escala, pela população local, podem e devem ser identificados, estudados e utilizados, viabilizando assim a melhoria da qualidade de vida da população local, através do cultivo e comercialização dos mesmos. Dentre as fruteiras nativas da Mata Atlântica, a família Myrtaceae destaca-se entre as famílias com grande potencial econômico a ser explorado.

2.2 Frutas nativas brasileiras

O incentivo à produção de frutas nativas, além de ser uma alternativa para aumentar a variabilidade de nutrientes na dieta alimentar, também propicia o maior conhecimento do uso de espécies nativas, que é importante, pois ainda há inúmeras espécies pouco exploradas economicamente (ROCKENBACH et al., 2008) e que são visadas por empresas e outras instituições estrangeiras, que buscam avidamente o patenteamento dos recursos vegetais brasileiros e de seus subprodutos (BRACK et al., 2007).

Há boas perspectivas de comercialização de frutas nativas, principalmente em nichos de mercado ávidos por novidades. Apesar disso, a obtenção e a difusão de informações, que permitam o cultivo destas espécies em escala comercial, possibilitando a oferta do produto, é uma das necessidades. Estratégias de marketing, destacando aspectos diferenciados, como, por exemplo, aroma e sabor diferenciados e propriedades funcionais, também são importantes para que estas frutíferas sejam introduzidas nos sistemas de produção (FRAZON; RASEIRA; CORRÊA, 2004, FRAZON; SILVA, 2010).

O sistema agroindustrial de frutas, que envolve os segmentos de frutas frescas, frutas secas, frutas congeladas, bem como seus subprodutos (polpas, sucos, geleias) é um dos mais importantes do Brasil, que é considerado um dos três maiores produtores de frutas do mundo, perdendo apenas para China e Índia. A movimentação financeira na cadeia de frutas chegou na casa dos 5,8 bilhões de dólares anualmente com frutas frescas, atingindo um patamar de 12,2 bilhões de dólares (incluindo castanhas, nozes e produtos processados) (IBRAF, 2010). Em 2013, 43,6 milhões de toneladas de frutas foram produzidas, sendo que a indústria de processados consome 53%, deste total, ou seja, 23,8 milhões de toneladas. Desse volume, que a indústria de processados consome, 24% se destina para o mercado interno, e 29% para o mercado internacional, em números isso corresponde a 5,7 milhões de toneladas para o comércio interno, e cerca de 7 milhões de toneladas para o comércio exterior (IBRAF, 2013).

A produção brasileira de frutas frescas teve um aumento de produção de 30% no período de 14 anos, o que demonstra a evolução e importância econômica desta atividade (IBRAF, 2013). Além disso, 2,8% dos brasileiros trabalham na fruticultura, setor que oferece cinco milhões de postos de trabalho, tendo grande importância socioeconômica como gerador de renda e empregador (IBRAF, 2010). Apesar disso, a flora nativa pouco ou quase nada tem contribuído para este quadro positivo, constatado pelo sua pequena participação no setor

econômico e a falta de plantios organizados que tendem ao seu desaparecimento devido sua exploração não sustentável (SILVA JUNIOR; BEZERRA; LEDERMAN, 1999).

A inserção de várias espécies nativas no mercado lucrativo já existe, sendo o de cosmético o que mais as utiliza. Elas servem para indústria de fabricação de ingredientes, de extratos e óleos vegetais, e são muito requeridas e exploradas pelas propriedades antioxidantes que tem para a fabricação de cosméticos em geral (BRANDÃO; GONÇALVES, 2006).

Já no setor alimentício o Brasil tem mais dificuldades em agregar valor aos produtos nativos, e poucos produtos conseguem se destacar neste setor, como é o caso do açaí, cujo consumo, a partir da década de 90, começou a ser divulgado e estimulado em várias regiões do país, e não só no norte onde era preferencialmente produzido e consumido e também é exportado para diversos países como, Estados Unidos, Alemanha, Austrália, Rússia e Japão.

Outra questão a se levantar em relação às frutas nativas é o risco da exploração e utilização dos recursos brasileiros por outros países. Como exemplo, o que aconteceu com a feijoa ou goiaba serrana (*Acca sellowiana*) que, apesar de ser originária do Brasil a maioria dos brasileiros desconhecem a espécie, e ela percorreu o mundo, sendo hoje explorada comercialmente em países como a Nova Zelândia, Estados Unidos e Colômbia, que possuem densos programas de melhoramento genético para a espécie e expressiva área cultivada. A Nova Zelândia é o país com a maior área plantada e registrou 217 ha em 2002 (CARDOSO, 2009). Nestes países pode ser encontrada *in natura* ou processada em estabelecimentos comerciais, e já existem mais de 20 produtos que a utiliza como matéria prima, entre eles estão, doces, geleias, biscoitos, óleo e até espumantes (SILVA, 2012). Existem ainda algumas patentes da utilização comercial de seu extrato para formulação de suplementos dietéticos que aliviam a dor em processos inflamatórios, pois possuem inibidores naturais da ciclo-oxigenase (Estados Unidos) e o uso do extrato como antioxidante e para suprimir a absorção de colesterol (Japão).

Frente a esta questão que preocupa o Ministério do Meio Ambiente, o mesmo tem um projeto chamado “Plantas do Futuro”, que visa divulgar junto aos produtores, a indústria e pesquisadores, o potencial econômico dessas espécies, com intenção de fomentar sua utilização e comercialização dentro do país.

Portanto, o Brasil tem importante papel no processo de conservação dos seus recursos, que, além de serem peças chaves para geração de trabalho e renda para o setor produtivo nacional, são frutas nativas brasileiras que vem sendo cultivadas comercialmente no exterior. É preciso ainda de investimento, tanto para o desenvolvimento da parte agrônômica que

envolve a produção, pois é preciso que elas atendam a demanda industrial que necessita do produto em quantidade e com qualidade, quanto na vida pós colheita e processamento das mesmas.

Devido à importância da crescente comercialização e consumo de frutas nativas, tanto no mercado brasileiro como internacional, e principalmente à sua constante indicação como fonte de antioxidantes, objetiva-se neste trabalho estudar alguns frutos com potencial para serem econômica e sustentavelmente explorados, destacando-se a uvaia, cambuci, feijoa, grumixama e cereja do rio grande:

Uvaia (*Eugenia pyriformis* Camb.)

A uvaia, no passado encontrada nos quintais dos casarões da capital paulista e na própria Avenida Paulista, em São Paulo, é popularmente denominada uvaieira, uvalha e uvalheira. É uma espécie arbórea de 6 a 13 metros de altura e nativa da região Sul do país. Possui frutos arredondados com diâmetro variando de 2 a 4 cm, contendo de uma a duas sementes e iniciam sua maturação em setembro, prolongando-se até janeiro (SILVA, 2012) (Figura 1).



(a)



(b)

Figura 1 – Frutos de uvaia (*Eugenia pyriformis* Camb.) (a) e (b)

Fonte: (a): www.clikmudas.com.br; (b): autor

Com polpa muito delicada, casca fina, de um amarelo-ouro ligeiramente aveludado, assemelha-se, em textura, à pele de pêssgo. O aroma desta fruta, quando madura, é intenso e extremamente agradável, seu sabor é característico e marcante, podendo ser consumida na forma *in natura*, de suco, geleia, polpa, iogurte, molhos, vinagres, vinhos, doces de massa, compotas, sorvetes e licores (KROLOW, 2009).

Segundo Krolow (2009), um dos principais problemas da uvaia é sua conservação pós-colheita, já que é uma fruta muito sensível ao toque, sendo uns dos motivos por não haver cultivo em larga escala comercial no Brasil. De polpa muito delicada, tem facilidade de ser amassada, oxidada e ressecada, e por consequência, não é encontrada em supermercados (SILVA, 2012).

A uvaia apresenta grande potencial para ser comercializada, despertando grande interesse mundialmente, principalmente por suas características nutricionais, fitoterápicas e seu sabor exótico (MATTOS, 2013).

Karwowski et al. (2013) afirmam que frutos como a uvaia apresentam compostos bioativos, tais como flavonoides, compostos fenólicos e taninos.

A uvaia apresenta umidade em torno de 90,7%; 1,53% de acidez, sólidos solúveis de 7,5°Brix e relação Sólidos solúveis (SS)/Acidez Titulável Total (ATT) de 4,90 (DONADIO, 1997). Estela et al. (2008), encontraram 29,46 a 40,15 mg.100 g⁻¹ de vitamina C conforme o estágio de maturação do fruto, já em suco feita da uvaia foram observados 48 mg.100 g⁻¹ (QUINÁIA; FERREIRA, 2007).

Haminiuk et al. (2011), encontraram na uvaia, 0,37mg.g⁻¹ de compostos fenólicos, 58,72mg.100 g⁻¹ de flavonoides e 4,77mg.100 g⁻¹ de antocianinas. Já Egea (2014), descreveu valores de carotenoides de 176,76 mg.100 g⁻¹, de flavonoides de 11,18 mg.100 g⁻¹ e 23,76 mg.100 g⁻¹ de antocianinas.

Cambuci (*Campomanesia phaea*)

A árvore do cambuci, tem altura de aproximadamente 3-5 metros, já foi considerada o símbolo de São Paulo, pois no começo do século XX havia na região matas de cambuci, o que fez com que um bairro da cidade viesse a ter o nome do fruto (SILVA, 2012).

Os frutos do cambuci tem desenho único, que lembra o de um disco voador, medindo geralmente, de 5 a 6 cm de diâmetro longitudinal, e de 3 a 4,5 cm de diâmetro transversal; são

carneiros e suculentos apresentam coloração de verde a verde-amarelada mesmo quando maduros (Figura 2). Tem pH ácido e alto rendimento em polpa, características adequadas para o aproveitamento tecnológico e são utilizados numa infinidade de preparações, que vão desde polpa e sucos até sua utilização na alta gastronomia (SILVA, 2012).



(a)



(b)

Figura 2 – Frutos do cambuci (*Campomanesia phaea*) (a) e (b)

Fonte: (a): www.cemaromanowsky.mercadoshops.com.br; (b): www.agron.com.br

Vallilo et al. (2005), observaram que os teores de ácido ascórbico do cambuci ($33,37 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$), superam os de outras espécies da mesma família (jambo, jaboticaba e pitanga). Segundo o autor o valor encontrado é considerado razoável, visto que a legislação brasileira (BRASIL, 1998) recomenda a ingestão diária de 60 mg por dia, para adultos, tornando essa fruta uma fonte alternativa natural desse ácido.

Abe, Lajolo e Genovese (2012), encontraram em cambuci teores de fenólicos de $7,00 \text{ g. kg}^{-1}$ de fruta. Haminiuk et al. (2011) encontraram $107,69 \text{ mg. g}^{-1}$ de compostos fenólicos totais, $30,16 \text{ mg. } 100 \text{ g}^{-1}$ de flavonoides e $19,44 \text{ mg. } 100 \text{ g}^{-1}$ de antocianinas.

Alguns estudos apontam para os benefícios do cambuci para a saúde, como em Gonçalves (2008), que indicam a polpa de cambuci como auxiliar no tratamento da Diabetes mellitus do tipo 2, pois apresenta atividade inibitória da α -amilase e α -glicosidase, que são enzimas ligadas à estratégia de tratamento desta doença.

Feijoa (*Acca sellowiana*)

Cultivada em muitos países do mundo, *Acca sellowiana* é nativa do sul do Brasil e Uruguai, havendo um primeiro registro de ocorrência natural na Argentina, sul da província de Missões, bacia dos Rios Paraná e Paraguai (KELLER; TRESSENS, 2007). No Sul do Brasil, a espécie mostra-se adaptada a condições de clima frio, ocorrendo com maior frequência em áreas com altitudes superiores a 800 m (AMARANTE; SANTOS, 2011).

Seus frutos são ovais e podem apresentar mais de 100 pequenas sementes (Figura 3).



(a)



(b)

Figura 3- Frutos de feijoa (*Acca sellowiana*) (a) e (b)

Fonte: (a): Bordignon, 2014 (www.ufrgs.br); (b): <http://www.milkwood.net>

Produz frutificação apreciada pela fauna e pela população humana para consumo *in natura*, bem como para produção de doces, sucos, sorvetes, bebidas e geleias. Suas pétalas adocicadas são também consumidas pelas aves que, neste caso, também ajudam na polinização (MATTOS, 1990; THORP; BIELESKI, 2002). Nas áreas de ocorrência natural, os frutos são muito apreciados e consumidos (AMARANTE; SANTOS, 2011) e estudos de mercado desenvolvidos em Florianópolis e Blumenau, dois centros comerciais do estado de Santa Catarina, demonstraram a existência de mercado promissor para a venda do fruto *in natura* (BARNI et al., 2004). Os frutos, que são similares ao da goiabeira comum (*Psidium guajava* L.), apresentam casca verde e não comestível de aroma penetrante, e polpa com alta qualidade organoléptica, com sabor doce-acidulado e um excelente aroma (WESTON, 2010).

Ele é classificado como pseudofruto do tipo pomo, é uma baga com formato oblongo, polpa de cor gelo, e casca que pode ser lisa, semi-rugosa ou rugosa, podendo apresentar

diâmetro de 3-5 cm, comprimento de 4-10 cm, peso de 20-250 g e rendimento de polpa de 15-50% (AMARANTE; SANTOS, 2011; DEGENHARDT et al., 2003; MATTOS, 1990).

A goiaba-serrana contém 25-30 mg de vitamina C/100 g (DEGENHARDT et al., 2003; HOFFMANN et al., 1994) e apresenta atividade antibactericida, antioxidante e antialérgica, além de flavonoides, que promovem a atividade imunológica, e auxilia no controle de processos inflamatórios (WESTON, 2010; VUOTTO et al., 2000; BASILE et al., 1997).

Haminiuk et al. (2011) encontraram na feijoa $1,83\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de compostos fenólicos, $77,97\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de flavonoides e $70,24\text{mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$ de antocianinas.

Grumixama (*Eugenia brasiliensis*)

A grumixama já foi muito comum nas regiões de Mata Atlântica desde Santa Catarina até a Bahia, porém por ser de difícil regeneração natural na floresta hoje é mais encontrada em pomares domésticos e em espaços públicos (SILVA, 2012).

Apresenta frutos arredondados e com tamanho em torno de 2 cm e quando maduros podem apresentar as cores amarelo ou vermelha (SILVA, 2012) (Figura 4).



(a)



(b)

Figura 4 – Frutos de grumixama (*Eugenia brasiliensis*) (a) e (b)

Fonte: (a): www.arvoresdesaopaulo.wordpress.com; (b): autor

Por possuir um sabor doce acidulado muito apreciado, pode ser utilizada na preparação de diversos produtos (DONADIO; MÔRO; SERVIDONE, 2004), como, tortas, licores, geleias, sucos, etc. (MUNIZ, 2008). A grumixama deve ser consumida com a casca, porém seu amargor e adstringência tendem a aumentar quando esta se encontra presente (LOVE; BOWEN; FLEMING, 2007). Tradicionalmente, os frutos, as folhas e a casca das árvores são usados no tratamento para reumatismo, distúrbios gastrointestinais e como diuréticos (FISCHER; KATO; KONISHI, 2003).

Foram encontrados 25,98 mg eq. ácido gálico.g⁻¹ de compostos fenólicos, 14,87 mg.100 g⁻¹ de flavonoides e 266,34 mg.100 g⁻¹ de antocianinas (base úmida) em frutos de grumixama (HAMINIUK et al., 2011).

Cereja do rio grande (*Eugenia involucrata*)

Acredita-se que a *Eugenia involucrata*, seja nativa do Rio Grande do Sul, pois foi encontrado um exemplar da espécie com mais de 100 anos de idade, porém ela ocorre desde o Sul do Brasil até Minas Gerais (DONADIO; MÔRO; SERVIDONE, 2004; SILVA, 2012). Também recebe os nomes populares de cerejeira, cerejeira-do-mato, cerejeira-da-terra, cereja-do-rio-grande, cereja-preta, entre outros (LORENZI, 2002).

No Brasil, é cultivada inexpressivamente em pomares nas regiões Sul e Sudeste do país (LORENZI et al., 2006; SOUZA; LORENZI, 2008), há alguns países onde a sua produção é significativa, sendo que a espécie foi denominada erroneamente de *Eugenia aggregata* (SHARPE; SHERMAN; BENDER, 1996; LORENZI et al., 2006).

É encontrada na mata com altura entre 10 a 15 m, podendo chegar até 20m. O crescimento é simpodial, a copa é arredondada, tronco ereto e mais ou menos cilíndrica com 30 a 40 cm de diâmetro (BACKES; IRGANG, 2002; CARVALHO, 2008) (Figura 5).



(a)



(b)

Figura 5 – Frutos de cereja do rio grande (*Eugenia involucrata*) (a) e (b)

Fonte: (a): <http://ibflorestas.org.br>; (b): autor

Os frutos são classificados como drupa piriforme, glabra e brilhante, de tamanhos variáveis, baciformes, elípticos coroados por um cálice persistente de sépalas endireitadas. Estes têm um amadurecimento rápido, assumindo uma cor vermelha-roxeada quando começa a maturação, chegando a vinácea-escuro a negra. Seus frutos maduros são oblongos, medindo 1,5 - 2 cm de comprimento, de coloração brilhante negro-vináceo (SILVA, 2012).

Os frutos são comestíveis e muito saborosos, tem sabor que lembra a cereja, acidulado, doce e saboroso, com polpa viscosa e pegajosa. Apresentam, em 100g de polpa, 20mg de vitamina C (SILVA, 2012) e podem ser aproveitados para a produção de doces, geleias, licores ou consumo natural (SANCHOTENE, 1989; BACKES; IRGANG, 2002; LORENZI et al., 2006; LORENZI, 2008). Apesar da sua potencialidade para diversos usos, a *Eugenia involucrata*, possui poucas informações quando à sua dinâmica e silvicultura (PIÑA-RODRIGUES et al., 2007).

2.3 Processamento e estabilidade de polpas de frutas

Em todo o mundo se observa um aumento expressivo no consumo de frutas tropicais por suas propriedades e funcionalidades. Estes frutos contêm nutrientes essenciais, micronutrientes, como minerais, fibras e vitaminas e, também, diversos compostos secundários (polifenóis), benéficos à saúde humana (HARBONE; WILLIANS, 2002).

O Brasil é classificado como um grande produtor de frutas tropicais, no entanto, a perecibilidade dos frutos restringe o seu comércio. Portanto, tecnologias de processamento são necessárias para aumentar a vida útil e reduzir as perdas pós-colheita. Processar esses frutos, para fazer polpa resfriada seria uma possível opção para aumentar sua vida útil, sendo prático e bem aceito pelos mercados nacional e internacional. Além disso, mantém as características sensoriais dos frutos, especialmente seu sabor exótico, bem como os seus benefícios para a saúde humana, como seus compostos bioativos (KARWOWSKI et al., 2013).

O crescimento da indústria de frutas tem se caracterizado, em grande parte, pela produção de polpa de frutas congeladas, que surge como uma alternativa viável para a oferta de frutas nos períodos de safra e entressafra e aproveitar os excessos de produção. Além disso, a produção de polpa viabiliza um incremento na valorização do produto, pois a polpa pode ser vendida por preço até quatro vezes maior que o valor da fruta *in natura*, significando um aumento no lucro do produtor (GLOBO RURAL, 2014). A produção de polpa ainda tem como objetivos a obtenção de produtos com características sensoriais e nutricionais próximas da fruta *in natura*, a segurança microbiológica e a qualidade, visando não apenas atender aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira, como também às exigências do consumidor (AMARO; BONILHA; MONTEIRO, 2002).

A legislação brasileira do Ministério da Agricultura define polpa de fruta como produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido pelo esmagamento de frutos polposos, através de processo tecnológico adequado, com teor mínimo de sólidos totais provenientes da parte comestível do fruto, específico para cada um (BRASIL, 2000).

A maioria dos alimentos é conservada pela utilização de métodos combinados. Em sucos e polpas de frutas, em geral, são associados, o tratamento térmico (inativação enzimática e pasteurização) aliado a baixas temperaturas (refrigeração e congelamento), visando conservar e prolongar seu tempo de comercialização.

2.4 Pasteurização

A aplicação de calor ainda é o método mais comum para o processamento de alimentos, devido à sua capacidade em inativar microrganismos e enzimas de deterioração (PEREIRA; VICENTE, 2010). Para tanto, o binômio tempo/temperatura utilizado deve reduzir a carga microbiana e inativar enzimas do escurecimento, preservando as

características físicas, químicas, nutricionais e sensoriais originais da fruta (LADO; YOUSEF, 2002; OETTERER; D'ARCE; SPOTO, 2010).

A pasteurização não esteriliza o alimento, portanto outras tecnologias de preservação como a fermentação, refrigeração, manutenção de condições anaeróbicas, ou diminuição da atividade da água são requeridas para a preservação do produto. Já, alimentos com elevada acidez ($\text{pH} < 4,5$) podem ser conservados em temperatura ambiente após a pasteurização, porque o ambiente ácido não é favorável ao crescimento de microrganismos deteriorantes ou prejudiciais que resistiram a temperaturas elevadas (SILVA; GIBBS, 2004).

Embora a pasteurização estabilize o produto, sua qualidade final pode ser afetada, pelas perdas de compostos de aroma e sabor característicos da fruta *in natura*. A temperatura elevada contribui para degradação da cor, escurecimento não enzimático e perdas de vitaminas (COSTA et al., 2003; MONTEIRO, 2006).

Huber e Rodriguez-Amaya (2008), estudando o efeito do processamento sobre os teores de flavonoides encontrados em frutas frescas e nos seus produtos processados (acerola, caju e pitanga), observaram conteúdos consideravelmente menores de flavonoides em produtos processados do que nas frutas frescas, especialmente nos derivados de caju. Analisando-se as polpas congeladas, a polpa de caju apresentou três a seis vezes menos miricetina e três a oito vezes menos quercetina que a fruta fresca. Segundo os autores, um dos fatores da diminuição desses flavonóis poderia ter sido causado pelo aquecimento.

Freire et al. (2009), estudando polpa de cupuaçu congelada observaram teor reduzido de ácido ascórbico. Os autores sugerem que a perda deste nutriente pode ser atribuída ao tratamento térmico sofrido pela polpa e, fundamentalmente, aos processos oxidativos ocorridos durante as operações que antecedem à pasteurização.

Amaro, Bonilha e Monteiro (2002), estudando os efeitos do tratamento térmico nos conteúdos de vitamina C de polpa de maracujá, observaram que a polpa pasteurizada de 69 a 72°C por 30 segundos, apresentou perda de 5% no conteúdo de vitamina C quando comparada ao teor da polpa fresca.

2.5 Irradiação

O aumento na demanda por alimentos naturais ou frescos fez com que novas formas de conservação fossem estudadas, visando minimizar suas perdas qualitativas, mantendo-os mais próximos do *in natura* e com uma vida de prateleira mais estável. Dessa forma, torna-se

necessária a modificação do processo de beneficiamento, através da adoção de tecnologias, que garantam as características nutricionais e sensoriais do produto (MONTEIRO, 2006).

A irradiação vem sendo estudada como uma das tecnologias alternativas não térmicas que têm a capacidade de inativar microrganismos à temperatura ambiente, evitando os efeitos deletérios que o calor tem sobre o valor nutricional dos alimentos. E tem se mostrado também como uma alternativa economicamente viável para a utilização em alimentos, por isso tem despertado a atenção crescente nos últimos anos. Acredita-se que, com o passar do tempo, o aumento de informações e dados de pesquisa disponíveis irá aumentar a utilização, comercialização e aceitação de produtos tratados por esta tecnologia (ITO, 2015).

O termo radiação se refere à energia radiante que se move através do espaço na forma de ondas eletromagnéticas, ou seja, é relativo aos processos físicos de emissão e propagação de energia, enquanto que o termo irradiação é utilizado para aplicação desta energia (radiação ionizante) em um determinado material, atingindo os objetivos pré-estabelecidos (CNEN, 2014).

Quando uma radiação de alta energia incide sobre os átomos, provoca uma excitação e ionização, causando a separação de elétrons e a formação de pares de íons constituídos por elétrons com carga negativa e positiva (FARKAS, 1998). A excitação e ionização de moléculas geram radicais livres, que provocam reações químicas afetando as funções estruturais e metabólicas das células, que podem induzir retardo no brotamento em bulbos e tubérculos, retardo do amadurecimento (frutas), inativação de microrganismos, destruição de parasitas e pragas e outras alterações tecnológicas (FARKAS, 1998; DIEHL, 1995; GUEDES, 2005; YOUSSEF et al., 2002).

Existem três tipos de energia radiante utilizada para a irradiação de alimentos: feixe de elétrons, raios X e raios gama. Os dois primeiros utilizam eletricidade como fonte de energia, enquanto para a radiação gama são utilizadas fontes radioativas como o cobalto 60 e o cério 137 (SAPCHENCO, 2003). O Cobalto (^{60}Co) é a fonte utilizada com maior frequência no processamento de alimentos e várias são as vantagens de sua utilização, entre elas destacam-se: seu alto poder de penetração, a boa uniformidade de dose, estar comercialmente disponível e ter baixo risco ambiental, pois é o cobalto um metal insolúvel em água (HERNANDES; VITAL; SABAA-SRUR, 2003; PEREDA, 2005; LEITE, 2006).

O ^{60}Co tem meia vida de 5,27 anos, decai para o níquel 60, que é estável, por meio da emissão de dois fótons gama (1,17 e 1,33 MeV) e de uma partícula beta (0,31 MeV). O cobalto 60 é produzido artificialmente, por meio da irradiação de barras de Cobalto 59 em reatores nucleares. Este elemento (^{59}Co) está disponível na natureza de forma abundante, se tornando o radionuclídeo mais utilizada na indústria (LEITE, 2006).

A radiação gama é um tipo de radiação ionizante, semelhante à luz visível, infravermelho, radiação ultravioleta e micro-ondas, é uma energia eletromagnética com um comprimento de onda muito curto, variando entre 10^{-10} m e 10^{-14} m, emitida por diferentes elementos radioativos, e possui energia suficiente para atravessar a matéria e remover elétrons, ionizando os átomos e moléculas (MEDEIROS, 2004; LEITE, 2006).

A dose de radiação é a quantidade de energia absorvida por unidade de massa do material irradiado. A unidade utilizada para expressar esta energia é denominada Gray (Gy). Essa unidade foi adotada a partir de 1986, pelo Sistema Internacional de Unidades em substituição ao rad.

Um Gy é definido como 1 joule de energia absorvida por quilograma de material. Um Gy equivale a 100 rads (RADOMYSKY, 1994; DIEHL, 1995). A dose de irradiação é controlada pelo tempo em que o alimento ficou exposto à fonte de energia ionizante.

No processo de irradiação, o alimento (a granel ou embalado) é exposto a uma dose controlada de radiação em uma sala ou câmara especial de processamento por tempo determinado. Os produtos irradiados podem ser transportados, armazenados ou consumidos imediatamente após o tratamento (CENA, 2015).

É uma tecnologia regulamentada pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), pela Agência Internacional de Energia Atômica (International Agency of Energy Atomic - IAEA) e pela Organização Mundial da Saúde (World Health Organization - WHO) (DIEHL, 1995). Segundo a FAO/IAEA/WHO, alimentos submetidos a baixas doses de radiação (10 kGy) são seguros e não requerem testes toxicológicos posteriores. Em 1997, um grupo de estudos apoiados pela Organização Mundial de Saúde concluiu que alimentos tratados com dose apropriada para atingir os objetivos tecnológicos pretendidos, são seguros ao consumidor e nutricionalmente adequados (WHO, 1999).

A Food and Drug Administration (FDA) aprova sua utilização em frutas e hortaliças, sendo os tratamentos com radiações ionizantes classificados em três categorias de acordo com a dose aplicada, permitindo, assim, agrupar de forma mais precisa os efeitos e os objetivos alcançados. As “doses altas”, entre 10 e 50 kGy, são utilizadas para a esterilização dos produtos. Já as “doses médias”, entre 1 e 10 kGy, possuem o mesmo efeito da pasteurização, atribuindo aos alimentos extensão de sua vida útil e finalmente, as “doses baixas”, de até 1 kGy, que são aplicadas no controle da infestação dos produtos por parasitas e insetos, e para retardar a senescência em frutas frescas e o brotamento em vegetais (ANDREWS et al., 1998; PEREDA, 2005).

No Brasil a irradiação é aprovada pela resolução RDC nº 21 de 26 de janeiro de 2001 da ANVISA que determina que “Qualquer alimento poderá ser tratado por radiação desde que sejam observadas as condições de dose mínima, a qual deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida, e a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e/ou os atributos sensoriais do alimento” (BRASIL, 2001). Além disso, a mesma resolução faz algumas exigências: a embalagem deve ter condições higiênicas aceitáveis para o processo de irradiação; deve conter no rótulo do produto os dizeres de que aquele alimento foi tratado por processo de irradiação ou conter o símbolo da radura (Figura 6), mesmo quando um produto irradiado for utilizado como ingrediente em outro alimento.



Figura 6 – Símbolo utilizado para identificação de produtos irradiados - “Radura”

O reconhecimento da importância da irradiação na indústria de alimentos é crescente, sendo que mais de 60 países possuem legislação aprovando o uso da tecnologia em aproximadamente 100 tipos alimentos que servirão tanto para o consumo local quanto para exportação (KUME et al., 2009).

No Brasil, a irradiação ainda é na sua maior parte realizada para esterilização de produtos cirúrgicos, correspondendo por 90% dos produtos irradiados, porém são encontrados vários alimentos tratados por radiação ionizante, como especiarias, vegetais, ração animal, grãos e frutas (MODANEZ, 2012). A Companhia Brasileira de Esterilização - CBE, localizada em Jarinú que irradia diversos produtos, entre eles alimentos e embalagens; a Empresa Brasileira de Radiações Ltda. - EMBRARAD, localizada em Cotia (SP), que também irradia os mais variados produtos e alimentos, são exemplos de plantas industriais brasileiras de irradiação. Além destas, existem alguns institutos que tem irradiadores e desenvolvem pesquisas na área de irradiação de alimentos, como, por exemplo, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e o Centro de Energia Nuclear para a Agricultura da USP (CENA) (ACI, 2006; CDTN, 2011; DEL MASTRO, 1999).

A China é o maior usuário da tecnologia de irradiação de alimentos, com cerca de 70 irradiadores instalados, com aplicação em alho, especiarias, frutas legumes, carnes e outros vegetais secos. Os Estados Unidos têm cerca de 50 instalações comerciais e irradiam desde especiarias, frutas, carnes, frutos do mar, produtos processados até ração animal. O United States Department of Agriculture (USDA), visando manter a segurança alimentar de estudantes, a partir de 2004, autorizou o uso de produtos irradiados na merenda escolar e restaurantes de escolas americanas (CGEE, 2010).

O tratamento de alimentos com energia ionizante contribui no sentido de ajudar na conservação, distribuição e comercialização, pois tem como finalidade aumentar seu tempo de vida útil, através da inativação de microrganismos patogênicos e deteriorantes que causam sabores e odores desagradáveis durante o período de armazenamento (MODANEZ, 2012).

2.6 Efeito da radiação gama nos alimentos

O processo de irradiação de alimentos visa melhorar sua segurança, reduzindo ou eliminando agentes patogênicos de origem alimentar e sendo efetivo na preservação de compostos nutricionais, porém a interação da radiação com o alimento provoca transformações químicas e biológicas, pois a mesma reage com átomos e moléculas ocasionando efeitos primários e secundários desta interação (ARVANITOYANNIS et al., 2009).

Como efeito primário tem-se a formação de produtos altamente reativos, devido aos processos de ionização, dissociação e excitação. Os radicais livres e íons formados pelos efeitos primários são muito reativos, podendo interagir entre si ou com constituintes do alimento. A consequência dessa reatividade é a formação dos efeitos secundários (recombinação, dimerização, captura de elétrons e desproporcionalização) que são responsáveis por 80% dos efeitos provocados pela radiação (HERNANDES; VITAL; SABAASRUR, 2003).

A sensibilidade das macromoléculas pela radiação é aproximadamente proporcional a sua massa molar, sendo assim, uma determinada dose pode ter efeito letal aos microrganismos sem praticamente alterar a composição química do alimento irradiado. Segundo Aquino (2003), uma dose de 100 Gy danifica aproximadamente 2,8% do DNA de uma célula bacteriana, 0,14% das enzimas e apenas 0,005% dos aminoácidos, sendo que esta porcentagem de dano

descrita no DNA pode ser letal para uma infinidade de organismos vivos, porém a porcentagem de danos causados às enzimas provavelmente seria de difícil detecção pelos métodos analíticos, assim como a de 0,005% nos aminoácidos em sistemas biológicos também não poderia ser detectada.

A variação do valor nutritivo, causada pela irradiação, depende de fatores como, a dose a qual o alimento é exposto, o tipo de alimento, sua embalagem e condições do tratamento (como a temperatura durante a irradiação) e o tempo de armazenamento. O tratamento por irradiação, quando devidamente controlado, não altera fisicamente a aparência, a forma ou a temperatura dos produtos, provocando alterações químicas insignificantes em alimentos (GCIIA, 1990).

De acordo com Pereira (2004), a irradiação pode ser chamada de "processo a frio" porque a variação de temperatura dos alimentos processados é insignificante. Ao contrário do processo térmico, a energia da radiação que é consumida é insuficiente para aumentar a energia térmica das moléculas que a absorvem. Além disso, a energia necessária para a esterilização promovida pela radiação é cerca de 50 vezes menor da requerida pelo calor. O nível máximo de energia absorvida ou dose de radiação recomendada pela Comissão do Codex Alimentarius para o tratamento de alimentos (10 kGy) é equivalente à energia de calor necessária para aumentar a temperatura da água em apenas 2,4°C (LOAHARANU, 1996).

Quanto à eficiência do uso da irradiação para reduzir microrganismos patógenos e/ou deteriorantes alimentares, diminuindo assim os perigos para a saúde pública, vem sendo feitos vários estudos (RADOMYSKY, 1994; GUEDES, 2005; FAN et al., 2008; FARKAS, 2006; GERMANO; GERMANO, 2003). Muitos indicam que a causa primordial da letalidade de microrganismos induzida pelo processo de irradiação é a alteração sofrida pelo DNA microbiano, que perde a capacidade reprodutora, além de afetar outras moléculas importantes, como a membrana celular, por exemplo.

Porém além de afetar os microrganismos, a radiação interage com átomos ou moléculas de materiais biológicos, particularmente com a água (radiólise da água), produzindo radicais livres e oxidando o material irradiado (KOVÁCS; KERESZTES, 2002; LEITE, 2006). Dentre os íons e radicais formados da radiólise da água, tem-se o radical hidroxila que é um poderoso agente oxidante e reage preferencialmente com compostos insaturados presentes nos alimentos (polienos conjugados e hidrogênio presente em ligações C-H e S-H). Os elétrons hidratados reagem na maioria das vezes com compostos aromáticos, ácidos carboxílicos, cetonas, aldeídos e tióis. O hidrogênio interage com ligações C-H ou é adicionado a compostos olefínicos.

Quando a atividade de água do alimento é baixa, como em alimentos secos, congelados ou saturados com sacarose, os efeitos indiretos dos produtos radiolíticos são menores e a resistência dos microrganismos à radiação é aumentada. O pH do meio irradiado afeta a formação de radicais livres, relacionado à radiólise da água, e conseqüentemente pode afetar o microrganismo em ação indireta. Com a diminuição da temperatura, o movimento dos radicais livres através da radiação cai e, com menos movimentos a nível molecular, a formação de produtos radiolíticos secundários também é reduzida (ANDREWS et al., 1998).

O impacto da irradiação sobre os nutrientes tem sido motivo de muitas pesquisas na área de alimentos. A radiação gama também pode afetar alguns componentes do alimento através de trocas causadas durante a ionização, no entanto, são semelhantes àsquelas observadas em alimentos submetidos a outros processos, como o congelamento, a desidratação ou a esterilização pelo calor (FARKAS, 1998; FAN et al., 2008). Geralmente, os macronutrientes (proteínas, lipídios e carboidratos) e minerais não sofrem alterações de qualidade quando expostos à radiação gama. No entanto, as Vitaminas A, C e E, consideradas sequestradoras de radicais livres, são mais sensíveis e são reduzidas após radiação com doses altas, porém, os efeitos decorrentes são semelhantes aos da pasteurização. A extensão destas perdas é dependente das condições do processo, como temperatura e dose aplicada (SCOTT SMITH; PILLAI, 2004).

Algumas características do alimento influenciam no resultado da irradiação, como a água total (umidade) contida em um produto, a temperatura e o estado físico do alimento. O congelamento, por exemplo, tem efeito protetor para o alimento durante o processo, impedindo que os produtos radiolíticos reajam com o substrato (DIEHL, 1995; FARKAS, 2006).

A presença de oxigênio durante a irradiação propicia a formação de espécies reativas de oxigênio. O radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) é a espécie mais reativa, seguido do oxigênio singlete (CHOE; MIN, 2005). São as reações das espécies reativas de oxigênio com os alimentos que podem produzir componentes indesejáveis, destruir nutrientes essenciais e alterar funcionalidades de proteínas, lipídeos e carboidratos (DIEHL, 1995).

Apesar do grande número de estudos publicados sobre o impacto positivo da radiação na preservação de produtos vegetais (WANG; CHAO, 2002; HUANG; MAU, 2006; SONG et al., 2006; ALIGHOURCHI; BARZEGAR; ABBASI, 2008; FERNANDES et al., 2011), são escassos os trabalhos que se referem ao efeito da radiação gama nos compostos antioxidantes e sua estabilidade durante o armazenamento em polpa de frutas (De OLIVEIRA et al., 2013).

2.7 Compostos bioativos e Capacidade antioxidante

Os compostos bioativos podem estar presentes em diversos tipos de alimentos, como nas ervas, frutas, grãos etc. Eles são encontrados sob duas formas, os que agem promovendo a saúde, chamados nutracêuticos e os que podem causar danos à mesma, os tóxicos. Sendo assim, se um alimento que possui compostos bioativos contém mais substâncias nutracêuticas do que tóxicas, ele pode ser considerado um agente protetor contra doenças crônicas (HO; RAFI; GHAI, 2010).

O organismo pode ter diferentes maneiras de combater os danos que podem provocar seu envelhecimento além de alterações diversas. Algumas moléculas, chamadas radicais livres, são consideradas as grandes causadoras desses processos de degradação (WHITNEY; SIZER, 2003).

Os radicais livres podem ser tanto moléculas, como átomos ou íons. Todavia, para que eles recebam essa designação devem possuir em sua órbita externa um ou mais elétrons livres. Esta característica é responsável por conferir a estes íons, átomos ou moléculas uma forte instabilidade, que só poderá ser revertida quando eles conseguirem, de certa forma, se ligar a elétrons de outro composto mais vulnerável, seja ele uma molécula, célula ou tecido do organismo (RAMALHO, 2009).

Esses radicais livres estão presentes no organismo devido ao próprio funcionamento do corpo, porém a poluição e hábitos como o tabagismo intensificam ainda mais sua produção. Nosso organismo pode encontrar diversas formas de combater os radicais livres, é o caso dos compostos antioxidantes, como os encontrados em algumas vitaminas, a vitamina C, por exemplo, e em fitoquímicos, que podem ser representados por flavonoides e carotenoides (WHITNEY; SIZER, 2003).

Os antioxidantes são compostos que atuam inibindo e/ou diminuindo os efeitos desencadeados pelos radicais livres. São importantes porque, com o combate aos processos oxidativos, tem-se menores danos ao DNA e às macromoléculas, amenizando, assim, os efeitos acumulativos que podem desencadear doenças como o câncer, cardiopatias e cataratas (MAIA; SOUSA; LIMA, 2007).

Atuando em baixas concentrações, os antioxidantes são substâncias que atrasam a oxidação de proteínas, hidratos de carbono, lipídeos e do DNA. Eles podem ser classificados em três categorias principais: a primeira que inclui a superóxido dismutase catalase, glutathione redutase e minerais como Se, Cu, Zn etc.; a segunda que inclui a glutathione, vitamina C,

albumina, vitamina E, carotenoides, flavonoides, etc.; e a terceira linha de defesa que inclui um grupo complexo de enzimas de reparação do DNA danificado, proteínas danificadas, lipídios oxidados e peróxidos (SINDHI et al., 2013).

Sendo assim, para diminuir os efeitos nocivos dos radicais livres, devem-se incluir elementos que doem espontaneamente os elétrons que estão faltando nos seus orbitais, impedindo a ação do radical oxigênio e a reação em cadeia da formação de novos radicais livres.

As frutas são boas fontes de fitoquímicos capazes de trazer benefícios à saúde, entre eles pode-se destacar:

Ácido ascórbico

O mais importante antioxidante hidrossolúvel, a vitamina C, não pode ser sintetizada no corpo humano (RUFINO et al., 2010), portanto, o ser humano depende da dieta para adquiri-la, geralmente pelo consumo de frutas e hortaliças, onde é encontrada em três formas: reduzida a ácido L-ascórbico, ácido mono-dehidroascórbico que é um intermediário instável e ácido L-dehidroascórbico (ALBERTINO et al., 2009).

O ácido ascórbico pode ser sintetizado a partir da D-glicose ou D-galactose. Esta molécula pode ser oxidada reversivelmente ao ácido dehidroascórbico pela retirada de dois átomos de hidrogênio, na presença de íons metálicos, calor, luz ou em condições levemente alcalinas (pH acima de 6,0), com perda parcial da atividade vitamínica (RIBEIRO; SERAVALLI, 2004).

Vários fatores são relatados como determinantes da concentração de ácido ascórbico em um fruto, entre eles tem-se a diferença entre tecidos (casca e polpa), grau de amadurecimento, condições ambientais (características do solo e fatores climáticos), diferenças genéticas, efeito de agroquímicos e poluentes (MAEDA et al., 2007; BARDALES et al., 2008; GENOVESE et al., 2008).

A natureza química do fruto pode determinar a degradação ou estabilidade do ácido ascórbico. Componentes como enzimas, ácidos e até mesmo a água presentes na fruta facilitam a degradação do ácido ascórbico (MAEDA et al., 2007; VILLANUEVA-TIBURCIO; CONDEZO-HOYOS; ASQUIERI, 2010). Outros componentes naturais das frutas têm efeito inibidor sobre a degradação, como os flavonoides, que podem reduzir a oxidação de ácido ascórbico por meio de mecanismos de complexação com metais ou agindo como receptores de radicais livres (MAEDA et al., 2006). No entanto, as antocianinas podem

gerar perdas de ácido ascórbico por meio de reações de condensação de ácido ascórbico ao carbono 4 de uma antocianina, resultando na perda de ambos os componentes (De ROSSO; MERCADANTE, 2007).

Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos representam a principal classe de metabólitos secundários presentes nas plantas e encontram-se amplamente distribuídos no reino vegetal. Quimicamente podem ser definidos como substâncias que possuem um anel aromático contendo um ou mais grupos hidroxila. No entanto, os animais, em princípio, são incapazes de sintetizar o anel aromático e os compostos fenólicos produzidos em pequena quantidade pelos mesmos, utilizam o anel benzênico de substâncias presentes na dieta alimentar. Por outro lado, os vegetais e a maioria dos microrganismos têm a capacidade de sintetizar o anel benzênico e a partir dele, principalmente, compostos fenólicos (CARVALHO et al., 2001; SOARES, 2002; PIMENTEL et al., 2005).

De acordo com sua ocorrência no reino vegetal, os compostos fenólicos podem ser divididos em: compostos fenólicos amplamente distribuídos na natureza; pouco distribuídos e polímeros. No grupo dos pouco distribuídos na natureza estão os fenóis simples, o pirocatecol, a hidroquinona, resorcinol e os aldeídos derivados dos ácidos benzoicos; no grupo dos amplamente distribuídos na natureza estão os flavonoides e derivados, os ácidos fenólicos (ácidos benzoico, cinâmico e seus derivados) e cumarinas; e como polímeros: formados por derivados de polimerização, que são os taninos e ligninas (MARTÍNEZ-VALVERDE et al., 2000; CARVALHO et al., 2001; SOARES, 2002; FARAH; DONANGELO, 2006).

Os três maiores grupos de fenólicos da dieta são os flavonoides, os ácidos fenólicos e os polifenóis (taninos) (SHAHIDI; NACZK, 2004). Na classe dos não flavonoides, os compostos de maior importância na dieta são os ácidos gálico e elágico (ácidos fenólicos de estrutura química C6-C2-C6), ácidos cafeico e ferúlico (hidroxinamatos de estrutura C6-C3) e o resveratrol (estilbenos C6-C2-C6) (CROZIER, 2003).

As propriedades moleculares dos fenólicos é que fazem com que eles sejam os antioxidantes mais ativos e frequentemente encontrados nos vegetais. A facilidade na doação de átomos de hidrogênio e elétrons aos agentes oxidantes é determinada, entre outros fatores, a reatividade dos grupos substituintes no seu anel aromático, que são os grupos metila, metoxila, amino e hidroxila. A presença e o posicionamento desses grupos diminuem de

modo desigual os valores de entalpia da ligação O-H e do potencial de ionização da molécula resultando em diferentes atividades entre as diversas estruturas fenólicas. A presença de grupamentos ésteres nas moléculas fenólicas também as torna mais eletrofílicas devido à capacidade de aceitação de elétrons, aumentando os valores do potencial de ionização e da entalpia de ligação, diminuindo a habilidade redutora (WRIGHT; JOHNSON; DILABIO, 2001).

Flavonoides

O maior grupo de substâncias fenólicas é composto pelos flavonoides, sendo que os mesmos são derivados da benzo- γ -pirona de origem vegetal, uma vez que o esqueleto C₁₅ dos flavonoides é biogeneticamente derivado do fenilpropano (C₆-C₃) e três unidades de acetato (C₆) (AMIÉ et al., 2003; HEIM et al., 2002).

A estrutura básica dos flavonoides consiste de 15 carbonos distribuídos em dois anéis aromáticos, A e B interligados via carbono heterocíclico do pirano (MARTINEZ-FLÓREZ et al., 2002; VOLP et al., 2008). Conforme o estado de oxidação da cadeia heterocíclica do pirano tem se diferentes classes dos flavonoides: flavonóis, flavonas, flavanonas, catequinas, antocianinas, isoflavonas, diidroflavonóis e chalconas (HARBORNE; WILLIAMS, 2000; ROSS; KASUM, 2002).

Os principais representantes da flavanas são as catequinas, epicatequinas, luteoforol e teaflavinas; das flavonas são: apigenina, luteolina, diosmetina, tangeritina e nobelitina; dos flavonóis são a quercetina, rutina, miricetina e kaempferol; das isoflavonas a daidzeína, daidzina, genisteína e genistina e das flavanonas, hesperidina, narirutina, naringina e neohesperidina (LE GALL et al., 2003).

Quimicamente, os flavonoides e isoflavonoides são doadores de elétrons. Eles apresentam estruturas químicas conjugadas em anel, ricas em grupos hidroxilas, que têm potenciais ações antioxidantes por reagirem e inativarem ânions superóxido, oxigênio singlete, radicais peróxido de lipídios e/ou estabilizando radicais livres envolvidos no processo oxidativo, através da hidrogenação ou complexação com espécies oxidantes (MACHADO et al., 2008; JIMÉNEZ; MARTIZÉZ; FONSECA, 2009).

Antocianinas

Responsáveis pela cor de um grande número de flores e frutas vermelhas, estes compostos são de interesse para a indústria de alimentos porque podem ter algumas aplicações como corantes naturais em alimentos (CARVALHO et al., 2010).

As antocianinas pertencem a uma das duas classes mais importante de flavonoides, que são os flavonóis e as antocianidinas, sendo que as antocianinas são derivadas desta última classe. As antocianidinas não possuem grupos glicosídeos e a maioria possui hidroxilas nas posições 3, 5 e 7. Já nas antocianinas, uma ou mais destas hidroxilas estão ligadas a açúcares (glicose, xilose, arabinose, ramnose, galactose ou dissacarídeos constituídos por esses açúcares), aos quais podem estar ligados ácidos fenólicos, como p-cumárico, cafêico, fenílico e vanílico. O açúcar presente nas moléculas de antocianinas confere maior solubilidade e estabilidade a estes pigmentos, quando comparados com as antocianidinas (TERCI, 2004).

Devido à solubilidade em água, as antocianinas ocorrem nos tecidos de plantas dissolvidas no fluido da célula vegetal, que geralmente apresenta pH levemente ácido. As antocianinas mais comumente encontradas em frutas são derivadas principalmente de seis antocianidinas: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina (HARBONE, 1994).

Carotenoides

Os carotenoides são pigmentos naturais lipofílicos, com coloração variando do amarelo ao laranja e chegando até o vermelho, cuja estrutura básica é um tetraterpeno com 40 átomos de carbono, formado por oito unidades isoprenóides com cinco carbonos (MAOKA et al., 2001). Podem apresentar ciclização e outras modificações como hidrogenação, dehidrogenação, migração de dupla ligação, encurtamento ou alongamento da cadeia, rearranjos, isomerização, introdução de grupos oxigenados ou combinação desses processos, resultando em uma série de estruturas diferentes. Os carotenoides podem ser acíclicos (zeta-caroteno e licopeno), monocíclicos (δ e γ -carotenos) ou bicíclicos (α e β -carotenos). A ciclização ocorre devido à formação de anéis de cinco ou seis membros, em uma ou nas duas extremidades da molécula (MEDEIROS, 2003; RODRIGUEZ-AMAYA, 1999).

Para as plantas, os carotenoides atuam como pigmentos acessórios dos vegetais na fotossíntese e para a indústria de alimentos, sendo empregados como corantes. Exercem numerosas funções biológicas e conferem benefícios à saúde, uma vez que possuem ampla

distribuição e diversidade estrutural. O papel nutricional mais importante e conhecido dos carotenoides, especialmente o β -caroteno, é a sua atividade como pró-vitamina A, devido à sua estrutura molecular ser formada por dois anéis β -ionona, que darão origem à duas moléculas de retinol e, em menor extensão, a β -criptoxantina, α -caroteno e γ -caroteno, que apresentam cerca de 50% dessa atividade (BRITTON et al., 1995; LEE; CHEN, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA, 1999). Outras importantes ações biológicas estão associadas com a capacidade de agir como antioxidante, promovendo proteção contra certos tipos de câncer, doenças cardiovasculares, cataratas e degeneração macular, assim como melhorar o sistema imunológico. Mais de setecentos tipos de carotenoides já foram identificados (NUNES; MERCADANTE, 2004; SILVA; MERCADANTE, 2002; LEE; CHEN, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA, 1999; MAOKA et al., 2001).

Encontrado em frutas, raízes, flores, aves, certos peixes, crustáceos, algas e até em alguns microrganismos, a composição e o teor de carotenoides de um alimento pode variar, dependendo da cultivar ou variedade da planta, do estágio de maturação, das condições climáticas, das condições de cultivo, manuseio durante a colheita, do transporte, armazenamento e conservação pós-colheita, do processamento e estocagem (FRANCO, 2001; RODRIGUEZ-AMAYA, 1999).

Diversas são as contribuições dos carotenoides, como ação potencial contra vários tipos de cânceres, diminuição de doenças degenerativas e coronarianas, atuam contra a degeneração macular relacionada ao envelhecimento, fortalecem o sistema imunológico e atuam como excelentes antioxidantes sequestrando e inativando os radicais livres (LIMA et al., 2002; SHAMI; MOREIRA, 2004).

Devido à importância citadas dos diversos compostos com atividade antioxidante, vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos visando quantificar e qualificar os mesmos em frutas.

Kuskoski et al. (2006), estudando diferentes frutas e polpas de frutas tropicais, constataram que os elevados teores de atividade antioxidante foram atribuídos aos compostos fenólicos e às antocianinas. Assim como Canutto et. al. (2010), estudando frutas tropicais da região Amazônica, observaram correlação entre atividade antirradical livre e teores de ácido ascórbico e, principalmente, compostos fenólicos totais. Roesler et al. (2007) observaram a presença de compostos com excelente capacidade antioxidante provenientes de frações diversas de frutas do cerrado brasileiro. Dos Santos et al. (2008) observaram elevados valores no parâmetro atividade antioxidante de polpas de açaí, sendo a mesma considerada uma

importante fonte de antioxidantes para alimentação humana. Vizzotto et al. (2012), estudando diferentes cultivares de amora-preta, encontraram consideráveis teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante. E Freire et al. (2013) encontraram valores consideráveis de vitamina C, compostos fenólicos e atividade antioxidante nas frutas *in natura* e polpas de acerola, caju, morango e goiaba. Fu et al. (2011) analisaram a capacidade antioxidante e teor de compostos fenólicos de 62 frutas, encontraram forte correlação entre eles. Foram detectados, em polpa de buriti, 13 diferentes compostos fenólicos (BATAGLION, et al., 2014). Karwowski et al. (2013), encontraram diversos compostos fenólicos na uvaia e pitanga, sendo o ácido gálico o composto predominante encontrado em ambas.

2.7.1 Avaliação da capacidade antioxidante

Um grande número de métodos tem sido desenvolvido como o objetivo de avaliar a capacidade antioxidante em alimentos. Porém não existe um consenso sobre qual seria a combinação mais adequada para realizar esta medida, bem como os procedimentos de preparo da amostra, fazendo com que haja disparidade nos resultados publicados pelas técnicas empregadas, dificultando muitas vezes sua comparação (VILLANO et al., 2005; PÉREZ-JIMÉNEZ, 2007).

Segundo Huang, Ou e Prior (2005) a avaliação de atividade antioxidante baseada em metodologias *in vitro* deve ser feita com cautela uma vez que as mesmas não consideram fatores como biodisponibilidade, estabilidade do composto *in vivo*, retenção dos antioxidantes pelos tecidos e reatividade *in situ*.

A atividade antioxidante medida *in vitro* não determina a atividade, apenas sugere sua bioatividade. Alguns estudos apontam para uma relação entre a atividade antioxidante e sua intensidade com a estrutura química dos compostos fenólicos. O número e a configuração de grupamentos hidroxil doadores de hidrogênio, assim como as duplas conjugadas, parecem ser os principais fatores estruturais a influenciar a atividade antioxidante (WADA et al., 2007).

Os modelos ABTS e DPPH são práticos e recomendados para a avaliação da capacidade antioxidante total de frutas (LEONG; SHUI, 2002; PRIOR; WU; ACHAICH, 2005).

O método do DPPH é baseado na redução do radical DPPH na presença de antioxidante doador de hidrogênio. Este método tem sido considerado como um dos mais representativos para o emprego em modelos de radicais e na avaliação da capacidade de remoção de radicais livres (GENOVESE et al., 2008).

O DPPH é uma substância que contém em sua estrutura um átomo de nitrogênio com um elétron desemparelhado, apesar disso, é um radical relativamente estável. Sua cor característica é roxo intenso e é progressivamente alterada para o amarelo na presença de agentes redutores (GULÇIN, 2012), ou seja, na presença de um doador de hidrogênio ou elétron a intensidade de absorção diminui e a solução com o radical perde a cor, tornando-se amarela, de acordo com o número de elétrons capturados, sendo assim, quando o elétron desemparelhado do átomo de nitrogênio no DPPH recebe um átomo de hidrogênio proveniente de compostos antioxidantes, ocorre a mudança de cor (SUCUPIRA et al., 2012).

A redução do radical, que pode se dar tanto pela transferência de elétrons quanto de prótons, é dependente da composição e estrutura do antioxidante presente na amostra e das características dos meios testados. Os solventes mais comumente utilizados, que são o etanol e metanol, propiciam a reação pela transferência de elétrons e a transferência de átomos de hidrogênio representa então, uma via secundária de menor importância. Já em meios apolares ocorre o inverso, tendo a transferência de hidrogênio dos antioxidantes para os radicais de maior expressão, devido a menor habilidade do solvente em estabelecer ligações de hidrogênio (FOTI; DAQUINO; GERACI, 2003).

A capacidade de sequestrar radicais livres em relação ao radical estável 1,1-difenil-2-picrilidrazil (DPPH) é uma metodologia simples, rápida e sensível, muito conveniente para seleção de um grande número de amostras com diferentes polaridades (KOLEVA et al., 2002; INFANTE, 2013).

O método do ABTS (2,2' - azino - bis 3 - etilbenzeno - tiazolina - 6 - ácido sulfônico), baseia-se na geração do $ABTS^{+•}$, de cor azul esverdeada, por meio da reação do ABTS com persulfato de potássio que possui absorção máxima em 645, 734 e 815 nm. Com adição de um antioxidante ocorre a redução do $ABTS^{+•}$ a ABTS promovendo a perda da coloração do meio reacional. O método é aplicável ao estudo de antioxidantes hidrossolúveis, lipossolúveis, compostos puros e extratos vegetais (RE et al. 1999), e é um dos radicais livres mais utilizados, em virtude da estabilidade, facilidade de manipulação e simplicidade de procedimento (ROGINSKY; LISSI, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria prima e processamento

Os frutos *in natura* de uvaia, cambuci, feijoa, grumixama e cereja do rio grande foram obtidos de produtor estabelecido em Paraibuna - SP. As épocas de colheita dos frutos foram: uvaia, outubro de 2012; cambuci e feijoa, junho de 2012; grumixama, janeiro de 2013; cereja do rio grande em dezembro de 2013.

A colheita foi feita manualmente nas primeiras horas do dia, no estágio de maturação determinado pela aparência visual externa do fruto. Foram então transportados até a planta de processamento do próprio sítio, onde foram selecionados visualmente quanto à cor e sanidade, lavados com água corrente para a retirada de sujidades e higienizados, através da imersão em solução de Dicloro Isocianurato de Sódio Dihidratado - 3% de cloro ativo a 200mg L^{-1} durante 15 minutos, e novamente lavados em água corrente. Em seguida foram embalados em sacos de polietileno, capacidade de 5 quilos e armazenados em câmara de congelamento a -18°C , até serem transportados, para a Planta Piloto de Processamento de Alimentos, do Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição na ESALQ/USP, Piracicaba (SP). Para o transporte, os frutos congelados foram acondicionados em caixas de isopor com gelo seco, para manter a temperatura do fruto congelado durante as 24 horas de transporte. Na planta piloto, os frutos foram processados segundo o fluxograma apresentado na Figura 7.

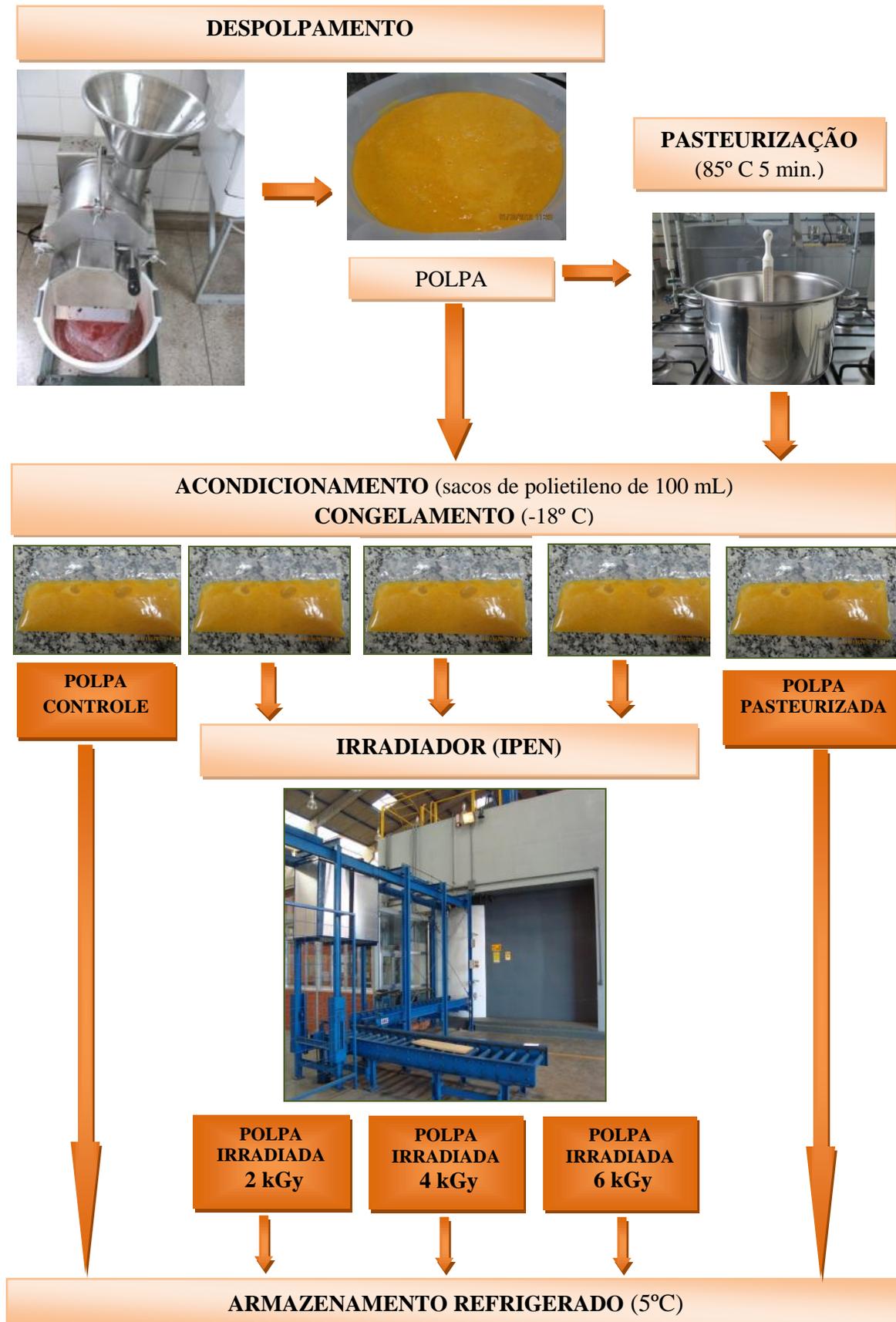


Figura 7- Fluxograma do processamento das frutas nativas

No despulpamento foi utilizada despulpadeira industrial de inox, sendo adicionada água para melhor homogeneização, na proporção de duas partes de fruta para uma de água (2:1).

Após a despulpa, o material foi dividido em 5 lotes: (1) polpa controle; (2) polpa pasteurizada, (3) polpa irradiada a 2 kGy, (4) polpa irradiada a 4 kGy e (5) polpa irradiada a 6 kGy.

Pasteurização: foi feita em tacho aberto a 85° C durante 5 minutos, em seguida a polpa foi acondicionada em sacos de polietileno com capacidade para 100 mL. Foi, então, armazenada a -18°C em freezer comercial, permanecendo nestas condições por doze horas e transportada, juntamente com as amostras que iriam ser irradiadas, até o irradiador, a fim de sofrerem as mesmas interferências. Posteriormente foram armazenadas sob-refrigeração a 5° C.

Irradiação: as polpas foram acondicionadas em sacos de polietileno com capacidade para 100 mL e armazenadas a -18° C em freezer comercial, permanecendo nestas condições por 12 horas até serem irradiadas.

As polpas foram irradiadas em irradiador multipropósito do Instituto de Pesquisa Energéticas e Nucleares (IPEN) localizado em São Paulo, empregando-se uma fonte de cobalto-60 comercial. O irradiador é classificado pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) na categoria IV, em que o controle de acesso é restrito e a fonte selada é armazenada em uma piscina de estocagem, blindada com água deionizada.

As polpas embaladas foram acondicionadas em caixas de isopor, etiquetadas com as respectivas doses: 0,0; 2,0; 4,0 e 6,0 kGy, sendo uma caixa para cada dose. Depois de devidamente etiquetadas as caixas foram lacradas com fita adesiva para a manutenção da temperatura e transportadas até o IPEN, em carro particular, com duração da viagem de 5 horas. Para a polpa de uvaia a taxa de dose no momento do processamento foi de 1,54 kGy/hora, com as caixas posicionadas a 50 cm do protetor da fonte e o tempo de duração foi de 4h30min. Para a polpa de cambuci e feijoa a taxa de dose foi de 2,30 kGy/hora, as caixas foram posicionadas a 30 cm da fonte e o tempo de duração foi de 2h00, já para a polpa de grumixama a taxa de dose foi de 3,47 kGy/hora, a distancia da fonte foi de 17 cm e o tempo de 1h45min. Por fim, para a polpa de cereja do rio grande a taxa de dose foi de 4,05 kGy/hora, o tempo de duração de 2h12min, estando distante 10 cm da fonte. Foram utilizados dosímetros Gammachrome 5-530 nm Amber 3042 Batch S-603nm, com leitura realizada em espectrofotômetro Genesys 20 a 603 nm para averiguação das doses aplicadas em cada caixa.

Tanto as polpas pasteurizadas quanto as irradiadas e controle, foram armazenadas durante 42 dias a 5 °C, e analisadas após 7 períodos de armazenamento, 1, 7, 14, 21, 28, 35 e 42 dias.

Em toda manipulação foram observadas a Portaria CVS nº 6, de 10 de março de 1999 que aprova o “Regulamento técnico que estabelece os parâmetros e critérios para o controle higiênico-sanitário em estabelecimentos de alimentos” e a Resolução RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002, que dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação em Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos.

O projeto passou também pela Comissão de Ética Ambiental na Pesquisa ESALQ/USP, e seu parecer está anexado (Anexo A).

3.2 Análises químicas das amostras

3.2.1 Preparo das amostras

As amostras de polpas das frutas foram centrifugadas a 8.000 rpm, em centrífuga refrigerada a 4° C da marca Eppendorf - 5810-R (Hamburgo, Alemanha), por 15 minutos. O sobrenadante foi retirado e armazenado em tubos de rosca identificados para a quantificação dos compostos fenólicos totais, flavonoides totais e antocianinas totais. Todos os cálculos e resultados foram feitos na base úmida.

3.2.2 Ácido ascórbico

Ácido Ascórbico (vitamina C) foi analisado pelo Método de Tillmans, que se baseia na redução do 2,6-diclofenol indofenol-sódio (DFNa) pelo ácido ascórbico (STROHECKER; HENNING, 1967), com adaptações. Inicialmente foi realizada a análise da solução padrão de ácido ascórbico (50 µg/mL) diluída em ácido oxálico 0,5 %, pipetando-se 10 mL desta solução em um erlenmeyer e procedendo a titulação com a solução de DFNa até coloração rosada persistente durante 15 segundos. Para as amostras foram pesados 5 g de polpa em

erlenmeyer de 250 mL e adicionados 40 mL de ácido oxálico a 0,5 %, homogeneizado e transferido para balão de 50 mL e completado o volume com ácido oxálico. Uma alíquota de 10 mL desta solução foi titulada com a solução de DFNa. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico.100 g⁻¹ de polpa na base fresca.

3.2.3 Compostos fenólicos totais

O teor de compostos fenólicos totais foi determinado pelo método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu utilizando ácido gálico como padrão de referência (SINGLETON; ROSSI, 1965), com adaptações. O reagente de Folin Ciocalteu é uma solução de íons complexos poliméricos formados a partir de heteropoli-ácidos fosfomolibdicos e fosfotungsticos. Esse reagente oxida os fenolatos, reduzindo os ácidos a um complexo azul Mo-W. A leitura foi realizada a 765 nm em espectrofotômetro Femto – 432C (São Paulo, SP, Brasil). O sobrenadante (descrito no item 2.2.1) foi diluído em água destilada (diluição feita de acordo com pré-testes realizados antes de cada dia de análise para cada polpa de fruta). Uma alíquota de 0,5 mL de amostra diluente foi transferida para um tubo com tampa de rosca e foram adicionados 2,5 mL do reagente Folin Ciocalteu a 10 %. Esses reagentes ficaram em repouso de 3 minutos e adicionados 2 mL de carbonato de sódio a 4 %. Os tubos foram deixados em repouso por 2 horas ao abrigo da luz e, na sequência, feita a leitura da absorbância a 765 nm. O branco foi conduzido nas mesmas condições. Foi construída uma curva analítica contendo diferentes concentrações da solução estoque de ácido gálico a 0,05 % e os resultados expressos em mg equivalente em ácido gálico.g⁻¹ de polpa.

3.2.4 Carotenoides

Os carotenoides foram quantificados segundo metodologia de Lichtenthaler (1987), com adaptações. Pesaram-se 2 g de polpa de fruta em tubos falcon e adicionou-se 18 mL de acetona 80 %, homogeneizou-se e a mistura foi centrifugada a 3000 rpm por 10 minutos. O sobrenadante foi armazenado em frasco âmbar, protegido da luz, e as leituras feitas em espectrofotômetro Femto – 432C (São Paulo, SP, Brasil), nos comprimentos de onda de 470

nm (carotenoides), 663 nm (clorofila a) e 646 nm (clorofila b). Os resultados foram expressos em μg de β -caroteno. g^{-1} de polpa na base fresca.

3.2.5 Flavonoides totais

A concentração de flavonoides totais foi determinada pelo método descrito por Park et al. (1995), com algumas modificações. O princípio desta reação se baseia na formação de quelatos entre o metal alumínio e os flavonoides, principalmente os flavonóis (3-hidroxi-flavonas) como a quercetina, em soluções alcoólicas, levando a um efeito batocrômico de espectro de absorção dos flavonoides, com alteração da coloração (JURD; GEISSMAN, 1956, JURD, 1969). Uma alíquota de 0,5 mL do sobrenadante (descrito no item 2.2.1) foi transferida para um tubo de ensaio. Nos tubos que receberiam nitrato, adicionou-se 4,3 mL de etanol a 80 % e nos demais, 4,4 mL de etanol a 80 %. Em todos os tubos adicionou-se 0,1 mL de acetato de potássio 1 M. E, apenas nos que receberiam nitrato, adicionou-se 0,1 mL de nitrato de alumínio. Preparou-se o branco com 4,9 mL de etanol a 80 % e 0,1 mL de acetato de potássio. Após repouso de 40 min as leituras foram efetuadas em espectrofotômetro Femto – 432C a 415 nm. Tubos em branco foram conduzidos nas mesmas condições, sem adição de nitrato de alumínio. Foi construída uma curva analítica contendo concentrações crescentes de quercetina preparadas em solução etanólica. Os resultados expressos em mg quercetina. g^{-1} de polpa na base fresca.

3.2.6 Antocianinas

A técnica utilizada foi a de diferença de pH, de acordo com o método nº 2005.02 (37.1.68) da AOAC (2005). Para tanto, foi definida em pré-testes a quantidade de sobrenadante a ser adicionada aos tubos de ensaio com as soluções tampão, a saber: cloreto de potássio pH 1,0 (KCl 0,025 M) e acetato de sódio pH 4,5 ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{Na}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 0,4 M). A solução presente nos referidos tubos foi homogeneizada em vortex Biomixer - QL-901 (São Paulo, SP, Brasil). A quantificação de antocianinas totais nas polpas foi realizada a partir da leitura da absorbância da solução de cada tubo, para os dois tipos de tampões, em

espectrofotômetro Femto – 432C (São Paulo, SP, Brasil) em dois comprimentos de onda 520 e 700 nm cada um. As porções teste (branco) foram lidas a partir de um tubo de ensaio contendo água destilada mais o tampão (do pH 1,0 e pH 4,5). Os resultados foram expressos em mg de equivalente cianidina 3-glicosídeo.100 g⁻¹ de polpa base fresca.

3.2.7 Atividade antioxidante

3.2.7.1 Preparo do extrato etanólico das polpas de frutas

Para as análises de atividade antioxidante pelos métodos de seqüestro do radical DPPH e ABTS foram preparados os extratos etanólicos das polpas das frutas, sendo diluídos 10 g de polpa em 20 mL de etanol 80 %, homogeneizado, deixado em repouso por 50 minutos e centrifugado a 8.000 rpm em centrífuga refrigerada a 4 °C da marca Eppendorf - 5810-R (Hamburgo, Alemanha), por 15 minutos e o sobrenadante (extrato etanólico), foi utilizado nas análises.

3.2.7.2 Avaliação da atividade sequestrante do radical DPPH

A medida da atividade sequestrante do radical DPPH foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Brand-Willians, Cuvelier e Berset (1995). Os extratos etanólicos (descrito no item 2.2.6.1) das polpas de frutas foram diluídos e uma alíquota de 0,5 mL foi adicionada a 3,0 mL de etanol 80 % e 0,3 mL do radical DPPH em etanol. Na forma de radical, o DPPH possui uma absorção característica a 515 nm, a qual desaparece após a redução pelo hidrogênio arrancado de um composto antioxidante. A redução do radical do DPPH foi medida através da leitura na absorbância a 515 nm após 50 min de reação. Uma curva foi feita contendo concentrações crescentes de trolox e os resultados expressos em µg de trolox.g⁻¹ de polpa na base úmida.

3.2.7.3 Atividade antioxidante pelo método ABTS

Realizada conforme a metodologia descrita por Rufino et al. (2007), com algumas modificações. Primeiro foi obtido o radical $ABTS^{+\bullet}$, pela reação de 140 nM de persulfato de potássio com 7 mM de ABTS e, armazenado no escuro (temperatura ambiente) por 16 horas. Uma vez formado, o radical foi diluído com etanol até a obtenção do valor de absorvância de $0,700 \pm 0,050$ em comprimento de onda de 734 nm. Transferiu-se para tubos de ensaio, 30 μ L de cada extrato etanólico de polpa de fruta (descrito no item 2.2.6.1) e adicionou-se 3,0 mL do radical $ABTS^{+\bullet}$, sendo a absorvância lida a 734 nm, após 6 minutos de reação, utilizando o etanol como branco. Para produção da curva utilizou-se o trolox. Os resultados da atividade antioxidante foram expressos em μ M trolox.g⁻¹ de polpa na base úmida (atividade antioxidante equivalente ao Trolox).

3.2.8 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos por UHPLC-MS

Foi realizada a identificação e quantificação dos compostos fenólicos majoritários (ácido 1,3-dicafeoilquínico, ácido 1,5-dicafeoilquínico, ácido cafeico, ácido *p*-cumárico, ácido clorogênico, ácido elágico, ácido ferúlico, ácido gálico, ácido quínico, ácido xiquímico, kaempferol, quercetina e rutina) por UHPLC-MS, presentes nas polpas liofilizadas controle, irradiadas e pasteurizadas de uvaia, cambuci, feijoa, grumixama e cereja do rio grande.

A extração dos compostos fenólicos foi feita utilizando um homogeneizador FastPrep®-24. Foram pesados 10 mg da polpa liofilizada em um tubo extrator e adicionados 1,5 mL de solução água/metanol (1:1) v/v e uma pérola de porcelana. As amostras foram agitadas a uma velocidade de 5,0 ms⁻¹ durante 120s e em seguida filtradas.

Os experimentos para a identificação e quantificação dos compostos fenólicos foram realizados em um sistema de cromatografia líquida de ultra-eficiência Accela 1250 pump acoplado a um espectrômetro de massas de alta resolução da Thermo Scientific modelo LTQ Orbitrap Velos com ionização por electrospray (ESI) operando no modo negativo. As amostras foram injetadas por um amostrador automático Accela Open. A coluna utilizada foi uma Phenomenex Kinetex PFP (150 mm x 3.00 mm x 2.6 μ m), o fluxo da fase móvel de 500 μ L min⁻¹ e o volume de injeção de 10 μ L. A fase móvel utilizada consistiu em um

gradiente de água/ácido fórmico 0,1% v/v (A) e metanol/ácido fórmico 0,1% v/v (B) descrito na Tabela 1.

Tabela 1 - Gradiente de eluição utilizado na identificação dos compostos fenólicos presentes nas polpas de frutas

Tempo (minutos)	% da fase B
0	5
30	80
35	100
38	100
42	5
45	5

3.3 Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em esquema fatorial 5 x 7 (5 tratamentos, 7 épocas de análises). Foram utilizadas 3 repetições, de cada embalagem contendo 100g de polpa, resultando em 105 amostras de cada fruta.

Os resultados foram avaliados estatisticamente através de análise de variância, e verificando interação entre os fatores, o tempo foi desdobrado dentro de cada tratamento e os resultados submetidos à análise de regressão polinomial. Foram consideradas equações de até 3º grau. O coeficiente de determinação mínimo para utilização das curvas foi de 0,70 (SAS, 2005). As tabelas com as equações de regressão e R^2 das variáveis químicas das polpas submetidas a diferentes tratamentos estão no Anexo B.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ácido ascórbico

Os teores iniciais de ácido ascórbico encontrados nas polpas de uvaia foram consideráveis no primeiro dia de armazenamento (Figura 8), principalmente nas amostras pasteurizadas (89,99 mg de ác. ascórbico.100g⁻¹) e controle (85,40 mg de ác. ascórbico.100 g⁻¹), com valores menores do composto nas polpas irradiadas: 65,66 mg.100 g⁻¹ na dose de 2 kGy; 72,77 mg.100 g⁻¹ na dose de 4 kGy; 64,74 mg.100 g⁻¹ na dose de 6 kGy.

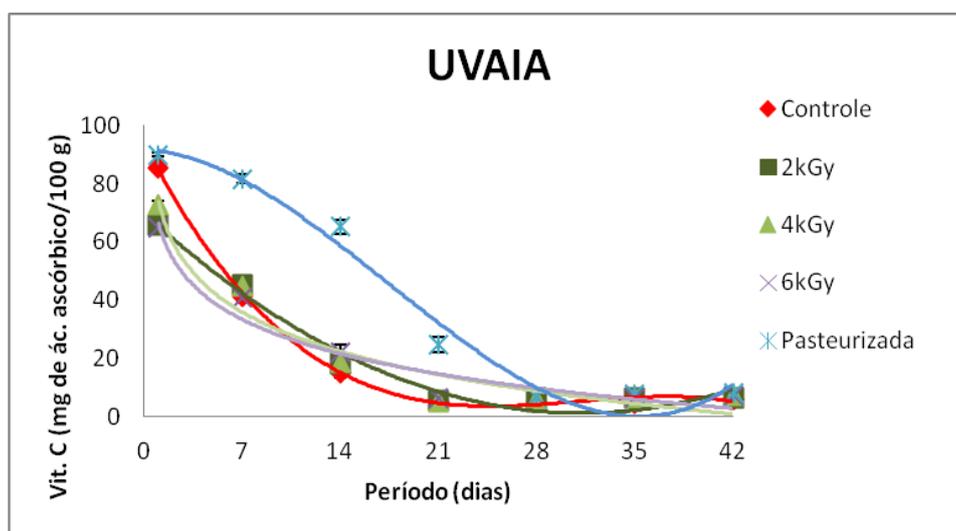


Figura 8 - Ácido ascórbico das polpas de uvaia irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Observa-se ainda a degradação do ácido ascórbico com o decorrer do período de armazenamento, sendo que, a partir do 21º dia, estes teores são inferiores a 10 mg de ác. ascórbico.100 g⁻¹ de polpa de uvaia. As amostras pasteurizadas apresentaram valores superiores aos dos outros tratamentos e as polpas irradiadas e controle tiveram o mesmo comportamento com o decorrer do período de armazenamento, evidenciando que as doses de radiação gama utilizadas não tiveram nenhuma influencia na manutenção da vitamina C na polpa de uvaia.

Nas polpas de cambuci foram encontrados baixos teores de ácido ascórbico, com valores muito próximos entre os tratamentos (Figura 9).

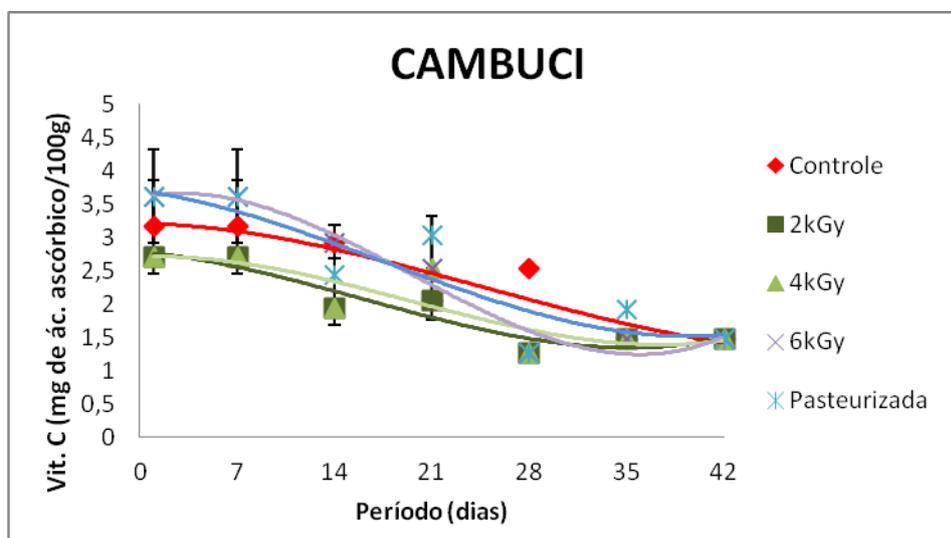


Figura 9 - Ácido ascórbico das polpas de cambuci irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

No controle os valores em média foram de 3,16 mg de ácido ascórbico.100 g⁻¹, nas polpas irradiadas nas doses de 2, 4 e 6 kGy foram de 2,71; 2,71 e 3,61mg de ácido ascórbico.100 g⁻¹, respectivamente, e nas pasteurizadas os teores foram de 3,61 mg de ácido ascórbico.100 g⁻¹. Os teores de ácido ascórbico diminuíram com o tempo de armazenamento, as polpas irradiadas com 2 e 4 kGy apresentaram comportamento semelhante e suas médias estão um pouco abaixo em relação aos outros tratamentos, as amostras irradiadas com 6 kGy apresentaram valores bem próximos aos das pasteurizadas, com médias superiores nos primeiros dias (até 7º dia), cujos valores se igualaram aos de outras doses no 21º dia de armazenamento. De maneira geral os valores de vitamina C de todas as amostras de polpa de cambuci são bem próximos não podendo assim afirmar que o responsável pela degradação ou manutenção do composto seja a radiação gama ou a pasteurização.

Semelhante ao encontrado nas polpas de cambuci também as polpas de feijoa apresentaram baixos teores de vitamina C. O conteúdo de ácido ascórbico das polpas controle e irradiada na dose de 2 kGy são, em média, de 3,16 mg de ácido ascórbico.100 g⁻¹ e das polpas irradiadas a 4 e 6 kGy e pasteurizadas de 2,71 mg de ácido ascórbico.100 g⁻¹. Os valores destes compostos se mantiveram praticamente constantes no decorrer do período de armazenamento na polpa de feijoa (Figura 10).

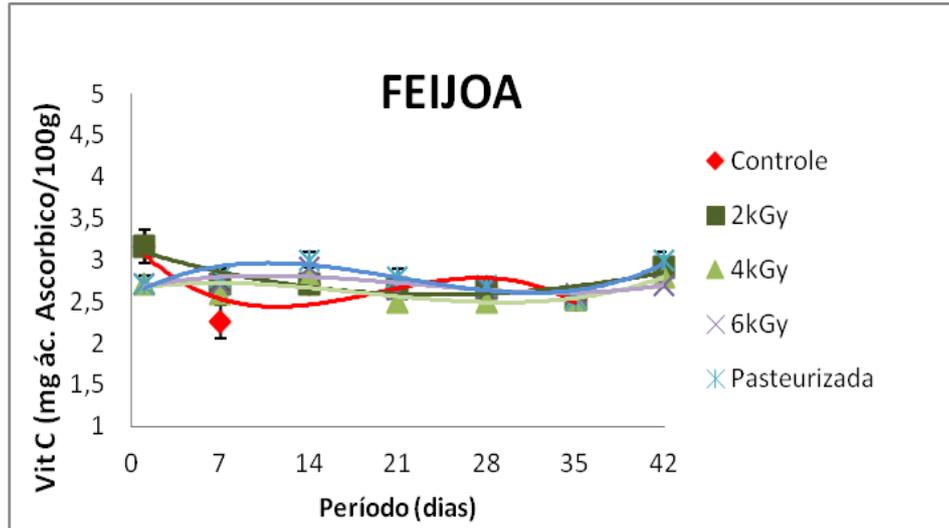


Figura 10 - Ácido ascórbico das polpas de feijoa irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

No primeiro período o controle da polpa de grumixama (8,72 mg ác. asc. 100 g⁻¹ de polpa) apresentou maiores teores de ácido ascórbico em relação às amostras submetidas, tanto à pasteurização (5,51 mg ác. asc. 100 g⁻¹ de polpa), quanto à irradiação (6,66; 5,51 e 5,97 mg ác. ascórbico. 100 g⁻¹ de polpa, nas doses de 2, 4 e 6 kGy, respectivamente) (Figura 11). Evidenciam certa perda do composto devido aos tratamentos tanto de irradiação quanto de pasteurização.

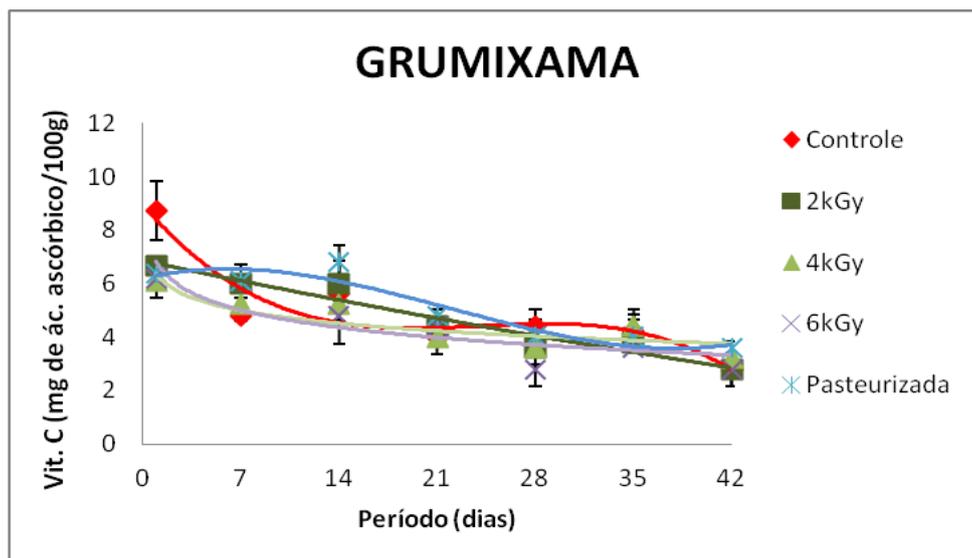


Figura 11 - Ácido ascórbico das polpas de grumixama irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Quanto ao tempo de armazenamento, independente do tratamento houve perdas significativas do ácido ascórbico nas polpas de grumixama do primeiro ao último dia de análises. Assim como o observado nas polpas de uvaia e cambuci o armazenamento parecer ser o responsável pela degradação da vitamina C, pois nem a pasteurização e nem a radiação, nas doses estudadas, propiciaram a maior ou menor manutenção do composto.

Os valores encontrados de vitamina C para a polpa de cereja do rio grande também foram relativamente baixos, sendo que no 1º período de análise foram encontrados maiores valores para as amostras pasteurizadas (5,47 mg de ác. ascórbico.100 g⁻¹). Nas polpas irradiadas, os valores foram 4,56; 4,71 e 4,72 mg de ác. ascórbico.100 g⁻¹, e no controle 4,87 mg de ác. ascórbico.100 g⁻¹ (Figura 12).

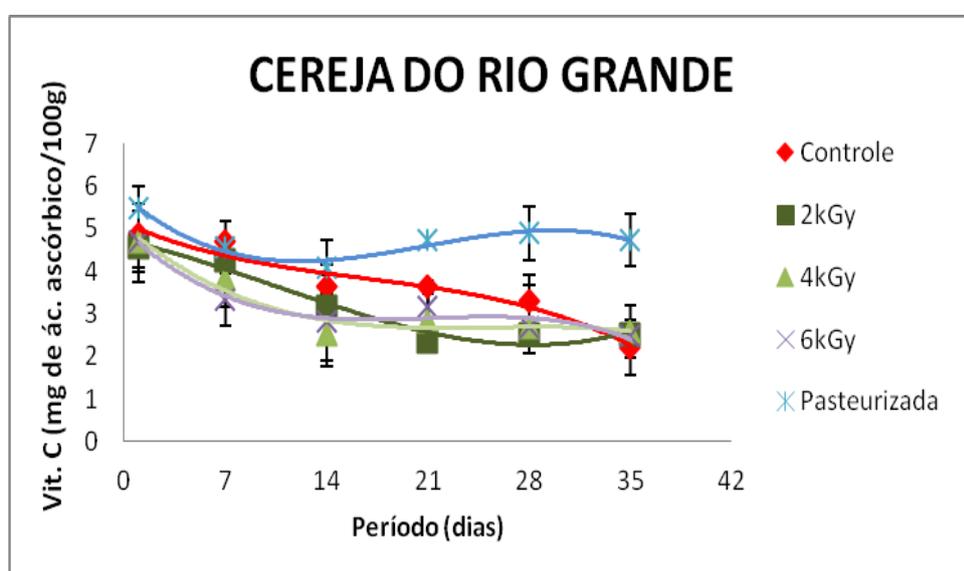


Figura 12 - Ácido ascórbico das polpas de cereja do rio grande irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

No decorrer do período de armazenamento refrigerado observa-se tendência à diminuição do ácido ascórbico nas amostras irradiadas e controle, já as pasteurizadas mantiveram mais estáveis os níveis de vitamina C e relativamente mais altos que os outros tratamentos, evidenciando a maior perda do composto devido às doses de radiação em relação à pasteurização.

De forma geral, apenas a polpa de uvaia apresentou teores consideráveis de vitamina C, apesar de ter sofrido o mesmo processamento das outras polpas. As polpas de cambuci, feijoa, grumixama e cereja do rio grande apresentaram baixo teor deste composto, uma vez que frutas fontes deste composto apresentam valores muito acima destes. Em estudos com

acerola, fruto reconhecidamente fonte de vitamina C foram encontrados 1457,69mg ác. ascórbico.100 g⁻¹ na fruta e na polpa, valores significativamente mais baixos, 778,10 mg ác. ascórbico.100 g⁻¹ (FREIRE et al., 2013). Rufino et al. (2010) encontraram ainda, para outras frutas já conhecidas e muito consumidas, valores de 19 mg ascorbic acid.g⁻¹ em juçara, 17 mg ascorbic acid.g⁻¹ em jaboticaba.

Lorenzi (2006) encontrou 19 mg ác. ascórbico.100 g⁻¹ no fruto de grumixama, valores estes maiores que os observados na polpa deste estudo. Pereira et al. (2012) encontraram para uvaia (70 mg ác. ascórbico.100g⁻¹), valores próximos ao do presente estudo. Vallilo et al. (2005) encontraram teor de 33 mg 100g⁻¹ de amostra fresca em cambuci, e Gonçalves (2008) não detectou vitamina C na polpa da mesma fruta.

Outros frutas também da família Myrtaceae apresentam valores semelhantes ou maiores de vitamina C, como, a gabiroba, 233 mg.100 g⁻¹ (SANTOS et al., 2009); polpa de goiaba, 69,70mg.100 g⁻¹ (FREIRE et al., 2013); pitanga 14,00 mg.100 g⁻¹ e jaboticaba, 12,8 mg.100 g⁻¹ (LAJOLO, 2001).

Vários fatores podem interferir na estabilidade da vitamina C, dentre eles esta a característica própria deste antioxidante que apresenta baixa estabilidade térmica e oxidativa. Sua degradação torna-se mais rápida quando o alimento passa por algum tipo de processamento ou por grandes períodos de armazenamento. Durante o processamento e obtenção da polpa a vitamina C pode ser degradada pelo uso de altas temperaturas, por íons metálicos, por enzimas que ocorrem naturalmente na casca das frutas e pela presença do oxigênio (SILVA et al., 2004; RUFINO et al., 2009; GONÇALVES, 2010). Isso justifica a grande variação de valores de vitamina C encontrados na mesma fruta e entre o que se obtém na fruta fresca e na polpa, sendo na fruta comumente maior que o da polpa.

Rufino et al. (2009) descrevem teores altos de ácido ascórbico para os frutos de açaí, caju e murici (84; 190 e 148 mg/100 g, respectivamente), porém para as polpas desses produtos, os valores encontrados foram muito inferiores (10, 12 e 0,3 mg/100 g). Barreto et al. (2009) relataram teores de ácido ascórbico para polpas de bacuri, buriti e murici inferiores a 1 mg.100 g⁻¹ (0,5 ; 0,7 e 0,4 mg/100 g), abaixo dos observados neste trabalho.

A perda de ácido ascórbico na polpa congelada de araçá em relação à fruta fresca foi atribuída por Damiani et al. (2011) ao tempo gasto entre o processamento e o congelamento; incorporação de ar durante as etapas de processamento, favorecendo as reações de degradação aeróbicas por oxidação; ou ainda à degradação térmica durante a pasteurização.

Além dos fatores já citados, as vitaminas de forma geral, também apresentam sensibilidades diferentes em relação ao tratamento com energia ionizante. A vitamina C é uma das mais sensíveis à radiação (DIONISIO et al., 2009). Os produtos radiolíticos formados durante o processo de irradiação, são neutralizados pela atividade antioxidante da vitamina C (BARATA-SOARES et al., 2004). O que corrobora com o encontrado neste trabalho, onde na maioria das polpas tratadas com radiação gama houve uma diminuição dos teores de vitamina C, em relação às amostras controle e pasteurizadas.

Lima et al. (2009) estudando o efeito da radiação gama nos teores de ácido ascórbico em Buriti encontraram no controle 31,86 mg.100 g⁻¹ deste composto, e uma redução significativa de 27 % e 25 % nas amostras irradiadas com 0,5 e 1,0 kGy, respectivamente. Hussain et al. (2010), analisando o efeito da radiação gama no ácido ascórbico em pêssigo *in natura*, encontraram menor teor de ácido ascórbico nos frutos irradiados com 1,6; 1,8 e 2,0 kGy do que nos irradiados com 1,0; 1,2 e 1,4 kGy durante 14 dias de armazenamento. Diferentemente do encontrado, em estudo com kiwis irradiados com cobalto-60 com 0, 1, 2 e 3 kGy, Kim e Yook (2009) observaram que a irradiação não afetou o teor de vitamina C e atividade antioxidante dos kiwis tratados.

Quanto ao efeito da pasteurização alguns estudos relatam que existe certa estabilidade da vitamina C durante o processo de pasteurização, apesar da vitamina C ter baixa estabilidade térmica, o que faria com que o tratamento de pasteurização fosse desfavorável para este composto. Observou-se para as polpas de uvaia e cereja do rio grande pasteurizadas, teores de ácido ascórbico maiores que para as amostras irradiadas e controle. A presença de enzimas, tais como a peroxidase e ácido ascórbico oxidase, presentes no alimento, também aceleram a oxidação do ácido ascórbico e essas enzimas provavelmente foram inativadas pelo calor e preveniram, assim, as perdas oxidativas do ácido ascórbico (PAULA, 2007).

Alguns estudos também evidenciam a retenção do ácido ascórbico em polpa pasteurizada, onde o teor de ácido ascórbico mantém-se estável durante a pasteurização a 80, 90 e 95°C por 10 minutos em néctar de tamarillo (tomate arbóreo) (MERTZ et al., 2010); também a pasteurização em tacho aberto de polpa de araçá-boi a 80°C/1 min tem-se mostrado eficaz na retenção de vitamina C ao longo do período de armazenamento (GARCÍA-REYES; NARVÁEZ-CUENCA, 2010).

O armazenamento também foi responsável pela diminuição dos teores de vitamina C de todos os tratamentos, devido à biossíntese de vitamina já não ocorrer na polpa, também existe a transformação do ácido dehidroascórbico em 2,3 dicetogulônico, que não apresenta atividade vitamínica. Durante armazenamento também pode ocorrer a degradação da vitamina

C por oxidação, aeróbica ou anaeróbica, ambas levando à formação de furaldeídos, compostos que polimerizam facilmente, com formação de pigmentos escuros (ARAÚJO, 1999).

Após 28 dias de armazenamento a -18°C , Justi et al. (2000) encontraram redução de 23% no conteúdo de vitamina C na polpa de camu-camu. Segundo Silva et al. (2004) a concentração de vitamina C na amostra pode variar por influência da temperatura, oxigênio, pH, tempo de congelamento, variação natural da composição de frutos nativos, bem como da facilidade de oxidação.

Neves et al. (2007), observaram após 28 dias de armazenamento, drástica redução de vitamina C em polpa de manga pasteurizada (95°C por 1 minuto), finalizando o experimento sem qualquer traço deste composto. Hussain et al. (2010) concluíram que de forma geral a diminuição da vitamina C, em pêssgo irradiado, se deve, em grande parte, ao armazenamento e não ao tratamento de irradiação.

4.2 Compostos fenólicos

O conteúdo de compostos fenólicos na polpa de uvaia foram maiores para as amostras pasteurizadas ($2,74 \text{ mg de ác. gálico.mL}^{-1}$). Entretanto, o controle e as polpas irradiadas tiveram o mesmo comportamento e valores em média mais baixos, sendo no primeiro dia, encontrado $2,39 \text{ mg de ác. gálico.mL}^{-1}$ no controle; $2,03$, $2,21$ e $2,36$ para as polpas irradiadas com de 2 ; 4 e 6 kGy , respectivamente (Figura 13).

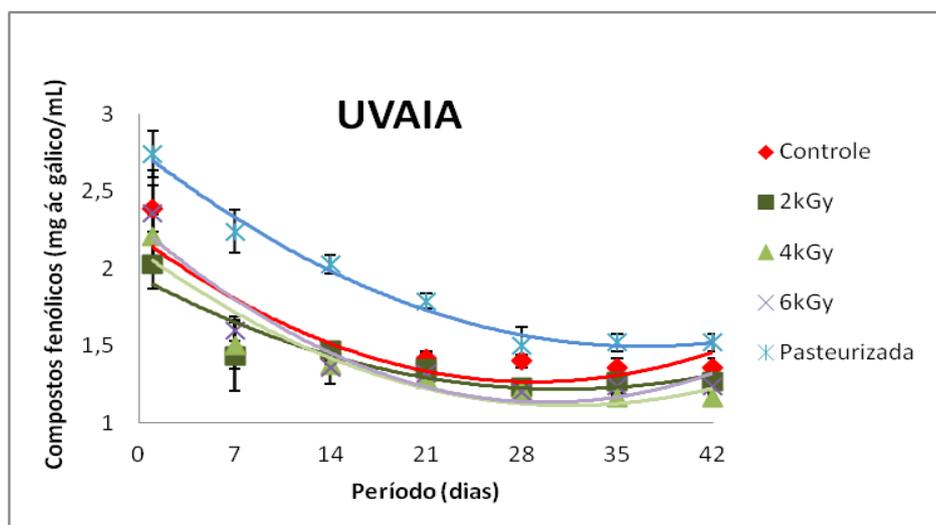


Figura 13 - Compostos fenólicos das polpas de uvaia irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média ($n=6$)

A perda dos compostos fenólicos foi mais acentuada nos primeiros dias, principalmente até o 7º dia de armazenamento. O tempo de armazenamento teve mais influência na redução dos teores do composto do que a irradiação.

No primeiro dia de análise o teor de compostos fenólicos na polpa pasteurizada de cambuci foi de 5,65mg de ác. gálico.mL⁻¹; no controle foi de 3,43 mg de ác. gálico.mL⁻¹; na irradiada a 2 kGy foi de 3,00 mg de ác. gálico.mL⁻¹; a 4 kGy foi de 3,54 mg de ác. gálico.mL⁻¹ e na dose de 6 kGy foi de 3,43 mg de ác. gálico.mL⁻¹ (Figura 14). Observa-se o mesmo comportamento para as três doses de radiação, com uma ligeira diminuição dos compostos durante o período de armazenamento refrigerado.

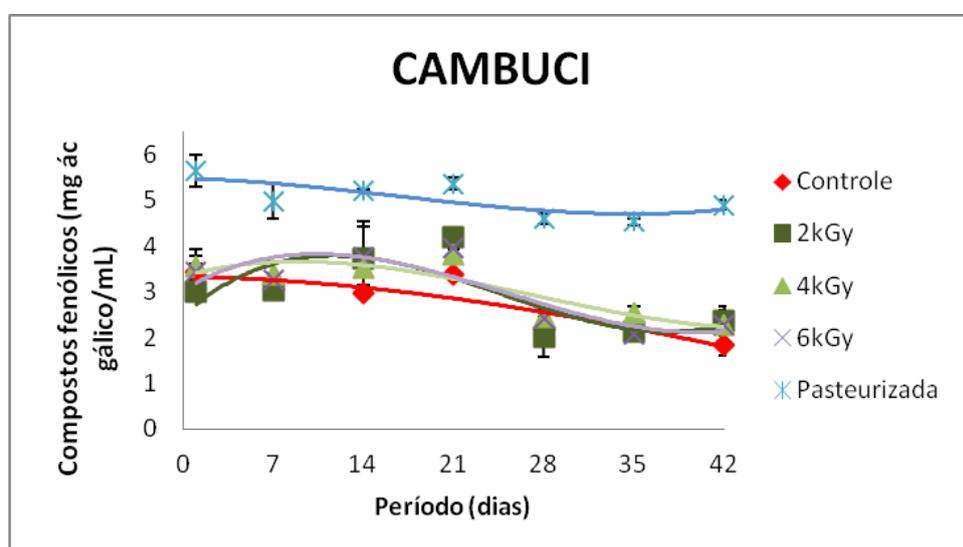


Figura 14 - Compostos fenólicos das polpas de cambuci irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Da mesma forma que observado nas polpas de uvaia, também nas amostras pasteurizadas de polpa de cambuci foram encontrados valores consideravelmente maiores de compostos fenólicos em relação às polpas irradiadas e controle, mostrando que a pasteurização foi mais eficiente que a radiação, em manter os níveis de compostos fenólicos.

Os teores de compostos fenólicos da polpa de feijoa foram relativamente mais altos que os encontrados nas outras polpas estudadas (Figura 15).

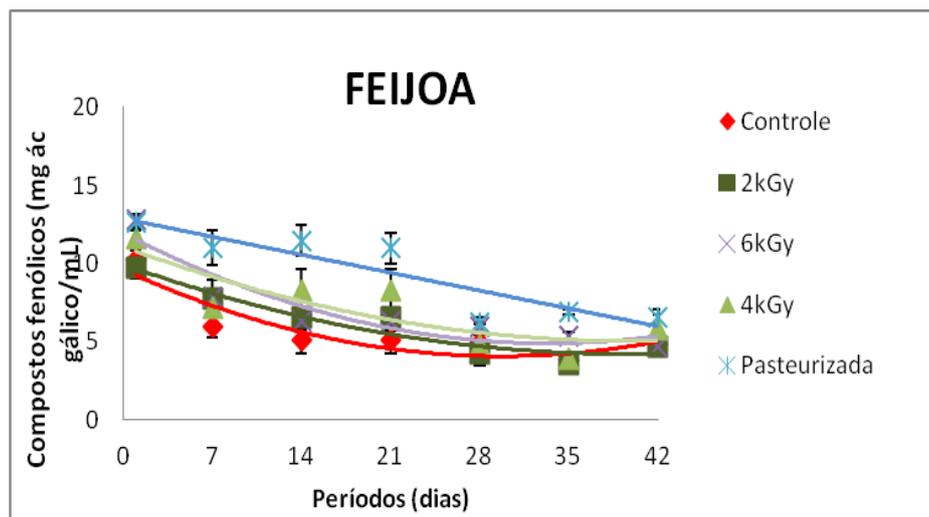


Figura 15 - Compostos fenólicos das polpas de feijoa irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Na polpa controle de feijoa foram encontradas, no primeiro período, 10,21 mg de ácido gálico.mL⁻¹, nas irradiadas com 2; 4 e 6 kGy, 9,75; 11,58 e 12,79 mg de ácido gálico.mL⁻¹, respectivamente, e na pasteurizada 12,64 mg de ácido gálico.mL⁻¹, o último tratamento manteve os teores de compostos fenólicos mais elevados que os demais. No decorrer do período de armazenamento todas as amostras de polpa de feijoa perderam quantidades consideráveis de fenólicos, chegando ao final do experimento com valores variando entre 4,66 e 6,60 mg de ácido gálico.mL⁻¹. De forma geral, observa-se, pelas curvas de tendência, que as doses de radiação gama estudadas apresentaram comportamento semelhante e valores bem próximos do controle no decorrer do tempo de armazenamento, entretanto, na pasteurizada foi mais elevada, evidenciando que apesar do tempo de armazenamento ser responsável pela diminuição dos teores de compostos fenólicos, a pasteurização foi mais efetiva em manter os teores destes compostos.

Os valores iniciais de compostos fenólicos totais encontrados na polpa de grumixama foram de 1,83; 1,65; 1,82; 1,88 e 2,48 mg ácido gálico.mL⁻¹, respectivamente, para as amostras controle, 2, 4, 6 kGy e pasteurizada (Figura 16).

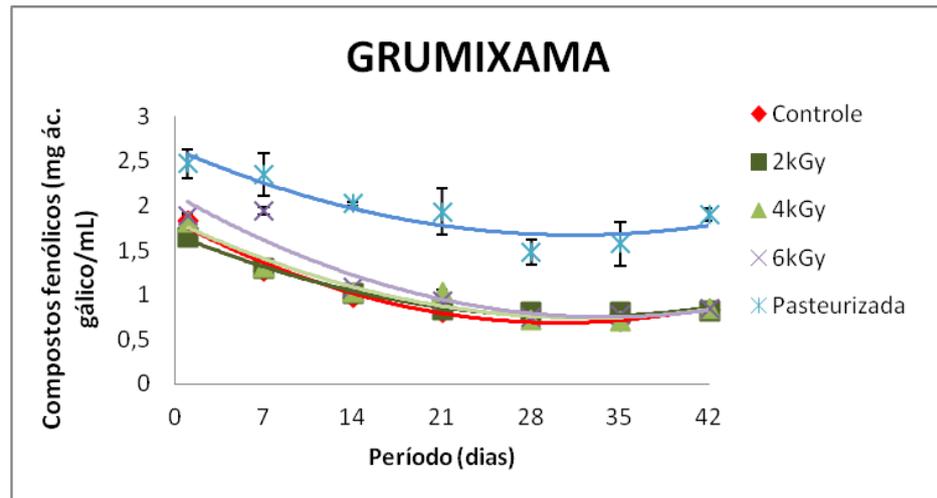


Figura 16 - Compostos fenólicos das polpas de grumixama irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Destaque para as amostras pasteurizadas que obtiveram teores de fenólicos maiores que das demais. A diminuição dos valores dos compostos fenólicos na polpa de grumixama se deu até os 21 dias de armazenamento, e a partir daí tendendo a estabilidade até os 42 dias.

As polpas de cereja do rio grande também apresentaram baixos teores de compostos fenólicos, que variaram de 1,30 mg ácido gálico.mL⁻¹ (controle) a 1,80 mg ácido gálico.mL⁻¹ (pasteurizada) (Figura 17). As polpas irradiadas obtiveram médias de 1,35; 1,40 e 1,44 mg ácido gálico.mL⁻¹, nas doses de 2, 4 e 6 kGy, respectivamente. No geral, as amostras, no decorrer do tempo de armazenamento refrigerado, tiveram decréscimo nos conteúdos de compostos fenólicos e a polpa pasteurizada também apresentou valores em média maiores que as irradiadas e controle.

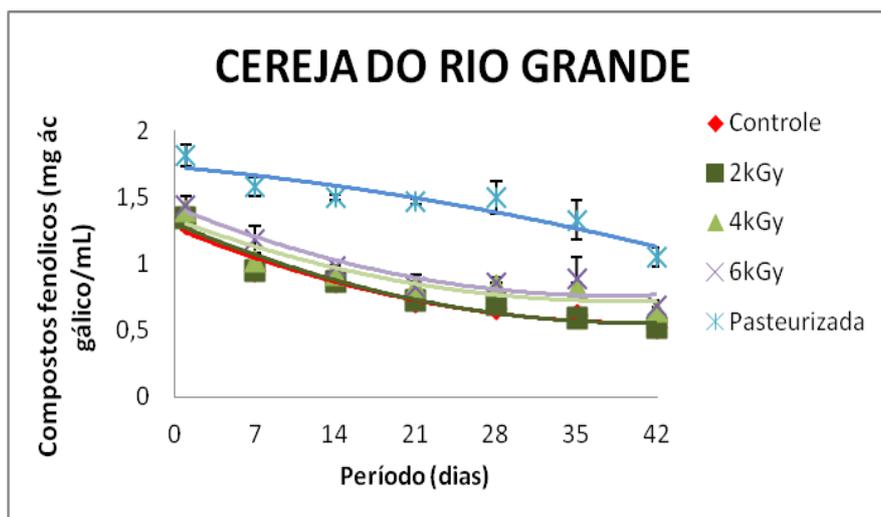


Figura 17 - Compostos fenólicos das polpas de cereja do rio grande irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Os valores encontrados nas polpas de uvaia, grumixama e cereja do rio grande deste estudo são semelhantes aos observados em polpas de outras frutas como a de açaí (1,36 mg.g⁻¹) e de morango (1,32 mg.g⁻¹) analisadas em estudo por Kuskoski et al. (2006). Haminiuk et al. (2011), estudando os compostos fenólicos em diversas frutas nativas, encontrou no cambuci os maiores teores (3,41 mg ácido gálico.mL⁻¹), seguido da feijoa (1,83 mg ácido gálico.mL⁻¹), grumixama (0,569 mg ácido gálico.mL⁻¹) e por último a uvaia (0,37 mg ácido gálico.mL⁻¹). Valores estes abaixo dos encontrados nas amostras de polpa estudada. Em outros trabalhos foram quantificados teores de compostos fenólicos de 10,52 g.kg⁻¹ para polpa de grumixama, 7,0 g.kg⁻¹ para polpa de cambuci (ABE; LAJOLO; GENOVESE, 2012), 15,00 mg ácido gálico.g⁻¹ em polpa de açaí (RUFINO et al., 2011), valores estes superiores aos encontrados nas frutas deste estudo. Silva et al. (2014) também detectaram níveis de compostos fenólicos que consideram elevados em polpa de acerola (29,093 mg ácido gálico.100 g⁻¹ base seca) e graviola (2,886 mg ácido gálico.100 g⁻¹ base seca). Esses valores são relativamente menores do que os encontrados neste trabalho.

Não existe ainda uma quantidade recomendada de ingestão diária de compostos fenólicos, seja por ausência destes dados nas tabelas em que constem dados de composição dos alimentos ou por inexistência de uniformidade de metodologia para identificação e quantificação destes compostos. Assim, seguindo a classificação quanto ao conteúdo de polifenóis em frutas tropicais (VASCO; RUALES; KAMAL-ELDIN, 2008; RUFINO et al., 2010; SILVA et al., 2014), as frutas podem pertencer a três categorias: de baixo conteúdo de fenólicos (<500 mg eq. ácido gálico.100 g⁻¹ base seca), médio (500-2.500 mg.100⁻¹ g

base seca) e elevado (> 2500 mg eq. ácido gálico.100 g⁻¹ base seca). As polpas de uvaia, cambuci, grumixama e cereja do rio grande, de acordo com esta classificação tiveram baixos níveis de compostos fenólicos totais e a polpa de feijoa níveis medianos. Mezdari et al. (2008), consideraram valores de 8,05 e 11,50 mg de ác.gálico.g⁻¹ de polpa de acerola como sendo polpa de alto conteúdo de fotoquímico, os quais são responsáveis pela atividade antioxidante.

Vários fatores podem ser responsáveis pela variação no conteúdo de fenóis totais entre os frutos podendo ser intrínsecos ou extrínsecos. Os compostos sofrem modificações químicas e enzimáticas como: a hidrólise dos glicosídeos pela glicosidases, a oxidação de fenóis pela ação da fenoloxidasas e a polimerização de fenóis livres. Além disso, os compostos fenólicos solúveis podem ocorrer em concentrações mais elevadas nas partes exteriores das plantas, tais como na casca dos frutos (ROBARDS et al., 2002), portanto, dependo de como é feito o processo de despolpa, quantidades variáveis de casca pode estar presente na polpa, alterando o conteúdo destes compostos. As diferenças nos resultados podem estar ainda relacionadas aos aspectos agrônômicos (práticas agrícolas, composição do solo, condições climáticas) e fisiológicos (fase de maturação) (MORALES-SOTO et al., 2014).

Outro ponto está na interferência de outros compostos durante a quantificação dos fenólicos. Estudos indicam que vários compostos redutores podem interferir na quantificação dos polifenóis pelo método de Folin-Cicauteau e um deles é a vitamina C, com maior contribuição (GENOVESE et al., 2003; BALASUNDRAN et al., 2006). Outras substâncias redutoras tais como açúcares e aminoácidos também podem interferir (GEORGEA, et al., 2005; INFANTE, 2013; PAZ et al., 2015).

Como o comportamento durante o período de armazenamento das amostras controle foram semelhante às irradiadas, para a maioria das polpas estudadas, pode-se inferir que o responsável pela diminuição dos teores de compostos fenólicos tenha sido o armazenamento. Klopotek, Otto e Bohm (2005), indicam que as perdas durante o armazenamento, podem ser atribuídas à oxidação de polifenóis e às reações de polimerização, que podem reduzir o número de grupos hidroxilas livres medidos pelo ensaio de Folin-Ciocalteu. Também foi observada diminuição na concentração de fenólicos em estudo com polpa de açaí acidificada, com perda de 8 e 13% desse composto no final de 30 dias armazenadas a 4°C e a 20°C (PACHECO-PALENCIA; HAWKEN; TALCOTT, 2007). Os compostos fenólicos de polpa de araçá congelada (-18°C), foram afetados pelo período de armazenamento ($p < 0.05$), diminuindo de 6,22 mg ác. gálico.100g⁻¹ para aproximadamente zero após 6 meses (DAMIANI et al., 2013).

Uma possível causa para a diminuição nos teores de compostos fenólicos é a existência de enzimas de escurecimento. A polifenoloxidase atua no escurecimento do produto, oxidando os compostos fenólicos existentes, com conseqüente formação de quinonas que se condensam produzindo pigmentos escuros e insolúveis (melaninas). A O-quinona formada pode interagir com grupos amina e tiol, diminuindo a disponibilidade dos compostos fenólicos (ARAÚJO, 2008). Fato que pode ser explicado, pois a irradiação com doses até 6,0 kGy possivelmente não foi capaz de inibir totalmente a polifenoloxidase, ao contrário da pasteurização, cuja temperatura pode ter sido suficiente para degradar a enzima.

Apesar de vários trabalhos também apresentarem como provável causa para a perda de compostos bioativos os processos de esterilização ou pasteurização, que propiciam sua decomposição térmica, sendo as moléculas de estrutura insaturada mais propensa à degradação (RAWSON, 2011), entre os tratamentos, o que preservou maior quantidade de compostos fenólicos do início ao fim foi a pasteurização para as cinco polpas de frutas estudadas.

García-Reyes e Narváez-Cuenca (2010), estudando pasteurização em tacho aberto (65, 73 e 80°C/1 minuto) na qualidade da polpa de araçá boi congelada pelo espaço de 60 dias, detectaram aumento significativo ($p < 0,05$) de compostos fenólicos nas amostras pasteurizadas em todas as temperaturas, quando comparadas à amostra sem tratamento térmico. Conforme Gil-Izquierdo, Gil e Ferreres (2002), tal aumento pode estar relacionado a uma melhora na extração de compostos fenólicos após o aquecimento.

Analisando as curvas de regressão, de modo geral, as amostras controle e irradiadas (2; 4 e 6kGy) das polpas de uvaia, feijoa, grumixama e cereja do rio grande apresentaram o mesmo comportamento no decorrer do período de armazenamento, ou seja, a irradiação não foi efetiva no processo de conservação dos teores de compostos fenólicos.

De Oliveira et al. (2013), estudando doses de 2,0; 4,0 e 6,0 kGy em polpa de camu camu, armazenada à temperatura ambiente e sob refrigeração por 15 dias, não observaram alteração significativa ($P > 0.05$) nos teores de compostos fenólicos. Também Reyes e Cisneros-Zevallos (2007), investigando o efeito da irradiação em manga, não encontraram efeito significativo das doses de 1,0 e 3,1 kGy no conteúdo de compostos fenólicos.

Para a polpa de cambuci as doses de radiação aumentaram os teores de compostos fenólicos após primeiro dia de análise até o 14º dia de armazenamento, como observado no gráfico da Figura 14. Furgeri et al. (2009) encontraram um comportamento semelhante da radiação gama nos teores de compostos fenólicos quando estudaram bebida à base de mate. Segundo os autores, doses crescentes de radiação não provocaram a perda de compostos

fenólicos, ao contrario, ocorreu um aumento na quantidade desses compostos na bebida submetida a 3,0 e 7,0 kGy em relação ao controle. Da mesma forma Song et al. (2006), avaliando os teores de compostos fenólicos em sucos de cenoura e de couve irradiados, verificaram maiores valores a 3 kGy em relação às amostras não irradiadas. Apesar dos fenóis do suco de couve imediatamente após a irradiação, serem significativamente menor do que o controle, durante o período de armazenamento os composto fenólicos da amostra irradiada tornaram-se mais elevados do que o primeiro dia do controle. Youssef et al. (2002) também evidenciaram aumento expressivo dos compostos fenólicos de polpa de manga irradiada com 1,5 kGy, após 30 dias de estocagem (0,82 para 3,19 mg.g⁻¹), nas amostras não irradiadas reduziu de 8,1 para 1,74 mg.g⁻¹. Este aumento dos fenólicos em relação a medição feita logo após a irradiação e depois de um determinado período de armazenamento, pode ser explicado devido a oxidação imediata dos compostos fenólicos no primeiro dia de análise, já que os mesmos tem alto poder antioxidante, reduzindo os radicais livres e as espécies reativas de oxigênio formados pela radiação gama, justificando os menores valores no primeiro dia de análise (ALOTHMAN et al., 2009; SONG et al., 2006), por outro lado, durante o armazenamento, esses radicais livres formados pela radiação gama, exercem um efeito indireto que é a quebra de ligações glicosídicas de alguns compostos presentes nas frutas, levando à formação de monômeros de protocianidinas, o que aumenta o teor de compostos fenólicos de produtos irradiados e armazenados (LEE et al., 2009).

O aumento do teor de fenólicos em frutas ainda é observado em diversos outros estudos, como em, Benoit, D`Aprano e Lacroix (2000), Lee et al. (2009) e Hussain et al. (2010), que indicam um aumento significativo no teor de fenólicos totais em pêssegos irradiados quando comparados ao controle não irradiado. Após a irradiação, o teor de fenólicos totais do controle foi de 14,27 mg.100 g⁻¹ e das frutas irradiadas foi na faixa de 15,37 a 16,87 mg.100 g⁻¹ (HUSSAIN et al., 2010).

4.3 Carotenoides

Os teores de carotenoides encontrados na polpa de uvaia, considerando-se o primeiro dia de análise, foram maiores no controle (24,7 µg β-caroteno.g⁻¹), em relação às polpas irradiadas nas doses de 2, 4 e 6 kGy (18,62; 15,94 e 19,97 µg de β-caroteno.g⁻¹, respectivamente) e pasteurizadas (20,73 µg de β-caroteno.g⁻¹) (Figura 18).

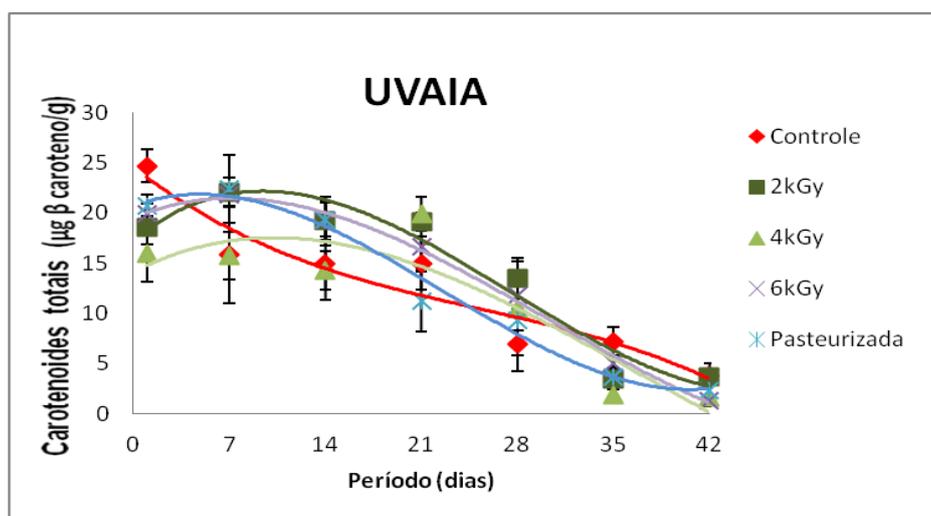


Figura 18 - Carotenoides das polpas de uvaia irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Tanto as polpas irradiadas quanto as pasteurizadas apresentaram comportamento semelhante durante o período de armazenamento, mantendo os conteúdos de carotenoides até o 14º dia de armazenamento refrigerado, e após este período houve decréscimo dos valores deste pigmento, chegando ao final dos 42 dias com 3,72; 1,66; 1,32 e 2,34 µg de β-caroteno.g⁻¹, respectivamente, para as polpas irradiadas e pasteurizada. O controle apresentou diminuição gradativa do primeiro ao último dia de análise.

Os teores de carotenoides encontrados na polpa de cambuci foram menores do que os da polpa de uvaia (Figura 19). Para o controle foi detectado 2,99 µg de β-caroteno.g⁻¹; 2 kGy, 2,26 µg de β-caroteno.g⁻¹; 4kGy, 3,02 µg de β-caroteno.g⁻¹; 6 kGy, 4,57 µg de β-caroteno.g⁻¹ e para a pasteurizada 2,55 µg de β-caroteno.g⁻¹.

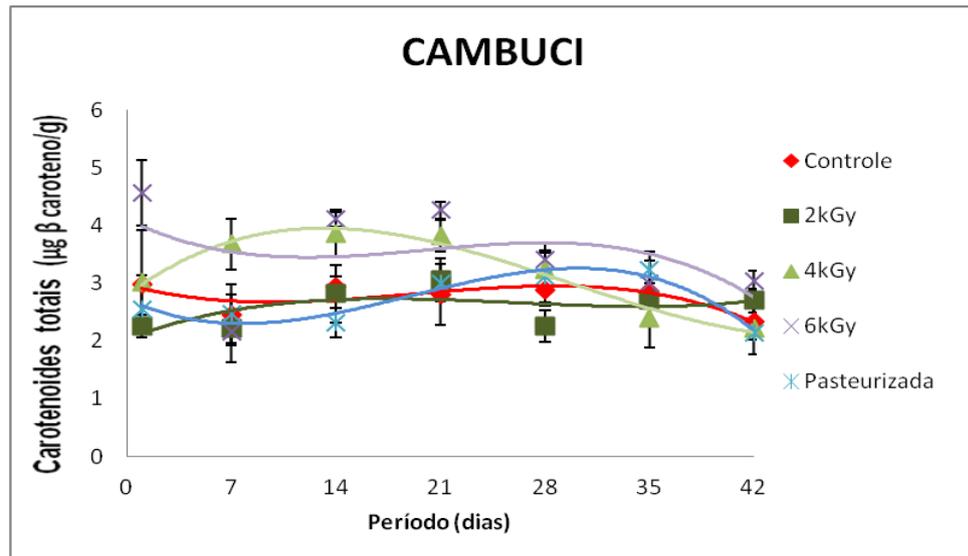


Figura 19 - Carotenoides das polpas de cambuci irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Os teores de carotenoides oscilaram durante o período de armazenamento e não apresentaram tendência definida no tempo, no final dos 42 dias os valores encontrados foram muito próximos aos do primeiro período. As polpas irradiadas com 4 e 6 kGy apresentaram médias maiores que o controle. Assim como na polpa de uvaia, também na polpa de cambuci a irradiação parece ter efeito positivo na conservação dos carotenoides.

O conteúdo de carotenoides na polpa de feijoa foram maiores no controle (12,85 µg de β-caroteno.g⁻¹) e nas irradiadas (15,56; 11,07; 10,24 µg de β-caroteno.g⁻¹, para 2, 4 e 6 kGy, respectivamente) em relação à pasteurizada (3,91µg de β-caroteno.g⁻¹) (Figura 20).

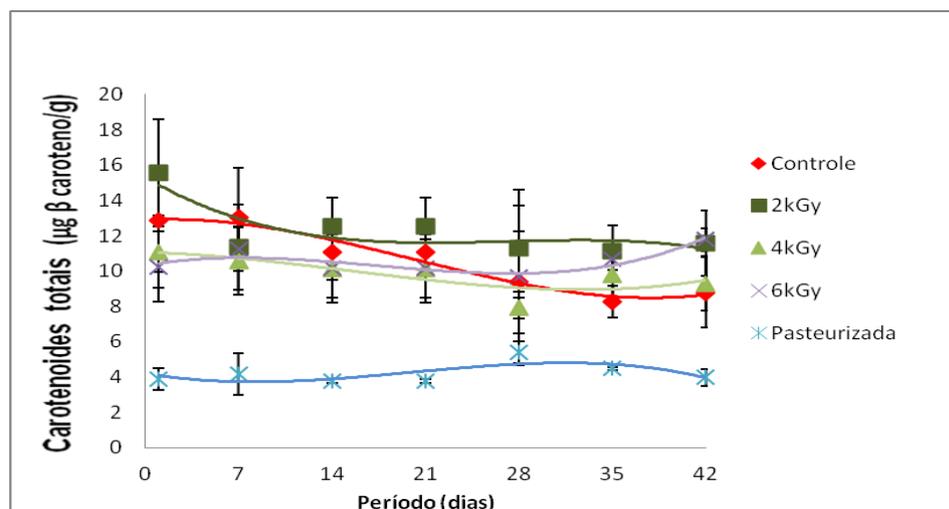


Figura 20 - Carotenoides das polpas de feijoa irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Pode-se observar pela curva que os teores de carotenoides diminuíram no controle e 2 kGy e mantiveram-se praticamente constantes no decorrer do período de armazenamento refrigerado para as doses de 4 e 6 kGy e pasteurizadas, sendo que este último, destacou-se por apresentar as menores médias de carotenoides em relação as irradiadas e não irradiadas no período estudado, evidenciando certa degradação destes compostos devido à elevação de temperatura durante o processamento.

Da mesma forma que para as polpas de feijoa, também as amostras pasteurizadas de polpa de grumixama ($11,11 \mu\text{g}$ de β -caroteno. g^{-1}) foram as que apresentaram menores valores de carotenoides em relação aos outros tratamentos (Figura 21).

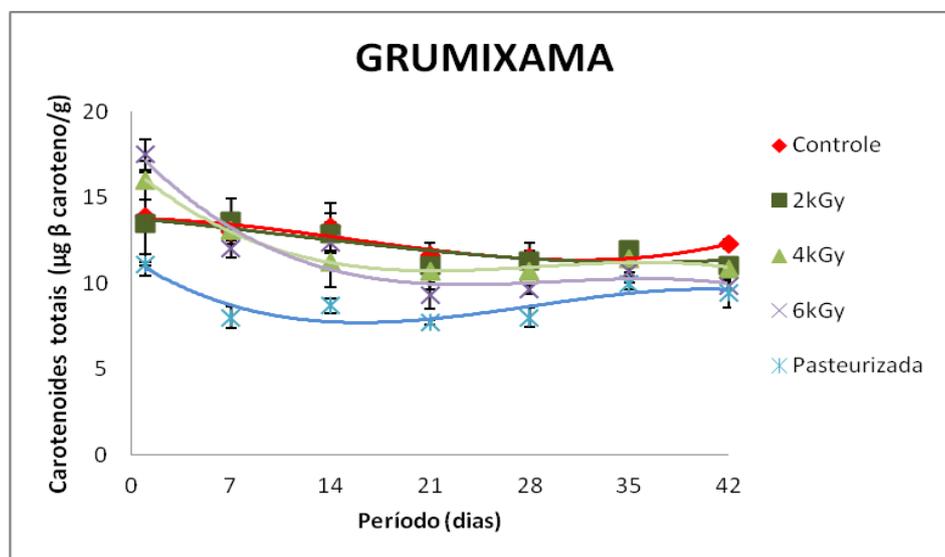


Figura 21 - Carotenoides das polpas de grumixama irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média ($n=6$)

As polpas irradiadas com 4 e 6 kGy obtiveram maiores médias, $16,03$ e $17,51 \mu\text{g}$ de β -caroteno. g^{-1} , respectivamente, o controle e irradiado com 2 kGy tiveram valores bem próximos ($13,87$ e $13,46 \mu\text{g}$ de β -caroteno. g^{-1} , respectivamente), no primeiro período. No decorrer do período de armazenamento o comportamento do controle foi muito semelhante ao da dose de 2 kGy, assim como foi semelhante o comportamento das polpas irradiadas com 4 e 6kGy. De forma geral, as curvas ficaram muito próximas entre as irradiadas e não irradiadas, não ficando evidente se houve benefício na manutenção dos teores de carotenoides devido ao processo de irradiação na polpa de grumixama.

Para as polpas de cereja do rio grande as curvas dos diferentes tratamentos no decorrer do período ficaram bem próximas (Figura 22), sendo os valores iniciais de carotenoides de $13,96 \mu\text{g}$ de β -caroteno. g^{-1} no controle; $12,68 \mu\text{g}$ de β -caroteno. g^{-1} na polpa irradiada com

2kGy; 14,28 μg de β -caroteno. g^{-1} na dose de 4 kGy; 15,61 μg de β -caroteno. g^{-1} na dose de 6 kGy e 14,97 μg de β -caroteno. g^{-1} na pasteurizada. De modo geral a tendência foi de manutenção dos teores do pigmento no tempo.

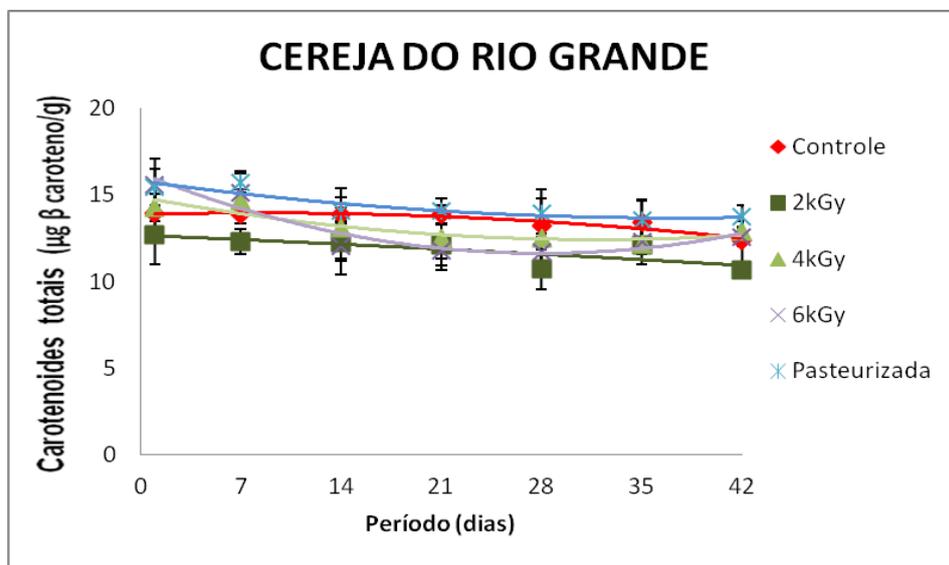


Figura 22 - Carotenoides das polpas de cereja do rio grande irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Os valores de carotenoides das polpas estudadas no presente experimento são consideráveis se comparados com outras polpas de frutas, como amora-preta (0,86 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) (FERREIRA et al., 2010) e polpa integral de açaí (0,21 a 3,84 $\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$) (Dos SANTOS et al., 2008). Pereira, Castilho e Vizzotto (2008) encontraram em cereja do rio grande, mesma fruta analisada no estudo, teores semelhantes de carotenoides totais (15,0 mg equivalente β -caroteno. 100g^{-1} amostra fresca).

Diferente do encontrado nas análises de vitamina C e compostos fenólicos, onde as polpas pasteurizadas se destacaram por apresentar maiores conteúdos destes compostos, para os carotenoides essas polpas pasteurizadas apresentaram valores relativamente menores que os das amostras controle e irradiadas, principalmente nas polpas de feijoa e grumixama. Isso pode acontecer devido às próprias características do composto, já que os carotenoides possuem certa sensibilidade ao calor (GONÇALVES, 2010).

Uenojo et al. (2007) também apontam que além da temperatura, o efeito da luz e oxidação também influenciam na degradação de carotenoides. À temperatura ambiente e na ausência da luz, a velocidade de degradação dos carotenoides torna-se muito lenta, mas à medida que há aumento de temperatura, a velocidade de degradação também aumenta.

Durante o processamento de frutas e hortaliças, os carotenoides são degradados e essa decomposição ocorre principalmente via reação enzimática oxidativa, por foto e auto-oxidação (UENOJO et al., 2007). Portanto, apesar da temperatura ser muitas vezes responsável pela degradação dos carotenoides, alguns autores afirmam ser o tratamento térmico responsável por degradar as enzimas que propiciam a diminuição das mesmas (GONÇALVES, 2010; UENOJO et al., 2007). Em estudo com polpa de pitanga não branqueada e estocada por 90 dias a -18°C foram observados decréscimos consideráveis dos carotenoides totais devido à oxidação enzimática (CAVALCANTE; RODRIGUEZ-AMAYA, 1995).

Outro fator a se considerar além do processamento que causa alterações significativas na composição qualitativa e quantitativa dos carotenoides é a estocagem (CAVALCANTE; RODRIGUEZ-AMAYA, 1995). A manutenção dos carotenoides durante a estocagem de alimentos processados é favorecida pela baixa temperatura, proteção da luz, exclusão do oxigênio e presença de antioxidantes (RODRIGUEZ-AMAYA, 1997).

Pesquisas com polpas de frutas submetidas à radiação gama e que avaliaram o conteúdo de carotenoides, demonstraram que o armazenamento teve mais influência do que a irradiação na redução do pigmento. Lima et al. (2009), avaliando o efeito da radiação gama em buriti do brejo, observaram decréscimo de aproximadamente 17 % no teor de carotenoides totais nos frutos tanto irradiados (1 kGy) quanto não irradiados após 30 dias sob congelamento. Youssef et al. (2002) cita que o conteúdo de carotenoides em polpa de manga não foi influenciado pela irradiação com doses de até 2 kGy e que após 30 dias de armazenamento a 3°C , o teor de carotenoides diminuiu.

De modo geral, apenas para as polpas de uvaia a degradação dos carotenoides foi mais acentuada com o período de armazenamento, para as polpas de cambuci, feijoa, grumixama e cereja do rio grande o comportamento das amostras irradiadas e controle foram semelhantes e com diminuição pouco significativa nos teores deste composto após 42 dias de armazenamento.

4.4 Flavonoides

O conteúdo de flavonoides encontrado na polpa de uvaia está na faixa entre 3,89 e 4,56 mg de quercetina.100 g^{-1} (controle e pasteurizada, respectivamente) (Figura 23). Nas polpas irradiadas os valores foram intermediários (4,31; 4,04 e 4,42 mg de quercetina.100 g^{-1}

nas doses de 2, 4 e 6 kGy, respectivamente), e no decorrer do período de armazenamento foi observada pouca alteração nos seus teores, que se mantiveram praticamente constantes. O controle teve diminuição mais acentuada dos flavonoides.

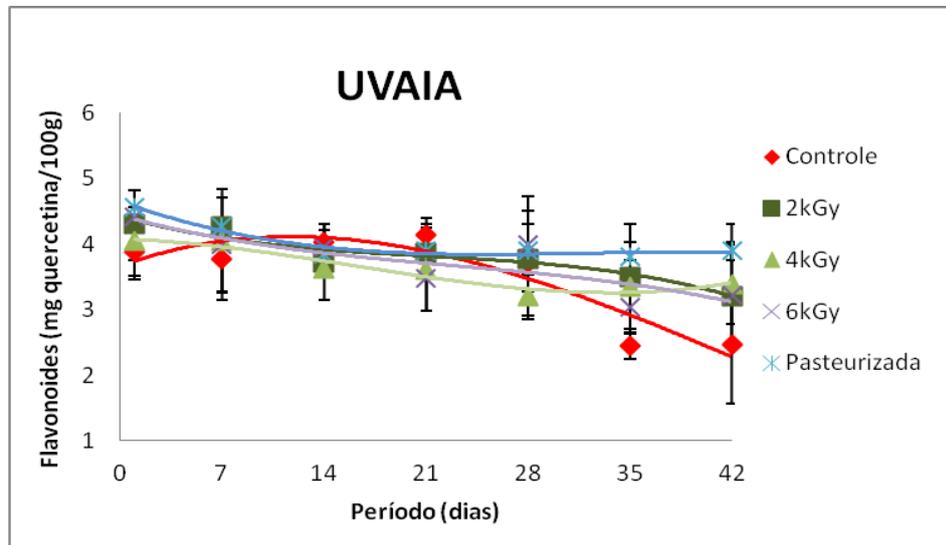


Figura 23 - Flavonoides das polpas de uvaia irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Na polpa de cambuci, não foram detectados valores de flavonoides totais em nenhuma das amostras estudadas.

Dentre as cinco polpas de frutas nativas estudadas, a feijoa foi a que apresentou as maiores médias de flavonoides totais e também a que apresentou maior degradação deste composto com o período de armazenamento (Figura 24).

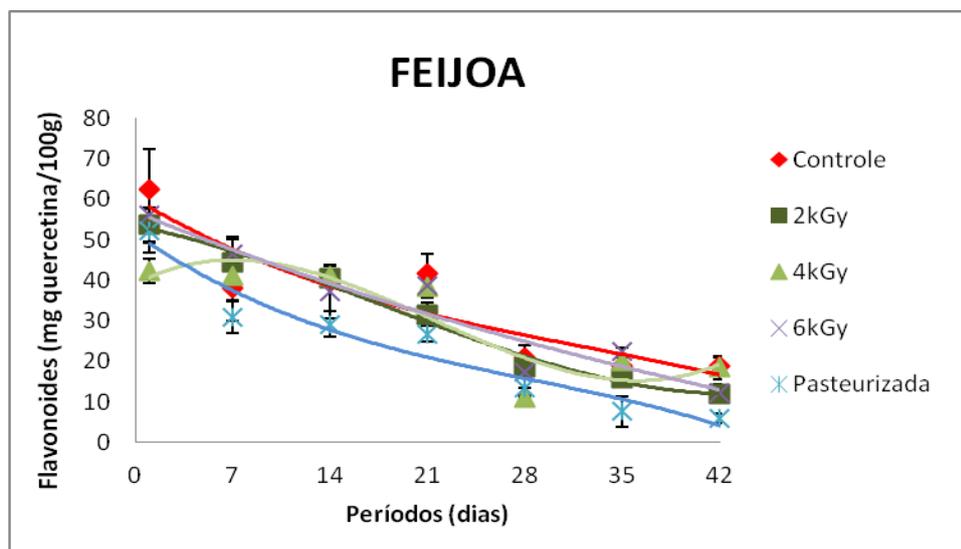


Figura 24 - Flavonoides das polpas de feijoa irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

No controle de feijoa os teores de flavonoides diminuíram de 62,45 para 18,73 mg de quercetina 100 g^{-1} , nas irradiadas a 2 kGy de 53,45 para 11,98 mg de quercetina 100 g^{-1} , na dose de 4 kGy de 42,33 para 18,48 mg de quercetina 100 g^{-1} , a 6 kGy de 56,1 para 12,36 mg de quercetina 100 g^{-1} e na pasteurizada de 52,16 para 5,85 mg de quercetina 100 g^{-1} após 42 dias de armazenamento refrigerado. As curvas das polpas irradiadas e controle ficaram bem próximas, evidenciando que a radiação gama nas doses estudadas não propiciou a manutenção dos teores de flavonoide na feijoa. Quanto à pasteurização, suas médias foram relativamente mais baixas que dos outros tratamentos, mostrando que a utilização de altas temperaturas ajudou para a degradação dos flavonoides.

Foram identificados teores consideráveis de flavonoides na polpa de grumixama (Figura 25).

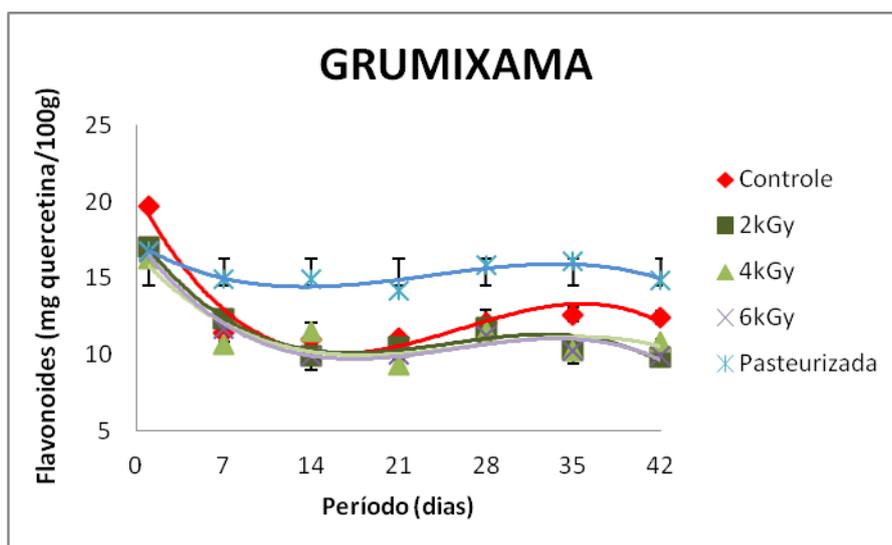


Figura 25 - Flavonoides das polpas de grumixama irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média ($n=6$)

Pela curva de tendência pode-se observar que o controle da polpa de grumixama ($19,73\text{ mg}$ de quercetina 100 g^{-1}) e as irradiadas ($17,04$; $16,28$ e $16,65\text{ mg}$ de quercetina 100 g^{-1} , respectivamente nas doses 2, 4 e 6 kGy) tiveram comportamentos semelhantes, com seus teores de flavonoides totais diminuídos principalmente nos primeiros 7 dias de armazenamento e depois deste período os valores mantiveram-se constantes.

A polpa pasteurizada ($16,77\text{ mg}$ de quercetina 100 g^{-1}), apesar de ter apresentado degradação dos flavonoides em relação ao controle, no primeiro período, manteve seus valores constantes e acima dos encontrados nas amostras irradiadas no decorrer do período de armazenamento. Portanto, no caso da polpa de grumixama, a irradiação não influenciou na

manutenção dos teores de flavonoides totais, já a pasteurização foi responsável pela sua estabilidade no decorrer do período de armazenamento.

A polpa pasteurizada de cereja do rio grande apresentou valores iniciais de 6,73 mg de quercetina 100 g^{-1} e relativamente maiores que das irradiadas (4,4; 4,91; 5,18 mg de quercetina 100 g^{-1} , nas doses de 2; 4 e 6 kGy, respectivamente) e amostra controle (4,62 mg de quercetina 100 g^{-1}) (Figura 26).

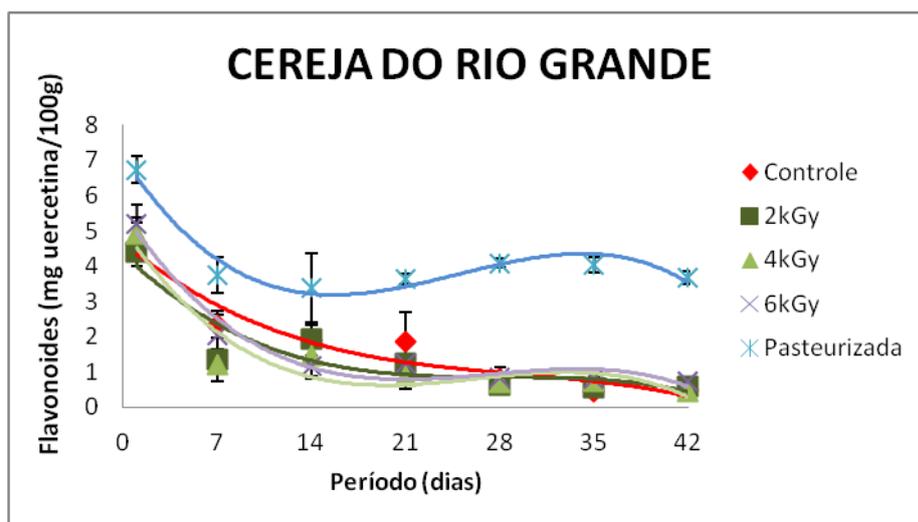


Figura 26 - Flavonoides das polpas de cereja do rio grande irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média ($n=6$)

Durante o período de armazenamento refrigerado as polpas controle e irradiadas apresentaram comportamento semelhante e valores muito próximos.

Não existe informação sobre a quantidade diária de flavonoides que deveriam ser ingeridos, porém alguns autores observaram que, dentre os alimentos que seriam a maior fonte de flavonoides na dieta do brasileiro que são a laranja o alface e o tomate, a estimativa é que ocorra a ingestão de 60 a 106 mg/pessoa/dia de flavonoides ao se consumir estes alimentos (ARABBI et al., 2004). Sendo assim, a introdução do consumo regular de frutas e polpas de frutas nativas que são fontes destes compostos, trariam um maior benefício à saúde da população.

Os valores encontrados para flavonoides nas cinco polpas estudadas são compatíveis com os resultados descritos na literatura para extratos das mesmas ou de outras frutas, como de diversas mirtáceas cujos teores variam de $14,87 \pm 1,53$ a $77,97 \pm 6,25$ mg de quercetina. 100 g^{-1} peso fresco, com o menor valor para grumixama (GUEDES, 2013); Abe, Lajolo e Genovese (2011) encontraram em grumixama teores de flavonoides totais de $1,91\text{ g.kg}^{-1}$ e no cambuci $0,0035\text{ g.kg}^{-1}$ fruta fresca; Egea (2014) obteve $11,18\text{ g}$ de

quercetina.100 g⁻¹ em polpa de uvaia; Spagolla et al. (2009) encontraram valores variando entre 10,0 e 15,0 µg.mL⁻¹ de flavonoides totais para mirtilo; Lima et al. (2000) encontraram teores de flavonóis variando de 9,31 a 20,22 mg de quercetina.100g⁻¹ em acerola; Hakkinen et al. (1999) relataram conteúdos de quercetina de 0,06 a 1,58 g kg⁻¹ (fruta fresca) em 25 variedades de “berries” (bagas).

Assim como no presente estudo não foram encontrados teores detectáveis de flavonoides em cambuci, também Silva et al. (2014), estudando 12 diferentes polpas de frutas, não detectaram valores de flavonoides em oito delas, a exemplo estão a acerola, abacaxi, goiaba e manga.

Os flavonoides são agentes antioxidantes capazes de inibir a oxidação de lipoproteínas de baixa densidade (RAUHA et al., 2000), sendo considerados melhores antioxidantes que a vitamina C (CAO et al., 2006). São compostos relativamente estáveis, pois resistem à oxidação, altas temperaturas e moderadas variações de acidez (ROSS; KASUM, 2002; MACHADO et al., 2008), porém não resistiram ao período de armazenamento como foi observado para as polpas de feijoa, grumixama e cereja do rio grande.

As amostras irradiadas foram as que apresentaram queda mais acentuada, de flavonoides, em comparação as pasteurizadas, mostrando que a irradiação não foi eficiente em impedir a degradação deste composto.

Devido à radiólise sobre os componentes do alimento, a radiação gama tem como característica a liberação de radicais livres no sistema. De acordo com Kuskoski et al. (2004), o grupo dos flavonoides tem estrutura química adequada para atuar como antioxidante, pois podem doar hidrogênio ou elétrons aos radicais livres ou capturá-los e deslocá-los de sua estrutura aromática. Tal característica pode ter sido a razão pelo qual os teores de flavonoides diminuíram nas polpas irradiadas, pois uma reação em cadeia foi originada, onde ocorreu a reação destes compostos com os radicais livres introduzidos, produzindo a auto-oxidação de muitas moléculas.

Porém, diferente do observado neste estudo, Reyes e Cisneros-Zevallos (2007) encontraram aumento significativo dos flavonoides em mangas irradiadas com 3,1 kGy e armazenadas por 18 dias. Kondapalli et al. (2014) também verificaram aumento do teor de flavonoides totais nas amostras de vinho de manga de sete cultivares diferentes, irradiadas nas doses de 0,5; 1,0 e 3,0 kGy.

Quanto ao tratamento de pasteurização observou-se que, apesar de apresentar também diminuição dos flavonoides, os mesmos mantiveram seus teores mais estáveis e elevados durante o período de armazenamento, principalmente nas polpas de cereja do rio grande e

grumixama. Dados semelhantes foram encontrados por Igual et al. (2011) que, objetivando avaliar o efeito da pasteurização (80°C/11 segundos) no conteúdo de flavonoides de suco de grapefruit, perceberam que a aplicação do calor causou diminuição no conteúdo destes compostos no produto, porém em comparação com as amostras não tratadas, as pasteurizadas foram as que perderam menos composto durante o armazenamento (4° e 18 °C durante 60 dias).

4.5 Antocianinas

Não foram detectadas antocianinas nas polpas de uvaia, cambuci e feijoa.

As polpas de grumixama pasteurizadas apresentaram as maiores médias de antocianinas (106,01 mg de equivalente de cianidina-3-glicosídeo.L⁻¹) e as polpas irradiadas as menores (52,93; 32,36 e 48,64 mg de equivalente de cianidina-3-glicosídeo.L⁻¹, nas doses de 2, 4 e 6 kGy) (Figura 27).

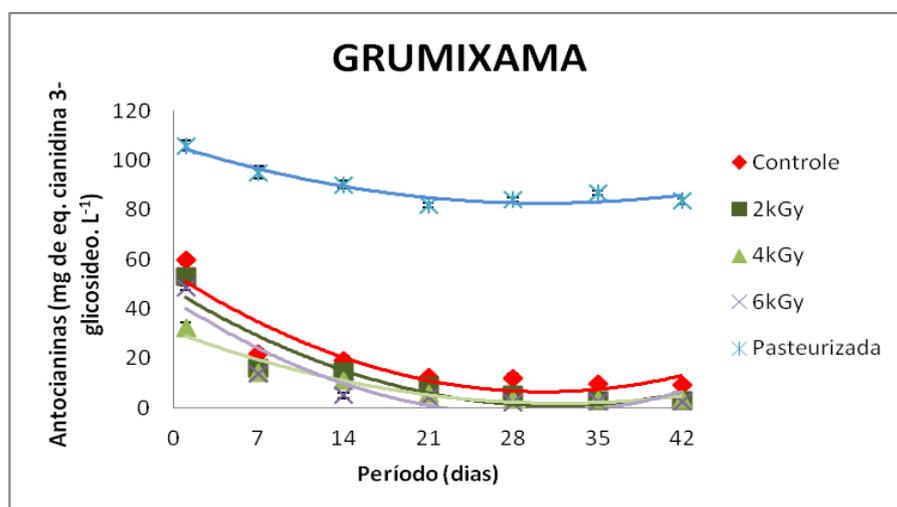


Figura 27 - Antocianinas das polpas de grumixama irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Para todos os tratamentos houve diminuição significativa do teor de antocianinas comparando-se o primeiro e o último período, sendo que a maior perda foi observada até o 14° dia de armazenamento. O tratamento em que mais se observou esta degradação foi a

irradiação (nas três doses), onde as perdas ficaram em torno de 90%. A pasteurização foi o tratamento que acarretou menor perda do pigmento, cerca de 22%.

De forma geral, as polpas pasteurizadas obtiveram maiores médias de antocianinas em todos os períodos de armazenamento, evidenciando certa estabilidade deste composto devido ao uso de altas temperaturas e nenhum efeito benéfico quanto à aplicação da radiação gama.

Para a cereja do rio grande os conteúdos de antocianinas também foram consideravelmente maiores para as amostras pasteurizadas (136,33 mg de equivalente de cianidina-3-glicosido.L⁻¹) em relação a controle (77,11 mg de equivalente de cianidina-3-glicosido.L⁻¹) e as irradiadas (74,91; 77,7 e 69,47 mg de equivalente de cianidina-3-glicosido.L⁻¹), nas doses de 2, 4 e 6 kGy, respectivamente) no primeiro período (Figura 28).

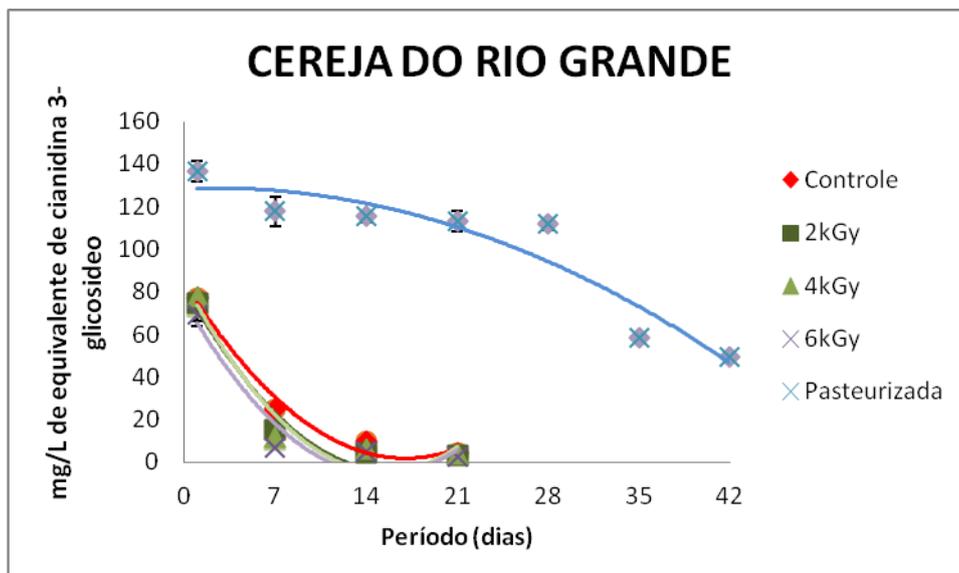


Figura 28 - Antocianinas das polpas de cereja do rio grande irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Assim como observado na polpa de grumixama, também o período de armazenamento foi o responsável pela diminuição do composto na polpa de cereja do rio grande. No final de 42 dias de armazenamento refrigerado foram encontrados teores de antocianinas apenas na amostra pasteurizada (49,44 mg de eq. de cianidina-3-glicosido.L⁻¹). Nas polpas irradiadas e controle, a partir do 21º dia já não foi mais detectado este pigmento.

Em estudo com diversas frutas, Abe, Lajolo e Genovese (2011) encontraram os maiores conteúdos de antocianinas em grumixama 1,69 g cianidina kg⁻¹ (base fresca) e não foi detectado nenhum traço deste pigmento no cambuci, goiaba vermelha e branca, assim

como observado neste estudo; Egea (2014) para polpa de uvaia obteve 23,76g eq. quercetina.100 g⁻¹. Em amora, fruto da mesma família das estudadas, foram encontrados 90,5 mg.100 g⁻¹ (FERREIRA et al., 2010) e 41,8 mg.100 g⁻¹ (KUSKOSKI et al., 2006); Silva et al. (2014), em polpa de acerola obtiveram 144,27 mg.100 g⁻¹ (base seca).

Haminiuk et al. (2011) ao estudarem diversas frutas brasileiras, encontraram teores altos de antocianinas na polpa de grumixama (266,34 mg.100 g⁻¹) e valores mais baixos para a polpa de feijoa (70,24 mg.100 g⁻¹), cambuci (19,44 mg.100 g⁻¹) e uvaia (4,77 mg.100 g⁻¹).

Esses valores inferiores em relação à polpa de grumixama se devem possivelmente ao fato de que, no momento da despolpa, além das sementes, grande parte da casca do fruto ficou retida na despoldadeira. Na casca, que apresenta coloração vermelha escura, mais intensa que a polpa, poderia estar concentrada grande parte das antocianinas. Alguns estudos relatam a diferença entre os teores de antioxidantes encontrados na polpa e na casca do fruto, e apontam para a maior incidência destes compostos na casca (VILLANUEVA-TIBURCIO; CONDEZO-HOYOS; ASQUIERI 2010; INGLET; CHEN, 2011).

Vários fatores são relatados na literatura como interferentes na degradação das antocianinas. A temperatura é um interferente na estabilidade desta molécula, à medida que se submete a solução de antocianinas a uma temperatura superior a ambiente (25 °C), a sua degradação é maior, podendo também ocorrer por meio de reação com ácido ascórbico, bem como com o peróxido de hidrogênio, o qual é formado a partir da reação de ácido ascórbico com água e enzimas presentes na casca do fruto (OZKAN et al., 2002). A luz também é um dos fatores de grande importância, principalmente, na alteração da cor das antocianinas e quando combinada com o efeito do oxigênio sua transformação é mais intensa. Em contrapartida, a estabilidade das antocianinas ao descolorimento aumenta consideravelmente pela presença de ácidos fenólicos, flavonoides não antocianínicos, especialmente os flavonóis, acetaldeídos, aminoácidos, taninos, dentre alguns outros, que conferem aumento na estabilidade da molécula. Esse aumento na estabilidade é atribuído à copigmentação, ou seja, associação entre antocianina e flavonol (copigmento) por ligações de hidrogênio, de modo que o flavonol venha a formar uma estrutura protetora envolvendo a antocianina (BOBBIO; BOBBIO, 2001; LOPES, 2010).

Apesar do aquecimento ser apontado como um dos responsáveis pela degradação das antocianinas, no presente trabalho observou-se que, tanto para as polpas de grumixama quanto de cereja do rio grande as amostras pasteurizadas apresentaram valores superiores, chegando a praticamente o dobro, dos encontrados nas polpas irradiadas e controle. Assim como foi

também maior a retenção destes compostos nas amostras pasteurizadas no decorrer do tempo de armazenamento.

Observou-se também, durante o experimento, que as polpas pasteurizadas mantiveram a cor mais viva e estável quando comparadas com as irradiadas e controle, que escureceram durante o armazenamento. Esta estabilidade da cor e dos teores de antocianinas pode ser explicada pela sua interação com os compostos fenólicos, que comumente atuam como co-pigmento, pois há a complexação molecular das antocianinas com estes compostos o que dá estabilidade à cor (DAVIES; MAZZA, 1993); também pela inativação de enzimas de escurecimento, como a peroxidase, que podem ter sido inativadas durante o processo de pasteurização. De acordo com Araújo (2008), a atividade da peroxidase pode levar à descoloração de carotenoides e de antocianinas.

Quanto à irradiação pode-se dizer que não houve influencia da mesma na manutenção das antocianinas nas polpas estudadas, pois não barraram sua degradação. De Oliveira et al. (2013) também observaram a degradação completa da coloração e das antocianinas em polpa de camu-camu irradiadas e não irradiadas. As polpas apresentaram 0,46; 0,30 e 0,14 mg de eq. de cianidina-3-glicosídeo.100 mL⁻¹, respectivamente nas doses de 2, 4 e 6 kGy e após 15 dias de armazenamento a 6 °C seus teores chegaram a zero. Os autores ainda justificaram que isso pode ter ocorrido devido à instabilidade deste pigmento quando exposto à luz ultravioleta e visível ou outras fontes de radiação ionizante. Alighourchi, Barzegar e Abbasi (2008), também observaram diferença significativa, com diminuição dos teores de antocianinas em suco de romã depois de irradiados com doses de 0,5; 2,0; 3,5; 5,0 e 10 kGy, os autores sugeriram que os sucos deveriam ser irradiados com doses máximas de até 2 kGy somente, para manter as características e teores de antocianinas do mesmo.

Diferentemente, Gonçalves et al. (2006) concluíram que a radiação gama demonstrou ser uma alternativa de conservação de polpa de acerola à temperatura ambiente, viabilizando a sua comercialização em embalagens assépticas, porém sem o efeito negativo do calor, especialmente sobre os pigmentos antociânicos, que caracterizam a cor vermelho-alaranjado do suco. Este estudo evidenciou que a radiação gama na maior dose estudada (4 kGy) apresentou uma menor cinética de perda do pigmento antociânico durante a estocagem à temperatura ambiente. Hussain et al. (2010) também observaram efeito benéfico da radiação gama no aumento do teor de antocianinas em pêssegos irradiados nas doses de 0 a 2,0 kGy.

4.6 Atividade antioxidante pelo método de sequestro do radical DPPH

A atividade antioxidante encontrada na polpa de uvaia foi de $74,37 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ no controle, $76,34 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ na dose de 2 kGy, $70,08 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ a 4 kGy, $73,98 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ a 6 kGy e $89,57 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ na pasteurizada (dia 1) (Figura 29).

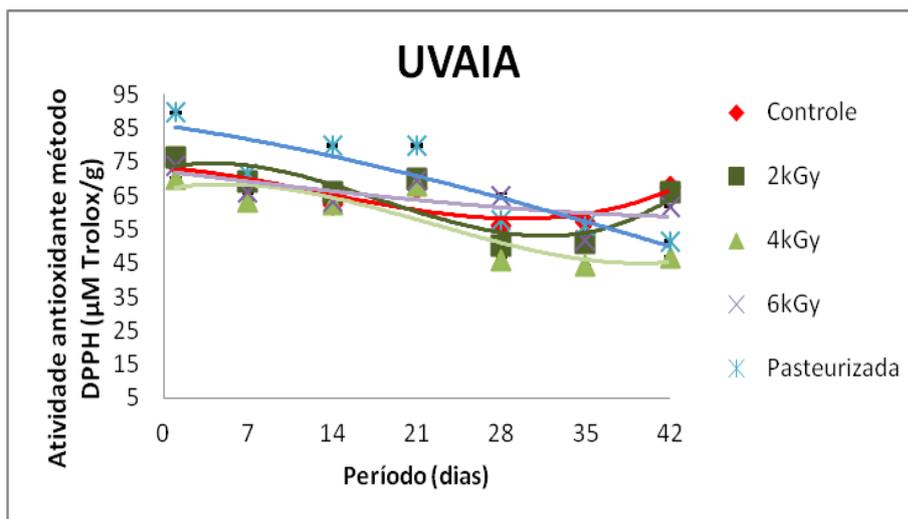


Figura 29 - Atividade Antioxidante (DPPH) das polpas de uvaia irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média ($n=6$)

A atividade antioxidante total não apresentou grandes variações nas polpas de uvaia irradiadas (2 e 6 kGy) e controle. Na amostra irradiadas com 4 kGy e, principalmente, na pasteurizada, observa-se um decréscimo durante o período de armazenamento.

Os teores de atividade antioxidante total dada pelo método DPPH na polpa controle de cambuci foi de $61,86 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$, a 2 kGy foi de $56,31 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$, a 4 kGy foi de $54,95 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$, a 6 kGy foi de $45,77$ e na pasteurizada foi de $31,26 \mu\text{M Trolox.g}^{-1}$ (Figura 30).

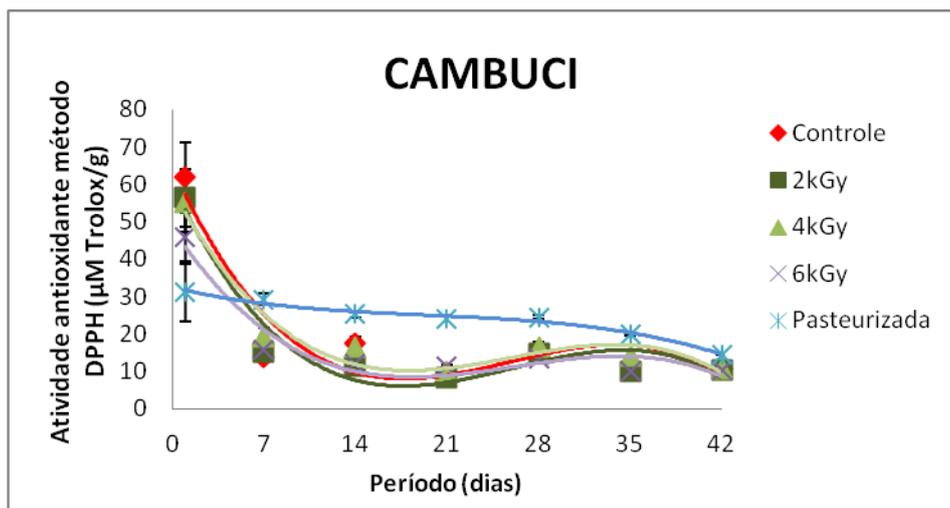


Figura 30 - Atividade Antioxidante (DPPH) das polpas de cambuci irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Houve diminuição da atividade antioxidante já nos primeiros dias de análise para as amostras irradiadas e controle, se mantendo constantes nos demais períodos. A amostra pasteurizada obteve menor valor no primeiro dia de armazenamento, mas permaneceu constante nos demais períodos, com atividade maior do que os demais tratamentos. No final do período todas se igualaram ao redor de 10 $\mu\text{M Trolox.g}^{-1}$. Observa-se mais uma vez, que o comportamento das polpas irradiadas foram semelhantes ao do controle, mostrando que a radiação gama, apesar de não evitar a diminuição da atividade antioxidante, também não foi prejudicial a mesma.

As polpas de feijoa, irradiadas e controle, apresentaram comportamentos semelhantes entre si e ao do cambuci, com decréscimo acentuado da atividade antioxidante, no decorrer do período de armazenamento (Figura 31). As pasteurizadas no dia 1 obtiveram menor valor de atividade antioxidante, mas se mantiveram constantes nos demais períodos de armazenamento, com acréscimo inclusive a partir do 28º dia até o final. Assim como para uvaia e cambuci, as polpas de feijoa irradiadas e controle tiveram o mesmos comportamento e valores muito próximos, evidenciando que a radiação gama nas doses estudadas não foi responsáveis pela queda dos níveis de atividade antioxidante.

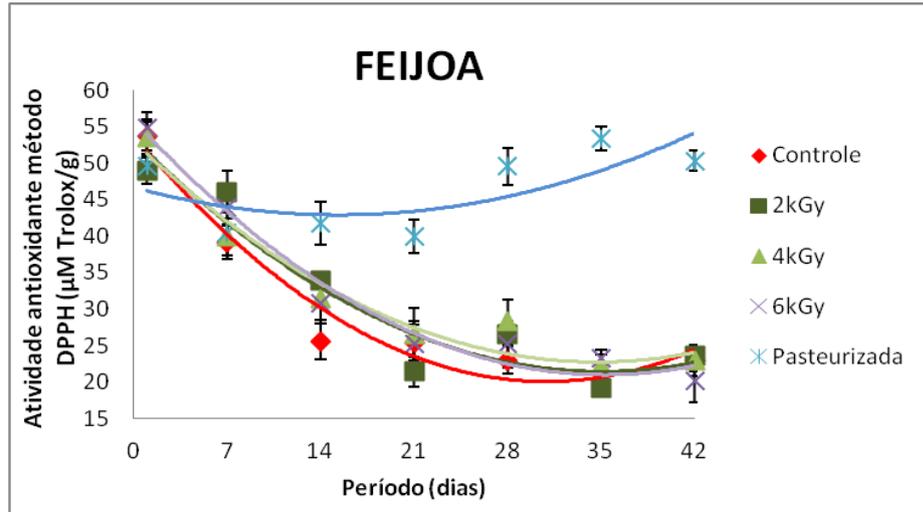


Figura 31 - Atividade Antioxidante (DPPH) das polpas de feijoa irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

O tratamento que melhor preservou a atividade antioxidante da polpa de grumixama foi a pasteurização (Figura 32). Os valores iniciais (dia 1) da atividade antioxidante para esta polpa foi de 104,7 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ e após 42 dias de armazenamento de 96,29 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$.

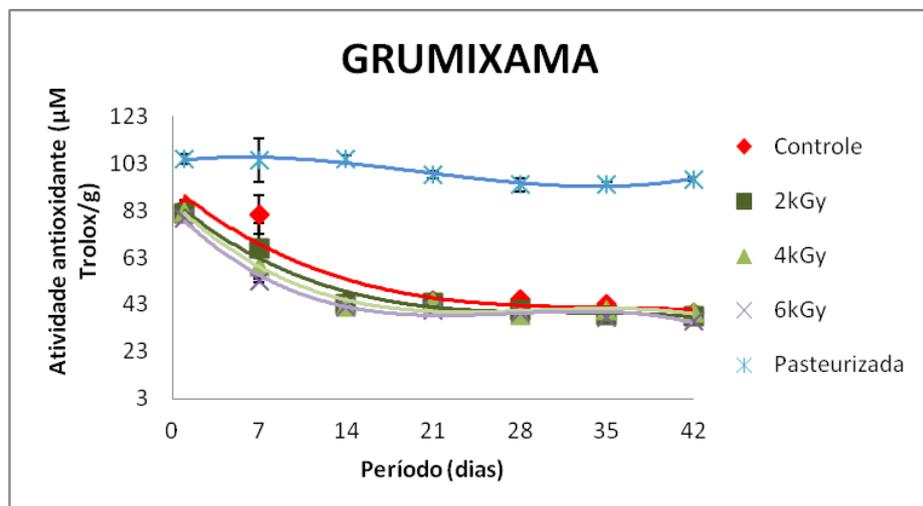


Figura 32 - Atividade Antioxidante (DPPH) das polpas de grumixama irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

As amostras controle e irradiadas (2, 4 e 6 kGy), apresentaram o mesmo comportamento ao longo do período de armazenamento, com 84,42; 81,56, 81,96 e 79,71 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$, respectivamente, no primeiro período; a partir do 14º dia já tiveram sua atividade antioxidante reduzida pela metade, mantendo-se constante até o fim do experimento,

chegando a 39,45 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ na controle, 37,88; 39,35 e 36,12 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ nas doses de 2, 4 e 6 kGy, após 42 dias.

Comportamento semelhante ao encontrado para a polpa de grumixama, foi observado para a polpa de cereja do rio grande, onde as amostras pasteurizadas obtiveram valores de atividade antioxidante maiores se comparada com as irradiadas e controle (Figura 33).

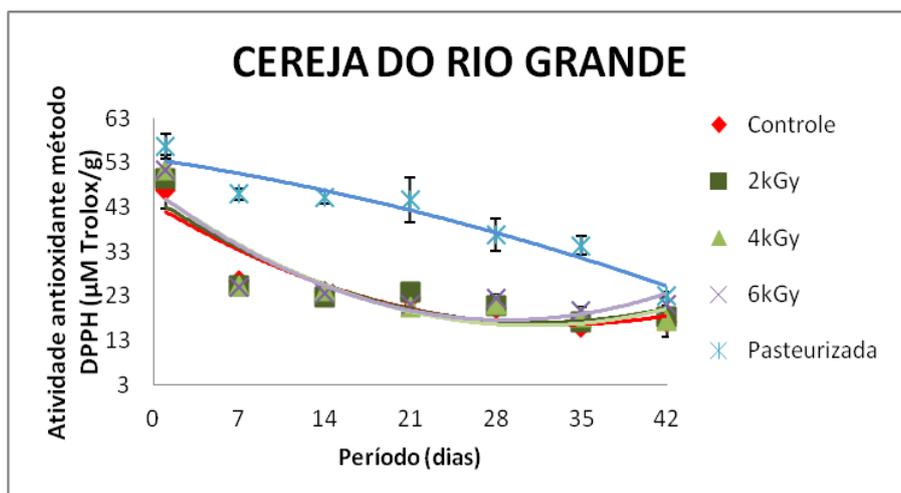


Figura 33 - Atividade Antioxidante (DPPH) das polpas de cereja do rio grande irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média ($n=6$)

Houve diminuição da atividade antioxidante no período estudado. O controle apresentou valores que foram de 46,82 a 17,27 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$, a 2 kGy foi de 49,48 a 18,32 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$, a 4 kGy de 51,46 a 17,30 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$, a 6 kGy de 51,32 a 21,10 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ e na pasteurizada de 56,78 a 23,16 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$. Como observado em todas as polpas de frutas e também para a cereja do rio grande, as amostras irradiadas apresentaram comportamento semelhante a controle, não havendo indícios de alteração da atividade antioxidante devido ao processo de radiação, em contrapartida as polpas pasteurizadas se destacaram por manter elevados e mais estáveis os valores de atividade antioxidante total, se igualando às demais amostras no final.

Os valores de atividade antioxidante encontrados nas polpas estudadas estão de acordo com os encontrados na literatura, porém existe uma dificuldade de correlacionar estes resultados, devido à variação de metodologias, de formas de se fazer o extrato para quantificação e também nos cálculos. Em estudo Abe; Lajolo; Genovese (2012) encontraram valores da capacidade sequestradora de radicais livres variando entre 5,6 e 141 mmol Trolox. kg^{-1} (fruta fresca). Sendo que a grumixama ($64 \text{ mmol Trolox kg}^{-1}$)

juntamente com o camu-camu (141 mmol Trolox.kg⁻¹) e a jaboticaba (62 mmol Trolox kg⁻¹) são os que apresentam os maiores valores entre as 10 frutas selecionadas. Os autores atribuem esta alta atividade antioxidante da grumixama às antocianinas que são responsáveis pela sua forte cor roxa.

Kuskoski et al. (2005) observaram que as polpas de frutas tropicais congeladas e comercializadas no Brasil, possuem elevados valores de atividade antioxidante e destacou a polpa de acerola, com 68,00 $\mu\text{mol trolox.g}^{-1}$, pelo método DPPH, valores próximos aos encontrados neste estudo.

Freire et al. (2013), determinaram a atividade antioxidante equivalente ao trolox de polpa congelada de acerola, caju, morango e goiaba, e encontraram os respectivos valores 1.298,14; 250,02; 192,73 e 96,10 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ de amostra, valores superiores aos encontrados neste trabalho.

Kuskoski et al. (2006), estudando várias polpas de frutas obtiveram 7,4 $\mu\text{mol eq. trolox.g}^{-1}$ para polpa de goiaba, 4,5 $\mu\text{mol eq. trolox.g}^{-1}$ na polpa de graviola e 68,0 $\mu\text{mol eq. trolox.g}^{-1}$ na polpa de acerola.

Genovese et al. (2008), utilizando também o método DPPH, encontraram 9 $\mu\text{mol eq. trolox.g}^{-1}$ em cambuci, 4,4 $\mu\text{mol eq. trolox.g}^{-1}$ para jaracatiá, 4,1 $\mu\text{mol eq. trolox.g}^{-1}$ para araçá e 1,8 $\mu\text{mol eq. trolox.g}^{-1}$ em araçá-boi. Chen et al. (2014), estudando 33 polpas de frutas por diversos métodos de atividade antioxidante encontraram valores de DPPH variando de 6,48 a 129,71 $\mu\text{mol eq. ác. ascórbico.g}^{-1}$ de polpa fresca, sendo que manga e nectarina estavam entre as que apresentaram os maiores valores.

Vários fatores influenciam a atividade antioxidante, incluindo as propriedades coloidais dos substratos, as condições e etapas de oxidação, a formação e estabilidade dos radicais, assim como a possível localização dos antioxidantes e estabilidade em distintas fases do processamento nos alimentos (ROCKENBACH et al., 2008).

De forma geral observou-se que, das cinco polpas estudadas, a radiação gama nas doses aplicadas apresentou o mesmo comportamento das amostras não irradiadas, com diminuição da atividade antioxidante durante o período de armazenamento. Em contra partida, as amostras pasteurizadas, apesar de sofrerem perda da atividade antioxidante durante o processamento, foram as polpas que se mantiveram mais estáveis no decorrer do armazenamento.

Da Silva et al. (2014) não encontraram diferença significativa entre as polpas de amora preta irradiadas com 0,75; 1,5 e 3,0 kGy e o controle, armazenados a 4 °C por 60 dias. Lee et al. (2009) também não encontraram efeito significativo das doses de radiação gama em suco

fresco de tamarindo irradiados com 0; 1; 2; 3 e 5 kGy, quanto à atividade antioxidante (DPPH), no primeiro dia de análise. Diferentemente do encontrado neste estudo, os mesmos autores, observaram que após 30 dias a 4°C, houve aumento significativo da atividade antioxidante no suco de tamarindo.

De acordo com Pinelo et al. (2004), o aumento da atividade pode ser explicado pela forte tendência de polifenóis a sofrer reações de polimerização, em que os polímeros resultantes possuem maior grau de metoxilação (esterificação) e número de hidroxila, possibilitando atuarem como agentes redutores. Quando o grau de polimerização exceder um valor crítico, o aumento da complexidade molecular e impedimento estérico reduz a disponibilidade de grupos hidroxilo em reação com os radicais DPPH, o que provoca uma diminuição da sua capacidade antioxidante (menor quantidade de radicais livres). Isto pode explicar a diminuição observada na atividade antioxidante dos sucos, que se seguiu após o aumento transitório inicial. No final do período de armazenamento de 29 dias, cinco dos seis sucos estudados apresentaram uma redução significativa em TEAC ($p < 0,05$), que variou de 15% (cranberry) a 62% (cereja).

4.7 Atividade antioxidante pelo método ABTS

A análise da atividade antioxidante dada pelo método ABTS em polpa de uvaia apresentou baixos valores, na polpa controle foi de $8,55 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$, na dose de 2 kGy, de $8,45 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$, a 4 kGy de $8,11 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$, a 6 kGy de $9,06 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$ e na pasteurizada foi de $9,97 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$ (Figura 34).

Durante o armazenamento houve tendência à diminuição desses valores, porém no final dos 42 dias as médias observadas foram bem próximas as do primeiro dia, principalmente para o controle ($8,32 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$), 2 kGy ($7,68 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$) e 6 kGy ($6,98 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$). Já para a polpa pasteurizada ($7,27 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$) e irradiada com 4 kGy ($6,51 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$), os valores de atividade antioxidante após 42 dias de armazenamento foram menores que os encontrados no primeiro período.

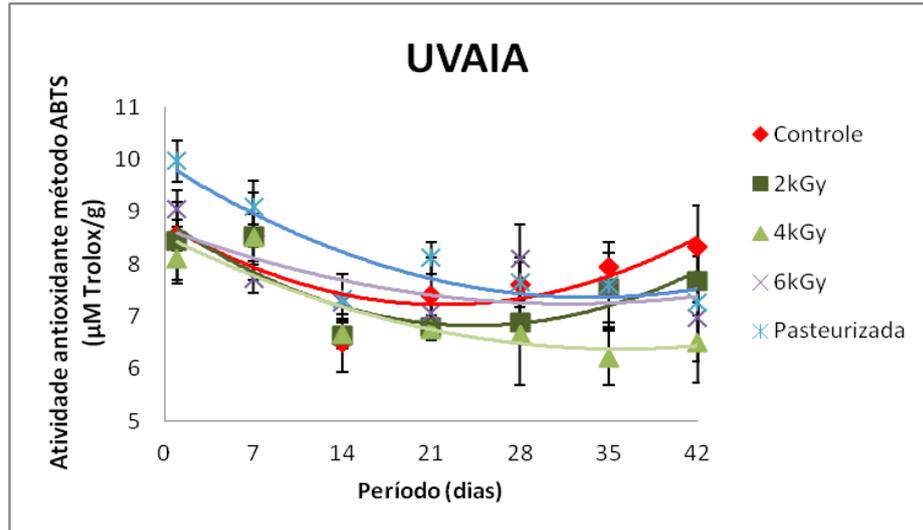


Figura 34 - Atividade Antioxidante (ABTS) das polpas de uvaia irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Na polpa de cambuci os valores encontrados para atividade antioxidante foram relativamente maiores que os da polpa de uvaia. No primeiro período as médias foram de 32,09 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ no controle; 29,39; 28,19; 28,8 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$, respectivamente nas polpas irradiadas com 2; 4 e 6 kGy e 36,86 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ na pasteurizada (Figura 35).

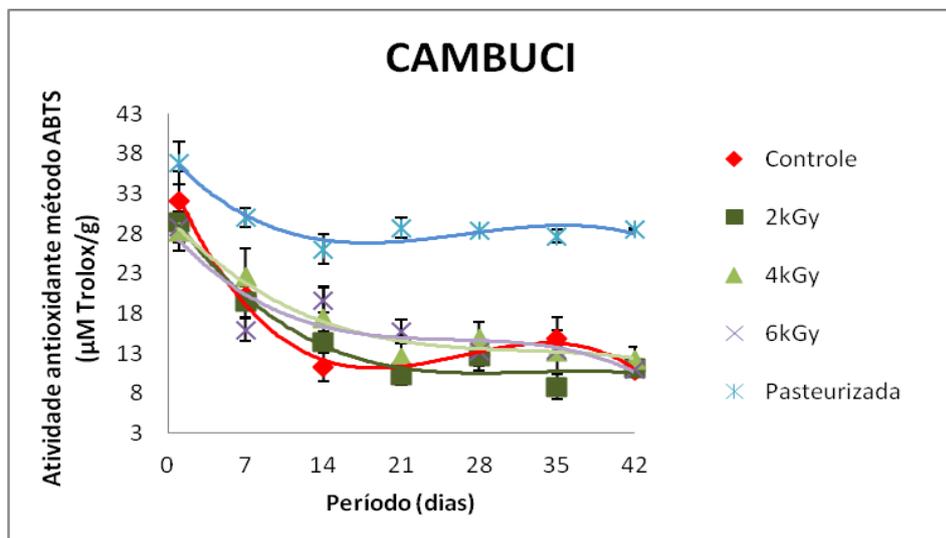


Figura 35 - Atividade Antioxidante (ABTS) das polpas de cambuci irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Após 42 dias de armazenamento refrigerado as polpas apresentaram diminuição da atividade antioxidante de 66% na polpa controle, 62% na polpa irradiada na dose de 2 kGy, 52% na dose de 4 kGy, 61% na dose de 6 kGy e somente de 22% na pasteurizada. Observa-se também que a polpa pasteurizada apresentou valores consideravelmente maiores que as amostras irradiadas e controle. Assim como observado na polpa de uvaia e também na polpa de cambuci os valores e o comportamento da atividade antioxidante (ABTS) durante período de armazenamento foram semelhantes entre as amostras irradiadas e controle.

No primeiro dia de análise, os valores de atividade antioxidante da polpa de feijoa foram bem próximos para as amostras irradiadas (7,11; 7,97 e 7,97 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ a 2, 4 e 6 kGy, respectivamente) não irradiadas (7,33 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$) e pasteurizadas (9,72 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$) (Figura 36).

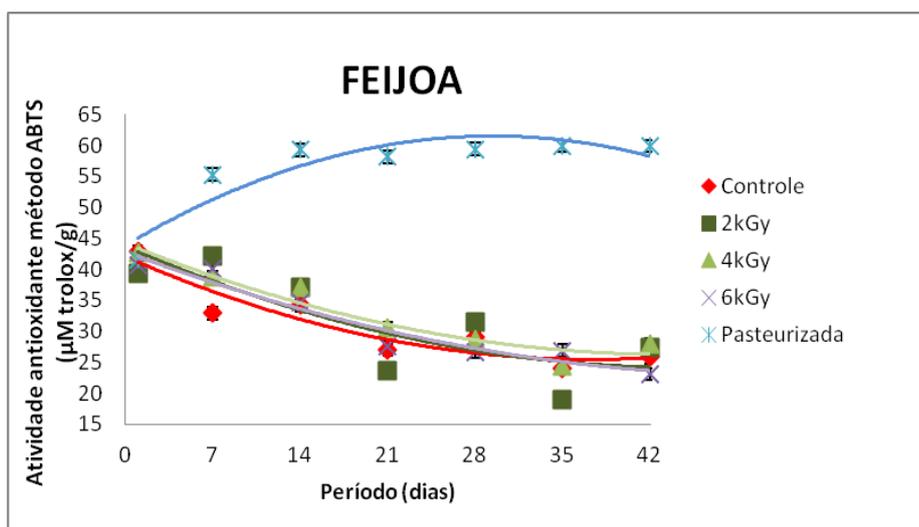


Figura 36 - Atividade Antioxidante (ABTS) das polpas de feijoa irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

As polpas pasteurizadas durante os 42 dias de armazenamento mantiveram suas médias acima das encontradas nas amostras irradiadas e controle e foi observado também aumento destes valores com o tempo. As polpas irradiadas apresentaram o mesmo comportamento que o controle no período, com diminuição da atividade antioxidante, que foi da ordem de 39% no controle e 30; 34 e 43%, nas amostras irradiadas com 2, 4 e 6 kGy. Portanto, não houve prejuízo da atividade antioxidante devido ao processo de irradiação se comparado com o controle, mas sim um efeito do armazenamento sobre o conteúdo do mesmo.

Na polpa de grumixama os valores de atividade antioxidante encontrados para as amostras pasteurizadas ($37,84 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$) foram maiores que os valores das polpas controle e irradiadas ($29,41$; $26,78$; $27,14$ e $27,41 \mu\text{M trolox.g}^{-1}$) no início do experimento (Figura 37).

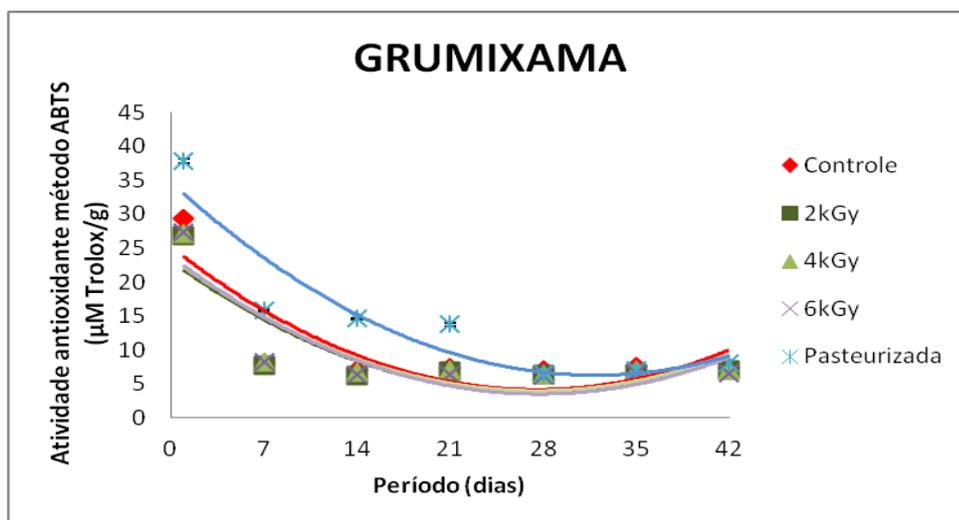


Figura 37 - Atividade Antioxidante (ABTS) das polpas de grumixama irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

Houve queda gradativa da atividade antioxidante nas polpas de todos os tratamentos, inclusive na pasteurizada. Ao final das análises a atividade antioxidante chegou a 7,33 no controle; 7,11 a 2 kGy; 7,97 a 4 kGy; 7,98 a 6 kGy e 9,72 na pasteurizada.

Assim como para polpa de uvaia, também para a polpa de cereja do rio grande foi observada baixa atividade antioxidante total, dada pelo método ABTS, nas amostras controle, irradiadas e pasteurizadas, sendo que esta ultima manteve suas médias, no decorrer do período de armazenamento, superiores às demais (Figura 38).

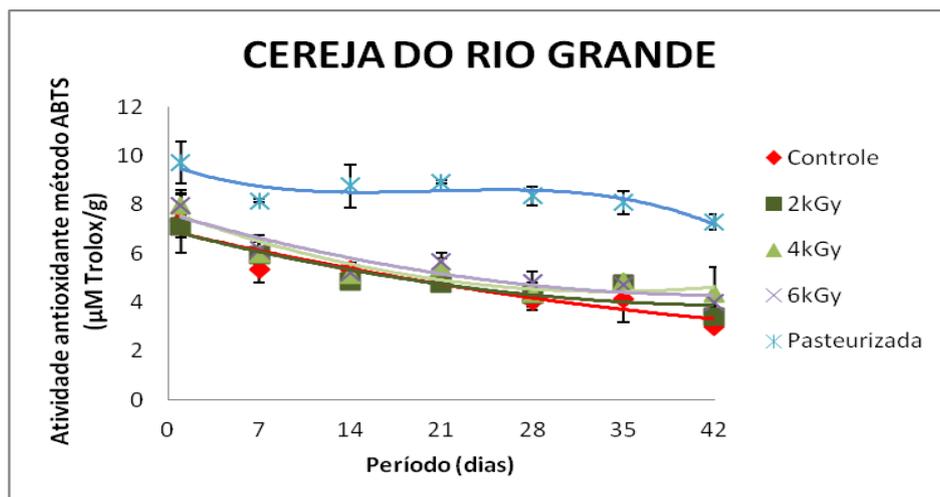


Figura 38 - Atividade Antioxidante (ABTS) das polpas de cereja do rio grande irradiadas e pasteurizadas, durante o período de armazenamento refrigerado (5°C). Barras verticais representam o desvio padrão da média (n=6)

A atividade antioxidante da polpa de cereja do rio grande apresentou diminuição do primeiro ao último dia de análise, variando de 7,33 a 3,02 no controle; de 7,11 a 3,40 a 2 kGy; de 9,97 a 4,34 a 4 kGy, de 7,98 a 3,98 a 6 kGy e de 9,72 a 7,29 na pasteurizada. Assim como para todas as outras polpas estudadas o comportamento das amostras controle foram muito semelhantes às irradiadas, e as pasteurizadas se destacaram pelas maiores médias e maior estabilidade da atividade antioxidante durante o período analisado, evidenciando que, de certa forma, a aplicação da radiação gama não acarreta diminuição da atividade antioxidante total, já a pasteurização propicia maior estabilidade da mesma.

Valores próximos aos encontrados para as polpas de frutas estudadas são observados em diversos trabalhos. Rufino et al. (2010) também realizaram análises pelo método ABTS para quantificar a atividade antioxidante em 18 frutas tropicais brasileiras e os valores variaram de 6,3 a 153,0 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$, sendo que para uvaia obteve valor igual a 18,0 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$. Chen et al. (2014), quantificando a atividade antioxidante em 33 diferentes frutas, por diversos métodos, entre eles, o do radical ABTS, encontrou valores variando de 0,83 a 12,61 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$, sendo que para manga foi 9,42 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$, laranja 4,47 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$ e nectarina 1,84 $\mu\text{M trolox.g}^{-1}$.

Dos Santos et al. (2008), estudando a atividade antioxidante equivalente ao Trolox pelo método ABTS de 12 polpas de açaí, encontraram variação de 10,21 a 52,47 $\mu\text{M de Trolox.g}^{-1}$ de amostra. Canuto et al. (2010), estudando 15 diferentes polpas de frutos da Amazônia em relação à atividade antirradical livre (ABTS), observaram que as polpas de açaí e acerola foram as que apresentaram os maiores valores (12,1e 10,0 $\mu\text{mol Trolox.L}^{-1}$,

respectivamente), e nas polpas de araçá-boi, fruto também da família Myrtaceae, a atividade antirradical livre encontrada foi de 3,0 $\mu\text{mol Trolox.L}^{-1}$. Barreto et al. (2009) relataram valores de atividade antioxidante equivalente ao Trolox de 5,4; 16,4 e 18,4 $\mu\text{mol.L}^{-1}$ para polpas de buriti, bacuri e murici, respectivamente.

Não existe um método oficial para determinação da atividade antioxidante em alimentos de origem vegetal, tendo em vista os vários mecanismos antioxidantes que podem ocorrer, bem como a diversidade de compostos bioativos. Cada método tem o seu princípio distinto que utiliza radicais livres e/ou padrões diversos e os estudos que visam avaliar propriedades antioxidantes de extratos vegetais utilizam mais de uma metodologia para inferir, com maior segurança, se os extratos analisados poderão apresentar também alguma atividade em combater os radicais livres formados no interior do organismo humano (SOUZA et al., 2011).

Ao se comparar os dois métodos utilizados para determinar a atividade antioxidante total das polpas, observa-se que os valores encontrados pelo método DPPH são superiores aos encontrados pelo método ABTS. Verdana et al. (2008) analisando diferentes resíduos de polpas tropicais, também observaram que os valores de capacidade antioxidante total do composto equivalente ao Trolox (TEAC) obtidos pela metodologia do DPPH foram superiores àqueles encontrados pela metodologia do ABTS. Soares et al. (2008) também encontraram essa correlação ao analisarem a atividade antioxidante de casca de uvas Niágara e Isabel, uma vez que observaram os valores mais altos em todos os resultados para o DPPH em relação aos obtidos com o ABTS. Analisando os resultados obtidos por Chen et al. (2014) que avaliaram 33 diferentes frutas, os valores encontrados são menores para ABTS se comparado ao DPPH.

Sousa, Vieira e Lima (2011), estudando a capacidade antioxidante de resíduos de frutas, observaram que, apesar dos resíduos avaliados apresentarem atividade antioxidante pelos dois métodos empregados, o comportamento dos extratos foi distinto de acordo com a metodologia utilizada. Enquanto uns apresentaram maior atividade antioxidante pelo método DPPH, outros apresentaram atividade maior pelo método ABTS⁺, e outros ainda apresentaram comportamento semelhante pelas duas metodologias testadas.

Contrário ao observado neste estudo, Floegel et al. (2011), ao avaliarem o potencial antioxidante de 18 frutas, 13 legumes e 19 bebidas consumidas nos Estados Unidos, constataram que a capacidade antioxidante detectada pelo ABTS foi significativamente maior para os frutos, legumes e bebidas em comparação com o ensaio DPPH. Segundo os autores, os antioxidantes hifrofílicos e de alta pigmentação foram mais bem refletidos pelo

ensaio ABTS, sugerindo que este método possa ser mais útil do que o método de DPPH para a detecção da capacidade antioxidante em uma variedade de alimentos.

Segundo Awika et al. (2003), o ABTS pode ser usado para soluções com diferentes valores de pH. É solúvel em solventes aquosos e orgânicos, e não é afetado por força iônica; sendo assim, pode ser usado para determinar a capacidade antioxidante de extratos e fluidos corpóreos, hidrofílicos e lipofílicos.

Desta forma, os diferentes teores de atividade antioxidante encontrados pelas duas metodologias podem ser o reflexo de uma diferente interação, ou afinidade, dos compostos presentes na polpa com os sequestrantes de radicais livres.

4.8 Identificação e quantificação dos compostos fenólicos

A identificação e quantificação do perfil de fenólicos das cinco polpas de frutas pasteurizadas, irradiadas e não irradiadas foram apresentados nas tabelas de 2 a 6.

Dos treze compostos fenólicos pesquisados foram quantificados quatro na polpa de uvaia, sendo majoritariamente encontrado ácido gálico e ácido quínico e em menor proporção o ácido elágico e a rutina (Tabela 2). Os maiores teores de ácido elágico são da polpa irradiada a 2 e 4 kGy (0,021 e 0,020 mg.g⁻¹ de polpa) e em menor quantidade na dose de 6 kGy e pasteurizada, ambas com aproximadamente 0,018 mg.g⁻¹.

Para o ácido gálico a dose de 2 kGy (0,145 mg.g⁻¹) e controle (0,141 mg.g⁻¹) apresentaram os maiores valores. O ácido quínico foi maior na polpa controle (0,130 mg.g⁻¹) e pasteurizada (0,116 mg.g⁻¹), e menor nas irradiadas (0,096; 0,101; 0,073 mg.g⁻¹ a 2, 4 e 6 kGy, respectivamente). Quanto aos teores totais nota-se a diminuição dos compostos fenólicos com o aumento da dose de radiação, sendo que a amostra não irradiada obteve a maior média.

Tabela 2 - Compostos fenólicos identificados e quantificados na polpa de uvaia (mg.g⁻¹ de polpa)

Composto Fenólico	Polpa Controle (mg.g ⁻¹ de polpa)	Polpa Irradiada 2 kGy (mg.g ⁻¹ de polpa)	Polpa Irradiada 4 kGy (mg.g ⁻¹ de polpa)	Polpa Irradiada 6 kGy (mg.g ⁻¹ de polpa)	Polpa Pasteurizada (mg.g ⁻¹ de polpa)
ácido 1,3-dicafeoilquinico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido 1,5-dicafeoilquinico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido cafeico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido clorogênico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido <i>p</i> -cumárico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido elágico	1,89 ± 0,35 10 ⁻²	2,07 ± 0,48 10 ⁻²	1,97 ± 0,44 10 ⁻²	1,79 ± 0,35 10 ⁻²	1,83 ± 0,41 10 ⁻²
ácido ferúlico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido gálico	1,41 ± 0,03 10 ⁻¹	1,45 ± 0,04 10 ⁻¹	1,14 ± 0,04 10 ⁻¹	1,08 ± 0,03 10 ⁻¹	1,18 ± 0,04 10 ⁻¹
ácido quínico	1,30 ± 0,06 10 ⁻¹	9,57 ± 0,82 10 ⁻²	1,01 ± 0,08 10 ⁻¹	7,32 ± 0,60 10 ⁻²	1,16 ± 0,07 10 ⁻¹
ácido xiquímico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
kaempferol	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
quercetina	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
rutina	1,73 ± 0,16 10 ⁻²	2,03 ± 0,22 10 ⁻²	1,55 ± 0,21 10 ⁻²	1,77 ± 0,16 10 ⁻²	1,83 ± 0,19 10 ⁻²
Total	3,07 ± 0,14 10 ⁻¹	2,82 ± 0,19 10 ⁻¹	2,50 ± 0,18 10 ⁻¹	2,17 ± 0,14 10 ⁻¹	2,71 ± 0,17 10 ⁻¹

LQ (limite de quantificação) = 6,09 10⁻³ mg g⁻¹ de extratoLD (limite de detecção) = 3,10 10⁻⁶ mg g⁻¹ de extrato

Na polpa de cambuci foram quantificados quatro diferentes compostos fenólicos, sendo eles o ácido elágico, ácido gálico, ácido quínico e ácido xiquímico (Tabela 3). Pode-se observar a perda gradual do ácido elágico com o aumento da dose de radiação (de 0,111 a 2 kGy a 0,104 mg.g⁻¹ a 6 kGy), e a polpa pasteurizada (0,139 mg.g⁻¹) foi a que apresentou maiores valores deste composto. O ácido quínico foi o composto majoritariamente encontrado na polpa de cambuci, sendo que, a pasteurizada (1,26 mg.g⁻¹) apresentou as maiores médias e com o aumento da dose de radiação ocorreu a degradação do mesmo (de 1,06 a 2 kGy para 0,942 mg.g⁻¹ a 6 kGy). Para o ácido xiquímico foi observado o mesmo comportamento e a polpa pasteurizada também com a maior média.

No caso do ácido gálico os valores foram superiores para as irradiadas a 2 kGy (0,118 mg.g⁻¹) e pasteurizadas (0,114 mg.g⁻¹). Assim como para a polpa de uvaia na polpa de cambuci baixas doses de radiação gama (2 kGy) foram responsáveis pelas maiores médias de ácido elágico. E a dose de 6 kGy pelos menores teores de todos os compostos estudados.

Tabela 3 - Compostos fenólicos identificados e quantificados na polpa de cambuci (mg g⁻¹ de polpa)

Composto Fenólico	Polpa Controle (mg.g ⁻¹ de polpa)	Polpa Irradiada 2 kGy (mg.g ⁻¹ de polpa)	Polpa Irradiada 4 kGy (mg.g ⁻¹ de polpa)	Polpa Irradiada 6 kGy (mg.g ⁻¹ de polpa)	Polpa Pasteurizada (mg.g ⁻¹ de polpa)
ácido 1,3-dicafeoilquinico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido 1,5-dicafeoilquinico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido cafeico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido clorogênico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido <i>p</i> -cumárico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido elágico	1,23 ± 0,04 10 ⁻¹	1,11 ± 0,04 10 ⁻¹	1,05 ± 0,04 10 ⁻¹	1,04 ± 0,03 10 ⁻¹	1,39 ± 0,05 10 ⁻¹
ácido ferúlico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido gálico	1,01 ± 0,04 10 ⁻¹	1,18 ± 0,04 10 ⁻¹	8,63 ± 0,32 10 ⁻²	8,54 ± 0,32 10 ⁻²	1,14 ± 0,04 10 ⁻¹
ácido quínico	1,12 ± 0,01	1,06 ± 0,01	9,52 ± 0,06 10 ⁻¹	9,42 ± 0,06 10 ⁻¹	1,26 ± 0,01
ácido xiquímico	5,68 ± 0,01 10 ⁻²	5,74 ± 0,01 10 ⁻²	4,85 ± 0,01 10 ⁻²	4,80 ± 0,01 10 ⁻²	6,42 ± 0,01 10 ⁻²
kaempferol	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
quercetina	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
rutina	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
Total	1,40 ± 0,02	1,35 ± 0,02	1,19 ± 0,01	1,18 ± 0,01	1,58 ± 0,02

LQ (limite de quantificação) = 6,09 10⁻³ mg g⁻¹ de extratoLD (limite de detecção) = 3,10 10⁻⁶ mg g⁻¹ de extrato

Dos seis compostos fenólicos quantificados na polpa de feijoa os majoritários foram ácido elágico e quínico, e em menor proporção os ácidos cafeico, ácido gálico, ácido xiquímico e quercetina (Tabela 4). O ácido cafeico obteve médias superiores na polpa irradiada a 4 kGy e pasteurizada ($0,026 \text{ mg.g}^{-1}$ em ambas). O ácido elágico foi encontrado em maior quantidade na pasteurizada ($0,383 \text{ mg.g}^{-1}$) e em menor nas irradiadas, com os valores diminuindo com o aumento da dose de radiação ($0,237$; $0,194$ e $0,144 \text{ mg.g}^{-1}$, nas doses de 2, 4 e 6 kGy). O controle ($0,080 \text{ mg.g}^{-1}$) apresentou quantidades superiores de ácido gálico e também para este composto o aumento da dose acarretou diminuição dos teores. Contrário ao observado até o presente momento, a dose de 6 kGy foi responsável por consideráveis teores do ácido xiquímico ($0,029 \text{ mg.g}^{-1}$), e o controle ($0,022 \text{ mg.g}^{-1}$) apresentou a menor média. Quanto a quercetina foram identificadas quantidades consideráveis deste composto apenas nas amostras pasteurizadas ($0,016 \text{ mg.g}^{-1}$) e no controle ($0,006 \text{ mg.g}^{-1}$).

De forma geral os ácidos cafeico e quínico tiveram seus valores aumentados nas polpas de feijoa irradiadas, principalmente em doses mais baixas (2 e 4 kGy) se comparado com as não irradiadas. Porém o aumento da dose de radiação gama propiciou a degradação dos ácidos fenólicos elágico, gálico e quínico.

Tabela 5 - Compostos fenólicos identificados e quantificados na polpa de feijoa (mg.g^{-1} de polpa)

Composto Fenólico	Polpa Controle (mg.g^{-1} de polpa)	Polpa Irradiada 2 kGy (mg.g^{-1} de polpa)	Polpa Irradiada 4 kGy (mg.g^{-1} de polpa)	Polpa Irradiada 6 kGy (mg.g^{-1} de polpa)	Polpa Pasteurizada (mg.g^{-1} de polpa)
ácido 1,3-dicafeoilquinico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido 1,5-dicafeoilquinico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido cafeico	$1,49 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$	$1,90 \pm 0,15 \cdot 10^{-2}$	$2,62 \pm 0,18 \cdot 10^{-2}$	$2,34 \pm 0,20 \cdot 10^{-2}$	$2,59 \pm 0,14 \cdot 10^{-2}$
ácido clorogênico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido <i>p</i> -cumárico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido elágico	$2,90 \pm 0,04 \cdot 10^{-1}$	$2,37 \pm 0,04 \cdot 10^{-1}$	$1,94 \pm 0,05 \cdot 10^{-1}$	$1,44 \pm 0,05 \cdot 10^{-1}$	$3,83 \pm 0,03 \cdot 10^{-1}$
ácido ferúlico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido gálico	$8,01 \pm 0,36 \cdot 10^{-2}$	$7,72 \pm 0,36 \cdot 10^{-2}$	$6,44 \pm 0,42 \cdot 10^{-2}$	$5,86 \pm 0,47 \cdot 10^{-2}$	$7,30 \pm 0,32 \cdot 10^{-2}$
ácido quínico	$2,17 \pm 0,07 \cdot 10^{-1}$	$2,69 \pm 0,07 \cdot 10^{-1}$	$2,55 \pm 0,08 \cdot 10^{-1}$	$2,06 \pm 0,09 \cdot 10^{-1}$	$2,04 \pm 0,06 \cdot 10^{-1}$
ácido xiquímico	$2,19 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$	$2,72 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$	$2,29 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$	$2,91 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$	$2,33 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$
kaempferol	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
quercetina	$6,24 \pm 3,34 \cdot 10^{-3}$	LLQ	LLQ	LLQ	$1,61 \pm 0,29 \cdot 10^{-2}$
rutina	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
Total	$6,30 \pm 0,19 \cdot 10^{-1}$	$6,29 \pm 0,16 \cdot 10^{-1}$	$5,62 \pm 0,19 \cdot 10^{-1}$	$4,61 \pm 0,21 \cdot 10^{-1}$	$7,25 \pm 0,17 \cdot 10^{-1}$

LQ (limite de quantificação) = $6,09 \cdot 10^{-3} \text{ mg g}^{-1}$ de extratoLD (limite de detecção) = $3,10 \cdot 10^{-6} \text{ mg g}^{-1}$ de extrato

Na polpa de grumixama o ácido lágico e a quercetina foram os compostos majoritariamente quantificados e em menor quantidade os ácidos gálico, quínico e xiquímico (Tabela 6). Foram encontrados maiores valores de ácido elágico na pasteurizada ($0,448 \text{ mg.g}^{-1}$), seguido das irradiadas a 2 e 4 kGy ($0,325$ e $0,338 \text{ mg.g}^{-1}$). Também para o ácido gálico os maiores teores foram encontrados na pasteurizada ($0,138 \text{ mg.g}^{-1}$), porém nas irradiadas foram observadas as menores médias ($0,033$; $0,038$ e $0,039 \text{ mg.g}^{-1}$ a 2, 4 e 6 kGy) . Para o ácido quínico novamente as pasteurizadas obtiveram as maiores médias ($0,116 \text{ mg.g}^{-1}$) e próximas a média da irradiada a 4 kGy ($0,112 \text{ mg.g}^{-1}$). Para o ácido xiquimico a dose de 4,0 kGy ($0,046 \text{ mg.g}^{-1}$) e a polpa pasteurizada ($0,044 \text{ mg.g}^{-1}$) apresentaram as maiores médias. Quanto a quercetina, a polpa controle apresentou maiores médias ($0,265 \text{ mg.g}^{-1}$), seguida da irradiada a 2 kGy ($0,161 \text{ mg.g}^{-1}$) e pasteurizada ($0,128 \text{ mg.g}^{-1}$). De modo geral, para a maioria dos compostos quantificados a amostra pasteurizada obteve as maiores médias e a polpa irradiada a 6 kGy as menores, indicando que altas doses de radiação propiciam a degradação dos compostos fenólicos na polpa de grumixama.

Tabela 6 - Compostos fenólicos identificados e quantificados na polpa de grumixama (mg.g^{-1} de polpa)

Composto Fenólico	Polpa Controle (mg.g^{-1} de polpa)	Polpa Irradiada 2 kGy (mg.g^{-1} de polpa)	Polpa Irradiada 4 kGy (mg.g^{-1} de polpa)	Polpa Irradiada 6 kGy (mg.g^{-1} de polpa)	Polpa Pasteurizada (mg.g^{-1} de polpa)
ácido 1,3-dicafeoilquinico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido 1,5-dicafeoilquinico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido cafeico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido clorogênico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido <i>p</i> -cumárico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido elágico	$2,73 \pm 0,04 \cdot 10^{-1}$	$3,25 \pm 0,03 \cdot 10^{-1}$	$3,38 \pm 0,05 \cdot 10^{-1}$	$2,06 \pm 0,04 \cdot 10^{-1}$	$4,48 \pm 0,04 \cdot 10^{-1}$
ácido ferúlico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido gálico	$4,38 \pm 0,34 \cdot 10^{-2}$	$3,30 \pm 0,29 \cdot 10^{-2}$	$3,82 \pm 0,42 \cdot 10^{-2}$	$3,95 \pm 0,41 \cdot 10^{-2}$	$1,38 \pm 0,04 \cdot 10^{-1}$
ácido quínico	$1,01 \pm 0,06 \cdot 10^{-1}$	$9,91 \pm 0,55 \cdot 10^{-2}$	$1,12 \pm 0,08 \cdot 10^{-1}$	$9,32 \pm 0,77 \cdot 10^{-2}$	$1,16 \pm 0,07 \cdot 10^{-1}$
ácido xiquímico	$4,08 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$	$3,23 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$	$4,56 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$	$4,03 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$	$4,36 \pm 0,01 \cdot 10^{-2}$
kaempferol	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
quercetina	$2,65 \pm 0,03 \cdot 10^{-1}$	$1,61 \pm 0,03 \cdot 10^{-1}$	$8,29 \pm 0,39 \cdot 10^{-2}$	$6,39 \pm 0,38 \cdot 10^{-2}$	$1,28 \pm 0,03 \cdot 10^{-1}$
rutina	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
Total	$7,24 \pm 0,16 \cdot 10^{-1}$	$6,50 \pm 0,14 \cdot 10^{-1}$	$6,17 \pm 0,21 \cdot 10^{-1}$	$4,43 \pm 0,20 \cdot 10^{-1}$	$8,74 \pm 0,18 \cdot 10^{-1}$

LQ (limite de quantificação) = $6,09 \cdot 10^{-3} \text{ mg g}^{-1}$ de extratoLD (limite de detecção) = $3,10 \cdot 10^{-6} \text{ mg g}^{-1}$ de extrato

Na cereja do rio grande foram quantificados seis compostos, sendo detectado em maior quantidade o ácido quínico e a rutina e em menor os ácidos *p*-cumárico, elágico, gálico e a quercetina (Tabela 7). Apesar do ácido *p*-cumárico ter diminuído seus teores com o aumento das doses de radiação, as irradiadas a 2 kGy (0,031 mg.g⁻¹) e 4 kGy (0,031 mg.g⁻¹) obtiveram as maiores médias se comparada com as pasteurizadas e controle. O ácido elágico também foi maior na irradiada a 2 kGy (0,056 mg.g⁻¹) e com diminuição dos valores com aumento da dose. O menor valor do ácido elágico observa-se na amostra não irradiada (0,017 mg.g⁻¹). O ácido gálico foi quantificado apenas na pasteurizada (0,016 mg.g⁻¹). A pasteurizada (0,183 mg.g⁻¹) juntamente com a controle (0,181 mg.g⁻¹) foram responsáveis pelos maiores valores de ácido quínico e houve degradação do composto nas irradiadas (0,164; 0,159 e 0,165 mg.g⁻¹, respectivamente à 2, 4 e 6 kGy). Assim como para o ácido *p*-cumárico, para a quercetina foram encontrados maiores teores nas irradiadas à 2 e 4 kGy (0,146 e 0,112 mg.g⁻¹, respectivamente), e na pasteurizada (0,014 mg.g⁻¹) houve a maior degradação deste composto. Quanto a rutina a amostra controle (0,287 mg.g⁻¹) juntamente com a pasteurizada (0,278 mg.g⁻¹) obtiveram as maiores médias e foi observado diminuição do composto nas irradiadas (0,163; 0,200 e 0,207 mg g⁻¹, respectivamente nas doses de 2, 4 e 6 kGy).

Tabela 7 - Compostos fenólicos identificados e quantificados na polpa de cereja do rio grande ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de polpa)

Composto Fenólico	Polpa Controle ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de polpa)	Polpa Irradiada 2 kGy ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de polpa)	Polpa Irradiada 4 kGy ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de polpa)	Polpa Irradiada 6 kGy ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de polpa)	Polpa Pasteurizada ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de polpa)
ácido 1,3-dicafeoilquinico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido 1,5-dicafeoilquinico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido cafeico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido clorogênico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
ácido <i>p</i> -cumárico	$2,57 \pm 0,14 \cdot 10^{-2}$	$3,70 \pm 0,13 \cdot 10^{-2}$	$3,06 \pm 0,12 \cdot 10^{-2}$	$1,59 \pm 0,19 \cdot 10^{-2}$	$1,12 \pm 0,14 \cdot 10^{-2}$
ácido elágico	$1,73 \pm 0,37 \cdot 10^{-2}$	$5,64 \pm 0,34 \cdot 10^{-2}$	$4,49 \pm 0,33 \cdot 10^{-2}$	$3,79 \pm 0,49 \cdot 10^{-2}$	$4,99 \pm 0,37 \cdot 10^{-2}$
ácido ferúlico	LLD	LLD	LLD	LLD	LLD
ácido gálico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	$1,59 \pm 0,33 \cdot 10^{-2}$
ácido quínico	$1,81 \pm 0,06 \cdot 10^{-1}$	$1,64 \pm 0,06 \cdot 10^{-1}$	$1,59 \pm 0,06 \cdot 10^{-1}$	$1,65 \pm 0,08 \cdot 10^{-1}$	$1,82 \pm 0,06 \cdot 10^{-1}$
ácido xiquímico	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
kaempferol	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ	LLQ
quercetina	$7,31 \pm 0,31 \cdot 10^{-2}$	$1,46 \pm 0,03 \cdot 10^{-1}$	$1,12 \pm 0,03 \cdot 10^{-1}$	$7,94 \pm 0,41 \cdot 10^{-2}$	$1,40 \pm 0,31 \cdot 10^{-2}$
rutina	$2,87 \pm 0,02 \cdot 10^{-1}$	$1,63 \pm 0,02 \cdot 10^{-1}$	$2,00 \pm 0,01 \cdot 10^{-1}$	$2,07 \pm 0,02 \cdot 10^{-1}$	$2,78 \pm 0,02 \cdot 10^{-1}$
Total	$5,84 \pm 0,16 \cdot 10^{-1}$	$5,66 \pm 0,16 \cdot 10^{-1}$	$5,46 \pm 0,14 \cdot 10^{-1}$	$5,05 \pm 0,21 \cdot 10^{-1}$	$5,51 \pm 0,19 \cdot 10^{-1}$

LQ (limite de quantificação) = $6,09 \cdot 10^{-3} \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de extratoLD (limite de detecção) = $3,10 \cdot 10^{-6} \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ de extrato

Entre os principais fenólicos encontrados nas cinco polpas de frutas estudadas temos o ácido elágico que foi encontrado em todas as polpas e majoritariamente na grumixama e feijoa, que é um ácido mais comumente encontrado em frutas vermelha, como o morango (GONÇALVEZ, 2008). Segundo Pinto et al. (2008) os valores de ácido elágico variaram de 150 a 430 mg.100 g⁻¹(base seca) em sete cultivares de morango consumidas no Brasil. Já Abe et al. (2007), comparando algumas frutas vermelhas, como a amora-preta e framboesa, com jabuticaba, grumixama e cambuci, frutas da família Myrtaceae, encontraram teores elevados e semelhantes de ácido elágico entre elas. De forma geral, os teores dos diferentes compostos fenólicos em frutas podem variar grandemente devido a fatores como condições climáticas, épocas de plantio, de colheita e grau de maturidade do fruto, além de fatores como o próprio conteúdo na fruta, etapas do processamento e obtenção da polpa, entre outras, que explicam a menor concentração dos compostos nas polpas em relação aos frutos.

Outro composto encontrado nas polpas de feijoa, grumixama e cereja foi a quercetina, que é comumente encontrada em grandes quantidades em cebolas, brócolis, maçãs e bagas, e faz parte dos flavonóis, uma subclasse do grande grupo dos flavonoides (AHERNE; O'BRIEN, 2002; ARYA et al., 2014). A quercetina é alvo de várias pesquisas que indicam para o efeito protetor da mesma no organismo contra uma série de doenças (COSKUN et al., 2005; YOKOYAMA et al., 2009; YOUSSEF et al., 2010). Gonçalves (2008), apesar de ter encontrado teores consideráveis de quercetina nos frutos de cambuci (21,6 mg.100 g⁻¹), na polpa (4,0 mg.100 g⁻¹) do mesmo obteve baixos valores, embora superiores aos encontrados na polpa de cambuci do presente trabalho.

O ácido quínico também foi encontrado em todas as polpas de frutas estudadas e em maior quantidade no cambuci, feijoa e cereja. O ácido quínico e seus derivados pertencem a uma grande família de ésteres formados entre o ácido quínico e compostos rico em polifenóis, como os ácidos cafeico, ferulico, cumárico, etc. Os efeitos benéficos relatados sobre o ácido quínico, incluem seu poder antioxidante, anti-inflamatória, anti-HIV, anti-vírus da hepatite B, hipoglicêmico, e a inibição de mutagenese e carcinogenese (FARAH; DONANGELO, 2006; GORZALCZANY et al., 2008).

Os diferentes compostos fenólicos encontrados nas polpas de uvaia, cambuci, feijoa, grumixama e cereja do rio grande são comparáveis com os identificados em uvaia (ácido gálico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, miricetina e quercetina) e pitanga (ácidos gálico, caféico, p-cumárico e ferúlico) (KARWOWSKI et al., 2013); cambuci (ácido elágico e quercetina), grumixama (ácido elágico, quercetina e caempferol) (ABE; LAJOLO;

GENOVESE, 2012); uvaia (quercetina, ácido elágico, rutina e campferol) (REYNERTSON et al., 2008).

Valores próximos aos encontrados nas polpas estudadas foram detectados por Fu et al. (2011), que identificaram os fenólicos majoritários em 62 frutas e entre as reconhecidamente famosas por apresentarem alta atividade antioxidante, temos a Blueberry com $0,0048 \text{ mg.g}^{-1}$ ácido gálico, $0,0216 \text{ mg.g}^{-1}$ de ácido cafeico e $0,032 \text{ mg.g}^{-1}$ de quercetina, e a cereja com $0,020 \text{ mg.g}^{-1}$ quercetina-3-rutinoside, $0,0319 \text{ mg.g}^{-1}$ ácido clorogênico e $0,0230 \text{ mg.g}^{-1}$ de quercetina. Também em polpa de buriti foram detectados 13 compostos fenólicos e os teores de ácido p-cumárico ($277,74 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), ácido ferulico ($184,66 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), catequina ($961,21 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), epicatequina ($1109,93 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), ácido cafeico ($895,53 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), Kaempferol ($41,54 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), quercetina ($83,27 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), ácido quínico ($230,74 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$), ácido clorogênico ($1154,15 \text{ } \mu\text{g.g}^{-1}$) (BATAGLION et al., 2014), foram próximos aos quantificados no estudo.

Já valores abaixo dos encontrados neste estudo foram observados por, Abe, Lajolo e Genovese (2011), que dos quatro compostos estudados (catequina, epicatequina, caempferol e quercetina), só encontraram quantidades significativas, no cambuci, de quercetina ($0,0035 \text{ g.kg}^{-1}$) e na grumixama de quercetina ($0,20 \text{ g.kg}^{-1}$) e caempferol ($0,018 \text{ g.kg}^{-1}$). Jardini et al. (2010) na polpa de romã também observaram baixos teores para os compostos p-cumárico ($28,76 \text{ mg.100g}^{-1}$), quínico ($24,34 \text{ mg.100 g}^{-1}$) e o ácido gálico ($0,63 \text{ mg.100 g}^{-1}$).

Quanto ao efeito dos processos de conservação estudados nos diferentes compostos fenólicos, observou-se que as polpas que foram irradiadas apresentaram menores quantidades de compostos fenólicos, à medida que receberam maiores doses de radiação gama, sendo que as amostras que receberam $2,0 \text{ kGy}$ apresentam quantidades de compostos fenólicos próximas ao da polpa controle. As polpas pasteurizadas apresentaram, em geral, quantidade maior ou próxima de compostos fenólicos, quando comparada à quantidade de polpa controle, sugerindo que o processo de pasteurização preservou os compostos fenólicos analisados.

Verifica-se em alguns estudos o efeito da radiação gama na variação da quantidade dos diferentes compostos fenólicos, com diminuição de alguns deles, como foi observado no presente estudo. Dos fenólicos identificados em morango, a concentração de catequinas e do caempferol-3-glucosideo diminuíram com o aumento das doses de radiação (de $1,0$ a $6,0 \text{ kGy}$), quatro deles (ácido gálico, p-cumárico, cafeico e quercetina-3-glucosideo) não tiveram influencia da irradiação até a dose de $6,0 \text{ kGy}$ e somente o 4-ácido hidroxibenzoico, aumentou linearmente com o aumento das doses de radiação (BREITFELLNER; SOLAR; SONTAG, 2003). Assim como, Rodríguez-Pérez et al. (2015) que detectaram cerca de 23%

na diminuição da catequina em xarope de cranberry (de 65 para 50 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$), após tratamento com radiação gama (dose de 5 kGy), e não encontraram diferença estatística entre as amostras controle e irradiada quanto aos teores de quercetina e miricetina. Essas alterações nos teores de fenólicos em amostras irradiadas são atribuídas ao fato de a radiação gama modificar os níveis de algumas enzimas resultando em maior ou menor síntese de compostos fenólicos (HUSSEIN et al., 2011; KONDAPALLI et al., 2014).

No entanto, em contraste com o resultados anteriores, Nunes et al. (2008) estudando rúcula minimamente processada observaram que a irradiação causou aumento significativo no teor de flavonoides, sendo que o caempferol-glicosídeo foi 4 vezes maior em amostras expostas a 1 kGy e 3 vezes na dose de 2 kGy, se comparada a amostras controle. O conteúdo de quercetina-glicosídeo foi 2 vezes maior na dose de 1 kGy e não diferiu do controle quando exposto a 2 kGy. Kondapalli et al. (2014), estudando vinho de manga de sete cultivares diferentes, encontraram que nas amostras irradiadas com 3 kGy, houve aumento nos teores de ácido elágico, rutina e ácido cafeico e diminuição do ácido ferulico, em relação ao controle não irradiado. Existem algumas explicações para o aumento destes compostos em amostras irradiadas, uma delas se dá pelo fato de a radiação gama poder ter induzido a síntese dos compostos, por provavelmente provocar um aumento da atividade da fenilalanina amônia-liase (PAL), que catalisa a primeira reação de biossíntese dos flavonoides (OUFEDJIKH et al., 2000; NUNES et al., 2008; HUSSAIN et al., 2010), como também pela maior extração dos mesmos, devido ao resultado da despolimerização e dissolução da parede celular durante a irradiação (SIDDHURAJU; MAKKAR; BECKER, 2002).

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos para os compostos bioativos e atividade antioxidante das polpas poderão incentivar a maior utilização desses frutos pela indústria de alimentos e, conseqüentemente, a valorização e maior consumo das frutas nativas brasileiras, além de contribuir para conservação da biodiversidade da Mata Atlântica.

As polpas de frutas estudadas possuem quantidades expressivas de compostos de atividade antioxidante, sendo que, a polpa de uvaia destacou-se pelos teores de ácido ascórbico e carotenoides, a feijoa pelos flavonoides, a grumixama e a cereja do rio grande pelas antocianinas, sugerindo que a ingestão das mesmas contribui de forma positiva à saúde humana. O cambuci apresentou carotenoides, vitamina C e compostos fenólicos, mas em baixas quantidades.

Apesar de a radiação gama ser um eficiente método de conservação e poder ser utilizada sem prejuízo dos compostos bioativos, nas condições estudadas, as doses entre 2 e 6 kGy não foram efetivas para evitar as perdas dos compostos bioativos de interesse, no período de armazenamento, apresentando resultados inferiores em relação à pasteurização quanto às antocianinas, compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante, medida por ABTS e DPPH.

De modo geral, no armazenamento houve perdas dos compostos, igualando todos os tratamentos ao final dos 42 dias.

Quanto ao efeito dos processos de conservação estudados nos diferentes compostos fenólicos identificados por HPLC, as polpas irradiadas apresentaram menores quantidades de compostos fenólicos, à medida que receberam maiores doses de radiação gama, sendo que as amostras que receberam 2 kGy, apresentam quantidades de compostos fenólicos próximas ao controle. E as polpas pasteurizadas apresentaram, em geral, maior quantidade de compostos fenólicos, quando comparadas ao controle, sugerindo que o processo de pasteurização preservou os compostos analisados.

REFERÊNCIAS

ABE, L. T. et al. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de cultivares de uvas *Vitis labrusca* L. e *Vitis vinifera* L. Phenolic compounds and antioxidant activity of *Vitis labrusca* and *Vitis vinifera* cultivars. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 2, p. 394-400, abr./jun. 2007.

ABE, L. T.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Potential dietary sources of ellagic acid and other antioxidants among fruits consumed in Brazil: Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) Berg). **Journal of the Science Food and Agriculture**, London, v. 92, p. 1679–1687, 2012.

AHERNE S. A.; O'BRIEN N. M. Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. **Nutrition**, Burbank, v. 18, n. 1, p. 75-81, 2002.

ALBERTINO, A.; BARGE, A.; CRAVOTTO, G.; GENZINI, L.; GOBETTO, R.; VINCENTI, M. Natural origin of ascorbic acid: Validation by ¹³C NMR and IRMS. **Food Chemistry**, Barking, v. 112, n. 3, p. 715-720, 2009.

ALIGHOURCHI, H.; BARZEGAR, M.; ABBASI, S. Effect of gamma irradiation on the stability of anthocyanins and shelf-life of various pomegranate juices. **Food Chemistry**, Barking, v. 110, n. 4, p. 1036–1040, 2008.

ALOTHMAN, M.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plant produce. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 20, n. 5, p. 201-212, 2009.

AMARANTE, C. V. T. do; SANTOS, K. L. dos. Goiabeira-serrana (*Acca sellowiana*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 1-2, 2011.

AMARO, A. P.; BONILHA, P. R. M.; MONTEIRO, M. Efeito do tratamento térmico nas características físico químicas e microbiológicas da polpa de maracujá. **Alimentos e Nutrição**, São Paulo, v. 13, p. 151-162, 2002.

AMIÉ, D. et al. Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. **Croatica Chemica Acta**, Zagreb, v. 76, p. 55-61, 2003.

ANDREWS, L. S. et al. Food preservation using ionizing radiation. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**, New York, v. 15, n. 4, p. 1-53, 1998.

AQUINO, S. **Efeitos da radiação gama no crescimento de *Aspergillus flavus* produtor de aflotoxinas e no emprego da técnica da reação em cadeia de polimerase (PCR) em amostras de grãos de milho inoculadas artificialmente**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2003.

ARABBI, P. R.; GENOVESE, M. L. I.; LAJOLO, F. M. Flavonoids in vegetable foods commonly consumed in Brazil and estimated ingestion by the Brazilian population. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 52, p. 1124-1131, 2004.

ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos**: teoria e prática. 2. ed. Viçosa: UFV, 1999.

ARAÚJO, J. M. A. Enzimas: catalase e peroxidase. In: ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos**. 4. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2008. cap. 12, p. 389-596.

ARVANITTOYANNIS, I. S.; STRATAKOS, A. Ch.; TSAROUHAS, P. Irradiation applications in vegetables and fruits: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 49, n. 5, p. 427-462, 2009.

ARYA, A. et al. Synergistic effect of quercetin and quinic acid by alleviating structural degeneration in the liver, kidney and pancreas tissues of STZ-induced diabetic rats: A mechanistic study. **Food and Chemical Toxicology**, London, v. 71, p. 183–196, 2014.

ASSESSORIA DE COMUNICAÇÃO E IMPRENSA - ACI. Alimentos. Raios do bem. **Journal da UNESP**, São Paulo, n. 180, ago. 2003. Disponível em: <<http://www.unesp.br/aci/jornal/180/geral3.htm>>. Acesso em: 28 ago. 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 18. ed. Gaithersburg, 2005.

AWIKA, J. M. et al. Screening methods to measure antioxidant activity of sorghum (*Sorghum bicolor*) and sorghum products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, p. 6657–6662, 2003.

BACKES, P.; IRGANG, B. **Arvores do sul**: guia de identificação e interesse ecológico das principais espécies nativas Sul-Brasileiras. Rio de Janeiro: Instituto Souza Cruz, 2002. 326 p.

BALASUNDRAN, N.; SUNDRAN, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. **Food Chemistry**, Barking, v. 99, p. 191–203, 2006.

BARATA-SOARES, A. D.; GOMEZ, M. L. P. A.; MESQUITA, C. H.; LAJOLO, F. M. Ascorbic acid biosynthesis: a precursor study on plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, p. 147–154. 2004.

BARDALES, X. I. et al. Camu-camu Fruit (*Myrciaria dubia*), a new option for productives systems in the Colombian Amazonian region. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 773, p. 173-178, 2008.

BARNI, E. J. et al. **Potencial de mercado para goiabeira-serrana catarinense**. Florianópolis: EPAGRI, 2004. 48 p. (Documento, 212).

BARRETO, G. P. M.; BENASSI, M. T.; MERCADANTE, A. Z. Bioactive compounds from several tropical fruits and correlation by multivariate analysis to free radical scavenger activity. **Journal of Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v. 20, n. 10, p. 1856-1861, 2009.

BASILE, A. et al. Antibacterial activity in *Actinidia chinensis*, *Feijoa sellowiana* and *Aberia caffra*. **International Journal of Antimicrobial Agents**, Amsterdam, v. 8, p. 199-203, 1997.

BATAGLION, G. A.; SILVA, F. M. A. da; EBERLIN, M. N.; KOOLEN, H. H. F. Simultaneous quantification of phenolic compounds in buriti fruit (*Mauritia flexuosa* L.f.) by ultra-high performance liquid chromatography coupled to tandem mass spectrometry. **Food Research International**, Essex, v. 66, p. 396–400, 2014.

BENOIT, M. A.; D'APRANO, G.; LACROIX, M. Effect of gamma irradiation on phenylalanine ammonia-lyase activity, total phenolic content, and respiration of mushroom (*Agaricus bisporus*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, p. 6312–6316, 2009.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química de processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001.

BRACK, P.; KINUPP, V. F.; SOBRAL, M. E. G. Levantamento preliminar de espécies frutíferas de árvores e arbustos nativos com uso atual ou potencial do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v. 2, n. 1, p. 1769-1772, 2007.

BRANDÃO, V. B.; GONÇALVES, A. C. V. **Brasil Inovador: o desafio empreendedor: 40 histórias de sucesso de empresas que investem em inovação**. Brasília, DF: IEL, NC, 2006. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/dcom/brasilinovador.pdf>> Acesso em: 10 fev. 2015.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie**, London, v. 22, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Leis, Decretos, etc. Resolução - RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. Regulamento técnico para irradiação de alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 29 jan. 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para suco de fruta. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 10 jan. 2000. Disponível em: www.anvisa.gov.br.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 33 de 13 de janeiro de 1998. Princípios gerais para o estabelecimento de níveis máximos de ingestão diária em alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 16 jan. 1998. Seção I-E, p. 5.

BREITFELLNERA, F.; SOLARA, S.; SONTAG, G. Radiation induced chemical changes of phenolic compounds in strawberries. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 67, p. 497–499, 2003.

CANUTO, G. A. B. et al. Caracterização físico-química de polpas de frutas da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 1196-1205, dez. 2010.

CARDOSO J. H. **Cultivo e conservação da feijoa: uma homenagem a um agricultor guardião**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. 26 p.

CAROCHO, M. et al. Effects of electron-beam radiation on nutritional parameters of Portuguese chestnuts (*Castanea sativa* Mill.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 60, n. 31, p. 7754–7760, 2012.

CARVALHO, A. R. F. et al. A theoretical interpretation of the color of two classes of pyranoanthocyanins. **Journal of Molecular Structure**, Amsterdam, v. 948, p. 61-64, 2010.

CARVALHO, J. C. T.; GOSMANN, G.; SCHENKEL, E. P. Compostos fenólicos simples e heterocíclicos. In: SIMÕES, M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P. de; MENTZ, L. A.; PETROVIK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. Porto Alegre: Ed. Universidade, 2001.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidade e uso da madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 593 p.

CAVALCANTE, M. L.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Alteration of the carotenoid composition during manufacture and storage of frozen *Eugenia uniflora* fruit. In: WORD CONGRESS OF FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 9., 1995, Budapest. Budapest: Akadémiai Kiadó Budapest, 1995.

CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA E NO AMBIENTE – CENA. **Divulgação da tecnologia da irradiação de alimentos e outros materiais**. Disponível em: <http://www.cena.usp.br/irradiacao/irradiacaoalimentos.htm>. Acesso em: 10 jan. 2015.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA NUCLEAR - CDTN. **CDTN, FUNED e UFMG pesquisam irradiação de alimentos**. Belo Horizonte, 2005. Disponível em <<http://www.cdtm.br>> Acesso em: 01 abr. 2011.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS – CGEE. **Estudo da cadeia de suprimento ao programa Nuclear Brasileiro**. Relatório Parcial: irradiadores e Aplicações. Panorama – Análise de oportunidades e desafios para o segmento de irradiadores e aplicações na cadeia produtiva do Agronegócio. Brasília, DF, 2010.

CHEN, G.-L. et al. Total phenolic contents of 33 fruits and their antioxidant capacities before and after *in vitro* digestion. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 57, p. 150–157, jun. 2014.

CHOE, E.; MIN, D. B. Chemistry and reactions of reactive oxygen species in foods. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 70, p. 42–59, 2005.

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN. **Radiações ionizantes e a vida**. Disponível em: <www.cnen.gov.br/ensino/apostila/rad_ion.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2014.

CORRÊA NETO, R. S.; FARIA, J. A. F. Fatores que influem na qualidade do suco de laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 153-160, jan./abr. 1999.

COSKUN, O. et al. Quercetin, a flavonoid antioxidant, prevents and protects streptozotocin-induced oxidative stress and β -cell damage in rat pancreas. **Pharmacological Research**, London, v. 51, n. 2, p. 117-123, fev.2005.

COSTA, M. C. et al. Conservação de polpa de cupuaçu [*Theobroma grandiflorum* (Willd. Ex Spreng.) Schum] por métodos combinados. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 213-215, 2003.

CROZIER, A. Classification and biosynthesis of plants and secondary products: an overview. In: GOLDBERG, G. (Ed.). **Plants: diet and health**. Iowa: Blackwell Science for the British Nutrition Foundation, 2003. chap. 2, p. 27-48.

DAMIANI, C. et al. Changes in the physicochemical and microbiological properties of frozen araçá pulp during storage. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 33, n. 1, p. 19-27, 2013.

Da SILVA M. P. Avaliação dos efeitos da radiação gama na conservação da qualidade da polpa de amora-preta (*Rubus* spp. L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 36, n. 3, p. 620-627, set. 2014.

DAVIS, A. J.; MAZZA, G. Copigmentation of simple and acylated anthocyanins with colorless phenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 41, n. 5, p. 716-720, 1993.

De LIMA, V. L. A. G. et al. Flavonoides em seleções de acerola (*Malpighia* sp L.). 1- teor de antocianinas e flavonóis totais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 1063-1064, 2000.

De OLIVEIRA, J. et al. Polpa de camu-camu (*Myrciaria dubia*) submetida à radiação gama. **Acta Agronômica**, Palmira, v. 62, n. 1, p. 7-12, 2013.

De ROSSO, V. V.; MERCADANTE A. Z. The high ascorbic acid content is the main cause of the low stability of anthocyanin extracts from acerola. **Food Chemistry**, Barking, v. 103, p. 935-943, 2007.

DEGENHARDT, J.; DUCROQUET, J. P. H. J.; GUERRA, M. P.; NODARI, R. O. Avaliação fenotípica de características de frutos em duas famílias de meios-irmãos de goiabeira-serrana (*Accasellowiana* Berg.) de um pomar comercial em São Joaquim, SC. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 25, p. 475-479, 2003.

DEL MASTRO, N. L. Development of food irradiation in Brazil. **Progress in Nuclear Energy**, New York, v. 35, n. 3-4, p. 229-248, 1999.

DIEHL, J. F. **Safety of irradiated foods**. New York: Marcel Dekker, 1995. 454 p.

DIONISIO, A. P.; GOMES, R. T.; OETTERER, M. Ionizing radiation effects on food vitamins – a review. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 52, n. 5, p. 1267-1278, set./out. 2009.

DONADIO, L. C. Study of some Brazilian Myrtaceae in Jaboticabal – SP. **Acta Horticulturae**, The Hague, n. 452, p. 181-183, 1997.

DONADIO, L. C.; MÔRO, F. V.; SERVIDONE, A. A. **Frutas brasileiras**. 2. ed. Jaboticabal: Editora Novos Talentos, 2004. 248 p.

DOS SANTOS, G. M. et al. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 58, n. 2, p. 187-192, 2008.

EGEA, M. B. **Frutos nativos da Floresta Atlântica com potencial de maior utilização pela população e pela indústria**: caracterização nutracêutica e aromática. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

ESTELA, F. A. Mudanças durante a maturação de uvaia (*Eugenia uvalla* Cambess). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 20.; ANNUAL MEETING OF THE INTERAMERICAN SOCIETY FOR TROPICAL, 54., 2008, Vitória, ES. **Anais...** Vitória: Interamerican Society for Tropical Horticulture; SBF; Fundagres; Cedagro, 2008. 1 CD-ROM.

FAN, X.; NIEMIRA, B. A.; PRAKASH, A. Irradiation of fresh fruits and vegetables. **Food Technology**, Chicago, v. 62, n. 3, p. 36-43, 2008.

FAO. FAOSTAT. Rome: FAO Statistics Division, 2007. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 18 fev. 2010.

FARKAS, J. Irradiation as a method for decontaminating food: a review. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 44, p. 189-204, 1998.

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

FERNANDES, A. G. et al. Chemical and physicochemical characteristics changes during passion fruit juice processing. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 31, n. 3, p. 747-751, 2011.

FERREIRA, D. S. et al. Compostos bioativos presentes em amorapreta (*Rubus* spp.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 664-674, 2010.

FISCHER, D. C. H.; KATO, E. T. M.; KONISHI, S. T. Pharmacognostic characterization of leaves and stem barks of *Eugenia brasiliensis* LAM. (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 6, n. 1, p. 15-22, 2003.

FLOEGEL, A. et al. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. **Journal of Food Composition and Analysis**, Amsterdam, v. 24, n. 7, p. 1043-1048, 2011.

FOTI, M. C.; DAQUINO, C.; GERACI, C. Electron-transfer reaction of cinnamic acids and their methyl esters with the DPPH radical in alcoholic solution. **Journal of Organic Chemistry**, Washington, DC, v. 69, p. 2309-2314, 2004.

FRANCO, G. **Tabela de composição química dos alimentos**. 9. ed. São Paulo: Atheneu, 2001. 307 p.

FRANZON, R. C.; RASEIRA, M. C. B.; CORRÊA, E. R. Potencialidades agronômicas de algumas mirtáceas frutíferas nativas do Sul do Brasil. In: RASEIRA, M. do C. B.; ANTUNES, L. E. C.; TREVISAN, R.; GONÇALVES, E. D. **Espécies frutíferas nativas do sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2004. p. 99-106. (Documento, 129).

FRANZON, R. C.; SILVA, J. C. S. **Propagação vegetativa ainda é um dos desafios para o início do cultivo de fruteiras nativas**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2010. Disponível em: <<http://www.cpac.embrapa.br/noticias/artigosmidia/publicados/267/>>. Acesso em: 23 dez. 2010.

FREIRE, M. T. A. et al. Caracterização físico-química, microbiológica e sensorial de polpa de cupuaçu congelada (*Theobroma grandiflorum Schum*). **Brazilian Journal of Food and Technology**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 09-16, jan./mar. 2009.

FREIRE, J. M. et al. Quantificação de compostos fenólicos e ácido ascórbico em frutos e polpas congeladas de acerola, caju, goiaba e morango. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 12, p. 2291-2296, dez. 2013.

FU, L.; XU, B.T.; XU, X.R.; GAN, R.Y.; ZHANG, Y.; XIA, E.Q.; LI, H.B. Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits. **Food Chemistry**, Barking, v. 129, p. 345–350, 2011.

FURGERI, C. et al. Evaluation of phenolic compounds in maté (*Ilex paraguariensis*) processed by gamma radiation. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 78, p. 639-641, 2009.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. Atlantic Forest hotspots status: an overview. In: _____. (Ed.). **The Atlantic Forest of South America: biodiversity status, threats, and outlook**. Washington, DC: Center for Applied Biodiversity Science e Island Press, 2003. p. 3-11.

GARCÍA-REYES, R. H.; NARVÁEZ-CUENCA, C. E. The effect of pasteurization on the quality of frozen arazá (*Eugenia stipitata*) pulp. **Journal of Food Quality**, Westport, v. 33, p. 632-645, 2010.

GENOVESE, M. I. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology**, London, v. 14, p. 207-214, 2008.

GENOVESE, M. I. et al. Determination of total phenolic contents in fruits. **Brazilian Journal Pharmaceutical Science**, São Paulo, v. 39, p. 167–169 2003.

GEORGEA, S.; BRAT, P.; ALTER, P.; AMIOT, M. J. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, p. 1370-1373, 2005.

GERMANO, M. I. S.; GERMANO, P. M. L. Irradiação de alimentos. In: _____. **Higiene e vigilância sanitária de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Varela, 2003. cap. 27, p. 444-466.

GIL-IZQUIERDO, A.; GIL, M. I.; FERRERES, F. Effect of processing techniques at industrial scale on orange juice antioxidant and beneficial health compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 50, p. 5107–5114, 2002.

GLOBO RURAL. **Cresce a demanda pelo cambuci, fruto típico da Mata Atlântica paulista**. Disponível em: <http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2014/03/cresce-demanda-pelo-cambuci-fruto-tipico-da-mata-atlantica-paulista.html>. Acesso em: 23 nov. 2014.

GONÇALVES, A. E. S. S.; LAJOLO F. M.; GENOVESE, M. I. Chemical composition and antioxidant/antidiabetic potential of Brazilian native fruits and commercial frozen pulps. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 58, p. 4666–4674, 2010.

GONÇALVES, M. P. J. C. et al. Gamma irradiation as an alternative processing to conservation of acerola pulp. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 17, n. 2, p. 159-163, abr./jun. 2006.

GONÇALVES, A. E. S. S. **Avaliação da capacidade antioxidante de frutas e polpa de frutas nativas e determinação dos teores de flavonoides e vitamina C**. 2008. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GORZALCZANY, S. et al. Efeitos colerético e antiespasmódico do extrato aquoso de *Lippia integrifolia*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, João Pessoa, v. 18, n. 1, p. 16-20, mar. 2008.

GRUPO CONSULTIVO INTERNACIONAL SOBRE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS – GCIIA. **A irradiação de alimentos: ficção e realidade**. Vienna, 1990. (Ficha Descritiva, 1-14).

GUEDES, R. L. **Análise microbiológica e de propriedades organolépticas de açaí (*Euterpe oleracea*) irradiado com radiação gama**. 2005. 60 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

GULÇIN, I. Antioxidant activity of food constituents: an overview. **Archives of Toxicology**, New York, v. 86, p. 345-391, 2012.

HAKKINEN, S. H. et al. Content of the flavonols quercetin, myricetin, and kaempferol in 25 edible berries. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 47, p. 2274–2279, 1999.

HAMINIUK, C. W. I. et al. Chemical, antioxidant and antibacterial study of Brazilian fruits. **International Journal of Food Science and Technology**, Oxford, v. 46, p. 1529–1537, 2011.

HARBORNE, J. B. **The flavonoids: advances in research since 1986**. 1. ed. London: Chapman and Hall, 1994.

HARBONE, J. B.; WILLIAMS, C. A. Advances in flavonoids research since 1992. **Phytochemistry**, Oxford, v. 55, p. 481-504, 2002.

HEIM, K. E.; TAGLIAFERRO, A. R.; BOBILYA, D. J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. **Journal of Nutritional Biochemistry**, Stoneham, v. 13, p. 572-584, 2002.

HERNANDES, N. K.; VITAL, H. C.; SABAA-SRUR, A. U. O. Irradiação de alimentos: vantagens e limitações. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 37, n. 2, p. 154-159, 2003.

HO, C. T.; RAFI, M. M.; GHAI, G. Substâncias bioativas: nutracêuticas e tóxicas. In: DAMODARAM, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de alimentos de Fennema**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. cap. 12, p. 585-608.

HOFFMANN, A. et al. Influência da temperatura e do polietileno no armazenamento de frutos de goiabeira-serrana (*Feijoa sellowiana* Berg.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, p. 563-568, 1994.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. I. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, p. 1856-1981, 2005.

HUBER, L. S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Flavonóis e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam a composição em alimentos. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 1, p. 97-108, jan./mar. 2008.

HUSSAIN, P. R. et al. Gamma irradiation induced enhancement of phenylalanine ammonia-lyase (PAL) and antioxidant activity in peach (*Prunus persica* Bausch, Cv. Elberta). **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 79, p. 982-989, 2010.

HUSSEIN, S. Z. et al. Antioxidant capacities and total phenolic contents increase with gamma irradiation in two types of Malaysian honey. **Molecules**, Basel, v. 16, p. 6378-6395, 2011.

IACOBUCCI, G. A.; SWEENEY, J. G. The chemistry of anthocyanins, anthocyanidins, and related flavilium salts. **Tetrahedron Letters**, Oxford, v. 39, p. 3005-3012, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS - IBF. **Bioma Mata Atlântica**. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.ibflorestas.org.br/component/k2/itemlist/tag/mata%20atl%C3%A2ntica.html>. Acesso em: 20 jan. de 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF. **Plano diretor estratégico para 2010-2020**. São Paulo, 2010. 357 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS - IBRAF. **O sistema agroalimentar de frutas e derivados**. São Paulo, 2013. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/detalhe.aspx?id=1>. Acesso em: 20 de dez. 2013.

IGUAL, M. et al. Changes in flavonoid content of grapefruit juice caused by thermal treatment and storage. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, Oxford, v. 12, p. 153-162, 2011.

INFANTE, J. **Composição fenólica e atividade antioxidante de polpa, casca, semente e folha de espécies frutíferas nativas do Brasil**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

INGLETT, G. E.; CHEN, D. Contents of phenolics and flavonoids and antioxidant activities in skin, pulp, and seeds of miracle fruit. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 76, n. 3, p. 479-482, 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **SOS Mata Atlântica e INPE apresentam dados do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. São José dos Campos, 2014. Disponível em: http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=3610. Acesso em 15 jan. de 2015.

IVANAUSKAS, N. M.; MONTEIRO, R.; RODRIGUES, R. R. Levantamento florístico de trecho de floresta Atlântica em Pariquera-Açu. **Naturalia**, São Paulo, v. 26, p. 97-129, 2001.

JARDINI, F. A. et al. Compostos fenólicos da polpa e sementes de romã (*punica granatum*, L.): atividade antioxidante e protetora em células MDCK. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n. 4, p. 509-517, out./dez. 2010.

JIMÉNEZ, C. I. E.; MARTIZÉZ, E. Y. C.; FONSECA, J. G. Flavonoides y sus acciones antioxidantes. **Revista de Faculdade de Medicina – UNAM**, México, DF, v. 52 n. 2, p. 73-75, 2009.

JURD, L. Aluminum complexes of phenolic flavones. Spectral and structural correlations, **Phytochemistry**, Oxford, v. 8, p. 445-462, 1969.

JURD, L.; GEISSMAN, T. A. Absorption spectra of metal complex flavonoid compounds. **Journal of Organic Chemistry**, Washington, DC, v. 21, n. 12, p. 1395-1401, 1956.

JUSTI, K. C. et al. Nutritional composition and vitamin C stability in stored Camu-camu (*Myrciaria dúbia*) pulp. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 50, n. 4, p. 405-408, 2000.

KARWOWSKI, M. S. M. et al. Characterization of tropical fruits: rheology, stability and phenolic compounds. **Acta Alimentaria**, Budapest, v. 42, n. 4, p. 586-598, 2013.

KAWASAKI, M.L.; LANDRUM, L.R. A rare and potentially economic fruit of Brazil Cambuci, *Campomanesia pohaea* (Myrtaceae). **Economic Botany**, New York, v. 51, p. 403-407, 1997.

KELLER, H. A.; TRESSENS, S. G. Presencia en argentina de dos especies de uso múltiple: *Acca sellowiana* (Myrtaceae) y *Casearia lasiophylla* (Flacourtiaceae). **Darwiniana**, San Isidro, v. 45, n. 2, ago./set. 2007.

KIM, K. H.; YOOK, H. S. Effect of gamma irradiation on quality of kiwifruit. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 78, p. 414-421, 2009.

KLOPOTEK, Y.; OTTO, K.; BOHM, V. Processing strawberries to different products alters contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins and antioxidant capacity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, p. 5640–5646, 2005.

KOLEVA, I. I. et al. Screening of Plant Extracts for Antioxidant Activity: a Comparative Study of Three Testing Methods. **Phytochemical Analysis**, Chichester, v. 13, n. 1, p. 8-17, 2002.

KONDAPALLI, N. et al. Impact of gamma irradiation on antioxidant capacity of mango (*Mangifera indica* L.) wine from eight Indian cultivars and the protection of mango wine against DNA damage caused by irradiation. **Process Biochemistry**, Oxford, v. 49, p. 1819–1830, 2014.

KOVÁCS, E.; KERESZTES, A. Effect of gamma and UV-B/Cradiation on plant cells. **Micron**, Oxford, v. 33, n. 2, p. 199-210, 2002.

KROLOW, A. C. R. **Geleia de uvaia**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2009. versão on line. 3 p. (Comunicado Técnico, 228). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31518/1/comunicado-228.pdf>.

KUME, T. et al. Status of food irradiation in the world. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v. 78, n. 3, p. 222-229, 2009.

KUSKOSKI, E.M. et al. Actividad antioxidante de pigmentos antocianicos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 691-693, 2004.

KUSKOSKI, E. M. et al. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 25, n. 4, p. 726-732, 2005.

KUSKOSKI, E. M.; ASUERO, A. G.; MORALES, M. T.; FETT, R. Frutos tropicais silvestres e polpas de frutas congeladas: atividade antioxidante, polifenóis e antocianinas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1283-1287, 2006.

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

LE GALL, G. et al. Characterization and content of flavonoid glycosides in genetically modified tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 51, p. 2438-2446, 2003.

LEE, J. W. et al. Effect of gamma irradiation on microbial analysis, antioxidant activity, sugar content and color of ready-to-use tamarind juice during storage. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 42, p. 101–105, 2009.

LEE, M. T.; CHEN, B. H. Separation of lycopene and its *cis* isomers by liquid chromatography. **Chromatographia**, New York, v. 54, p. 613-617, 2001.

LEONG, L. P.; SHUI, G. An investigation of antioxidante capacity of fruits in Singapore markets. **Food Chemistry**, Barking, v. 76, p. 69-75, 2002.

- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology. Plant Cell Membranes*, London, v. 148, n. 22, p. 350-373, 1987.
- LIMA, V. L. A. G. et al. Total phenolic and carotenoid contents in acerola genotypes harvested at three ripening stages. *Food Chemistry*, Barking, v. 90, p. 565-568, 2005.
- LIMA, A.L. dos S. et al. Avaliação dos efeitos da radiação gama nos teores de carotenoides, ácido ascórbico e açúcares do fruto buriti do brejo (*Mauritia flexuosa* L.). *Acta Amazônica*, Manaus, v. 39, n. 3, p. 649-654, 2009.
- LIMA, V. L. A. G. de; MÉLO, E. A.; LIMA, D. E. S. Fenólicos e carotenoides totais em pitanga. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 447-450, 2002.
- LOAHARANU, P. Irradiation as a cold pasteurization process of food. *Veterinary Parasitology*, Amsterdam, v. 64, p. 71-82, 1996.
- LOPES, M. F. P. D. **Bioatividade do mel: atividade antioxidante, antimicrobiana e composição em ácidos orgânicos**. 2010. 99 p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. v. 2, 382 p.
- LORENZI, H. et al. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas: de consumo in natura**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2006. 640 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v. 1, 368 p.
- LOVE, K.; BOWEN, R.; FLEMING, K. **Twelve fruits: with potential value-added and culinary uses**. Honolulu: University of Hawai'i at Manoa, College of Tropical Agriculture and Human Resources, 2007. 58 p.
- MACHADO, H. et al. Flavonóides e seu potencial terapêutico. *Boletim do Centro de Biologia da Reprodução*, Juiz de Fora, v. 27, n. 1/2, p. 33-39, 2008.
- MAEDA, R. N. et al. Determinação da formulação e caracterização do néctar de camu-camu (*Myrciaria dúbia* McVaugh). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 26, n. 1, p. 70-74, 2006.
- MAEDA, R. N. et al. Estabilidade de ácido ascórbico e antocianinas em néctar de camu-camu (*Myrciaria dúbia* (H.B.K.) McVaugh). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 27, n. 2, p. 313-316, 2007.
- MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M. de; LIMA, A. S. **Processamento de sucos de frutas tropicais**. Fortaleza: Edições UFC, 2007. 320 p.
- MAOKA, T. et al. Cancer chemo preventive activity of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annum*. *Cancer Letters*, Amsterdam, v. 172, p. 103-109, 2001.

MARTÍNEZ-FLÓREZ, S. et al. Los Flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. **Nutrición Hospitalaria**, Madrid, v. 17, n. 6, p. 271-278, 2002.

MARTINEZ-VALVERDE, I.; PERIAGO, M. J.; ROS, G. Significado nutricional de los compuestos fenólicos de la dieta. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, Caracas, v. 50, n. 1, p. 5-18, 2000.

MATTOS, J. R. **Goiabeira-serrana**: fruteiras nativas do Brasil. 2. ed. Porto Alegre: Ceue, 1990. 120 p.

MEDEIROS, E. Licopeno, luteína e zeaxantina: mais do que potentes antioxidantes. **Aditivos e Ingredientes**, São Paulo, v. 24, p. 49-54, 2003.

MEDEIROS, M. A. **Radiação nuclear**. Edição de 23 de maio de 2004. Disponível em: <<http://www.quiprocura.net/radianuclear.htm>>. Acessado em: 18 abr. 2011.

MELLO, E. A.; GUERRA, N. B. Ação antioxidante de compostos fenólicos naturalmente presentes em alimentos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 36, n. 1, p. 1-11, 2002.

MERTZ, C. et al. Characterization and thermal lability of carotenoids and vitamin C of tamarillo fruit (*Solanum betaceum* Cav.). **Food Chemistry**, Barking, v. 119, p. 653–659, 2010.

MEZADRI, T. et al. Antioxidant compounds and antioxidant activity in acerola (*Malpighia emarginata* DC.) fruits and derivatives. **Journal of Food Composition and Analysis**, Amsterdam, v. 21, p. 282-290, 2008.

MODANEZ, L. **Aceitação de alimentos irradiados**: uma questão de educação. 2012. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2012.

MONTEIRO, S. Vencendo o tempo. **Revista Frutas e Derivados**, São Paulo, n. 1, p. 32-36, 2006.

MORALES-SOTO, A. et al. Antioxidant capacity of 44 cultivars of fruits and vegetables grown in Andalusia (Spain). **Food Research International**, Essex, v. 58, p. 35–46, 2014.

MUNIZ, H. J. T. **Colecionando frutas**: 100 espécies de frutas nativas e exóticas. São Paulo: Arte & Ciência, 2008. 352 p.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v. 403, p. 853-845, 2000.

NEVES, L. C. et al. Produção de polpas de mangas Tommy Atkins, na Amazônia setentrional, através da aplicação de preservativos e da pasteurização. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 576-582, 2007.

NUNES, T. P. et al. Radio resistance of *Salmonella* Species and *Listeria monocytogenes* on Minimally Processed Arugula (*Eruca sativa* Mill.): Effect of irradiation on flavonoid content and acceptability of irradiated produce. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 56, p. 1264-1268, 2008.

NUNES, I. L.; MERCADANTE, A. Z: Utilização de colunas de fase reversa C18 e C30 para separação de carotenoides por CLAE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., 2004, Recife/PE. **Anais...** Recife: SBCTA/UFPE, 2004. 1 CD-ROM.

OETTERER, M.; D'ARCE, M. A. B. R.; SPOTO, M. H. F. **Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Manole, 2010. 612 p.

OUFEDJIKH, H. et al. Effect of irradiation on phenolic compounds and phenylalanine ammonialyase activity during storage in relation to peel injury from peel of Citrus clementina Hort. Ex. Tanaka. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 48, p. 559–65, 2000.

ÖZKAN, M. et al. Degradation kinetics of anthocyanins from sour cherry, pomegranate and strawberry juices by hydrogen peroxide. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 67, n. 2, p. 525–529, 2002.

PACHECO-PALENCIA, L. A.; HAWKEN, P.; TALCOTT, S. T. Phytochemical, antioxidant and pigment stability of acai (*Euterpe oleracea*) as affect by clarification, ascorbic acid fortification and storage. **Food Research International**, Essex, v. 40, p. 620-628, 2007.

PARK, Y. K. et al Estudo de alguns componentes da própolis coletada por *Apis mellifera* no Brasil. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 1235-1259, 1995.

PAULA, G. A. **Caracterização físico-química e estudo do escurecimento enzimático em produtos derivados de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. 2007. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

PAZ, M. et al. Brazilian fruit pulps as functional foods and additives: Evaluation of bioactive compounds. **Food Chemistry**, Barking, v. 172, p. 462–468, 2015.

PEREDA, J. A. O. Utilização de radiações eletromagnéticas na indústria alimentícia. Irradiação de alimentos. In:_____. **Tecnologia de alimentos: componentes dos alimentos e processos**. Porto Alegre: Artmed, 2005. cap. 9, p. 142-154.

PEREIRA, A. S. C. Irradiação em alimentos. **Revista Nacional da Carne**, São Paulo, v. 324, p. 53-62, fev. 2004.

PEREIRA, M. C.; CASTILHO, P. M.; VIZZOTTO, M. Propriedades funcionais da cereja-do-rio-grande (*Eugenia involucrata*). In: SIMPÓSIO NACIONAL DO MORANGO, 4., ENCONTRO SOBRE PEQUENAS FRUTAS E FRUTAS NATIVAS DO MERCOSUL, 3., 2008, Pelotas. **Palestras & resumos...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. v. 1, p. 153.

PEREIRA, M. C. et al. Characterization and antioxidant potential of Brazilian fruits from the Myrtaceae Family. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 60, p. 3061–3067, 2012.

PEREIRA, R. N.; VICENTE, A. A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal Technologies in food processing. **Food Research International**, Essex, v. 43, p. 1936-1943, 2010.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J. **Metodología para La evaluación de ingredientes funcionales antioxidantes: efecto de fibra antioxidante de uva em status antioxidante y parâmetros de riesgo cardiovascular em humanos**. 2007. 244 p. Tese (Doutorado em Ciencia y Tecnología de los Alimentos) - Facultad de Ciencias, Departamento de Química Física Aplicada, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2007.

PIMENTEL, C. V. M. B.; FRANCKI, V. M.; GOLLÜCKE, A. P. B. **Alimentos funcionais: Introdução às principais substâncias bioativas em alimentos**. São Paulo: Varela, 2005. 100 p.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. et al. Estado da arte da produção de sementes de espécies florestais na Mata Atlântica. In: PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. et al. (Org.). **Parâmetros técnicos para produção de sementes florestais**. Seropédica: Edur, 2007. p. 11-35.

PINELO, L. et al. Solvent effect on quercetina antioxidant capacity. **Food Chemistry**, Barking, v. 88, n. 2, p. 201-207, 2004.

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

PRIOR, R. L.; WU, X.; SACHAICH, K. Standardized methods for determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, n. 10, p. 4290-4302, 2005.

QUINÁIA, S. P.; FERREIRA, M. Determination of ascorbic acid in pharmaceutical formulations and tropical juices by means of spectrophotometric titration. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 9, n. 1, p. 41-50, 2007.

RADOMYSKY, T. et al. Elimination of pathogens of significance in food by low-dose irradiation. **Journal of Food Protection**, Des Moines, v. 57, n. 1, p. 73-86, 1994.

RAMALHO, A. Antioxidantes. In: DOLINSKY, M. **Nutrição funcional**. São Paulo: Roca, 2009. cap. 3, p. 123-133.

RAUHA, J. P. et al. Antimicrobial effects of Finnish plant extracts containing flavonoids and other phenolic compounds. **International Journal of Food Microbiology**, Amsterdam, v. 56, p. 3-12, 2000.

RAWSON, A. et al. Effect of thermal and non thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review of recent advances. **Food Research International**, Essex, v. 44, p. 1875-1887, 2011.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying and improved ABTS radical cation. **Free Radical Biology and Medicine**, New York, v. 26, n. 9/10, p. 1231-1237, 1999.

REYES, L. F.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Electron-beam ionizing radiation stress effects on mango fruit (*Mangifera indica* L.) antioxidant constituents before and during postharvest storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 55, p. 6132–6139, 2007.

REYNERTSON, K. A.; YANG, H.; JIANG, B.; BASILE, M. J.; KENNELLY, E. J. Quantitative analysis of antiradical phenolic constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, Barking, v. 109, p. 883–890, 2008.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgar Blucher, 2004. 184 p.

ROBARDS, K. et al. Methods for testing antioxidant activity. **Analyst**, London, v. 127, p. 183-198, 2002.

ROCKENBACH, I. I. et al. Ácidos fenólicos e atividade antioxidante em fruto de *Physalis peruviana* L. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 3, p. 271-276, 2008.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **Carotenoids and food preparation**: the retention of provitamin A carotenoides in prepared, processed and stored foods. Washington, DC: OMNI/USAID, 1997.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington, DC: ILSI Press, 1999. 64 p.

RODRÍGUEZ-PÉREZ C. et al. Assessment of the stability of proanthocyanidins and other phenolic compounds in cranberry syrup after gamma-irradiation treatment and during storage. **Food Chemistry**, Barking, v. 174, p. 392–399, 2015.

ROESLER, R. et al. Atividade antioxidante de frutas do cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 53-60, jan.-mar, 2007.

ROGINSKY, V.; LISSI, E. A. Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. **Food Chemistry**, Barking, v. 92, p. 235-254, 2005.

ROSS, J. A.; KASUM, C. M. Dietary flavonoids: bioavailability, metabolic effects and safety. **Annual Review of Nutrition**, Palo Alto, v. 22, p. 19-34, 2002.

RUFINO, M. S. M. et al. **Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 4 p. (Comunicado Técnico, 127).

RUFINO, M. D. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits Brazil. **Food Chemistry**, Barking, v. 121, n. 4, p. 996-1002, 2010.

RUFINO, M. S. M. et al. Free radical-scavenging behavior of some north-east Brazilian fruits in a DPPH system. **Food Chemistry**, Barking, v. 114, n. 2, p. 693-695, 2009.

RUFINO, M. S. M. et al. Free radical scavenging behavior of ten exotic tropical fruits extracts. **Food Research International**, Essex, v. 44, p. 2072–2075, 2011.

SANCHOTENE, M. do C. C. Eugenia involucrata D.C. In: SANCHOTENE, M. do C. C. **Frutíferas nativas úteis à fauna na arborização urbana**. 2. ed. Porto Alegre: Sagra, 1989. p. 159-163.

SANTOS, M. da S. et al. Caracterização físico-química, extração e análise de pectina de frutos de Campomanesia Xanthocarpa B. (Gabiroba). **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 101-106, jan./mar. 2009.

SANTOS, M. da S. et al. Caracterização do suco de araçá vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine) extraído mecanicamente e tratado enzimaticamente. **Acta Scientiarum, Agronomy**, Maringá, v. 29, supl., p. 617-621, 2007.

SAPTCHENCO, N. As tecnologias de feixe de elétrons e raios-X da Surebeam. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS, 1., 2003, Campinas. **Anais...** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2003. p. 58-70.

SAS INSTITUTE. **SAS/QC software: usage and reference (version 9.2)**. Cary, NC, 2005. 1 CDROM.

SCOTT SMITH, J.; PILLAI, S. Irradiation and food safety. **Food Technology**, Chicago, v. 58, n. 11, p. 48-55, 2004.

SEIFRIED, H. E. et al. A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. **Journal of Nutritional Biochemistry**, Stoneham, v. 18, p. 567-579, 2007.

SHAHIDI, F.; NACZK, M. **Phenolic in food and nutraceuticals**. Boca Raton: CRC Press, 2004.

SHAMI, N. J. I. E.; MOREIRA E. A. M. Licopeno como agente antioxidante. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 227-236, abr./jun. 2004.

SHARPE, R. H.; SHERMAN, W. B.; BENDER, R. J. Cherry of Rio Grande. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, v. 109, p. 220-224, 1996.

SHAW, P. E.; NAGY, S.; ROUSEFF, R. L. The shelf life of citrus products. In: CHARALAMBOUS, G. (Ed.). **Shelf life studies of foods and beverages: chemical, biological, physical and nutritional aspects**. Amsterdam: Elsevier, 1993. p. 755-778.

SILVA, S. **Frutas, cores e sabores do Brasil**. São Paulo: Ed. Europa, 2012. v. 1.

SILVA, M. R.; SILVA, M. S.; OLIVEIRA, J. S. Estabilidade de ácido ascórbico em pseudofrutos de caju-do-cerrado refrigerados e congelados. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 34, n. 1, p. 9-14, 2004.

SILVA L. M. R. da. Quantification of bioactive compounds in pulps and by-products of tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, Barking, v. 143, p. 398–404, 2014.

SILVA JUNIOR, J. F.; BEZERRA, J. E. F.; LEDERMAN, I. E. Recursos genéticos e melhoramento de fruteiras nativas e exóticas em Pernambuco. In: QUEIRÓZ, M. A. de;

GOEDERT, C. O.; RAMOS, S. R. R. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste Brasileiro**. (on line). Versão 1.0. Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 1999. Disponível em: www.cpatia.embrapa.br:8080/catalogo/livrorg/fruteirasnativas.pdf. Acesso em: jun. 2010.

SILVA, F. V. M.; GIBBS, P. Target selection in designing pasteurization processes for shelf-stable high-acid fruit products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, London, v. 44, p. 353–360, 2004.

SILVA, S. R.; MERCADANTE, A. Z. Composição de carotenoides de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis flavicarpa*) in natura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 22, p. 254-258, 2002.

SINDHI V. et al. Potential applications of antioxidants - A review. **Journal of Pharmacy Research**, New Delhi, v. 7, p. 828-835, 2013.

SINGLETON, V. L.; ROSSI JUNIOR, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SOARES, S. E. Ácidos fenólicos como antioxidantes. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 15, n. 1, p. 71-81, 2002.

SOARES, M. et al. Compostos fenólicos e atividade antioxidante da casca de Uvas Niágara e Isabel. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 59-64, 2008.

SONG, H. P. et al. Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice. **Food Microbiology**, London, v. 23, n. 4, p. 372–378, 2006.

SOUSA, M. S. B.; VIEIRA, L. M.; LIMA, A. Fenólicos totais e capacidade antioxidante *in vitro* de resíduos de polpas de frutas tropicais. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 14, n. 3, p. 202-210, jul/set. 2011.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 703 p.

SPAGOLLA, L. C. et al. Extração alcoólica de fenólicos e flavonoides totais de mirtilo “Rabbiteye” (*Vaccinium ashei*) e sua atividade antioxidante. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Araraquara, v. 30, n. 2, p. 187-191, 2009.

STROHECKER, R.; HENNING, H. M. **Análisis de vitaminas**: métodos comprobados. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 468 p.

SUCUPIRA, N. R. et al. Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **Científica. Ciência Biologia e Saúde**, Londrina, v. 14, n. 4, p. 263-269, 2012.

TERCI, D. B. L. **Aplicações analíticas e didáticas de antocianinas extraídas de frutas.** Tese (Doutorado em Química Analítica) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

THORP, T. G.; BIELESKI, R. **Feijoa**: origins, cultivation and uses. Auckland: David Bateman, 2002. 87 p.

UENOJO, M.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; PASTORE, G. M. Carotenoides: Propriedades, Aplicações e Biotransformação para Formação de Compostos de Aroma. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 616-622, 2007.

VALLILO, M. I. et al. Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*campomanesia phaea*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 241-244, ago. 2005.

VASCO, C., RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. **Food Chemistry**, Barking, v. 111, p. 816–823, 2008.

VEBERIC, R.; COLARIC, M.; STAMPAR, F. Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. **Food Chemistry**, Barking, v. 106, p. 153-157, 2008.

VEDANA, M. I. S. et al. Efeito do processamento na atividade antioxidante de uva. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 2, p. 159-165, 2008.

VERRUMA-BERNARDI, M. R.; SPOTO M. H. F. Efeito da radiação gama sobre o perfil sensorial de suco de laranja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 28-32, 2003.

VILLAÑO, D. et al. Comparison of antioxidant activity of wine phenolic compounds and metabolites in vitro. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 38, n. 1-2, p. 391-398, 2005.

VILLANUEVA-TIBURCIO, J. E.; CONDEZO-HOYOS, L. A.; ASQUIERI, E. R. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, em la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dúbia* (H.B.K.) McVaugh). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, p. 151-160, 2010. Supl. 1.

VOLP, A. C. P. et al. Flavonoides antocianinas: características e propriedades na nutrição e saúde. **Revista Brasileira de Nutrição Clínica**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 141-149, 2008.

VUOTTO, M. L. et al. Antimicrobial and antioxidant activities of *Feijoa sellowiana* fruit. **International Journal of Antimicrobial Agents**, Amsterdam, v. 13, p. 197-201, 2000.

YOUNG, I.S.; WOODSIDE, J.V. Antioxidant in health and disease. **Journal Clinical Pathology**, London, v. 4, p. 176-180, 2001.

YOUSSEF, B. M. et al. Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. **Food Research International**, Essex, v. 35, p. 1-13, 2002.

WADA, M. et al. Chemiluminescent screening of quenching effects of natural colorants against reactive oxygen species: Evaluation of grape seed, monascus, gardênia and red radish extracts as multi-funcional food additivies. **Food Chemistry**, Barking, v. 101, p. 980-986, 2007.

WHO. **High-dose irradiation**: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO. Geneva, 1999. 197 p. (Technical Report Series, 890).

WONG, P. Y. Y.; KITTS, D. D. Factors influencing ultraviolet and electron beam irradiation-induced free radical damage of ascorbic acid. **Food Chemistry**, Barking, v. 74, p. 75-84, 2001.

ANEXOS

Anexo A - Parecer da Comissão de Ética Ambiental na Pesquisa ESALQ/USP

COMISSÃO DE ÉTICA AMBIENTAL NA PESQUISA - ESALQ/USP

PARECER

Declaro que o protocolo de nº 91, "**Avaliação da estabilidade oxidativa de polpas de frutas nativas submetidas ao processo de irradiação**", de responsabilidade da **Profa. Dra. Marta Helena Fillet Spoto (LAN)**, está de acordo com os Princípios Éticos Ambientais adotados das leis e decretos complementares (Lei Nº 6.894 de dezembro de 1980, Lei Nº 7.803 de 18 de julho de 1989, Lei Nº 9.985 de 18 de julho de 2000, Lei Nº 9.974 de 6 de junho de 2000, Decreto Nº 99.556 de 1º de Outubro de 1990, Decreto Nº 4.340 de 22 de agosto de 2002, Instrução Normativa Nº 154 de 01 de março de 2007, Decreto Nº 4.074 de 4 de janeiro de 2002, Instrução Normativa Nº 169/2008, ABNT-NBR10004: 2004, Resolução ANVISA RDC 306 - 07 de dezembro de 2004, Resolução Nº 358, de 29 de abril de 2005) acrescida dos dispositivos e alterações, bem como os demais decretos e instruções normativas relativas aos assuntos ambientais pertinentes.

Piracicaba, 28 de julho 2010.

Maria do Carmo B. Oliveira

Profa. Dra. Maria do Carmo Bittencourt de Oliveira

Presidente – CEAP
ESALQ/USP

Profa. Dra. Maria do Carmo Bittencourt Oliveira
Comissão de Ética Ambiental na Pesquisa
Coordenadora CEAP - ESALQ / USP

Este parecer exclui demais aspectos éticos que envolvam a utilização de animais de laboratório ou seres humanos os quais são de competências das Comissões de Ética em Pesquisa com Animais e de Seres Humanos, respectivamente.

Anexo B - Equações de Regressão e R^2 das variáveis químicas das polpas submetidas a diferentes tratamentos

Tabela 1 - Equações de regressão e R^2 do ácido ascórbico da polpa de uvaia (Figura 8).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = -0,0034x^3 + 0,3136x^2 - 9,3405x + 93,769$	$R^2 = 0,99$
2 kGy	$y = -0,0011x^3 + 0,1409x^2 - 5,5607x + 73,119$	$R^2 = 0,98$
4 kGy	$y = -0,0017x^3 + 0,1899x^2 - 6,6972x + 80,485$	$R^2 = 0,99$
6 kGy	$y = -0,0011x^3 + 0,1347x^2 - 5,2327x + 70,431$	$R^2 = 0,99$
Pasteurizada	$y = 0,004x^3 - 0,2082x^2 - 0,215x + 91,64$	$R^2 = 0,97$

Tabela 2 - Equações de regressão e R^2 do ácido ascórbico da polpa de cambuci (Figura 9).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = 3E-05x^3 - 0,0022x^2 - 0,0031x + 3,2038$	$R^2 = 0,86$
2 kGy	$y = 5E-05x^3 - 0,0025x^2 - 0,0175x + 2,7773$	$R^2 = 0,89$
4 kGy	$y = 6E-05x^3 - 0,0032x^2 + 0,0079x + 2,7015$	$R^2 = 0,74$
6 kGy	$y = 0,0001x^3 - 0,0079x^2 + 0,0446x + 3,5893$	$R^2 = 0,96$
Pasteurizada	$y = 5E-05x^3 - 0,0028x^2 - 0,0282x + 3,699$	$R^2 = 0,78$

Tabela 3 - Equações de regressão e R^2 do ácido ascórbico da polpa de feijoa (Figura 10).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = -0,0002x^3 + 0,0098x^2 - 0,158x + 3,215$	$R^2 = 0,62$
2 kGy	$y = -4E-06x^3 + 0,0013x^2 - 0,0537x + 3,1557$	$R^2 = 0,77$
4 kGy	$y = 4E-05x^3 - 0,0023x^2 + 0,0285x + 2,6342$	$R^2 = 0,62$
6 kGy	$y = 3E-05x^3 - 0,0023x^2 + 0,0395x + 2,6352$	$R^2 = 0,65$
Pasteurizada	$y = 8E-05x^3 - 0,005x^2 + 0,0788x + 2,5848$	$R^2 = 0,76$

Tabela 4 - Equações de regressão e R^2 do ácido ascórbico da polpa de grumixama (Figura 11).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = -0,0004x^3 + 0,0267x^2 - 0,6183x + 8,9728$	$R^2 = 0,88$
2 kGy	$y = 6E-05x^3 - 0,0034x^2 - 0,0488x + 6,6903$	$R^2 = 0,94$
4 kGy	$y = -5E-05x^3 + 0,0045x^2 - 0,1653x + 6,2851$	$R^2 = 0,84$
6 kGy	$y = 8E-05x^3 - 0,0038x^2 - 0,0626x + 6,3991$	$R^2 = 0,91$
Pasteurizada	$y = 0,0002x^3 - 0,0121x^2 + 0,1265x + 6,1829$	$R^2 = 0,89$

Tabela 5 - Equações de regressão e R² do ácido ascórbico da polpa de cereja do rio grande (Figura 12).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = -0,0001x^3 + 0,0062x^2 - 0,1465x + 5,1297$	R ² = 0,94
2 kGy	$y = 0,0001x^3 - 0,0039x^2 - 0,0755x + 4,7241$	R ² = 0,96
4 kGy	$y = -7E-05x^3 + 0,0084x^2 - 0,2599x + 5,0209$	R ² = 0,94
6 kGy	$y = -0,0001x^3 + 0,0099x^2 - 0,2611x + 4,884$	R ² = 0,88
Pasteurizada	$y = -0,0004x^3 + 0,0261x^2 - 0,4286x + 5,8859$	R ² = 0,93

Tabela 6 - Equações de regressão e R² dos compostos fenólicos da polpa de uvaia (Figura 13).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = 0,0011x^2 - 0,065x + 2,2043$	R ² = 0,72
2 kGy	$y = 0,0008x^2 - 0,047x + 1,9452$	R ² = 0,83
4 kGy	$y = 0,001x^2 - 0,0638x + 2,1154$	R ² = 0,89
6 kGy	$y = 0,0013x^2 - 0,0766x + 2,2755$	R ² = 0,90
Pasteurizada	$y = 0,0009x^2 - 0,0691x + 2,7697$	R ² = 0,98

Tabela 7 - Equações de regressão e R² dos compostos fenólicos da polpa de cambuci (Figura 14).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = 5E-06x^3 - 0,001x^2 - 0,0048x + 3,332$	R ² = 0,80
2 kGy	$y = 0,0002x^3 - 0,0139x^2 + 0,2478x + 2,4932$	R ² = 0,60
4 kGy	$y = 6E-05x^3 - 0,005x^2 + 0,0745x + 3,3453$	R ² = 0,76
6 kGy	$y = 0,0001x^3 - 0,01x^2 + 0,1643x + 3,0452$	R ² = 0,76
Pasteurizada	$y = 3E-05x^3 - 0,0016x^2 - 0,0058x + 5,4788$	R ² = 0,57

Tabela 8 - Equações de regressão e R² dos compostos fenólicos da polpa de feijoa (Figura 15).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = 0,0063x^2 - 0,3721x + 9,6096$	R ² = 0,83
2 kGy	$y = 0,0037x^2 - 0,2898x + 9,9564$	R ² = 0,92
4 kGy	$y = 0,0038x^2 - 0,3035x + 11,101$	R ² = 0,72
6 kGy	$y = 0,0063x^2 - 0,4227x + 11,957$	R ² = 0,85
Pasteurizada	$y = 2E-05x^2 - 0,1648x + 12,867$	R ² = 0,80

Tabela 9 - Equações de regressão e R² dos compostos fenólicos da polpa de grumixama (Figura 16).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = 0,0013x^2 - 0,0757x + 1,8299$	R ² = 0,97
2 kGy	$y = 0,0009x^2 - 0,0587x + 1,6809$	R ² = 0,98
4 kGy	$y = 0,001x^2 - 0,067x + 1,8238$	R ² = 0,95
6 kGy	$y = 0,0012x^2 - 0,081x + 2,1224$	R ² = 0,90
Pasteurizada	$y = 0,001x^2 - 0,0615x + 2,6373$	R ² = 0,85

Tabela 10 - Equações de regressão e R² dos compostos fenólicos da polpa de cereja do rio grande (Figura 17).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = 0,0004x^2 - 0,0348x + 1,2693$	R ² = 0,95
2 kGy	$y = 0,0005x^2 - 0,0368x + 1,304$	R ² = 0,94
4 kGy	$y = 0,0004x^2 - 0,0316x + 1,3326$	R ² = 0,86
6 kGy	$y = 0,0005x^2 - 0,035x + 1,4273$	R ² = 0,90
Pasteurizada	$y = -0,0001x^2 - 0,008x + 1,7264$	R ² = 0,85

Tabela 11 - Equações de regressão e R² dos carotenoides da polpa de uvaia (Figura 18).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = -0,0004x^3 + 0,0296x^2 - 1,0583x + 24,566$	R ² = 0,91
2 kGy	$y = 0,0009x^3 - 0,0704x^2 + 1,1034x + 17,323$	R ² = 0,94
4 kGy	$y = 0,0004x^3 - 0,04x^2 + 0,7076x + 14,11$	R ² = 0,82
6 kGy	$y = 0,0005x^3 - 0,0447x^2 + 0,5653x + 19,528$	R ² = 0,99
Pasteurizada	$y = 0,0009x^3 - 0,0581x^2 + 0,5012x + 20,711$	R ² = 0,97

Tabela 12 - Equações de regressão e R² dos carotenoides da polpa de cambuci (Figura 19).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = -8E-05x^3 + 0,0048x^2 - 0,0699x + 2,977$	R ² = 0,67
2 kGy	$y = 5E-05x^3 - 0,0041x^2 + 0,0957x + 2,0421$	R ² = 0,39
4 kGy	$y = 0,0001x^3 - 0,0095x^2 + 0,1946x + 2,7951$	R ² = 0,97
6 kGy	$y = -0,0001x^3 + 0,0076x^2 - 0,1275x + 4,111$	R ² = 0,19
Pasteurizada	$y = -0,0002x^3 + 0,0096x^2 - 0,1188x + 2,7235$	R ² = 0,90

Tabela 13 - Equações de regressão e R^2 dos carotenoides da polpa de feijoa (Figura 20).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = 0,0002x^3 - 0,0114x^2 + 0,0425x + 12,882$	$R^2 = 0,95$
2 kGy	$y = -0,0002x^3 + 0,0171x^2 - 0,442x + 15,303$	$R^2 = 0,65$
4 kGy	$y = 0,0001x^3 - 0,0048x^2 - 0,0194x + 11,057$	$R^2 = 0,62$
6 kGy	$y = 0,0002x^3 - 0,0112x^2 + 0,1283x + 10,319$	$R^2 = 0,81$
Pasteurizada	$y = -0,0002x^3 + 0,01x^2 - 0,1301x + 4,2106$	$R^2 = 0,48$

Tabela 14 - Equações de regressão e R^2 dos carotenoides da polpa de grumixama (Figura 21).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = 0,0001x^3 - 0,0068x^2 - 0,008x + 13,764$	$R^2 = 0,89$
2 kGy	$y = 5E-05x^3 - 0,0016x^2 - 0,0793x + 13,808$	$R^2 = 0,75$
4 kGy	$y = -0,0003x^3 + 0,0261x^2 - 0,7008x + 16,736$	$R^2 = 0,99$
6 kGy	$y = -0,0003x^3 + 0,0307x^2 - 0,8764x + 17,995$	$R^2 = 0,90$
Pasteurizada	$y = -0,0003x^3 + 0,023x^2 - 0,5299x + 11,406$	$R^2 = 0,75$

Tabela 15 - Equações de regressão e R^2 dos carotenoides da polpa de cereja do rio grande (Figura 22).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = -0,0013x^2 + 0,0211x + 13,869$	$R^2 = 0,87$
2 kGy	$y = -0,0002x^2 - 0,0346x + 12,664$	$R^2 = 0,58$
4 kGy	$y = 0,0024x^2 - 0,155x + 14,879$	$R^2 = 0,83$
6 kGy	$y = 0,0059x^2 - 0,3307x + 16,248$	$R^2 = 0,89$
Pasteurizada	$y = 0,0015x^2 - 0,1144x + 15,8$	$R^2 = 0,84$

Tabela 16 - Equações de regressão e R^2 dos flavonoides da polpa de uvaia (Figura 23).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = 3E-05x^3 - 0,0039x^2 + 0,0801x + 3,6641$	$R^2 = 0,84$
2 kGy	$y = -4E-05x^3 + 0,0024x^2 - 0,0633x + 4,4287$	$R^2 = 0,91$
4 kGy	$y = 4E-05x^3 - 0,0018x^2 - 0,0062x + 4,0756$	$R^2 = 0,92$
6 kGy	$y = -3E-05x^3 + 0,0018x^2 - 0,0609x + 4,4349$	$R^2 = 0,73$
Pasteurizada	$y = -3E-06x^3 + 0,0014x^2 - 0,0668x + 4,6238$	$R^2 = 0,90$

Tabela 17 - Equações de regressão e R² dos flavonoides da polpa de feijoa (Figura 24).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = -0,0004x^3 + 0,0422x^2 - 2,0425x + 60,053$	R ² = 0,83
2 kGy	$y = 0,0007x^3 - 0,0356x^2 - 0,6824x + 53,454$	R ² = 0,98
4 kGy	$y = 0,0036x^3 - 0,2373x^2 + 3,1106x + 39,147$	R ² = 0,88
6 kGy	$y = -6E-05x^3 + 0,0112x^2 - 1,4065x + 56,84$	R ² = 0,91
Pasteurizada	$y = -0,0007x^3 + 0,0588x^2 - 2,3847x + 51,513$	R ² = 0,93

Tabela 18 - Equações de regressão e R² dos flavonoides da polpa de grumixama (Figura 25).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = -0,0009x^3 + 0,0681x^2 - 1,5219x + 20,561$	R ² = 0,92
2 kGy	$y = -0,0007x^3 + 0,049x^2 - 1,1079x + 17,988$	R ² = 0,95
4 kGy	$y = -0,0005x^3 + 0,0371x^2 - 0,8887x + 16,629$	R ² = 0,80
6 kGy	$y = -0,0006x^3 + 0,047x^2 - 1,0787x + 17,489$	R ² = 0,96
Pasteurizada	$y = -0,0004x^3 + 0,0254x^2 - 0,4888x + 17,285$	R ² = 0,81

Tabela 19 - Equações de regressão e R² dos flavonoides da polpa de cereja do rio grande (Figura 26).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = -0,0001x^3 + 0,0096x^2 - 0,315x + 4,6678$	R ² = 0,93
2 kGy	$y = -0,0002x^3 + 0,0129x^2 - 0,3676x + 4,356$	R ² = 0,84
4 kGy	$y = -0,0003x^3 + 0,0233x^2 - 0,5707x + 5,0899$	R ² = 0,89
6 kGy	$y = -0,0003x^3 + 0,0221x^2 - 0,5696x + 5,5122$	R ² = 0,96
Pasteurizada	$y = -0,0004x^3 + 0,0275x^2 - 0,5897x + 7,0954$	R ² = 0,94

Tabela 20 - Equações de regressão e R² das antocianinas da polpa de grumixama (Figura 27).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = 0,0509x^2 - 3,1071x + 53,969$	R ² = 0,84
2 kGy	$y = 0,047x^2 - 2,9551x + 47,42$	R ² = 0,85
4 kGy	$y = 0,0285x^2 - 1,8153x + 30,822$	R ² = 0,93
6 kGy	$y = 0,0545x^2 - 3,1647x + 43,538$	R ² = 0,85
Pasteurizada	$y = 0,0253x^2 - 1,5397x + 106,18$	R ² = 0,91

Tabela 21 - Equações de regressão e R^2 das antocianinas da polpa de cereja do rio grande (Figura 28).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = 0,2841x^2 - 9,6834x + 84,301$	$R^2 = 0,97$
2 kGy	$y = 0,3475x^2 - 10,961x + 82,601$	$R^2 = 0,96$
4 kGy	$y = 0,3761x^2 - 11,604x + 84,983$	$R^2 = 0,93$
6 kGy	$y = 0,3502x^2 - 10,682x + 75,623$	$R^2 = 0,91$
Pasteurizada	$y = -0,0515x^2 + 0,2159x + 128,54$	$R^2 = 0,88$

Tabela 22 - Equações de regressão e R^2 da atividade antioxidante (DPPH) da polpa de uvaia (Figura 29).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = 0,0223x^2 - 1,1955x + 75,824$	$R^2 = 0,66$
2 kGy	$y = 0,0223x^2 - 1,3829x + 79,06$	$R^2 = 0,58$
4 kGy	$y = -0,0024x^2 - 0,5419x + 70,136$	$R^2 = 0,73$
6 kGy	$y = 0,0042x^2 - 0,5041x + 72,408$	$R^2 = 0,50$
Pasteurizada	$y = -0,0066x^2 - 0,5842x + 85,973$	$R^2 = 0,79$

Tabela 23 - Equações de regressão e R^2 da atividade antioxidante (DPPH) da polpa de cambuci (Figura 30).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = -0,0043x^3 + 0,3308x^2 - 7,7189x + 64,648$	$R^2 = 0,87$
2 kGy	$y = -0,004x^3 + 0,316x^2 - 7,388x + 60,238$	$R^2 = 0,92$
4 kGy	$y = -0,0036x^3 + 0,2778x^2 - 6,5467x + 58,861$	$R^2 = 0,94$
6 kGy	$y = -0,0028x^3 + 0,2225x^2 - 5,3101x + 48,474$	$R^2 = 0,93$
Pasteurizada	$y = -0,0006x^3 + 0,0352x^2 - 0,8397x + 32,477$	$R^2 = 0,97$

Tabela 24 - Equações de regressão e R^2 da atividade antioxidante (DPPH) da polpa de feijoa (Figura 31).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = 0,0354x^2 - 2,1863x + 53,801$	$R^2 = 0,95$
2 kGy	$y = 0,0259x^2 - 1,8163x + 53,277$	$R^2 = 0,91$
4 kGy	$y = 0,0251x^2 - 1,744x + 52,989$	$R^2 = 0,95$
6 kGy	$y = 0,0281x^2 - 1,9786x + 55,863$	$R^2 = 0,97$
Pasteurizada	$y = 0,0156x^2 - 0,4482x + 45,583$	$R^2 = 0,48$

Tabela 25 - Equações de regressão e R² da atividade antioxidante (DPPH) da polpa de grumixama (Figura 32).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = -0,0012x^3 + 0,1212x^2 - 4,2882x + 93,195$	R ² = 0,87
2 kGy	$y = -0,0014x^3 + 0,1358x^2 - 4,3843x + 87,148$	R ² = 0,96
4 kGy	$y = -0,002x^3 + 0,1807x^2 - 5,1086x + 86,634$	R ² = 0,98
6 kGy	$y = -0,0024x^3 + 0,2017x^2 - 5,3149x + 83,635$	R ² = 0,98
Pasteurizada	$y = 0,0011x^3 - 0,0657x^2 + 0,6536x + 103,8$	R ² = 0,95

Tabela 26 - Equações de regressão e R² da atividade antioxidante (DPPH) da polpa de cereja do rio grande (Figura 33).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = 0,0248x^2 - 1,64x + 43,625$	R ² = 0,86
2 kGy	$y = 0,0284x^2 - 1,7801x + 44,932$	R ² = 0,78
4 kGy	$y = 0,0316x^2 - 1,9627x + 46,768$	R ² = 0,80
6 kGy	$y = 0,035x^2 - 2,02x + 46,711$	R ² = 0,78
Pasteurizada	$y = -0,0063x^2 - 0,4136x + 53,772$	R ² = 0,92

Tabela 27 - Equações de regressão e R² da atividade antioxidante (ABTS) da polpa de uvaia (Figura 34).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = 0,0032x^2 - 0,1406x + 8,7701$	R ² = 0,57
2 kGy	$y = 0,0034x^2 - 0,165x + 8,8409$	R ² = 0,72
4 kGy	$y = 0,0017x^2 - 0,1205x + 8,5442$	R ² = 0,79
6 kGy	$y = 0,0014x^2 - 0,0903x + 8,6814$	R ² = 0,49
Pasteurizada	$y = 0,0023x^2 - 0,1528x + 9,9284$	R ² = 0,80

Tabela 28 - Equações de regressão e R² da atividade antioxidante (ABTS) da polpa de cambuci (Figura 35).

Tratamento	Equações	R ²
Controle	$y = -0,0008x^3 + 0,0627x^2 - 1,4918x + 37,953$	R ² = 0,90
2 kGy	$y = -0,0006x^3 + 0,0605x^2 - 1,9401x + 30,955$	R ² = 0,96
4 kGy	$y = -0,0005x^3 + 0,0439x^2 - 1,4614x + 30,053$	R ² = 0,96
6 kGy	$y = -0,0008x^3 + 0,0598x^2 - 1,5654x + 28,689$	R ² = 0,83
Pasteurizada	$y = -0,0008x^3 + 0,0627x^2 - 1,4918x + 37,953$	R ² = 0,90

Tabela 29 - Equações de regressão e R^2 da atividade antioxidante (ABTS) da polpa de feijoa (Figura 36).

	Equações	R^2
Controle	$y = 0,0119x^2 - 0,8889x + 42,059$	$R^2 = 0,87$
2 kGy	$y = 0,0098x^2 - 0,8752x + 43,731$	$R^2 = 0,67$
4 kGy	$y = 0,0094x^2 - 0,82x + 44,208$	$R^2 = 0,94$
6 kGy	$y = 0,0071x^2 - 0,7557x + 42,814$	$R^2 = 0,93$
Pasteurizada	$y = -0,0204x^2 + 1,2002x + 43,854$	$R^2 = 0,82$

Tabela 30 - Equações de regressão e R^2 da atividade antioxidante (ABTS) da polpa de grumixama (Figura 37).

	Equações	R^2
Controle	$y = 0,0278x^2 - 1,5298x + 25,188$	$R^2 = 0,70$
2 kGy	$y = 0,0258x^2 - 1,4164x + 23,147$	$R^2 = 0,72$
4 kGy	$y = 0,0259x^2 - 1,425x + 23,593$	$R^2 = 0,73$
6 kGy	$y = 0,0265x^2 - 1,471x + 23,856$	$R^2 = 0,75$
Pasteurizada	$y = 0,028x^2 - 1,7839x + 34,722$	$R^2 = 0,85$

Tabela 31 - Equações de regressão e R^2 da atividade antioxidante (ABTS) da polpa de cereja do rio grande (Figura 38).

Tratamento	Equações	R^2
Controle	$y = 0,0009x^2 - 0,1237x + 6,9459$	$R^2 = 0,89$
2 kGy	$y = 0,0015x^2 - 0,1385x + 6,9686$	$R^2 = 0,86$
4 kGy	$y = 0,0029x^2 - 0,1933x + 7,719$	$R^2 = 0,87$
6 kGy	$y = 0,0018x^2 - 0,1555x + 7,6417$	$R^2 = 0,87$
Pasteurizada	$y = -0,0006x^2 - 0,0146x + 9,1654$	$R^2 = 0,63$