

**MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA NUCLEAR**

LEANDRO MOREIRA ARAÚJO

**EFEITO DE BAIXAS DOSES DE RADIAÇÃO GAMA NO
FRUTO TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart)**

Rio de Janeiro

2009

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

LEANDRO MOREIRA ARAÚJO

**EFEITO DE BAIXAS DOSES DE RADIAÇÃO GAMA NO FRUTO
TUCUMÃ (*Astrocaryum vulgare* Mart)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear.

Orientadora: Prof. Keila dos Santos Cople Lima – D. C.
Co-orientadora: Prof. Maysa Joppert Coelho – Ph. D.

Rio de Janeiro
2009

c2009

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22290.270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer outra forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e dos orientador(es).

539.7222
A663

Araújo, Leandro Moreira
Efeitos de Baixas Doses de Radiação Gama
no Fruto Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart) /
Leandro Moreira Araújo. - Rio de Janeiro: Instituto
Militar de Engenharia, 2009.

121 p.: il.

Dissertação (mestrado) - Instituto Militar de
Engenharia – Rio de Janeiro, 2009.

1. Engenharia nuclear - dissertações. 2. Raios
gama. 3. Fruto Tucumã - radiações. 4. Alimentos -
conservação. I. Título. II. Instituto Militar de
Engenharia.

CDD 004.6

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

LEANDRO MOREIRA ARAÚJO

EFEITO DE BAIXAS DE DOSE DE RADIAÇÃO GAMA NO FRUTO TUCUMÃ
(*Astrocaryum vulgare* Mart)

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Nuclear do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Nuclear.

Orientadora: Prof^a. Keila dos Santos Cople Lima – D. C.

Co-orientadora: Prof^a. Maysa Joppert Coelho – Ph. D.

Aprovada em 05 de março de 2009 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof^a. Keila dos Santos Cople Lima – D. C. do IME - Presidente

Prof^a. Maysa Joppert Coelho – Ph. D. do IME

Ronoel Luiz de Oliveira Godoy – D. C. da Embrapa / CTAA

Prof. Antonio Luís dos Santos Lima – D. C. do IME

Prof. Ronaldo Glicério Cabral – Ph. D. do IME

Rio de Janeiro

2009

A Maria Alves, minha amada avó.

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor, pela grande dádiva da vida e por toda a força e capacidade que me deu.

Aos meus pais, Luiz e Maria do Socorro e meus amados irmãos, Leiane, Lenilson, e Luiz Jr. Por todo o suporte afetivo que me deram e pela família maravilhosa que sempre foram.

Ao Primo Nildo, Silvana e Carlinhos, pela grande receptividade, paciência, confiança e prontidão.

Ao meu Avô José, que mesmo distante sempre orou por mim.

A Sarinha, minha amada, por todo o apoio e amor, assim também como sua família, em especial seus pais, Eliziário e Ivanilde, e nosso sobrinho amigo Lucas Silva.

Aos demais familiares por todo o apoio que me deram.

A todos os amigos e pessoas que me incentivaram e me apoiaram a prosseguir em meus estudos e trabalho de pesquisa.

Às minhas Orientadoras Professoras Dra. Keila dos Santos Cople Lima e a PhD. Maysa Joppert Coelho, pela confiança, pela orientação excepcional da dissertação e por todos os esforços que resultaram em muitos trabalhos científicos. Ao Professor Dr. Antonio Luís dos Santos Lima, pelas aulas sempre empolgantes de Métodos Analíticos em Química. Todos eles pessoas fantásticas e comprometidos com a pesquisa.

Aos demais professores do IME: PhD. Ronaldo Glicério Cabral, Dr. Rex Nazare Alves, Dra. Nadya Maria Prado Damasceno Ferreira, PhD. Cláudio Luiz de Oliveira, PhD. Sérgio Gavazza, MC. Rudnei Karam Morales e o Dr. Domingos D'Oliveira Cardoso.

Aos funcionários Cléber, Conceições, Neriete, Davi.

Aos meus grandes amigos e colegas de turma (Fernando Silva Melo, Marcos Albuquerque, Marcelo Jorge e a Laura Alice) pela excelente companhia, paciência e trabalhos em equipe.

Ao pessoal do Centro Tecnológico do Exército (CTEx): Hélio C. Vital, Nilber K. Hernandez e Corga, por possibilitarem e por executarem a irradiação do material para o trabalho.

À todo o pessoal da Embrapa Agroindústria de Alimentos (CTAA): Rafael, Suelen, Raqueis, Manuela, Jeane, Sidney, Mário e, em especial, ao Dr. Ronoel Luiz de Oliveira Godoy, que teve idéia de estudar o tucumã e que possibilitou todas as análises na EMBRAPA Agroindústria de Alimentos.

Leandro

“Faça do alimento sua Medicina, e da Medicina seu alimento”.

HIPÓCRATES

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	12
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	17
LISTA DE SIGLAS.....	18
1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 O Tucumã.....	23
2.1.2 Carências nutricionais Brasileiras.....	25
2.1.2.1 Hipovitaminose A.....	25
2.1.3 Nutrientes do Tucumã.....	26
2.1.3.1 Vitaminas	26
2.1.3.1.1 Vitamina A – Retinol.....	26
2.1.3.1.2 Vitamina B ₁ – Tiamina.....	27
2.1.3.1.3 Vitamina B ₂ – Riboflavina.....	29
2.1.3.2 Carotenóides	30
2.1.3.2.1 Influência do Clima Tropical Brasileiro e a Abundância de Carotenóides nos Frutos.....	32
2.1.3.2.2 Potencial Fitoquímico e Quimiopreventivo dos Carotenóides.....	33
2.1.3.3 Aminoácidos	34
2.1.3.4 Açúcares: Frutose, Glicose e Sacarose.....	36
2.2 A irradiação de Alimentos.....	39
2.2.1 Fundamentos.....	40
2.2.1.1 A radioatividade.....	40
2.2.1.2 Césio 137 e a Emissão Gama.....	42
2.2.1.3 Interação da Radiação Gama com a Matéria.....	43
2.2.2 Histórico da Irradiação de Alimentos.....	44
2.2.3 O Processo da Irradiação de Alimentos.....	45

2.2.3.1	Segurança do Processo de Irradiação de Alimentos.....	48
2.2.3.2	Efeitos da Irradiação na Composição Química dos Alimentos.....	50
2.2.3.2.1	Efeitos Químicos Primários.....	50
2.2.3.2.2	Efeitos Químicos Secundários	51
2.2.3.2.3	Efeitos da Radiação Ionizante na Água.....	52
2.2.3.2.4	Efeitos da Radiação Ionizante em Outros Componentes do Alimento.....	53
2.2.3.2.4.1	Carboidratos.....	53
2.2.3.2.4.2	Proteínas.....	55
2.2.3.2.4.3	Lipídios.....	56
2.2.3.2.4.4	Vitaminas.....	57
2.2.4	Vantagens da Irradiação de Alimentos.....	59
2.2.5	Legislação.....	60
2.2.6	Aceitabilidade do Consumidor.....	62
2.3	Técnicas Analíticas.....	63
2.3.1	Espectrofotometria	63
2.3.2	Cromatografia	65
2.3.2.1	Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).....	66
3	MATERIAL E MÉTODOS	68
3.1	Origem dos Frutos.....	68
3.2	Métodos	68
3.2.1	Processo de Irradiação	68
3.2.2	Cálculo da Taxa de Dose.....	70
3.2.3	Irradiação dos Frutos.....	70
3.3	Fluxograma do Processo.....	71
3.4	Análises Químicas.....	71
3.4.1	Preparação das Amostras.....	71
3.4.2	Determinação dos Teores das Vitaminas.....	72
3.4.2.1	Vitamina C – Ácido Ascórbico.....	72
3.4.2.1.1	Método de Extração.....	72
3.4.2.1.2	Condições Cromatográficas das Análises.....	73
3.4.2.2	Determinação dos teores de Vitamina B ₁ e B ₂	73

3.4.2.2.1	Método de Extração.....	73
3.4.2.2.2	Condições Cromatográficas das Análises.....	74
3.4.3	Determinação dos Teores de Carotenóides.....	75
3.4.3.1	Método de Extração.....	75
3.4.3.2	Carotenóides Totais.....	76
3.4.3.3	Carotenóides Majoritários.....	76
3.4.4	Determinação dos Teores de Aminoácidos.....	78
3.4.4.1	Método de Extração.....	78
3.4.4.2	Condições Cromatográficas das Análises.....	79
3.4.5	Determinação dos Teores de Açúcares (sacarose, glicose e frutose).....	79
3.4.5.1	Método de Extração.....	79
3.4.5.2	Condições Cromatográficas das Análises.....	80
3.5	Análise Estatística.....	80
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4.1	Quantificação de Ácido Ascórbico.....	81
4.2	Quantificação de Vitamina B ₁ (Tiamina) e B ₂ (Riboflavina).....	82
4.2.1	Vitamina B ₁	82
4.2.2	Vitamina B ₂	85
4.3	Quantificação dos teores dos Açúcares (Frutose, Glicose e Sacarose).....	87
4.4	Quantificação dos Teores de Carotenóides totais, α -caroteno e β -caroteno.....	89
4.4.1	Carotenóides Totais.....	90
4.4.2	Carotenos (α e β).....	91
4.5	Quantificação dos Teores de Aminoácidos.....	95
4.6	Quantificação do Teor de Óleo.....	100
5	CONCLUSÃO	102
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	114
8	APÊNDICES.....	115
8.1	APÊNDICE 1 – Trabalhos Apresentados em Congressos.....	116
8.2	APÊNDICE 2 - Instituições que Contribuição para a Realização deste Trabalho.....	118
8.3	APÊNDICE 3 - Exemplo de Tratamento Estatístico.....	120

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG.2.1	Tucumanzeiro em meio à pastagem no estado do Pará.....	22
FIG.2.2	Frutos tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i>) prontos para o consumo.....	23
FIG.2.3	Fórmula estrutural da tiamina.....	27
FIG.2.4	Fórmula estrutural da riboflavina.....	29
FIG.2.5	Fórmulas estruturais dos alfa-aminoácidos.....	33
FIG.2.6	Fórmula estrutural da Glicose (C ₆ H ₁₂ O ₆).....	36
FIG.2.7	Fórmula estrutural da Sacarose (C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁).....	36
FIG.2.8	Fórmula estrutural da Frutose (C ₆ H ₁₂ O ₆).....	37
FIG.2.9	Fórmula estrutural da Galactose (C ₆ H ₁₂ O ₆).....	37
FIG.2.10	Esquema de decaimento do céσιο 137.....	42
FIG.2.11	O símbolo internacional “Radura”.....	60
FIG.3.1	Irradiador Gama de Pesquisa do Centro Tecnológico do Exército.....	68
FIG.3.2	Fluxograma do Processo.....	70
FIG.3.3	Cromatógrafo da WATERS® – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).....	76
FIG.3.4	Sistema cromatográfico utilizado na análise de aminoácidos.....	77

FIG.4.1	Cromatogramas (a) amostra controle; (b) padrão do ácido ascórbico.....	80
FIG.4.2	Cromatograma do padrão de tiamina	82
FIG.4.3	Curva de calibração da tiamina, $R^2= 0,999953$	82
FIG.4.4	Cromatograma de tiamina do tucumã Controle.....	83
FIG.4.5	Cromatograma de tiamina do tucumã irradiado com 1,0 kGy.....	83
FIG.4.6	Cromatograma do padrão de riboflavina.....	85
FIG.4.7	Curva de calibração da riboflavina $R^2=0,999985$	85
FIG.4.8	Cromatograma de riboflavina do tucumã Controle.....	85
FIG.4.9	Cromatograma de riboflavina do tucumã irradiado com 1,0 kGy.....	86
FIG.4.10	Cromatograma dos açucares do tucumã controle	87
FIG.4.11	Cromatograma dos açucares do tucumã controle e padrão sobrepostos.....	88
FIG.4.12	Espectros de α -caroteno (a) e β -caroteno (b) do tucumã irradiado com 0,5 kGy.....	89
FIG.4.13	Cromatograma do extrato do tucumã controle onde figuram α e β -carotenos.....	91
FIG.4.14	Cromatograma do extrato do tucumã irradiado com 0,5 kGy onde figuram α e β -carotenos.....	91

FIG.4.15	Cromatograma do extrato do tucumã irradiado com 1,0 kGy onde figuram α e β -carotenos.....	92
FIG.4.16	Cromatograma do extrato do tucumã irradiado com 2,0 kGy onde figuram α e β -carotenos.....	92
FIG.4.17	Cromatograma de aminoácidos do tucumã controle.....	97
FIG.4.18	Cromatograma de aminoácidos do tucumã irradiado com 0,5 kGy....	97
FIG.4.19	Cromatograma de aminoácidos do tucumã irradiado com 1,0 kGy....	98
FIG.4.20	Cromatograma de aminoácidos do tucumã irradiado com 2,0 kGy....	98

LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1	Fórmulas estruturais do α e β -caroteno, ambos precursores da vitamina A.....	31
TAB. 2.2	Funções da irradiação de alimentos (OMS, 1995) 2,0 kGy.....	46
TAB. 3.1	Massas das polpas de tucumãs irradiados e controle (não irradiados) para extração e quantificação de ácido ascórbico...71	
TAB. 3.2	Massas das polpas de tucumãs irradiados e controle (não irradiados) para extração e quantificação de tiamina e riboflavina.....	73
TAB. 3.3	Massas das amostras de Tucumã irradiados e controle para extração e quantificação de carotenóides majoritários.....	76
TAB. 4.1	Concentrações de tiamina no tucumã controle (não irradiado) e irradiado com doses de radiação gama em mg/100g.....	82
TAB. 4.2	Concentrações de riboflavina no tucumã controle (não irradiado) e irradiado com doses de radiação gama.....	84
TAB. 4.3	Concentrações dos açúcares no tucumã controle (não irradiado) e irradiado com doses de radiação gama.....	87
TAB. 4.4	Concentrações de carotenóides totais em 100g de polpa do Tucumã em comparação com a concentração do buriti.....	90
TAB. 4.5	Concentrações de α -caroteno em 100g de polpa de tucumã <i>in natura</i> e a correspondência em retinol de acordo com as recomendações do IOM (2001).....	93

TAB. 4.6	Concentrações de β -caroteno em 100g de polpa de tucumã <i>in natura</i> e a correspondência em retinol de acordo com as recomendações do IOM (2001).....	93
TAB. 4.7	Concentrações de carotenóides totais em 100g de polpa de tucumã <i>in natura</i> e a correspondência em retinol de acordo com as recomendações do IOM (2001).....	94
TAB. 4.8	Concentrações dos aminoácidos essenciais em 100g de polpa de Tucumã.....	95
TAB. 4.9	Concentrações de aminoácidos não essenciais em 100g de polpa de tucumã.....	95
TAB. 4.10	Recomendação da ingestão de aminoácidos essenciais em 100g de polpa de tucumã.....	96
TAB. 4.11	Composição centesimal do tucumã.....	99
TAB. 4.12	Percentual dos teores de óleos na polpa do tucumã.....	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABREVIATURAS

Bq	-	Bequerel
C	-	Carbono
Cs	-	Césio
g	-	Grama
kGy	-	Quilogray (1000 Gy)
nm	-	Nanômetro
Th	-	Tório
μBq	-	Micro Bequerel (10^{-6} Bequerel)
μg	-	Micrograma
μm	-	Micrômetro (10^{-6} metros)
U	-	Urânio

SÍMBOLOS

α	-	alfa (prefixo para determinação do alfa caroteno)
β	-	beta (prefixo para determinação do beta caroteno)
λ	-	comprimento de onda
γ	-	radiação Gama

LISTA DE SIGLAS

CNEM	Comissão Nacional de Energia Nuclear
FAO	Food and Agriculture Organization
IAEA	International Atomic Energy Agency
NC	Nível de Confiança
ND	Não Detectado
OMS	Organização Mundial da Saúde
WHO	World Health Organization

RESUMO

O Tucumã (*Astrocaryum vulgare*) é um fruto típico da Amazônia, de ocorrência principal no estado do Pará, mas também encontrado nos estados do nordeste brasileiro como o Maranhão, Piauí e o Ceará, e do meio norte, como o Tocantins e Goiás. O fruto é consumido *in natura* ou como doces, sucos, farinha, tortas e sanduíches. O Tucumã é considerado como uma excelente fonte de carotenóides com maior concentração em β -caroteno, o qual é precursor da vitamina A. Os carotenóides são pigmentos amplamente encontrados em frutas e vegetais e apresentam várias funções benéficas ao ser humano. Além dos carotenóides também existem açúcares (frutose e glicose), vitamina B1 (tiamina) e B2 (riboflavina) nos frutos. A tiamina é importante para o bom funcionamento dos sistemas nervoso, cardiovascular, muscular e digestório do organismo humano. As funções da Riboflavina compreendem diversos processos metabólicos, achando-se envolvida na transformação dos lipídios, proteínas e glicídios; graças a sua fotossensibilidade também desempenha importante papel nos fenômenos da visão. Os açúcares têm função estrutural e de armazenamento energético em animais, sob a forma de glicogênio e nos vegetais, sob a forma de amido. O presente trabalho teve como objetivo analisar os efeitos da radiação gama sobre o valor nutricional do fruto tucumã. O emprego da radiação ionizante gama tem demonstrado o vasto potencial do processo como tecnologia auxiliar na redução de perdas pós-colheita, desinfestação de grãos, controle de microrganismos patogênicos, prolongamento da vida útil em carnes, frutas, vegetais e inibição de brotamento em tubérculos e bulbos, com manutenção da qualidade nutricional. Este estudo foi realizado pelo Instituto Militar de Engenharia – IME, em parceria com o Centro Tecnológico do Exército - CTEEx e a Embrapa Agroindústria de Alimentos. Os frutos foram irradiados nas doses de 0,5 kGy, 1,0 kGy e 2,0 kGy num irradiador com fonte de césio 137. Depois de irradiados os níveis de carotenóides totais foram determinados por espectrofotometria. As análises de carotenos (α e β), tiamina, riboflavina, açúcares (frutose, glicose e sacarose) e aminoácidos foram determinados por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). O teor de óleos foi determinado por ressonância magnética nuclear (RMN). Os resultados indicam que a irradiação do fruto Tucumã não causou variação significativa na concentração da maioria de seus componentes nutricionais, fato este que indica esta técnica como um meio bastante promissor na conservação dos alimentos.

ABSTRACT

The Tucumã (*Astrocaryum vulgare*) is a typical fruit from Amazônia, Brazil, occurring mainly in the state of Pará, but also in some states of the northeast region like Maranhão, Piauí and Ceará, and other states from the centerwest like Tocantins and Goiás. The fruit is appreciated *in natura* or as sweets, juices, pies, flour and sandwiches. The tucumã is considered as an excellent source of carotenoids with the biggest concentration of β -carotene, that is the precursor of the vitamin A. The carotenoids are pigments widely found in fruits and vegetable and present various beneficial functions to human beings. Besides of the carotenoids, there are also sugars (fructose and glucose), vitamin B1(thiamin) and B2 (riboflavin) in the fruits. The thiamin is important to the good operation of the systems: nervous; cardiovascular, muscle and the digestory of the human organism. The Riboflavin's functions include various metabolic processes, it is involved with the transformation of the lipids, proteins and glicids. The sugars have structural and energetic storage functions in animals, in the glycogenic form and in the vegetables, as starch. The present work had as an objective to analyze the gamma radiation effects on the nutritional value of the Tucumã fruit. The use of the gamma radiation has showed the vast potential of the process as auxiliary technology on the decreasing of post harvest loss, grain disinfestations, control of pathogenic microorganism, increasing of the useful life of meats, fruits, vegetables and the inhibition of sprouting in tubercles and bulbous, with the maintenance of the nutritional quality. This study was realized by the Instituto Militar de Engenharia – IME, in partnership with the Centro de Tecnologia do Exército – CTEEx and the Embrapa Agroindustria de alimentos. The fruits were irradiated with a cesium 137 source. After being irradiated the total levels of carotenoids were determinate by espectrophotometry. The analyzes of carotene (α and β), thiamin, riboflavin, sugars (fructose, glucose and sucrose) and amino acids were determinate by high performance liquid chromatography (HPLC). The content of oils was determinate by nuclear magnetic resonance (NMR). The results indicated that the irradiation of the Tucumã fruit didn't cause significant variation of the concentration of the major nutritional fruit components. This fact indicates this technique as a vary productive alternative on the food maintenance.

1 INTRODUÇÃO

O mundo está diante de uma realidade crítica, a população cresce em proporções superiores aos mecanismos de produção de alimentos. Algumas regiões do mundo se destacam por apresentarem grande potencial produtivo, o Brasil é umas destas regiões produzindo cerca de 140 milhões de toneladas de alimentos por ano e vem constantemente batendo recordes de safras. Mas muito do que é produzido não chega aos consumidores devido às perdas pós-colheita. Isso reflete a fome no País que segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – atinge 14 milhões de brasileiros, que corresponde a 7,7% da população (IBGE, 2004).

Entende-se por perda a parte física da produção que não é destinada ao consumo, em razão da depreciação da qualidade dos produtos, devido à deterioração, causada por amassamentos, cortes, podridões e outros fatores (VILELA *et al*, 2003). As perdas pós-colheita atingem todo o mundo com mais ou menos intensidade dependendo do país e sua disponibilidade tecnológica e critérios para o tratamento e a segurança de alimentos. Especificamente no caso das hortaliças, estudos realizados constatam que no Brasil os níveis médios de perdas pós-colheita são de 35%, chegando a atingir até 40%, enquanto em outros países como nos Estados Unidos não passam de 10% (VILELA *et al*, 2003). Uma estimativa para as perdas pós-colheita de todos os produtos brasileiros ao longo da cadeia produtiva fica em torno de 30% (QUINTÃO, 2007), bem próximo da média mundial que está entre um quarto e um terço de tudo que é produzido, segundo a Food and Agriculture Organization (FAO),

As perdas na cadeia produtiva de alimentos poderiam alimentar uma parcela significativa dos famintos brasileiros, sem gasto adicional com produção (QUINTÃO, 2007).

Os alimentos também são responsáveis por diversas infecções e doenças no mundo e matam, aproximadamente, 1,8 milhões de pessoas por ano. Em 2005, o consumo de alimentos contaminados acarretou 325 mil hospitalizações e 5 mil mortes nos EUA (CDC, 2003). Os patógenos *Salmonella*, *Escherichia coli* O157,

Campylobacter, *Listeria* e *Toxoplasma* são os principais causadores de doenças (WHO, 1990).

Diante do grande desperdício de alimentos, das doenças que atingem os consumidores e da fome que também é uma consequência desses dois fatos apontados ainda há outro grande problema, a desnutrição. A desnutrição é apontada como causadora de pelo menos 55% das mortes infantis em países em desenvolvimento, segundo a UNICEF (1998). A hipovitaminose A é um dos problemas de saúde pública mais críticos enfrentados por todo mundo. Inclusive por populações com abundância de alimentos. Deste modo entende-se que não é só produzir grandes quantidades de alimentos, com eficientes mecanismos anti-perdas e controle de vetores, o ideal é viabilizar para as demais regiões alimentos com bom potencial vitamínico que geralmente não são conhecidos e consumidos além de sua região de incidência.

A pouca divulgação de assuntos relacionados garante a relevância desse trabalho, cujos resultados são de grande aplicabilidade no combate a hipovitaminose A.

Os seguintes objetivos específicos foram alcançados no trabalho:

- a) Determinar a concentração de carotenóides totais por espectrofotometria na região do ultravioleta e visível (UV/Vis);
- b) Analisar as concentrações das vitaminas B1 e B2, dos açúcares (frutose, glicose e sacarose), dos carotenos (α e β) e dos aminoácidos por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE);
- c) Avaliar a influência da irradiação, nas doses de 0,5 kGy, 1,0 kGy e 2,0 kGy, nas concentrações das vitaminas B1 e B2, carotenóides, açúcares e aminoácidos na polpa do tucumã, por meio de testes estatísticos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O TUCUMÃ

O Tucumã é um fruto presente em vários países da América Latina. Apresenta-se por várias variedades e todos do gênero *Astrocaryum*. A variedade estudada nesse trabalho foi a espécie *Astrocaryum vulgare* Mart, nativa dos estados do Pará, Maranhão, Tocantins, Piauí, Ceará, Mato Grosso e Goiás. Sua incidência ocorre principalmente em solos arenosos e áreas degradadas por queimadas ou pastagens, é ecologicamente agressivo e possui alta capacidade de regeneração, sendo algumas vezes considerado como daninha (LORENZI, 2002).



FIG. 2.1 Tucumanzeiro em meio à pastagem no estado do Pará.

O tucumanzeiro é uma palmeira espinhosa (FIG. 2.1), geralmente entoucerada com outros caules em número variável (de 2 a 6 caules). Atinge até 10 m de altura e com 10 a 20 cm de diâmetro, cobertos com espinhos pretos com cerca de 20 cm de comprimento. Cachos com cerca de 1 m e 150 frutos elipsóides verdes que

adquirem cor amarelo alaranjada quando maduros, como pode ser visto na figura 2.2. Da amêndoa se extrai óleo comestível com taxa de 30-50% de óleo branco. Polpa fibro-carnosa levemente adocicada também de cor amarelo alaranjada que envolve a semente. Comestíveis e bastante apreciados pelas populações regionais sendo inclusive comercializados em feiras locais (LORENZI, 2002).



FIG. 2.2 Frutos tucumã (*Astrocaryum vulgare*) prontos para o consumo.

O amadurecimento dos frutos ocorre de dezembro a maio, e a colheita pode ser feita diretamente nas árvores assim que se inicia o período de queda espontânea ou no chão. A qualidade microbiológica dos frutos é uma questão séria, pois este fica exposto a micro fauna do chão onde é colhido. Um outro agravante é que quando cai, o fruto já está num estágio considerável de senescência o que resulta em um período curto de duração do mesmo. Esses são os principais fatores que dificultam o transporte do fruto para outros estados. São muito ricos em vitaminas e possuem o maior potencial pro-vitamínico A que se conhece na natureza, considerado como uma boa fonte de carotenóides com maior concentração em β -caroteno, principal precursor da vitamina A. (LORENZI, 1996; 2002)

É um fruto pouquíssimo divulgado no país, mas bem conhecido e apreciado em suas regiões de ocorrência. A população consome o tucumã in natura, fazendo farinha, sucos, sorvetes, tortas, sanduíches, algumas vezes em receitas mais exóticas, como lasanhas e outras misturas com pratos diversos. O grande teor de beta caroteno torna o fruto uma excelente alternativa ao combate da hipovitaminose A (LORENZI, 2002).

O aumento da vida útil do tucumã pode ser possível pela irradiação que constitui hoje uma das formas mais modernas, seguras e eficientes para a preservação de alimentos, pois reduz as perdas naturais causadas por processos fisiológicos (brotamento, maturação e envelhecimento), conseqüentemente aumentando o tempo de vida do alimento. O método também elimina ou reduz a proliferação de microorganismos, parasitas e pragas, sem causar prejuízo ao alimento ou ainda utilizar produtos químicos com potencial contaminante. O processo de irradiação acarreta alterações químicas mínimas nos alimentos, nenhuma das quais nocivas ou perigosas, motivo pelo qual a Organização Mundial de Saúde recomenda sua aplicação e uso (OMS, 1981).

2.1.2 CARÊNCIAS NUTRICIONAIS BRASILEIRAS

2.1.2.1 HIPOVITAMINOSE A

A falta de vitamina A provoca perturbações de crescimento e de visão, falta de apetite, e causa por vezes a interrupção de posturas. Vários estudos nutricionais realizados na Amazônia Ocidental Brasileira têm apontado a deficiência de vitamina A (DVA), como um dos principais problemas de saúde pública, pois atinge populações do mundo inteiro (CAMPOS & ROSADO, 2005). Segundo a Organização Mundial da Saúde, só nas Américas a prevalência de hipovitaminose A é de cerca de 20%. A deficiência de vitamina A foi detectada em vários estados brasileiros dentre eles: Amazonas, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Santa Catarina (WHO, 1995). A deficiência de vitamina A constitui problema endêmico em boa parte das regiões Norte, Nordeste e Sudeste. Apesar da escassez de informações, é possível identificar a população infantil do Nordeste como a mais vulnerável ao problema, uma vez que entre 16% a 55% das crianças apresentam dosagem de vitamina A abaixo de 20 µg/dl, caracterizando situações de carências endêmicas (WHO, 1995).

Existem, igualmente, indicações da ocorrência da hipovitaminose A em bolsões de pobreza de Minas Gerais e de São Paulo, além de áreas da região Norte. Nessas áreas, mais de 15% das amostras de sangue examinadas comprovaram que a dosagem de vitamina A estava também abaixo do limite (WHO, 1995).

2.1.3 NUTRIENTES DO TUCUMÃ

2.1.3.1 VITAMINAS

Vitaminas são substâncias orgânicas essenciais ao metabolismo humano, não sendo sintetizada pelo organismo, devem ser adquiridas através de uma dieta balanceada.

2.1.3.1.1 VITAMINA A - RETINOL

A vitamina A (retinol) é considerada a vitamina da visão e um fator regulador do crescimento. Foi descoberta em 1913 por MC COLLUM & DAVIS em experiências com ratos. Notaram que os roedores sofriam uma deficiência nutricional quando eram alimentados apenas com gordura suína, e que essa deficiência desaparecia quando eram nutridos com um fator presente na gema do ovo e no óleo de fígado de bacalhau (MC DOWELLI, 1989 apud GIACOMINI, 1996). A sua estrutura foi determinada em 1931 por Karrer e colaboradores sendo sintetizada posteriormente pelo processo de Isler utilizando como matéria-prima a β -ionona (KOROLKAS & BURCKALTER, 1988 apud GIACOMINI, 1996).

O retinol é uma substância isoprenóide, composta por uma unidade chamada isopreno cuja cadeia é formada por hidrocarbonetos de 5 carbonos, fundamental em muitas substâncias de origem vegetal, possuindo aspecto oleoso, de alta viscosidade (LEHNINGER, 1973). É um nutriente que só pode ser encontrado em

alimentos de origem animal, como fígado, ovos, derivados de leite e peixe, mas os vegetais, legumes e frutas podem fornecer a pró-vitamina A, como α e β -caroteno, que podem ser transformados biologicamente em vitamina A pelos organismos animais. O processo de biotransformação de carotenóides em retinol nos mamíferos ocorre no intestino delgado e no fígado (ALBERS *et al*, 2002 apud GIACOMINI,1996).

O termo vitamina A refere-se a um grupo de compostos, que inclui retinol, retinaldeído e ácido retinóico, e ainda inclui os carotenóides, por possuírem atividade pró-vitamina A (SBP, 2007).

Segundo WHO, por volta de 64% de toda a vitamina A consumida pelas pessoas é originada dos carotenóides (WHO, 1995).

2.1.3.1.2 VITAMINA B1 - TIAMINA

A vitamina B1, amplamente conhecida como tiamina (FIG. 2.3), é importante para o bom funcionamento dos sistemas nervoso, cardiovascular, muscular e digestório do organismo humano. De acordo com a *Dietary Reference Intake* (IOM, 2004) é necessário o fornecimento diário de tiamina (1,2mg/dia), por não ser armazenada em grandes quantidades nos tecidos.

A carência desta vitamina na alimentação humana pode conduzir à avitaminose designada por beribéri. Alguns sinais de sua falta são insônia, nervosismo, irritação, fadiga, depressão, perda de apetite e energia, dores no abdômen e no peito, sensação de agulhadas e queimação nos pés, perda do tato e da memória e problemas de concentração. Alguns inimigos da tiamina são álcool, café, cigarro, antiácido, barbitúricos, diuréticos, excesso de doces e de açúcar (SHIELS *et al*, 2003). A tiamina também apresenta ação repelente contra mosquitos em virtude dos compostos sulfúricos com cheiro característico que são produzidos pela cisão da molécula dessa vitamina e exalados pelo suor (FRANCO, 2007). Os autores do mesmo trabalho recomendam o consumo de 1,2 a 1,8mg de tiamina diariamente por via oral dois dias antes da exposição aos mosquitos para conseguir o efeito repelente.

A tiamina está presente em muitos alimentos, mas na maioria dos casos em pequenas quantidades. A melhor fonte de tiamina é a levedura de cerveja seca. Outras boas fontes incluem carnes de porco e de vaca, aves, peixes, cereais de grão inteiro, nozes, legumes secos, ervilhas, arroz integral, cereais integrais, fígado, rins, amendoins, verduras amargas, gema de ovo e feijão. Nos grãos de cereais, o farelo rico em tiamina é removido durante a moagem do trigo para produzir a farinha branca e durante o polimento do arroz integral para produzir arroz branco.

Sabe-se que a tiamina é instável ao calor, meios alcalinos e oxigênio e é uma das vitaminas mais sensíveis à radiação (KILCAST, 1994). A hidrossolubilidade é também um fator de perda de tiamina a partir dos alimentos. Podem ser perdidas quantidades consideráveis na água de descongelação dos alimentos congelados ou na água utilizada para cozinhar.

A tiamina é essencial para o metabolismo dos carboidratos através das suas funções coenzimáticas. As coenzimas são “moléculas auxiliares” que ativam as enzimas, as proteínas que controlam os milhares de processos bioquímicos que ocorrem no corpo. A coenzima da tiamina, o pirofosfato de tiamina (PFT), é a chave para várias reações na decomposição da glicose em energia. A tiamina também desempenha um papel na condução dos impulsos nervosos e no metabolismo aeróbico (SHIELS *et al*, 2003).

A derivatização com ferricianeto de potássio alcalino permite a detecção por fluorescência da tiamina em alimentos, sob a forma de tiocromo (conversão oxidativa). A derivatização pós-coluna garante que a presença de substâncias redutoras, como polifenóis, não prejudique a análise, pois o convertimento ocorrerá com a tiamina já separada dos interferentes.

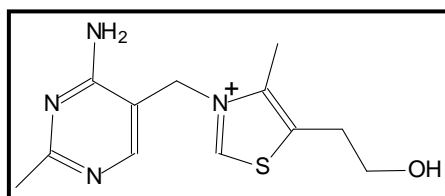


FIG. 2.3 Fórmula estrutural da tiamina (Fonte: SOUZA, 2008).

2.1.3.1.3 VITAMINA B2 - RIBOFLAVINA

A vitamina B2 (FIG. 2.4), também conhecida como riboflavina, pertence ao grupo dos pigmentos naturais, hidrossolúveis, extremamente dispersos no reino animal e vegetal que se chamam liocromos, em oposição aos lipocromos, que são lipossolúveis. É estável ao aquecimento e aos processos comuns de cocção; é estável no leite; necessitando ser condicionadas em vidros ou caixas escuras protegidas da luz, pois sem esse cuidado pode ocorrer perda de 50% de riboflavina em duas horas de exposição a luz. Também é estável a ácidos e à oxidação, sendo sensível aos álcalis e em solução é rapidamente destruída pela luz.

A riboflavina exerce suas funções no organismo sob forma de uma de suas duas coenzimas, o fosfato de riboflavina ou flavina mononucleídeo (FMN) e flavina-adenina dinucleotídeo (FAD). Suas funções compreendem diversos processos metabólicos, achando-se envolvida na transformação dos lipídios, proteínas e glicídios. Sob a forma de FMN, e principalmente sob a forma de FAD, forma o grupo prostético de varias enzimas que se caracterizam por atuar como agentes nos processos de transferência de hidrogênio e nos metabolismos de ácidos graxos e aminoácidos.

Ela é constituinte ativo de diversas enzimas entre as quais as que atuam no transporte de oxigênio e, desse modo, na respiração celular e processos de oxidação. Todas as flavinas possuem como grupo prostético as coenzimas FMN e FAD cujo papel é o de catalisação nas reações de vários tipos que diferem não apenas em relação aos substratos, mas também a respeito dos aceptores. A mais importante dessas reações é a desaminação oxidativa de aminoácidos, seguida da oxidação de aldeídos e dihidrogenação de cadeias alifáticas. Sem a presença da riboflavina a síntese protéica é bastante reduzida (FRANCO, 2007).

Graças a sua fotossensibilidade a vitamina desempenha importante papel nos fenômenos da visão, favorecendo também a diurese aquosa e salina.

A arriboflavinose, como é conhecida a deficiência da vitamina, se caracteriza por diversas manifestações, glossite com vermelhidão brilhante (língua magenta, estomatite angular), queratose folicular seborréica no sulco nasolabial, no nariz e na testa, dermatite na região anogenital, sensação de queimadura nos pés, anemia

normocrômica e normocítica, acompanhada de neutropenia, fotofobia, prurido e ardor nos olhos (FRANCO, 2007).

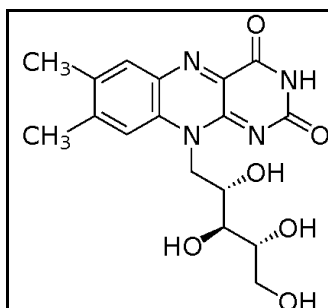


FIG. 2.4 Fórmula estrutural da riboflavina.

2.1.3.2 CAROTENÓIDES

Os carotenóides são tetraterpenóides de 40 carbonos em uma estrutura simétrica e linear, sendo formados a partir de 8 unidades isoprenóides, cada unidade com 5 carbonos (RODRIGUEZ & AMAYA, 1999). Compõem um dos grupos de pigmentos naturais mais extensamente encontrados na natureza. Responsáveis pela coloração amarela das flores, folhas, frutas, algumas raízes, gema de ovo, lagosta e outros crustáceos. Existem pelo menos 600 carotenóides naturais caracterizados e esses são divididos em dois grandes grupos: (a) carotenos, com cadeias constituídas unicamente de carbono e hidrogênio; e (b) xantofilas, hidrocarbonetos que possuem grupos funcionais oxigenados em sua estrutura (RODRIGUEZ & AMAYA, 1999). Desses apenas 40 são encontrados nos alimentos e somente 14 são biodisponíveis devido a seletividade de absorção do trato gastrintestinal (KHACHIK *et al*, 1991). Entre esses se encontram o α -caroteno e o β -caroteno (com suas formulas estruturais mostrados na TAB. 2.1), aos quais esse trabalho dará maior ênfase; e a luteína, a violaxantina, a zeaxantina, o licopeno, a beta-criptoxantina, a fucoxantina, a astaxantina, a crocetina, a capsantina e o fitoeno.

Os processos que conferem uma grande diversidade estrutural desses compostos são ciclização, hidrogenação, desidrogenação, migração de duplas

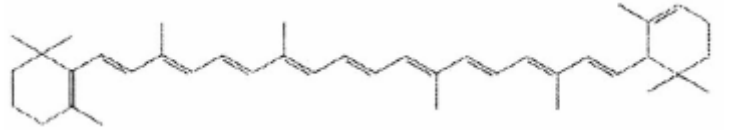
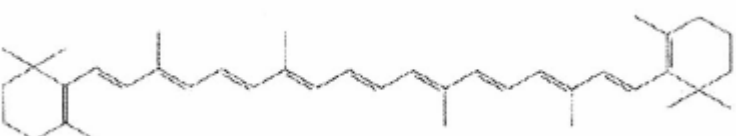
ligações, encurtamento ou alongamento da cadeia, rearranjo, isomerização, introdução de funções com hidrogênio ou a combinação desses processos. Os carotenóides além de apresentarem atividade pró-vitáminica A, também participam na prevenção de doenças cardiovasculares e promovem a melhora do sistema imunológico (KRINSKY, 1994).

O α -caroteno é descrito como supressor da tumorigênese na pele, no pulmão, no fígado e no cólon (demonstrando, inclusive, uma atividade de supressão superior à promovida pelo β -caroteno), e age promovendo a cessação do ciclo de multiplicação celular, de forma análoga à ação de uma proteína específica conhecida como proteína p53, cuja função é atuar nesse estágio promovendo a cessação do ciclo de multiplicação celular, evitando que as células se reproduzam desordenadamente. Sua atuação pode ser identificada, tanto no estágio de iniciação quanto na promoção do câncer. O material genético e a regulação da multiplicação celular representam pontos de entrada cruciais para o desenvolvimento do câncer, logo, a possibilidade de interferir positivamente nesses pontos confere ao α -caroteno atribuições decisivas à proteção contra o desenvolvimento de diversos tipos de câncer, mesmo os que, *a priori*, estariam mais fortemente associados a fatores de risco de natureza não dietética, como o câncer de pele (GOMES, 2007).

O trabalho de WILLIS & WIANS (2003), mostrou que o β -caroteno possui potencial quimiopreventivo conferido ao mesmo pela sua capacidade antioxidante, o que sempre esteve em impasse, pois não se sabia se tal capacidade era conferida a vitamina A que surgia devido à conversão do β -caroteno e promovia a ação.

O β -caroteno, além de sua transformação em vitamina A e sua capacidade antioxidativa, apresenta uma gama enorme de aplicações na indústria de alimentos como corante natural, podendo ser empregado em margarinas, manteigas, queijos, carnes e macarrão (BARUFFALDI *et al*, 1983).

TAB. 2.1 Fórmulas estruturais do α e β -caroteno, ambos precursores da vitamina A (Adaptado de SILVA, 2008).

Carotenóides	Fórmula estrutural
α -caroteno	 <p>The structure of α-carotene is a long-chain polyene hydrocarbon with 11 conjugated double bonds and two non-conjugated double bonds. It features two cyclic end groups: a cyclohexene ring with two methyl groups on the left and a cyclohexane ring with two methyl groups on the right.</p>
β -caroteno	 <p>The structure of β-carotene is similar to α-carotene but has a different arrangement of double bonds. It has 11 conjugated double bonds and two non-conjugated double bonds, with the same cyclic end groups as α-carotene.</p>

2.1.3.2.1 INFLUÊNCIA DO CLIMA TROPICAL BRASILEIRO E A ABUNDÂNCIA DE CAROTENÓIDES NOS FRUTOS

O Brasil é privilegiado com frutos de alto teor de carotenóides. De acordo com RODRIGUEZ & AMAYA (1999) o clima tropical, presente em muitos países incluindo o Brasil, amplia a biossíntese de carotenóides aumentando sua concentração durante o amadurecimento dos frutos. Assim, os frutos brasileiros devem apresentar maior concentração de carotenóides do que os frutos de clima temperado. Temperaturas mais altas e luz solar de maior intensidade parecem influenciar positivamente o conteúdo de β -caroteno dos cultivares de frutas. Trabalhos realizados com mangas, goiabas e mamão papaia mostram maiores quantidades de carotenóides, especialmente o β -caroteno, em frutas cultivadas no Nordeste brasileiro. As mudanças nos teores de β -caroteno podem ser esperadas, visto que, a luz solar intensa do nordeste pode estimular sua formação.

2.1.3.2.2 POTENCIAL FITOQUÍMICO E QUIMIOPREVENTIVO DOS CAROTENÓIDES

Os fotoquímicos (do Grego, *fitos* = planta) são compostos químicos presentes ou provenientes das plantas que promovem efeitos benéficos ou maléficos ao organismo. Os compostos quimiopreventivos são definidos como agentes que exercem uma ação protetora específica contra o desenvolvimento do câncer. Muitos dos compostos quimiopreventivos são sintetizados em laboratórios, mas a maioria encontra-se prontamente disponível nos alimentos. Alguns trabalhos estudaram as capacidades quimiopreventivas dos carotenóides usando como biomarcadores o estresse oxidativo e a lesão de material genético. O estresse oxidativo é caracterizado por uma intensa sobrecarga de radicais livres, que pode ser extremamente lesiva as estruturas celulares, com a possibilidade de conseqüências tumorogênicas. A lesão oxidativa de material genético também possui estreita ligação com a tumorogênese. O material oxidativo reage diretamente com as células que possuem a função de evitar a multiplicação desordenada de células. Ainda há muitas controvérsias quanto à relação da concentração de carotenóides com a prevenção do câncer, mas à medida que novos trabalhos são feitos fica mais evidente a importância do consumo de legumes e frutas como fonte de carotenóides (GOMES, 2007).

CHANG *et al* (2005), estudaram a relação entre carotenóides do plasma e o câncer de próstata, analisando o plasma de 118 homens com câncer e 52 saudáveis. Os resultados foram satisfatórios ao mostrar que uma maior concentração de carotenóides no sangue, especialmente, β -criptoxantina, α -caroteno, β -caroteno, luteína e zeaxantina, pode diminuir o risco de desenvolvimento do câncer.

2.1.3.3 AMINOÁCIDOS

Existem no organismo humano cerca de cinco milhões de proteínas diferentes. Proteínas são polímeros constituídos dos mesmos monômeros (aminoácidos). São aproximadamente vinte estes aminoácidos constituintes perfeitamente conhecidos, que se repetem, em média, cem vezes nas várias proteínas (ARAÚJO, 2006). Eles são denominados de alfa-aminoácidos (seus nomes e suas fórmulas estruturais podem ser vistas na FIG. 2.5).

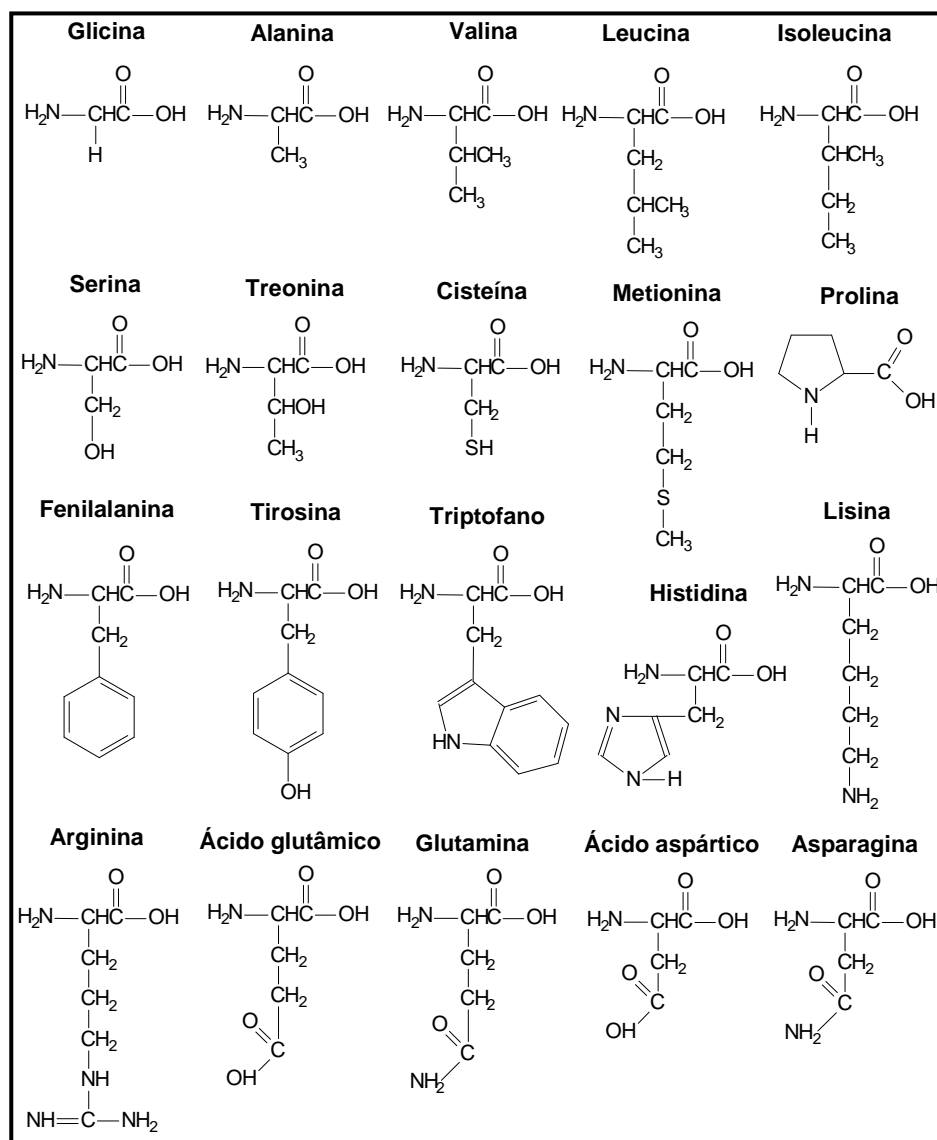


FIG. 2.5 Fórmulas estruturais dos alfa-aminoácidos.

Os aminoácidos funcionam não só como unidades estruturais básicas para a formação das proteínas, mas também como precursores de uma série de substâncias biologicamente importantes, como hormônios, enzimas, alcalóides, pigmentos etc.

Todos os seres vivos, animais e vegetais, sintetizam aminoácidos. No entanto, alguns animais superiores são deficientes na síntese de todos os aminoácidos de que necessitam para constituir suas proteínas e, por isso, devem obtê-los em sua dieta. Os humanos adultos necessitam de nove aminoácidos, denominados essenciais: valina, leucina, isoleucina, fenilalanina, triptofano, treonina, metionina, lisina e histidina (SHIELS, 2003).

Por possuírem um grupo básico e outro ácido, os aminoácidos têm caráter anfótero e podem existir em solução tanto como cátions quanto como ânions. No estado sólido, formam íons dipolares. A forma predominante do aminoácido em solução depende do pH da solução e da natureza do aminoácido. Em soluções ácidas fortes eles predominam como cátions e em bases fortes, como ânions (ARAÚJO, 2006).

Enzimas fazem com que os alfa aminoácidos se polimerizem, através da eliminação de água, formando a ligação conhecida como ligação peptídica. Ocorre que o grupo carboxílico (COOH) de um aminoácido é conectado, pela perda de uma molécula de água, ao grupo amino (NH₂) do próximo, resultando na formação da ligação peptídica. Os polímeros que contêm 2, 3, 3 a 10 ou muitos aminoácidos são chamados respectivamente de dipeptídeos, tripeptídeos, oligopeptídeos e polipeptídeos. Proteínas são moléculas que contêm uma ou mais cadeias polipeptídicas (SHIELS, 2003).

Uma maneira de quebrar as ligações peptídicas das proteínas é submetê-las à refluxo de HCl 6N por 24 horas. Desta maneira, todas as ligações peptídicas são hidrolisadas e a solução final é uma mistura de aminoácidos livres. Quando se deseja determinar a estrutura de um polipeptídeo ou de uma proteína, a separação e identificação individual dos aminoácidos da mistura são fundamentais (SHIELS, 2003).

A grande maioria dos aminoácidos não apresenta nenhuma característica física ou química que possibilite a sua fácil determinação, especialmente em baixas concentrações. Por esta razão, é necessário usar um artifício que os transforme em

estruturas com características facilmente detectáveis. O usual é proporcionar uma reação com compostos que apresentem grupos cromóforos ou fluoróforos detectados por espectroscopia de ultravioleta/visível ou fluorímetros. A este tipo de reação dá-se o nome de derivatização (SOUZA, 2008).

Diversas reações degradativas durante o processamento e o armazenamento de alimentos podem ocorrer, ocasionando alterações desejáveis ou indesejáveis nas proteínas. As proteínas podem apresentar perdas de funcionalidade e de qualidade nutricional, bem como alterações desejáveis de sabor. As modificações importantes que afetam as proteínas são: aquecimento na presença e na ausência de carboidratos, pH extremos, principalmente alcalino, e exposição a condições oxidativas e luz. Portanto, nutrientes são destruídos quando os alimentos são processados, em razão da sensibilidade a pH, do oxigênio, da luz ou do aquecimento ou da combinação destes. Por exemplo, em condições alcalinas, os aminoácidos arginina, treonina, cistina, serina e cisteína são lentamente destruídos, enquanto glutamina e asparagina são deaminadas. Em meio ácido, o triptofano é rapidamente destruído. Todos os aminoácidos, especialmente lisina e metionina, são sensíveis ao aquecimento (ARAÚJO, 2006).

2.1.3.4 AÇÚCARES: GLICOSE, FRUTOSE E SACAROSE

Os açúcares são compostos orgânicos também conhecidos como carboidratos, ou hidratos de carbono. Como o próprio nome sugere são compostos com estruturas a base de carbono e hidrogênio, mas incluindo também o oxigênio. Derivam da reação de fotossíntese que ocorre nas plantas, com a ação catalítica da clorofila: o dióxido de carbono se combina com a água e formam a glicose ($C_6H_{12}O_6$). As moléculas de glicose (FIG. 2.6) podem se combinar e formar outros três componentes característicos das plantas: a sacarose, composta de uma molécula de glicose mais uma molécula de frutose (FIG. 2.7), a celulose, composta por duas moléculas de glicose e o amido. As moléculas de celulose garantem a sustentação da planta, e as de amido servem como reserva energética (SOUZA, 2008). Tanto a

sacarose quanto o amido são vitais para as necessidades básicas do homem (MINATTI, 2007).

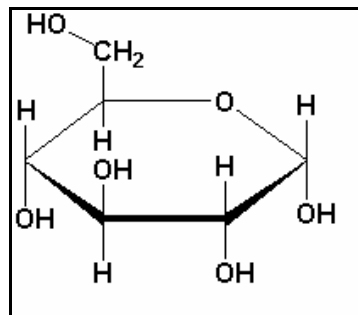


FIG. 2.6 Glicose - $C_6H_{12}O_6$

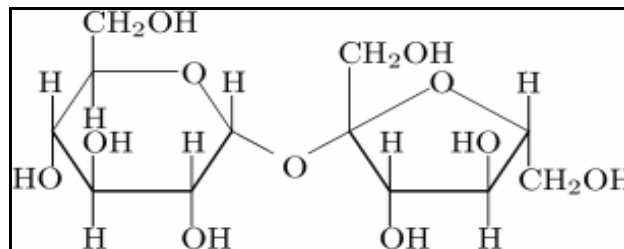


FIG. 2.7 Sacarose - $C_{12}H_{22}O_{11}$

Os carboidratos podem ser vistos como aldeídos poli-hidroxilados ou cetonas poli-hidroxiladas; ou, ainda, compostos que, pela hidrólise, podem se transformar nestes. Eles podem ser divididos em quatro grandes grupos: monossacarídeos, dissacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Os monossacarídeos são carboidratos não polimerizados, por isso, não sofrem hidrólise. Possuem em geral entre três e sete átomos de carbono. A estrutura de um monossacarídeo consiste em uma cadeia carbônica não-ramificada, apresentando ligações simples entre os carbonos. A glicose (figura 2.6), a frutose (figura 2.8) e a galactose (figura 2.9) são os monossacarídeos mais comuns, e possuem a mesma fórmula molecular: $C_6H_{12}O_6$. A frutose e a glicose são encontradas em frutas e no mel e a galactose no leite dos mamíferos. Embora tenham a mesma fórmula molecular, estes compostos têm estruturas químicas diferentes, isto é, são isômeros. O sabor de cada um

também é diferente. Sabe-se que o doce do açúcar depende grandemente da posição dos grupos -OH que compõe a estrutura molecular (MINATTI, 2007).

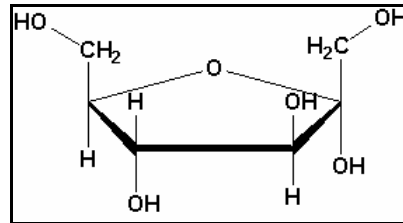


FIG. 2.8 Frutose - $C_6H_{12}O_6$

Quando duas moléculas de um açúcar simples se unem elas formam um dissacarídeo. A sacarose (FIG. 2.7), por exemplo, é um dissacarídeo formado por uma unidade de frutose e outra unidade de glicose. A energia contida nas ligações químicas na frutose, glicose ou sacarose é a responsável por suprir, na maioria dos seres vivos, a energia necessária para suas atividades (MINATTI, 2007).

Os monossacarídeos podem, também, se combinar e formar macromoléculas, com longas cadeias de unidades de frutose, glicose ou galactose repetidas. Estes são os polissacarídeos: moléculas com mais de 10.000 unidades de açúcares. Mais de uma centena de espécies foram identificadas, mas as mais comuns são a celulose e o amido (MINATTI, 2007).

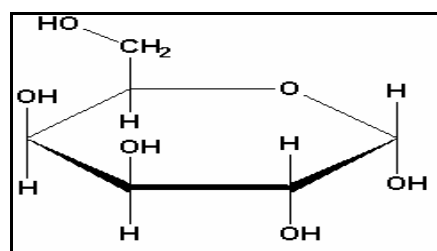


FIG. 2.9 Galactose – $C_6H_{12}O_6$

Os carboidratos são muito importantes para os seres vivos. O mecanismo de armazenamento de energia, em quase todos os seres vivos de nosso planeta,

baseia-se em carboidratos ou lipídeos; os carboidratos são uma fonte de energia imediata, enquanto que os lipídeos queimam em uma velocidade menor, servindo para longo prazo. O ciclo metabólico da glicose, por exemplo, é vital para os organismos vivos, tal como o homem. Falhas neste ciclo acarretam vários males, tal como os desencadeados pela diabetes (MINATTI, 2007).

2.2 A IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

A redução das perdas pós-colheita que ocorrem anualmente nas diferentes etapas de obtenção dos alimentos, desde a produção até o consumo, é uma medida para alterar o padrão de crescimento do desequilíbrio entre a população e a oferta de alimentos. O desperdício de alimento no Brasil ocorre mesmo nos momentos de crise. Estimam em mais de 30% as perdas de produtos hortifrutícolas nas fases de manuseio, transporte, armazenagem e comercialização (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

Novas tecnologias estão sendo desenvolvidas no processamento dos alimentos devido à nova tendência de consumo da vida moderna por alimentos mais nutritivos, atrativos, convenientes e prontos para o consumo. As frutas minimamente processadas se caracterizam por preparo mínimo como pesagem, seleção, higienização, descascamento e corte. Embora o estado fresco das frutas e o valor nutritivo sejam semelhantes ao alimento natural, uma maior expansão nesse segmento de produtos, tanto para o mercado interno, como para o mercado externo tem sido dificultado pela curta vida útil desses produtos. Para prolongar a vida útil dos vegetais processados e eliminar microrganismos patogênicos HAGEMAIER & BAKER (1998) sugeriram o emprego de outros métodos como a irradiação de alimentos.

Estudos realizados pelo Comitê formado por Food and Agriculture Organization (FAO), World Health Organization (WHO) e International Atomic Energy Agency (IAEA), mostraram que qualquer alimento irradiado na dose média de 10kGy (10000Gy) é seguro e não induz problemas nutricionais, além de eliminar microrganismos contaminantes dos alimentos e prejudiciais ao homem (OMS, 1981).

Em 1997 o Comitê FAO/IAEA/WHO se reuniu para avaliar os resultados das aplicações de alta doses de irradiação em alimentos, doses acima de 10kGy. O Comitê conclui que o alimento irradiado em qualquer dose, desde que esteja adequado para atender a um objetivo tecnológico, é considerado seguro para o consumidor e adequado nutricionalmente. De acordo com o Comitê FAO/IAEA/WHO a irradiação em altas doses é semelhante ao convencional processamento térmico, como a esterilização de alimentos de baixa acidez, em que se elimina o perigo biológico (microrganismos patogênicos e deteriorantes) dos alimentos destinados ao consumo humano, sem acarretar alterações físicas ou químicas que se constituam em um perigo (DIEHL, 2002; LIMA *et al*, 2001).

O emprego do processo de irradiação em alimentos já foi aprovado por 42 países em mais de 40 variedades de alimentos para desinfestação de grãos de cereais; controle de microrganismos patogênicos e prolongamento da vida útil em carnes, frutas, hortaliças, raízes e tubérculos; desinfestação, retardar a maturação e eliminação de moscas das frutas; inibição de brotamentos em tubérculos e bulbos, entre outros efeitos (BRADFORD & LOAHARANV, 1993; DIEHL, 1990). A irradiação mostra-se muito promissor através de sua contribuição na conservação, reduzindo as perdas pós-colheita e a possibilidade de melhorar a oferta para compensar a falta dos alimentos (KILCAST, 1994). As fontes de irradiação ionizantes autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEM) para utilização nos estudos com alimentos são: os isótopos radioativos emissores de raios gama, a partir do Cobalto-60 e Césio-137; os raios X gerados por máquinas que trabalham com energias de até 5MeV; e os elétrons acelerados gerados por máquinas que trabalham com energias de até 10MeV (DIEHL, 2002)

2.2.1 FUNDAMENTOS

2.2.1.1 A RADIOATIVIDADE

O primeiro evento que marcou a descoberta da radiação ocorreu em 1896 quando Henri Becquerel esqueceu uma rocha de urânio sobre um filme fotográfico

virgem, deixando este marcado por “algo” que saía da rocha: as radiações. E Descobriu-se que outros elementos pesados denominados de elementos radioativos, como o rádio e o polônio, tinham a mesma propriedade (KAPLAN, 1963).

Comprovou-se que núcleos com excesso de partículas ou de cargas, muito energéticos, tendem a estabilizar-se emitindo partículas ou ondas eletromagnéticas. Um dos processos de estabilização é a emissão de partículas alfa (α), constituídas por dois prótons e dois nêutrons. Estas partículas possuem carga +2. Quando existe um núcleo com excesso de nêutrons em relação a prótons, a estabilização ocorre através da emissão de uma partícula beta negativa (β^-), com carga -1. No caso de existir excesso de prótons, é emitida uma partícula beta positiva (β^+), com carga +1, chamada pósitron. Neste último caso, também pode ocorrer Captura Eletrônica (CE). Um elétron da camada K é capturado, convertendo-se um próton e um elétron em um nêutron (TAUHATA *et al.*, 2003).

Geralmente, após a emissão de partículas α ou β , o núcleo resultante do processo (núcleo filho) ainda possui excesso de energia, estabilizando-se pela emissão de energia em forma de ondas eletromagnéticas, sem carga elétrica, denominada radiação gama. Portanto, a radiação gama é uma forma de energia constituída por campos elétricos e campos magnéticos, capazes de propagar-se no espaço. No vácuo, sua velocidade de propagação é de 300.000 Km/s.

Qualquer partícula ou radiação eletromagnética que ao interagir com a matéria “arranca” elétrons de seus átomos e moléculas, direta ou indiretamente, transformando-as em íons, são consideradas radiações ionizantes. Desta forma, as partículas α e β e a radiação gama, assim como os raios X emitidos pelos respectivos aparelhos, são radiações ionizantes (PRICE, 1958).

Quando um núcleo emite partículas, há variação do número de prótons, ou seja, o elemento se transforma em outro, de comportamento químico diferente. Esta transmutação também é conhecida como desintegração radioativa, porém não ocorre desagregação total do átomo, apenas perda de sua integridade. O termo decaimento radioativo é mais apropriado, pois sugere a diminuição gradual de massa e atividade.

Os radioisótopos, núcleos instáveis de um mesmo elemento químico e de massas diferentes, não realizam todas as mudanças ao mesmo tempo. Não se pode

prever o momento em que um determinado núcleo irá emitir radiação. Entretanto, é esperado certo número de emissões ou transformações em cada segundo. Essa taxa de transformações é denominada atividade da amostra. A atividade de uma fonte radioativa é medida em Bq (Becquerel), equivalente a uma desintegração por segundo, ou em Ci (Curie), sendo $1\text{Ci} = 3,7 \times 10^7 \text{Bq}$ (TAUHATA *et al.*, 2003).

Cada radionuclídeo, natural ou obtido artificialmente, decai a uma velocidade que lhe é característica. O tempo que o elemento leva para ter sua atividade reduzida à metade da atividade inicial é denominado meia-vida do elemento.

2.2.1.2 CÉSIO 137 E A EMISSÃO GAMA

A radiação gama não possui carga elétrica e, portanto, não pode ser desviada nem por campos elétricos, nem por campos magnéticos, o que faz com que ela apresente um grande alcance através da matéria. Pelo fato deste tipo de radiação não possuir carga elétrica, sua energia não pode ser mensurada através de aparelhos como espectrômetros magnéticos, devendo-se utilizar outros mecanismos para mensurar sua energia. Um deles, e também o método mais direto, consiste em determinar seu comprimento de onda, e posteriormente sua energia, usando-se para isso um cristal como rede de difração. O mecanismo de absorção de raios γ pela matéria também é diferente do das partículas carregadas, o que resulta em um poder de penetração muito maior dos raios gama (TAUHATA, 2003).

Césio 137 é o isótopo radiativo do césio que é formado principalmente por fissão nuclear. Sua meia vida é de 30,19 anos e decai puramente por radiação beta para o seu isômero bário 137 (Ba-137). O Ba-137 possui meia vida de 2,55 minutos esta em estado excitado. O isômero então emite radiação gama com 0,662 Mev para chegar ao nível de estabilidade. Ao invés do Césio 137, o Bário 137 é o verdadeiro responsável por toda a emissão de raios gama das amostras de césio 137 como pode ser visto na FIG. 2.10, que demonstra o esquema de decaimento do césio 137 (KAPLAN, 1963).

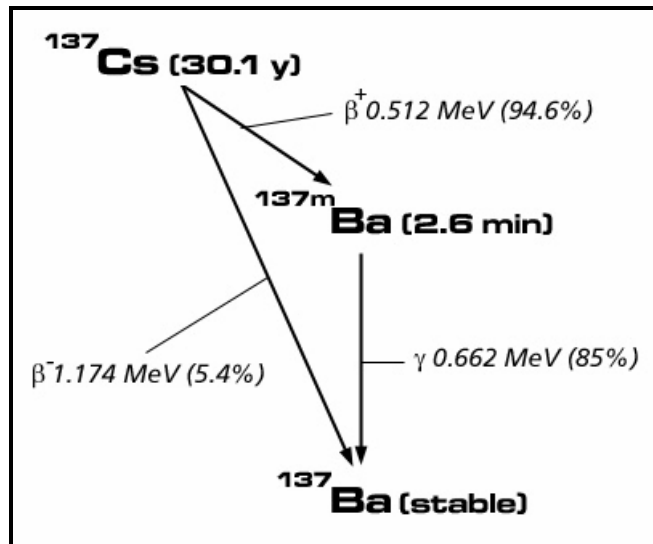


FIG. 2.10 Esquema de decaimento do césio 137.

2.2.1.3 INTERAÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA COM A MATÉRIA

Durante a passagem dos feixes de radiação gama por um material, três efeitos principais caracterizam a transferência de energia do feixe para o mesmo: Efeito Fotoelétrico (com feixes de até 100keV e número atômico, Z, alto); Efeito Compton (100 – 2.000keV e Z baixo) e Formação de Pares (>1.020keV e Z alto) (TAUHATA *et al.*, 2003).

O efeito fotoelétrico acontece quando um fóton incide em um átomo transferindo sua energia a um único elétron orbital, fazendo com que este seja ejetado. A probabilidade deste efeito aumenta com Z. Os alimentos geralmente não apresentam em sua constituição elementos pesados. As fontes de cobalto-60 e césio-137 têm radiações com energias superiores a 100KeV. Portanto, este efeito pode ser considerado irrelevante na irradiação de alimentos.

O Efeito Compton ocorre quando um fóton incide sobre um elétron periférico dos átomos do absorvedor. O fóton e o elétron são espalhados. Observando-se o Z na composição alimentar e a energia das fontes emissoras, percebe-se que este é o efeito dominante como processo de interação na irradiação de alimentos.

A produção de pares ocorre quando fótons com energia maior ou igual a 1,02MeV passam próximos a núcleos de Z elevado. Assim, este efeito também pode ser considerado irrelevante no processo de irradiação de alimentos.

2.2.2 HISTÓRICO DA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

A origem da irradiação de alimentos está relacionada com o trabalho publicado em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen que produziu radiação eletromagnética nos comprimentos de onda correspondentes aos atualmente chamados raios X. Abaixo temos cronologicamente os eventos mais importantes da irradiação de alimentos.

- 1896 - Descobrimto da radioatividade (Becquerel);
- 1905 – Nos Estados Unidos da América, é emitida a patente nº 788.480 que utilizava tório e na Grã-Bretanha é emitida a patente de nº 1.609 que utilizava raios alfa, beta e gama para processos de preservação de alimentos;
- 1909 – É emitida nos Estados Unidos da América a patente nº 924.284 que utilizava raio X na eliminação de ovos, larvas e pulpa do besouro do fumo (*Lasioderma serricornis*) para a preservação de fumo;
- 1921 – Benjamin Schwartz, publica trabalho sobre a preservação de carne de porco, utilizando-se Raio-x na eliminação de *trichinella spiralis*;
- 1940 – As Forças Armadas Americanas iniciam testes de irradiação de alimentos;
- 1963 – A irradiação é aprovada pelo Governo Americano para controle de insetos no trigo e farinha de trigo;
- 1964 – Aprovada nos estados unidos a irradiação de tomates;
- 1970 – A NASA adota a irradiação para esterilizar a comida dos astronautas;
- 1973 – É publicado no Brasil o Decreto nº 72718 que estabelece as normas gerais sobre irradiação de alimentos;
- 1999 – A Organização Mundial de Saúde publica relatório dizendo que o uso da irradiação em alimentos é segura até dose de 10 kGy;

- 2001 – A ANVISA publica a RDC nº 21 que aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos, constante do Anexo desta Resolução;
- 2007 – O Ministério da Agricultura publica portaria nº 04 para consulta pública de projeto de instrução normativa para o uso da irradiação como tratamento fitossanitário para fins quarentenários.

Nos Estados Unidos, institutos de tecnologia vêm realizando pesquisas na área de irradiação de alimentos a mais de cem anos. Na Europa, cientistas alemães e franceses mostraram interesse pelo assunto a partir de 1914. Entretanto, os resultados dessas pesquisas iniciais não foram animadores, pois o processo de irradiação provocava alterações que comprometiam a aceitação do produto pelos consumidores. A partir de 1950, novos estudos começaram a mostrar os benefícios. Além do potencial para diminuir a incidência de intoxicações alimentares, a irradiação inibe o brotamento de raízes e tubérculos, desinfeta frutos, vegetais e grãos, atrasa a decomposição, elimina organismos patogênicos e aumenta o tempo de prateleira de vários produtos (DIEHL, 1990; MELLO, 2001).

A utilização da irradiação de alimentos vem sendo estudada mais cientificamente nas últimas décadas. Em 1963, o governo norte-americano aprovou a irradiação de trigo e farinha de trigo para consumo humano; em seguida, a de batata, cebola, alho e outros produtos cujo brotamento torna-se uma barreira ao comércio. Durante os anos 80 e 90, houve uma verdadeira explosão de regulamentações pelo mundo, inclusive no Brasil, no sentido de aprovar a utilização da irradiação de alimentos para consumo humano, especialmente após a sua recomendação pela FAO e pela International Atomic Energy Agency (IAEA.) Além da FAO e da IAEA, a irradiação de alimentos é defendida por outras entidades, como o Departamento de Agricultura dos EUA, União Européia e a brasileira ANVISA (DIEHL, 1990; LIMA, 2002).

2.2.3 O PROCESSO DE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

A Irradiação de alimentos é um “processo físico de tratamento que consiste em submeter o alimento, já embalado ou a granel, a doses controladas de radiação ionizante, com finalidades sanitárias, fitossanitárias e/ou tecnológicas”. O processo

envolve a exposição do alimento a energia ionizante de raios gama, raios X ou feixe de elétrons e é realizado em uma sala ou em uma câmara especial de processamento por um tempo determinado. A energia envolvida na irradiação é insuficiente para alterar os núcleos atômicos do material irradiado e, como esse último não entra em contato com a fonte radioativa, o alimento não se torna radioativo (VITAL, 2000; BRASIL, 2001).

As fontes mais comuns de raios gama, para processamento de alimentos, são os radioisótopos cobalto-60 e césio-137. O alimento é tratado pelos raios gama originados do radioisótopo em uma instalação conhecida como irradiador. A energia gama penetra no alimento causando pequenas mudanças moleculares que também ocorrem no ato de cozinhar ou congelar. A energia simplesmente passa através do alimento que está sendo tratado e, diferentemente dos tratamentos químicos, não deixa resíduos (MELLO, 2001).

O processo de irradiação é chamado de "esterilização a frio", pois a variação de temperatura dos alimentos processados é insignificante. Os produtos que foram irradiados podem ser transportados, armazenados ou consumidos imediatamente após o tratamento (LIMA *et al*, 2003).

A irradiação funciona pela interrupção dos processos orgânicos que levam o alimento à senescência ou deteriorização. Raios gama, raios X ou elétrons são absorvidos pela água ou outras moléculas constituintes dos alimentos, com as quais entram em contato. No processo, dependendo da dose de radiação, são rompidas células microbianas, tais como bactérias, leveduras e fungos. Além disso, parasitas, insetos e seus ovos e larvas podem ser mortos ou se tornarem estéreis.

A TAB. 2.2 apresenta algumas funções da irradiação nos alimentos de acordo com a dose empregada.

TAB 2.2 Funções da irradiação de alimentos.

Funções	Doses (kGy)	Produtos irradiados
Doses Reduzidas (até 1 kGy)		
a) inibir germinação	0,05–0,15	Batata, alho, cebola, gengibre inhome.
b) eliminar insetos e parasitas	0,15–0,75	Cereais e legumes, frutas, pescado e carnes secas e frescas.
c) retardar processos físicos (maturação)	0,25–1,00	Frutas e hortaliças frescas
Doses médias (1 – 10 kGy)		
a) prolongar o tempo de conservação	1,00-3,00	Pescado fresco e morango
b) eliminação de microorganismos patogênicos,	1,00–5,0	Marisco fresco e congelado, aves, produtos de ovos, queijo Camembert, carnes cruas e congeladas.
c) eliminação de esporos e microorganismos patogênicos	3,00-10,0	Ervas e especiarias, condimentos, vegetais desidratados, gomas.
d) melhorar propriedades tecnológicas dos alimentos	2,00–7,00	Uvas (aumentando a produção de sucos), verduras desidratadas (reduzindo o tempo de cocção)
Doses elevadas (10 – 100 kGy)		
a) esterilização industrial (combinada com calor)	30,0–100,0	Carne, aves, mariscos, alimentos, preparados, dietas especiais estéreis.
b) descontaminar certos aditivos alimentares e ingredientes	10,0–50,00	Especiarias, preparações enzimáticas, gomas, etc.

Fonte: OMS, 1995, Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados.

Em instalações comerciais os produtos a serem irradiados, embalados ou a granel, passam pela câmara de irradiação através de um sistema transportador composto por esteiras, onde são submetidos a um campo de radiação em um tempo controlado e preciso, de forma a receber a quantidade exata de energia para o tratamento. Os níveis de energia utilizados não são suficientes para induzir radioatividade nos alimentos. O alimento não entra em contato com a fonte de radiação (DIEHL, 1990; MELLO, 2001).

Ressalta-se que o processo de irradiação não melhora a qualidade da matéria-prima. Um produto ruim não poderá ser processado. Com isto, não se elimina a necessidade de manter as Boas Práticas de Fabricação. Além de mantidas, deverão ser mais exigentes, pois um produto danificado não pode ser tratado (LADOMERY, 1993; POTHISIRI, 1993; TAPE, 1992). A legislação brasileira exige o cumprimento do Manual de Boas Práticas de Fabricação para que o produto seja irradiado (BRASIL, 2001).

2.2.3.1 SEGURANÇA DO PROCESSO DE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

A primeira norma para a irradiação de alimentos surge em 1983 por um grupo das Nações Unidas cuja finalidade é desenvolver normas internacionais para alimentos, tal grupo é conhecido como a Comissão do *Codex Alimentarius*. Concluíram que alimentos irradiados abaixo de 10kGy não apresentavam risco toxicológico (CODEX, 2007). Em 1999, a Organização Mundial de Saúde (OMS/WHO) liberou doses de radiação superiores a 10kGy (WHO, 1999).

A dose de radiação é medida em Grays (Gy) ou quilograys (kGy), onde $1,0\text{Gy} = 0,001\text{kGy} = 1 \text{ Joule (J)}$ de energia absorvida por quilograma de alimento irradiado. Anteriormente, a unidade de medida era o rad, correspondente à absorção de 100 ergs por grama de substância absorvente (TAUHATA *et al.*, 2003).

Nem a energia gama, nem os níveis internacionais estabelecidos para aceleradores de elétrons e máquinas de raios X, podem fazer com que o alimento se torne radioativo (WHO, 1995). O processamento por radiação não torna o alimento radioativo, da mesma forma que os raios X usados para a segurança em aeroportos não tornam as bagagens radioativas. Convém lembrar, a este respeito, que todo alimento contém elementos radioativos, como o potássio-40, o carbono-14, o hidrogênio-3 e até traços de rádio-226, o que leva a uma ingestão diária de cerca de 3nCi, equivalente a 2% da radioatividade total do corpo humano (BARBOSA, 1976).

Existe uma terminologia própria relativa à aplicação da irradiação e às doses empregadas. Os níveis de tratamento por irradiação são assim divididos em três grupos. Na radurização, são aplicadas doses baixas ($< 1,0\text{kGy}$), com o objetivo de inibir brotamentos, retardar o período de maturação de frutas e de deterioração fúngica de frutas e hortaliças, como morango e tomate, e controlar a infestação por insetos e ácaros em cereais, farinhas, frutas, etc. Com isto, proporciona estocagem de longo prazo, sem o uso de produtos químicos. Já na radicidação ou radiopasteurização as aplicações são realizadas com dose média (de 1,0 a 10,0kGy). É ideal para pasteurizar sucos, retardar a deterioração de carnes frescas, controlar a *Salmonella* em produtos avícolas, entre outros, aumentando a qualidade da conservação e prevenindo a intoxicação alimentar. Por fim, a radapertização, a qual utiliza altas doses (de 10,0 a 45,0kGy), é utilizada na esterilização de carnes e

outros produtos processados, destruindo populações de microorganismos e de patógenos, incluindo formadores de esporos, tais como *Clostridium botulinum*. Portanto, os efeitos são, respectivamente, de pasteurização, de ação bactericida e de esterilização (CODEX, 2007; DIEHL, 1990).

A energia dos raios gama é suficiente para expulsar alguns elétrons das órbitas atômicas da matéria irradiada e gerar radicais livres. Na irradiação, a energia absorvida pelos alimentos é muito baixa. Por exemplo, se toda a energia recebida por um alimento irradiado com 10kGy se transformasse em energia calorífica, sua temperatura aumentaria apenas 2,4°C (WHO, 1995). Assim, em relação aos nutrientes, a irradiação promove poucas mudanças. Outros processos de conservação, como o aquecimento, podem causar alterações muito maiores (SOUZA, 2008).

Sabe-se que os carboidratos nos alimentos são menos susceptíveis à degradação do que aqueles irradiados em estado puro. A composição de aminoácidos quase não se altera com doses inferiores a 50,0kGy. Já as vitaminas são mais sensíveis a qualquer tipo de processamento. No caso da irradiação, as perdas que se produzem em soluções puras são muito maiores que em matrizes de alimentos, devido à ação protetora dos outros componentes alimentares presentes. Sabe-se que a vitamina B1 (tiamina) é das mais susceptíveis, mas mesmo assim as perdas são mínimas. Por exemplo, observa-se perdas de 50% em soluções aquosas de B1 com dose de 0,5kGy e de menos de 5% em um ovo inteiro, para a mesma dose (WHO, 1995). A vitamina C (ácido ascórbico), sob efeito da irradiação, é convertida em ácido dehidroascórbico, que é outra forma ativa desta vitamina (MELLO, 2001).

As investigações realizadas sobre a química e a bioquímica da irradiação de alimentos centram-se na natureza e medida dos produtos radiolíticos gerados. Mas as pesquisas mostram que tais produtos são idênticos aos encontrados em alimentos submetidos aos métodos convencionais de conservação (WHO, 1995).

2.2.3.2 EFEITOS DA IRRADIAÇÃO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ALIMENTOS

Como outros tratamentos convencionais, a irradiação induz mudanças químicas nos alimentos. A energia da radiação pode causar reações químicas, e a extensão destas aumenta com o aumento da dose de radiação (OMS, 1995).

A radiação gama não é capaz de ionizar a matéria diretamente, mas a energia dos fótons é suficiente para expulsar alguns elétrons das órbitas atômicas da matéria irradiada, gerando elétrons livres de alta energia, íons positivos e radicais livres, quando ligações químicas são quebradas. Na irradiação gama, a energia absorvida pelos alimentos é muito baixa. O Efeito Compton, caracterizado pelo espalhamento de elétrons do material absorvedor e dos fótons incidentes predomina durante o processo, gerando elétrons livres energéticos (OMS, 1995).

Quando elétrons de alta energia passam pela matéria eles causam três efeitos de notório interesse nos estudos sobre mudanças químicas nos alimentos irradiados, esses efeitos são didaticamente descritos como efeitos químicos primários, efeitos químicos secundários e efeitos da radiação ionizante na água (OMS, 1995).

2.2.3.2.1 EFEITOS QUÍMICOS PRIMÁRIOS

Os efeitos químicos primários geram como produto final moléculas excitadas e podem ocorrer de duas formas, excitação das moléculas e ionização.

a) Excitação das moléculas, onde os fótons incidentes sobre o alimento interagem diretamente com as moléculas e as excitam:



b) Ionização, onde um elétron é espalhado pelo fóton deixando o íon excitado $(A^+)^*$ e posteriormente neutralizado pela captura de um elétron, deixando a molécula excitada A^* , como mostrado nas equações 2.2 e 2.3:



Uma molécula excitada pode reter sua energia extra por um período de aproximadamente 10^{-8} segundos. A perda da energia de excitação pode ocorrer de várias maneiras e as reações produzirem novos produtos que podem ser moléculas estáveis ou entidades reativas como os radicais livres. Os radicais livres são átomos ou moléculas que tem um ou mais elétrons não pareados que estão disponíveis para formar uma ligação química, são representados geralmente com um ponto, como mostrado na Eq. 2.4 (OMS, 1995).



2.2.3.2.2 EFEITOS QUÍMICOS SECUNDÁRIOS

Por causa da alta reatividade dos radicais livres produzidos no efeito primário, efeitos químicos secundários podem ocorrer. Esses efeitos resultam de vários tipos de reações dos radicais livres, incluindo:

- Adição;
- Combinação;
- Dissociação;
- Recombinação;
- Desproporcionamento (dismutação); e
- Captura de elétron.

O processo completo que leva aos produtos finais estáveis como um resultado da irradiação de algum meio é chamado de radiólise e os produtos dos efeitos primários e secundários são os produtos radiolíticos. Esse processo ocorre em frações de micro segundos. Por causa de alguns produtos finais não serem estáveis, efeitos pós-irradiação podem ocorrer em alguns sistemas por dias ou meses.

Uma observação bastante pertinente é que os radicais livres não ocorrem somente em produtos irradiados. Vários métodos de conservação que envolvem reações bioquímicas em produtos derivados de plantas e animais, assim como a secagem e o calor também produzem radicais livres (OMS, 1995).

2.2.3.2.3 EFEITOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE NA ÁGUA

Os efeitos da radiação ionizante na água são de particular interesse na irradiação de alimentos. A água está presente em quase todos os alimentos. Estas proporções são aproximadamente 90% nos vegetais, 80% nas frutas, 60% em carnes, e 40% nos pães. Produtos aparentemente secos contem alguma água: farinha de trigo 13%, vegetal seco por volta de 10%, nozes 5%. Quando água pura é irradiada os produtos radiolíticos formados são (OMS, 1995):

- Radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$);
- Elétron aquoso($e^{-\text{aq}}$);
- Átomo de hidrogênio ($\bullet\text{H}$);
- Hidrogênio (H_2);
- Peróxido de hidrogênio (H_2O_2); e
- Próton hidratado (H_3O^+)

O elétron (e^-) e o íon hidrogênio (H^+) não podem existir livremente em meio aquoso. Eles estão sempre associados com moléculas de água. Enquanto a hidroxila, o elétron aquoso e o íon de hidrogênio, são espécies transitórias muito reativas, o hidrogênio e peróxido de hidrogênio são os únicos produtos finais

estáveis da radiólise da água. Por causa das reações descritas abaixo, o hidrogênio e o peróxido de hidrogênio são largamente consumidos. Eles são, portanto produzidos com baixo rendimento, mesmo quando irradiados com doses altas (OMS, 1995).



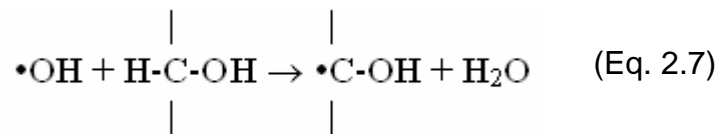
Quando a água está saturada de oxigênio pode aumentar grandemente a produção de peróxido de hidrogênio que por serem largamente consumidos, tem grande significado em alimentos irradiados. Todos os alimentos contem substâncias que podem oxidar ou reduzir atacadas por esta espécie até que ela alcance o equilíbrio (OMS, 1995).

2.2.3.2.4 EFEITOS DA RADIAÇÃO IONIZANTE EM OUTROS COMPONENTES DO ALIMENTO

Além da água, os componentes principais dos alimentos são carboidratos, proteínas e lipídeos.

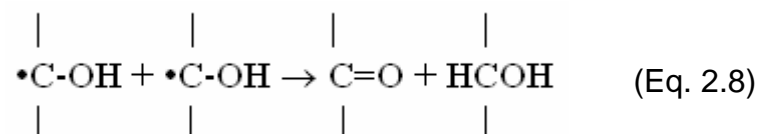
2.2.3.2.4.1 CARBOIDRATOS

Na presença de água, carboidratos são atacados principalmente por radicais $\bullet\text{OH}$. Elétrons hidratados e átomos $\bullet\text{H}$ em menor quantidade. Os radicais $\bullet\text{OH}$ abstraem predominantemente o hidrogênio de ligações C-H, formando água como mostrado na equação 2.7:

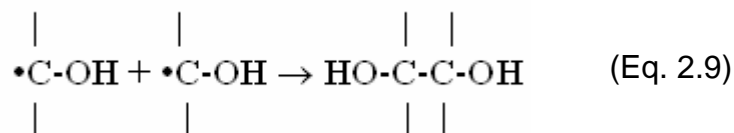


Os radicais resultantes da retirada de hidrogênio reagem por vários mecanismos:

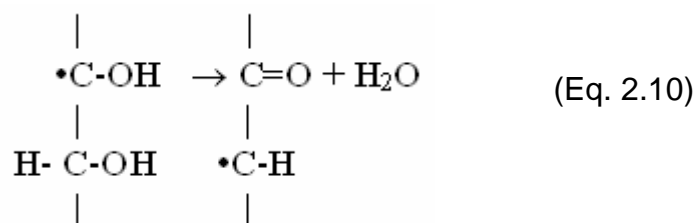
I) Desproporção:



II) Dimerização:



III) Desidratação:



Dependendo da posição molecular do C=O formado pela desproporção ou desidratação, o produto resultante pode ser um ácido, uma cetona, ou um aldeído. Deste modo, retirando H do C-1 da glicose pode induzir para ácido glucônico:

Desde que radicais •OH podem retirar hidrogênio de todos os seis átomos de carbono da glicose, uma variedade de produtos, podem ser formados.

Quando dissacarídeos ou polissacarídeos são irradiados, as reações observadas com monossacarídeos também podem ocorrer. Adicionalmente, as ligações glicosídicas que conectam as unidades de monossacarídeos podem ser quebradas. Dextrinas, maltoses e glicose são produzidas. Esta redução do grau de polimerização em polissacarídeos reduz a viscosidade das soluções. A solubilidade aumenta com o aumento da dose de irradiação(OMS, 1995).

Resultados muito diferentes podem ser obtidos irradiando açúcar cristalizado em vez de solução aquosa de açúcar. A indústria farmacêutica utiliza açúcar cristalino como carreador de medicamentos. Este açúcar é esterilizado(OMS, 1995).

Quando carboidratos são irradiados como componentes do alimento, eles são muito menos sensíveis a radiação do que em forma pura. As proteínas apresentam ação protetora para os carboidratos (OMS, 1995).

2.2.3.2.4.2 PROTEÍNAS

Proteínas consistem de cadeias de aminoácidos conectados por ligações peptídicas. A discussão do efeito da radiação nas proteínas é baseada no estudo da química da radiação dos aminoácidos.

Reações iniciadas com elétrons hidratados são a maior rota na radiólise de aminoácidos e proteínas.

Quando proteínas são irradiadas na presença de água, todas as reações às quais são possíveis apenas com aminoácidos também são com proteínas contendo esses aminoácidos. A Irradiação de proteínas e aminoácidos na ausência de água também é estudada.

Com 20 aminoácidos constituintes das proteínas e com três espécies reativas da radiólise da água, muitas interações complexas são possíveis. Efeitos adicionais são exercidos pela configuração espacial da cadeia protéica, determinada pelas pontes de hidrogênio, pontes dissulfeto, ligações hidrofóbicas e ligações iônicas. Aminoácidos, os quais são sensíveis ao ataque de radicais quando irradiados sozinhos são muito menos sensíveis quando eles fazem parte da estrutura da proteína e são mais ou menos inacessíveis a reações com radicais. Um outro fator provável que também contribui para a maior resistência das proteínas comparadas com aminoácidos isolados é que devido a maior ou menor rigidez da estrutura espacial da molécula de proteína, radicais resultantes da irradiação são mantidos na posição e tem alta chance de recombinação.

A grande proporção de energia radiante depositada em proteínas irradiadas aparentemente avança para desnaturação, mudanças na cadeia secundária e terciária, antes da destruição dos aminoácidos constituintes. Essa desnaturação é muito menos extensiva que a causada pelo calor. Por isso costuma-se combinar radiação com calor quando o objetivo é conservar o alimento por longos períodos de armazenamento, pois as enzimas são mais sensíveis ao calor (OMS, 1995).

2.2.3.2.4.3 LIPÍDIOS

Na presença de oxigênio, a irradiação pode também acelerar a autooxidação de gorduras. Isto pode ocorrer porque a irradiação acelera uma ou mais das seguintes reações: formação de radicais livres, os quais podem combinar com o oxigênio formando hidroperóxidos; quebrando hidroperóxidos, dando ação a vários produtos de decomposição, particularmente compostos carbonilas e destruição de antioxidantes.

Lipídios são normalmente expostos à irradiação como constituintes de alimentos coexistindo com outros em maior ou menor quantidade. Os produtos radiolíticos obtidos em lipídeos isolados são encontrados, quando estes fazem parte

de alimentos, só que em menor proporção. Isto porque o efeito da radiação é dividido entre todos os constituintes do alimento.

Em pesquisas observou-se que quando triglicerídeos foram irradiados com doses altíssimas 250,0 kGy, os produtos voláteis e não voláteis formados eram muito parecidos com os obtidos pelo aquecimento de frituras a 1800°C por 1 hora.

A irradiação resulta em destruição parcial das vitaminas lipossolúveis, e o tocoferol é particularmente sensível (OMS, 1995).

2.2.3.2.4.4 VITAMINAS

As vitaminas são compostos orgânicos que variam amplamente quanto à estrutura química e atividade biológica, podendo funcionar tanto como co-fatores de enzimas em diferentes reações bioquímicas, quanto como antioxidantes/oxidantes, modulando o balanço oxidativo, e até mesmo como hormônios, regulando a expressão gênica (SILVA & NAVES, 2001). As vitaminas são divididas em dois grupos principais: vitaminas lipossolúveis (A, D, E, K) e vitaminas hidrossolúveis (complexo B, C, H). O comportamento químico dos dois grupos é distinto, tal como as suas fontes. As primeiras - lipossolúveis - possuem uma estrutura química semelhante a alguns lipídios (esteróides) e são armazenadas pelo organismo com relativa facilidade. Este processo é, contudo, energeticamente dispendioso uma vez que exige a síntese de gorduras de reserva. A sua eliminação é também mais complexa e envolve um processo de mobilização hepática. As vitaminas do segundo grupo referido - hidrossolúveis - são, por seu lado, facilmente eliminadas pelo organismo através do complexo renal, daí que situações de excesso sejam pouco frequentes. A sua estabilidade química é também menor que as anteriores (também por isso são mais facilmente eliminadas) e não são armazenadas no organismo com facilidade, necessitando de uma reposição constante. As vitaminas hidrossolúveis são facilmente inativadas pela luz e temperatura, outras são oxidadas quando misturadas na água (SILVA & NAVES, 2001).

As vitaminas são sensíveis a todos os métodos de conservação, principalmente os térmicos. Na irradiação, sabe-se que a vitamina B1 (tiamina) é das mais sensíveis. A vitamina C (ácido ascórbico), sob efeito da irradiação, é convertida em ácido dehidroascórbico, que é outra forma ativa da vitamina C. Alterações nas características organolépticas podem ser minimizadas combinando a irradiação com alguns dos outros métodos de conservação. O sucesso nessa combinação permite diminuir as doses de radiação aplicadas. (KILCAST, 1994).

De acordo com RIOS & PEANTEADO (2002), as variações de vitamina E no alho só ocorrem para doses acima de 200 Gy, e segundo KWON *et al* (1985), a dose mínima para evitar o brotamento do alho é de 75 Gy. Portanto a irradiação do alho é segura para inibir seu brotamento.

Segundo LIMA *et al* (2001), no trabalho sobre efeito da irradiação ionizante gama na qualidade pós-colheita de cenoura, para doses de 1,0 kGy, houve manutenção da qualidade do produto para vários fatores incluindo vitamina C.

No trabalho sobre o uso da radiação gama na conservação pós-colheita do tomate de mesa em estágio maduro, CONEGLIAN *et al* (2004) utilizou a combinação de processos de conservação, aplicada a irradiação a 0,25, 0,50 e 1,0 kGy, e armazenados sob refrigeração. Nos resultados obtidos verificou-se que ocorreu a manutenção dos níveis iniciais de vitamina C em todos os frutos tratados até o período final de avaliação, não havendo diferença entre os mesmos, com exceção de 12º dia, em que os frutos submetidos a 0,50 kGy apresentaram níveis mais altos da vitamina em relação ao tratamento com 1,0 kGy, o que não concorda com citação de Kilcast (1994) e OMS (1995) onde é preconizada uma redução em pequenas proporções de vitaminas pelo emprego da irradiação e de outros métodos convencionais de processamento. Os tomates que receberam dose de 0,25 kGy e o controle ficaram em níveis intermediários.

TAIPINA (2003) estudou o efeito da radiação gama sobre a vitamina A e o beta caroteno de fígado bovino e suíno. Foram analisados o conteúdo e o percentual de retenção de atividade de vitamina A e β -caroteno em amostras de fígado bovino e patê de fígado suíno irradiados com doses de 3,0 kGy e 30,0 kGy de radiação gama por irradiador de cobalto 60. Os resultados mostraram que não houve perda alguma de vitamina A nem da pró-vitamina A nas amostras de fígado bovino e patê de fígado suíno irradiadas com doses de 3,0 kGy. Por outro lado, nas amostras de patê

de fígado, 40% da atividade de vitamina A foi retida após a irradiação com uma dose de 30,0 kGy.

A alteração dos níveis de concentração de vitamina C do suco natural de laranja utilizando a irradiação foi estudada por IEMMA *et al.*(1999). As amostras de suco natural foram extraídas de laranjas da variedade “Pêra”, irradiadas a uma taxa de dose de 2,0 kGy por hora (cobalto 60), e em seguida foram armazenadas sob refrigeração ($5 \pm 3^{\circ}\text{C}$). Verificou-se que com o aumento da dose de radiação e o prolongamento do período de armazenamento houve redução no conteúdo de vitamina C do suco. Os resultados mostram que a perda desta vitamina pela irradiação foi de 17% para a dose de 2,0 kGy, de 45% para a dose de 4,0 kGy e de 55% para a dose de 6,0 kGy. A radiação gama se mostrou eficaz na redução da população microbiana do suco de laranja, mas com a necessidade do aumento da vida de prateleira do suco, há a necessidade de uma maior dose, com isso maior perda de vitamina C. MAXIE (1969) apud IEMMA (1999), não observou perdas significativas de ácido ascórbico em laranjas irradiadas e armazenadas a 0°C por 100 dias. No entanto, verificou redução no conteúdo de ácido ascórbico em limões irradiados e armazenados a 15°C por um mês. O conteúdo de vitamina C do suco de laranja foi afetado pela dose de radiação e pelo período de armazenamento porque ambos provocaram redução no conteúdo da vitamina do suco.

DIEHL (1990) apud SIQUEIRA (2001), conclui que, para se ter menor perda de vitamina A e B1 (tiamina), quando o alimento é tratado com irradiação, este deve ser embalado a vácuo e processado a baixa temperatura. Filés de *Scylliorhinus retifer* irradiados a 0°C , com doses de 3,0 kGy, não sofreram efeitos no teor de vitamina A; enquanto, houve perda de 45% quando o mesmo foi irradiado a 30,0 kGy.

2.2.4 VANTAGENS DA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

A irradiação pode ser utilizada para aumentar a durabilidade dos alimentos e assim reduzir as perdas pós-colheita, por irradiação das sementes, raízes, legumes e frutos, destruindo insetos, combatendo fungos, pasteurizando ou esterilizando produtos alimentícios, garantindo um bom armazenamento. Os efeitos da radiação

nos alimentos também incluem retardar o amadurecimento de frutas e a germinação de alimentos, como batata e cebola, prolongar o tempo de vida útil e melhorar caracteres organolépticos de alguns alimentos, como a brancura da farinha de trigo. O processo também contempla efeitos sanitários como promover a eliminação parcial ou total de microrganismos patogênicos ou parasitos presentes na estrutura física dos alimentos, evitando suas ações espoliativas, tóxicas, mecânicas, traumáticas, inflamatórias e enzimáticas. Essas vantagens sanitárias são de extrema importância para hospitais na alimentação de pacientes crônicos durante seus tratamentos, proporcionando ainda a redução de tempo de internação e custos hospitalares (ROCHA & SOUZA, 2007). Sendo assim, o processo de irradiação acarreta vantagens de ordem econômica com maiores e melhores colheitas, menor incidência de doenças sobre os alimentos, mais ampla variedade de produtos durante todo o ano e possibilidade de incremento das exportações (SOUZA, 2008). Os consumidores também são favorecidos com melhor qualidade e variedade de produtos seguros. Para a sociedade isto significa mais saúde pública e aumento das rendas *per capita* e nacional (WHO, 1995).

2.2.5 LEGISLAÇÃO

No Brasil, a legislação sobre irradiação de alimentos existe desde 1985, através da Portaria DINAL nº 09 (BRASIL, 1985). Esta portaria foi revogada pela Resolução ANVISA RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, que aprovou o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos. Tal resolução estabelece como dose mínima àquela suficiente para alcançar a finalidade pretendida e como dose máxima àquela inferior à dose que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento (BRASIL, 2001). As fontes de radiações ionizantes autorizadas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear para utilização nos estudos de irradiação de alimentos são os emissores de raios gama, cobalto-60 e césio-137, os raios X, gerados por máquinas que trabalham com energias de até 5MeV, e elétrons acelerados, gerados por máquinas que trabalham com energias de até 10MeV.

O anexo I da Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de julho de 1997, descreve o regulamento técnico sobre as condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos, o qual tem como objetivo estabelecer os requisitos gerais de higiene e de Boas Práticas para alimentos produzidos/fabricados para o consumo humano (BRASIL, 1997). A legislação brasileira exige o cumprimento do Manual de Boas Práticas de Fabricação para que o produto seja irradiado. “A irradiação, assim como qualquer outro processo de tratamento de alimentos, não deve ser utilizada em substituição as boas práticas de fabricação e ou agrícolas” (BRASIL, 2001; LADOMERY, 1993; POTHISIRI, 1993; TAPE, 1992).

Alimentos irradiados para o consumo devem ser rotulados com o símbolo internacional denominado "Radura", mostrado na FIG. 2.11, além de apresentarem os dizeres exigidos para os alimentos em geral. O símbolo deve ser acompanhado pelas palavras "tratado por irradiação" ou "tratado com radiação". Esta rotulagem é exigida por lei para informar aos consumidores que eles estão comprando um alimento que foi processado. Este aviso é necessário pelo fato da radiação não deixar vestígio indicando que o alimento foi irradiado, seja pela aparência, cheiro ou toque. Isto contrasta com outras técnicas de processamento, tais como cozinhar, enlatar ou congelar, processos em que se percebe o tratamento (LIMA, 2002).



FIG. 2.11 O símbolo internacional “Radura”. (HENKEL, 1998)

2.2.6 ACEITABILIDADE DO CONSUMIDOR

A aprovação governamental da irradiação de carne de frango, juntamente com a instalação na Flórida do primeiro irradiador norte americano totalmente dedicado à irradiação de alimentos, fez com que a tecnologia de irradiação de alimentos recebesse, durante os anos noventa, um grande interesse do público. Estudos relacionados com o consumo, nos Estados Unidos, indicam que 45% a 55% dos consumidores desejariam comprar carne vermelha ou de frango irradiadas. Produtos irradiados da Flórida estão à disposição dos consumidores em certos mercados do país desde 1992. Carne de frango tem sido irradiada para controlar a *Salmonella* e colocada à disposição em mercados dos Estados Unidos desde 1993 (TAUXE, 2001).

Mas existe uma preocupação por parte da população, no que se refere à dose segura para irradiar alimentos. No entanto, após 30 anos de estudos ainda não se encontrou qualquer risco diretamente associado à ingestão de alimentos irradiados (MELLO, 2001).

Outra preocupação da população se refere à qualidade dos alimentos irradiados. Segundo KADER *et al.* (1989), qualidade é definida como “combinação de atributos que incluem a aparência, a textura, o sabor, o aroma e o valor nutricional na alimentação humana”. A preocupação dos consumidores está relacionada às possíveis alterações que a irradiação poderia causar nos alimentos como, por exemplo, cor, textura e sabor. Nem todos os alimentos podem ser irradiados. Um exemplo é o leite, que adquire um sabor impalatável. Para se adotar a irradiação como um processo de conservação de alimentos, é preciso realizar um estudo das características sensoriais pós-tratamento. Na maioria dos casos, essas alterações são mínimas ou inexistem (SOUZA, 2008).

2.3 TÉCNICAS ANALÍTICAS

2.3.1 ESPECTROFOTOMETRIA

Os métodos espectroscópicos baseiam-se na absorção e/ou emissão de radiação eletromagnética por muitas moléculas, quando os seus elétrons se movimentam entre níveis energéticos. A espectrofotometria baseia-se na absorção da radiação nos comprimentos de onda entre o ultravioleta e o infravermelho.

O espectro do visível está contido essencialmente na zona entre 400 e 800 nm de comprimento de onda .

Quando a radiação interage com a matéria, um certo número de processos pode ocorrer, incluindo reflexão, espalhamento, absorção, fluorescência/fosforescência (absorção e reemissão), e reações fotoquímicas (absorção e quebra de ligações químicas) (GORDON, 1995).

Como a luz é uma forma de energia, a absorção de luz pela matéria faz com que a quantidade de energia das moléculas (ou átomos) aumente.

A energia potencial total (Eq. 2.11) de uma molécula é representada geralmente como a soma de suas energias eletrônica, vibracional e rotacional:

$$E_{total} = E_{eletrônica} + E_{vibracional} + E_{rotacional} \quad (\text{Eq. 2.11})$$

A quantidade de energia que uma molécula possui em cada uma das formas não é contínua mas uma série de níveis discretos ou níveis de estado. As diferenças de energia entre os diferentes estados são na seguinte ordem:

$$E_{eletrônica} > E_{vibracional} > E_{rotacional} \quad (\text{Eq. 2.12})$$

No processo de excitação eletrônica, o comprimento de onda da luz absorvida é aquele que tem energia suficiente para mover um elétron de um nível inferior de energia para um nível superior de energia (GORDON, 1995).

Para transições eletrônicas, a diferença de energia entre o estado fundamental e o estado excitado é relativamente grande. Além disso, a absorção de energia e o retorno para o estado fundamental são processos rápidos, e o equilíbrio é alcançado muito rapidamente. Dessa forma, uma simples relação linear entre absorbância e concentração e a relativa facilidade de medida da intensidade da luz têm feito com que a espectroscopia seja a base de vários métodos analíticos quantitativos (GORDON, 1995).

Quando a luz passa através de uma amostra ou quando ela é refletida de uma amostra, a quantidade de luz absorvida é a diferença entre a radiação incidente (I_0) e a radiação transmitida (I). A quantidade de luz absorvida é expressa tanto como transmitância ou absorbância (GORDON, 1995).

Transmitância é dada normalmente em termos de uma fração da radiação transmitida (I) ou como uma porcentagem e, é definida como:

$$T = I/I_0 \text{ ou } T_{\%} = (I/I_0) 100 \quad (\text{Eq. 2.13})$$

A absorbância é definida como:

$$A = - \log T \quad (\text{Eq. 2.14})$$

A primeira formulação matemática relacionando transmitância da luz com concentração de uma substância foi atribuída a Lambert em 1760, embora tenha sido comentado que Bouguer já tenha verificado este efeito em 1729:

$$T = I/I_0 = 10^{-kb} \quad (\text{Eq. 2.15})$$

onde: T = transmitância;
I_o = intensidade transmitida;
I = intensidade incidente;
k = constante;
b = comprimento do percurso (cm).

A lei de Beer é idêntica à lei de Bouguer, exceto que está relacionada com a concentração. A quantidade de luz absorvida é proporcional ao número de moléculas que absorvem através da passagem da luz.

Combinando as duas leis resulta na lei de Beer-Bouguer-Lambert:

$$T = I/I_0 = 10^{-kbc} \quad (\text{Eq. 2.16})$$

Onde: c = concentração das espécies absorvedoras (expresso normalmente em g L⁻¹ ou mg L⁻¹).

2.3.2 CROMATOGRAFIA

A espectroscopia (em todas as suas variedades) é a técnica analítica mais usada na identificação de compostos moleculares. Mas a sua utilização e eficiência requerem que o material em estudo esteja em grau de alta pureza. A cromatografia é um método físico químico de separação dos componentes de uma mistura, realizada através da distribuição destes componentes entre duas fases, que estão em contato íntimo. Uma das fases permanece estacionária enquanto a outra se move através dela, durante a passagem da fase móvel sobre a fase estacionária, os componentes da mistura são distribuídos entre as duas fases, de tal forma que cada um dos componentes é seletivamente retido pela fase estacionária, resultando em migração diferenciais destes componentes. A grande variedade de combinações entre fases móveis e estacionárias a torna uma técnica extremamente versátil e de grande aplicação (DEGANI *et al*, 1998).

Existem vários tipos de cromatografia e abordamos a seguir a única técnica utilizada no trabalho, a cromatografia líquida de alta eficiência.

2.3.2.1 CROMATOGRAFIA LÍQUIDA DE ALTA EFICIÊNCIA (CLAE)

As fases móveis utilizadas em CLAE devem possuir alto grau de pureza e estar livres de oxigênio ou outros gases dissolvidos, sendo filtradas e degaseificadas antes do uso. A bomba deve proporcionar ao sistema vazão contínua sem pulsos com alta reprodutibilidade, possibilitando a eluição da fase móvel a um fluxo adequado. As válvulas de injeção usadas possuem uma alça de amostragem para a introdução da amostra com uma seringa e duas posições, uma para o preenchimento da alça e outra para sua liberação para a coluna. Existem loops de diversos volumes, sendo utilizadas geralmente alças na faixa de 5-50 mL para injeções analíticas e 0,5-2,0 mL para preparativas. As colunas são geralmente de aço inoxidável, com diâmetro interno de cerca de 0,45 cm para separações analíticas e na faixa de 2,2 cm para preparativas. O comprimento é variável, sendo comuns colunas analíticas de 10-25 cm e preparativas em torno de 25-30 cm. Essas colunas são reaproveitáveis, sendo empacotadas com suportes de alta resolução, não sendo necessária sua regeneração após cada separação. O detector mais utilizado é o detector de ultravioleta, sendo também empregados detectores de fluorescência, de índice de refração, e eletroquímicos, entre outros (Silva, 2008). Detectores de polarimetria para CLAE, recentemente desenvolvidos, diferenciam compostos quirais, através da rotação de seus estereoisômeros frente à luz plano-polarizada. O registro de dados pode ser feito através de um registrador, um integrador ou um microcomputador (DEGANI *et al*, 1998).

A versatilidade desta técnica reside no grande número de fases estacionárias existentes, as quais possibilitam análises e separações de uma ampla gama de compostos com alta eficiência. Tem sido utilizada em várias áreas da ciência, no acompanhamento de sínteses, em análises de pesticidas, feromônios, no isolamento de produtos naturais e sintéticos e na produção e controle de qualidade de medicamentos, dentre tantas outras aplicações. As separações em CLAE podem se dar por adsorção, partição ou ambos. O suporte mais comumente utilizado é a sílica. O uso de fases estacionárias líquidas adsorvidas a um suporte não tem grande aplicação devido à perda de fase estacionária, mas o uso de suportes modificados, os quais foram desenvolvidos como consequência do problema acima, possibilita a

produção de uma imensa variedade de colunas com diferentes propriedades e tipos de seletividade. As fases assim obtidas são chamadas de quimicamente ligadas (DEGANI *et al*, 1998).

Essas fases, dependendo da modificação feita ao suporte, podem atuar no modo normal, reverso ou ambos. Na cromatografia em fase normal, a fase estacionária é mais polar que a fase móvel, e em fase reversa, a fase móvel é mais polar. Separações analíticas são predominantemente realizadas em fase reversa, sendo a fase C18 (octadecilsílica) a mais usada, ao passo que são preferidas fases que atuem no modo normal para fins preparativos, em vista de que separações no modo reverso utilizam fases móveis aquosas. Entre as fases quimicamente ligadas, merecido destaque deve ser dado às fases estacionárias quirais, as quais possibilitam a separação direta de enantiômeros. Para tanto, é necessária a presença de um seletor quiral como parte integrante da fase estacionária (DEGANI *et al*, 1998).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ORIGEM DOS FRUTOS

As amostras do fruto para a realização desse trabalho foram obtidas em Belém, Pará. As amostras foram adquiridas no mercado municipal do Ver-o-Peso na capital Belém no mês de setembro de 2007, no estado ótimo para consumo. As amostras foram transportadas via aérea em sacos de polietileno contidos em caixa de papelão. Ao chegarem ao Rio de Janeiro, foram lavados, acondicionados em sacos de polietileno em grupos de 3 unidades e congelados até a irradiação.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 PROCESSO DE IRRADIAÇÃO

A irradiação das amostras ocorreu no Centro Tecnológico do Exército (CTEx), localizado em Guaratiba, RJ, com o Irradiador Gama de Pesquisa com fonte de céscio 137. O irradiador é do tipo “cavidade blindada” e possui volume útil da ordem de 100 L. A figura 3.1 mostra o irradiador utilizado no CTEx.

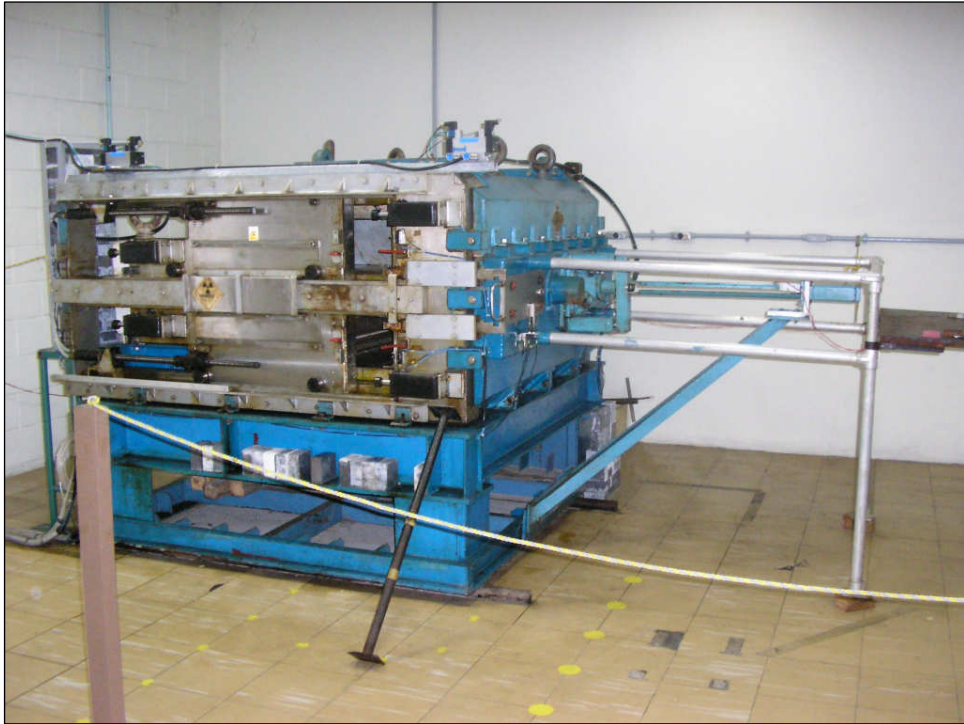


FIG 3.1 Irradiador Gama de Pesquisa do Centro Tecnológico do Exército.

O irradiador é considerado de grande porte. Projetado e montado na *Brookhaven National Laboratory* (EUA) em 1969. A atividade inicial da fonte tinha o valor de $3,99 \times 10^{15}$ Bq (108.000Ci). A atividade atual é de cerca de 45000Ci.

A fonte se apresenta na forma de duas hastes dispostas paralelamente, com 28 pastilhas de cloreto de cézio-137, duplamente encapsuladas em aço inoxidável.

Produz taxas de doses entre 1,0 e 1,8kGy/h com boa uniformidade. A razão entre dose máxima e mínima é inferior a 20%.

O tempo de exposição é calculado considerando-se a atividade atual da fonte, a dose média desejada (Gy), o diâmetro ou altura máxima, densidade e geometria da amostra, a alta-atenuação e o fator de Build-up (VITAL & VELLOZO, 1996).

O irradiador possui ainda vários sistemas de segurança, os quais incluem dispositivos lógicos e travas fixas, que garantem o funcionamento seguro, eliminando qualquer possibilidade de exposição acidental à fonte (LIMA, 2003).

3.2.2 CÁLCULO DA TAXA DE DOSE

Os fatores para cálculo da taxa de dose são o decaimento da fonte, altura da amostra, auto-atenuação e o fator de build-Up.

O cálculo dos tempos de exposição foi realizado usando um programa desenvolvido especialmente para o irradiador, com base em um mapeamento dosimétrico, o qual leva em consideração: o decaimento da fonte, a altura, densidade e geometria da amostra (SILVA, 2008).

3.2.3 IRRADIAÇÃO DOS FRUTOS

Os Tucumãs foram separados, três a três, em sacos plásticos identificados com etiquetas para cada dose aplicada, a saber, 0,5 kGy, 1,0 kGy e 2,0 Kgy e ainda o não irradiado, denominado “controle”.

Após a irradiação, as amostras foram imediatamente acondicionadas numa caixa térmica e transportadas para os laboratórios de cromatografia da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) Agroindústria de Alimentos, Guaratiba, RJ.

A Embrapa Agroindústria de Alimentos possui laboratório acreditado pelo INMETRO para o ensaio de carotenóides.

3.3 FLUXOGRAMA DO PROCESSO

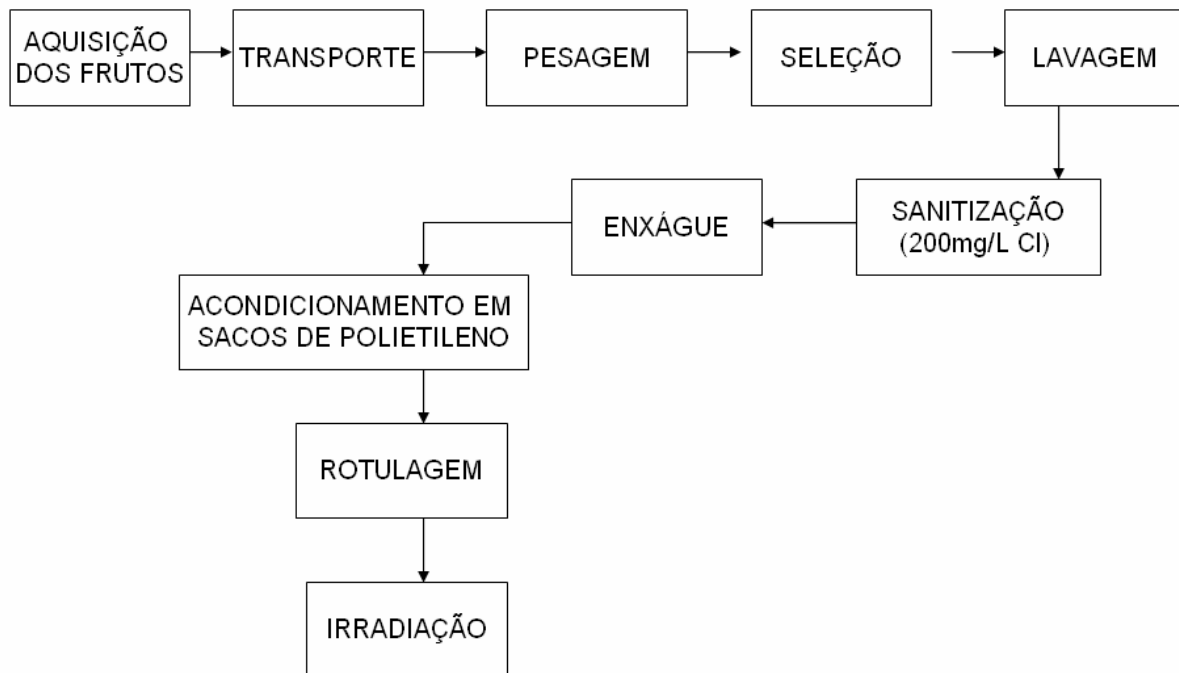


FIG 3.2 Fluxograma do processo.

3.4 ANÁLISES QUÍMICAS

3.4.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Os frutos controle e irradiados foram descongelados na véspera das análises e despulpados. Em seguida foram acondicionados em sacos plásticos igualmente identificados com as doses de 0,5 kGy, 1,0 kGy, 2,0 kGy e o controle para então serem encaminhados para armazenamento congelado, onde ficaram até as análises de ácido ascórbico, tiamina, riboflavina, carotenóides, aminoácidos e açúcares.

3.4.2 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE VITAMINAS

3.4.2.1 VITAMINA C

As análises de ácido ascórbico foram feitas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em duplicatas nas amostras irradiadas com 0,5 kGy, 1,0 kGy e 2,0 kGy e nas amostras controle (não irradiadas).

3.4.2.1.1 MÉTODO DE EXTRAÇÃO

A amostra de tucumã foi triturada em blender e homogeneizada com bastão de vidro. Massas de aproximadamente 2,5g da amostra triturada foram pesados em balão volumétrico âmbar de 25 mL, adicionando-se em seguida aproximadamente 10mL de solução aquosa H_2SO_4 0,1 N. Levou-se o balão ao ultrassom por 10 minutos, completando-se em seguida o seu volume com a mesma solução de H_2SO_4 0,1 N. O extrato final obtido foi filtrado em papel de filtro diretamente para o vial âmbar do injetor automático.

As massas para a análise de ácido ascórbico estão descritas na Tabela 3.1.

TAB. 3.1 Massas das polpas de tucumãs irradiados e controle (não irradiados) para extração e quantificação de ácido ascórbico.

Amostra	Massa (g)	Média da massa (g)
Controle	2,5603	2,6010
Controle (duplicata)	2,6417	
Dose de 0,5 kGy	2,5081	2,5044
Dose de 0,5 kGy (duplicata)	2,5008	
Dose de 1,0 kGy	2,5589	2,5543
Dose de 1,0 kGy (duplicata)	2,5497	
Dose de 2,0 kGy	2,5813	2,5617
Dose de 2,0 kGy (duplicata)	2,5421	

3.4.2.1.2 CONDIÇÕES CROMATOGRÁFICAS DAS ANÁLISES

As condições cromatográficas da análise de ácido ascórbico estão descritas abaixo.

- Coluna: HPX 87 H BIO RAD (7,8 x 300mm);
- Detector: UV 243,8 nm;
- Volume de injeção: 20 μ L;
- Tempo de corrida: 10min;
- Temperatura do injetor: 5°C;
- Vazão de fase móvel: 0,7 mL/min;
- Fase móvel: Solução aquosa de ácido sulfúrico 0,1 M.

3.4.2.2 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE VITAMINA B₁ E VITAMINA B₂

A análise dos teores de tiamina e riboflavina ocorreu por CLAE. As amostras foram analisadas em duplicatas.

3.4.2.2.1 MÉTODO DE EXTRAÇÃO

A amostra de tucumã foi triturada em blender e homogeneizada com bastão de vidro. Aproximadamente 1,5g da amostra foi transferida para erlenmeyer âmbar de 125mL juntamente com 15mL de solução aquosa HCl à 0,1 M. A tampa do erlenmeyer foi travada e selada com parafilm, fita crepe e papel e submetida a autoclave por 30 minutos a 121°C. Após a retirada da amostra da autoclave, esta foi resfriada em banho de gelo e em seguida adicionada solução de acetato de sódio 2,5M até atingir pH 4,0. Foi adicionado 150mg da Enzima Takadiastase no erlenmeyer, sendo este fechado para ser encaminhado ao banho Maria à 38°C com

agitação por 16 horas. Após o banho, a amostra foi resfriada em temperatura ambiente e transferido todo o conteúdo do erlenmeyer para balão volumétrico âmbar de 100mL com solução aquosa HCl 0,1 M avolumando-o com HCl a 0,1 M. A amostra foi filtrada em papel de filtro rápido e transferida para frasco de vidro âmbar devidamente identificado.

As massas em duplicata para a análise de tiamina e riboflavina, assim como as médias das massas estão descritas na Tabela 3.2.

TAB. 3.2 Massas das polpas de tucumãs irradiados e controle (não irradiados) para extração e quantificação de tiamina e riboflavina.

Amostra	Massa (g)	Média da massa (g)
Controle	1,5030	1,5043
Controle (duplicata)	1,5056	
Dose de 0,5 kGy	1,5052	1,5043
Dose de 0,5 kGy (duplicata)	1,5035	
Dose de 1,0 kGy	1,5027	1,5035
Dose de 1,0 kGy (duplicata)	1,5043	
Dose de 2,0 kGy	1,5052	1,5045
Dose de 2,0 kGy (duplicata)	1,5037	

3.4.2.2.2 CONDIÇÕES CROMATOGRÁFICAS DAS ANÁLISES

a) para vitamina B₁:

- Coluna: Coluna C18: 4,6 x 150mm e 5µm ou 3x100mm e 3,5 µm;
- Detector Fluorescência: $\lambda_{exc} = 368\text{nm}$ e $\lambda_{em} = 440\text{nm}$;
- Volume de injeção amostra: 20µL;
- Tempo de corrida cromatográfica: 10min;
- Temperatura do injetor: 5°C;
- Eluição Isocrática;
- Solução isocrática: 60% Hexanossulfonato de sódio e 40% Metanol;

- Vazão de fase móvel: 1,0 mL/min;
- Derivatização pós-coluna com ferricianeto de potássio alcalino;
- Vazão do reagente: 0,3mL/min;
- Temperatura da reação: ambiente;
- Tempo de retenção aproximado da vitamina B1: 7 minutos.

b) para vitamina B₂

- Coluna: Coluna C18: 4,6 x 150mm e 5µm ou 3x100mm e 3,5 µm;
- Detector Fluorescência: $\lambda_{exc} = 468\text{nm}$ e $\lambda_{em} = 520\text{nm}$;
- Volume de injeção amostra: 20µL;
- Tempo de corrida cromatográfica: 6 min;
- Temperatura do injetor: 5°C;
- Eluição Isocrática;
- Solução isocrática: 50% Água Milli-Q® e 50% Metanol;
- Vazão de fase móvel: 1,0 mL/min;
- Tempo de retenção aproximado da vitamina B2: 3 minutos;

3.4.3 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CAROTENÓIDES

3.4.3.1 MÉTODO DE EXTRAÇÃO

Para a extração de carotenóides totais cerca de 1g das amostras de tucumã foram maceradas com celite 545 e acetona em gral. A mistura foi filtrada em funil de vidro sinterizado sob vácuo por três vezes e transferida para funil de separação onde foi adicionado 40 mL de éter de petróleo. 300 mL de água Milli-Q foi adicionado lentamente ao funil. A fase aquosa inferior foi eliminada e amostra foi lavada por mais três vezes até não haver mais resíduos de acetona. A solução etérea foi transferida para balão volumétrico de 50mL, passando através de funil contendo sulfato de sódio anidro e avolumada com éter de petróleo.

3.4.3.2 CAROTENÓIDES TOTAIS

As amostras particionadas com éter de petróleo foram encaminhadas para determinação de carotenóides totais por espectrofotometria a 450 nm. As análises foram feitas em duplicata. O cálculo dos carotenóides totais é feito pela equação 3.1:

$$\text{Quantidade de carotenóides}(\mu\text{g/g}) = \frac{A \times V \times 10^4}{A_{1cm}^{1\%} \times \text{Massa da amostra(g)}} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Onde:

A = Absorvância;

$A_{1cm}^{1\%}$ = Absortividade Molar = 2592

V = Volume total do extrato

3.4.3.3 CAROTENÓIDES MAJORITÁRIOS

Depois da extração uma alíquota de 2mL da amostra é ressuspendida com 100 μ L de acetona sob agitação em vórtex e transferida via âmbar de volume reduzido para injeção no cromatógrafo. A análise de carotenóides foi feita em duplicata.

A análise cromatográfica foi realizada num cromatógrafo WATERS[®] (FIG. 3.2) com as seguintes condições cromatográficas:

- Coluna: YCM[®] Carotenoid S-3 de 4,6 x 250mm PN CT99S032546WT;
- Detector: Arranjo de Fotodiodos UV/Vis de 300 a 600 nm com configuração padrão;
- Fase móvel: gradiente de Metanol/Éter Metil *Terc*-Butil;
- Tempo de corrida: 28 minutos;
- Fluxo: 0,8 mL/min;

- Temperatura de coluna: 33°C;
- Temperatura do injetor: 15°C;
- pH de trabalho: 2 a 7;
- Volume padrão de injeção: 25µL.



FIG. 3.3 Cromatógrafo da WATERS® – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE).

TAB. 3.3 Massas das amostras de Tucumã irradiados e controle para extração e quantificação de carotenóides majoritários.

Amostra	Massa (g)	Média da massa (g)
Controle	1,0019	1,0018
Controle (duplicata)	1,0018	
Dose de 0,5 kGy	1,0001	1,0002
Dose de 0,5 kGy (duplicata)	1,0003	
Dose de 1,0 kGy	1,0083	1,0075
Dose de 1,0 kGy (duplicata)	1,0066	
Dose de 2,0 kGy	1,0008	1,0008
Dose de 2,0 kGy (duplicata)	1,0008	

Para a quantificação dos carotenóides totais foram utilizados as médias das massas, enquanto que para o calculo dos carotenóides majoritários foi utilizado os valores de massa das duplicatas.

3.4.4 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE AMINOÁCIDOS

Para a quantificação dos aminoácidos foi utilizado o sistema cromatográfico modelo Alliance 2695, mostrado na FIG. 3.4.



FIG. 3.4 Sistema cromatográfico utilizado na análise de aminoácidos.

3.4.4.1 MÉTODO DE EXTRAÇÃO

A extração das amostras ocorreu com a pesagem de 1g da poupa de tucumã. Em seguida encaminhou-se a massa para hidrólise com 5 mL de HCl 6N a 117°C por 20 horas. A amostra foi avolumada para balão de 50 mL com água milli-Q. Retiro-se uma alíquota de 50µl para secagem durante 24 horas sob vácuo. Depois

da secagem a amostra é encaminhada para a derivatização com o reagente 6-aminoquinolil-N-hidroxisucinimidil carbamato - (AQC). Após a derivatização a amostra é injetada.

3.4.4.2 CONDIÇÕES CROMATOGRÁFICAS DAS ANÁLISES

- Coluna: Waters Nova-Pak C18[®] 150,0 x 3,9mm; 4 μ m;
- Detector: fluorescência Waters 2475;
- Fase móvel: AccQ-Tag, Acetonitrila e água Milli-Q[®];
- Tempo de corrida: 45 minutos;
- Fluxo: 5 μ L/min;
- Temperatura de coluna: 37°C;
- Temperatura do injetor: 15°C;
- pH de trabalho: 5,0;
- Volume padrão de injeção: 10 μ L;
- Software para aquisição de dados: Empower (2002).

3.4.5 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE AÇÚCARES (SACAROSE, GLICOSE E FRUTOSE)

3.4.5.1 MÉTODO DE EXTRAÇÃO

A amostra de tucumã foi triturada em blender e homogeneizada com bastão de vidro. Aproximadamente 1g da amostra foi pesado em balão volumétrico de 25mL sendo solubilizado com 10 mL de água Milli-Q e posteriormente submetido ao ultrassom por 20 minutos. O volume foi completado com água Milli-Q, e em seguida filtrado em papel de filtro e transferido para vial com tampa apropriada e identificado.

3.4.5.2 CONDIÇÕES CROMATOGRÁFICAS DAS ANÁLISES

As análises dos açúcares foram realizadas em duplicatas. As condições cromatográficas para análises estão descritas abaixo:

- Coluna: Bio Rad[®] HPX 87C (30cm x 7,8mm), Waters SugarPak (30cm x 6,2mm) ou Shodex Sugar SC1011 (30cm x 8,0mm) ou similar;
- Fase Móvel: Água Ultra Pura;
- Fluxo: Água Milli-Q[®] – 0,6mL/min à 80°C;
- Waters SugarPak – 0,6mL/min à 90°C ;
- Shodex Sugar SC1011 – 0,8mL/min à 80°C ;
- Detector: índice de Refração IR 2410: sensibilidade = 4 e fator de escala = 8;
- Temperatura interna do detector: 45° C;
- Volume de injeção: 20µL;
- Tempo de corrida: 20 min.;
- Ordem de Eluição: Sac., Gli., Fru.;
- Temperatura do injetor: +10°C;

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados obtidos para aminoácidos, tiamina, riboflavina, carotenóides totais, α – caroteno e β – caroteno, assim como os teores de óleos, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para nível de confiança de 95%. Uma vez detectados a variância entre as doses, as médias foram submetidas ao teste de variância por comparações múltiplas (Tukey Test) também para 95% NC (nível de confiança).

Para identificar as amostras com concentrações diferentes da amostra controle usou-se as letras “a” e “b”. A letra “b” representa as doses com concentrações diferentes das demais segundo Tukey Test (95% NC) (ZAR, 1996).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 QUANTIFICAÇÃO DE ÁCIDO ASCÓRBICO

As concentrações de ácido ascórbico das amostras irradiadas e controle do fruto tucumã foram obtidas por CLAE (FIG 4.1).

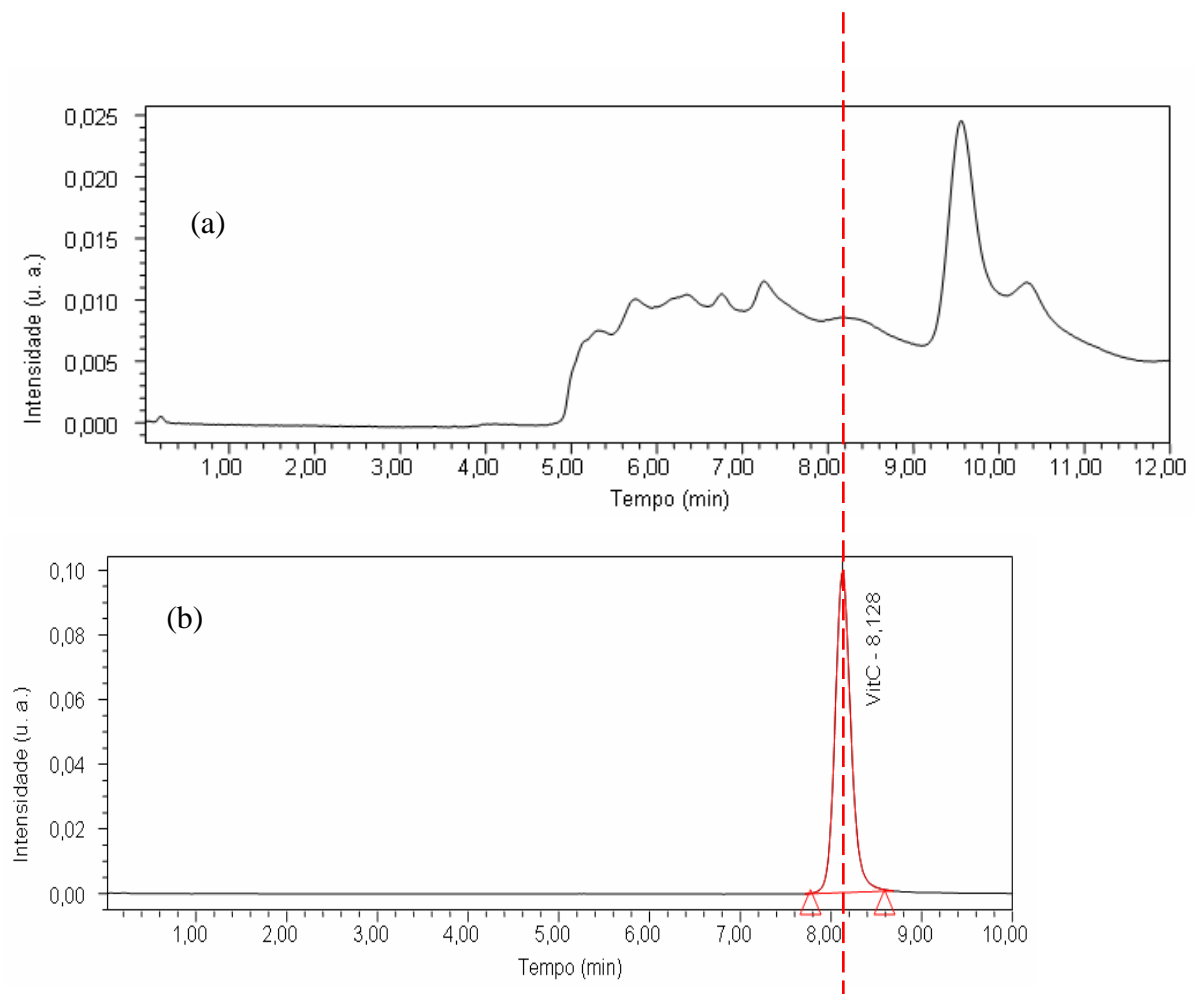


FIG. 4.1 Cromatogramas: (a) amostra controle; (b) padrão do ácido ascórbico.

O tucumã não apresenta ácido ascórbico. Embora haja um pequeno pico no primeiro cromatograma da figura 4.1(a), comprovamos que este não é de ácido ascórbico confrontado com o padrão (FIG. 4.1, b), que mostra um tempo de retenção de aproximadamente 8 min para essa substância. Pode-se concluir que esta variedade de tucumã não é fonte de ácido ascórbico.

4.2 QUANTIFICAÇÃO DOS TEORES DE VITAMINA B₁ (TIAMINA) E VITAMINA B₂ (RIBOFLAVINA)

4.2.1 VITAMINA B₁

Os níveis de tiamina encontrados no tucumã são relativamente baixos, da ordem de centésimos de mg/100 g da polpa, confirmando a afirmação de FRANCO (2007), que as frutas de modo geral são pobres em tiamina. Segundo a FAO/OMS os níveis diários de tiamina recomendados são de 0,3mg para crianças de até 1 ano de idade, 0,5mg para crianças entre 1 e 3 anos e aproximadamente 1,2mg para as demais idades, sendo necessários, respectivamente, 600g, 1000g e 2400g da polpa de tucumã para atender essas recomendações. Dessa forma o tucumã apresenta-se como uma fonte complementar de tiamina.

As concentrações de tiamina foram determinadas por CLAE e estão descritas na TAB 4.1.

TAB. 4.1 – Concentrações de tiamina no tucumã controle (não irradiado) e irradiado com doses de radiação gama em mg/100g.

CONTROLE E DOSES	CONCENTRAÇÕES DE TIAMINA (mg/100g)
Controle	0,050 ^a
0,5 kGy	0,036 ^a
1,0 kGy	0,045 ^a
2,0 kGy	0,033 ^b

a – não há diferença significativa para 95% NC.

b – há diferença significativa para 95% NC.

As figuras 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 mostram os cromatogramas da tiamina padrão, curva de calibração, controle e 1,0 kGy, respectivamente.

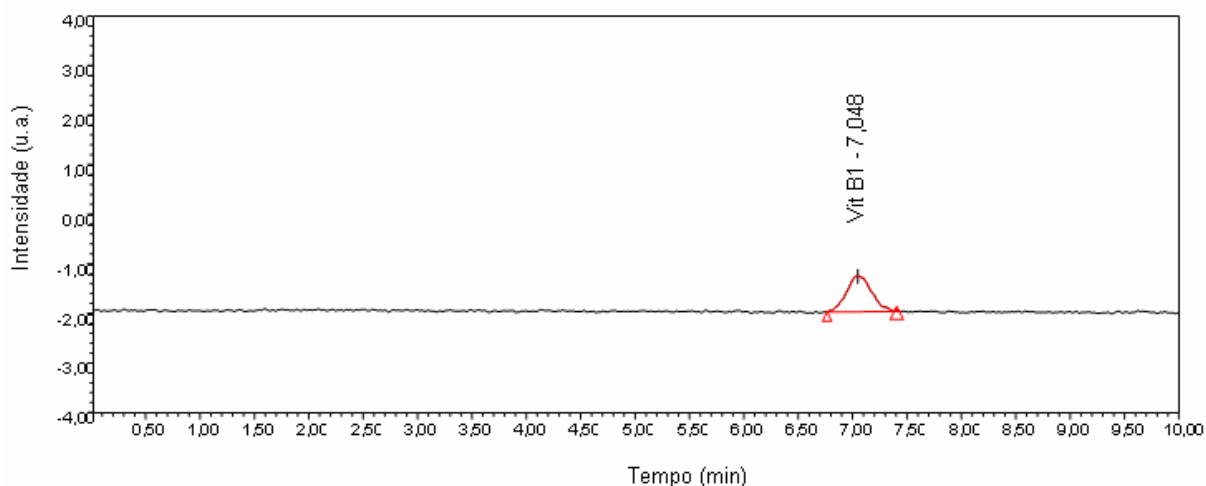


FIG. 4.2 Cromatograma do padrão de tiamina.

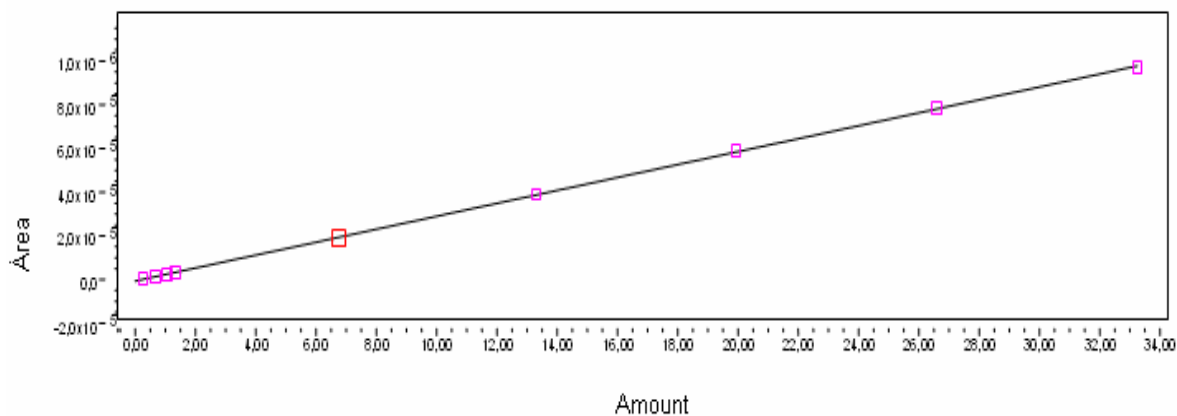


FIG. 4.3 Curva de calibração da tiamina, $R^2 = 0,999953$.

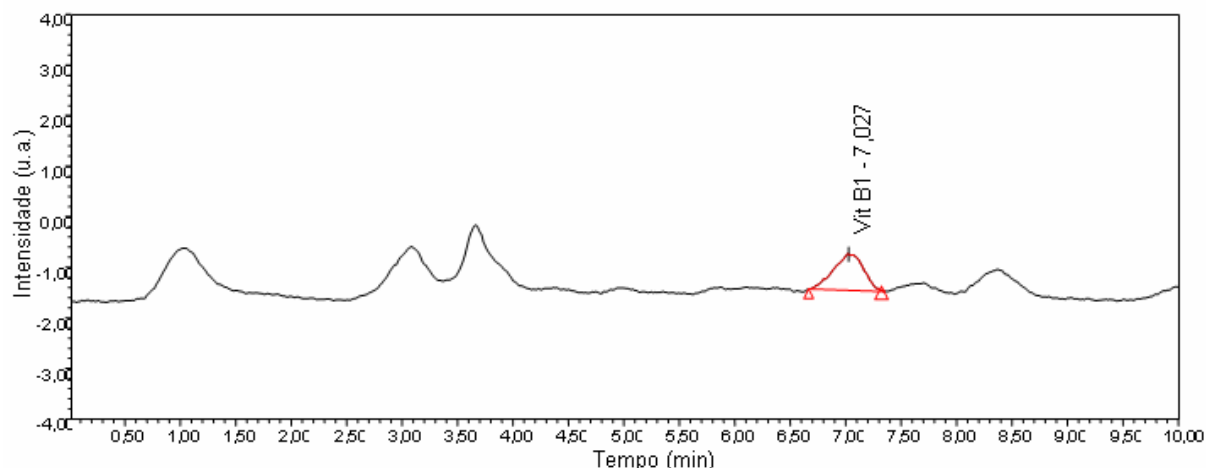


FIG. 4.4 Cromatograma de tiamina do tucumã Controle.

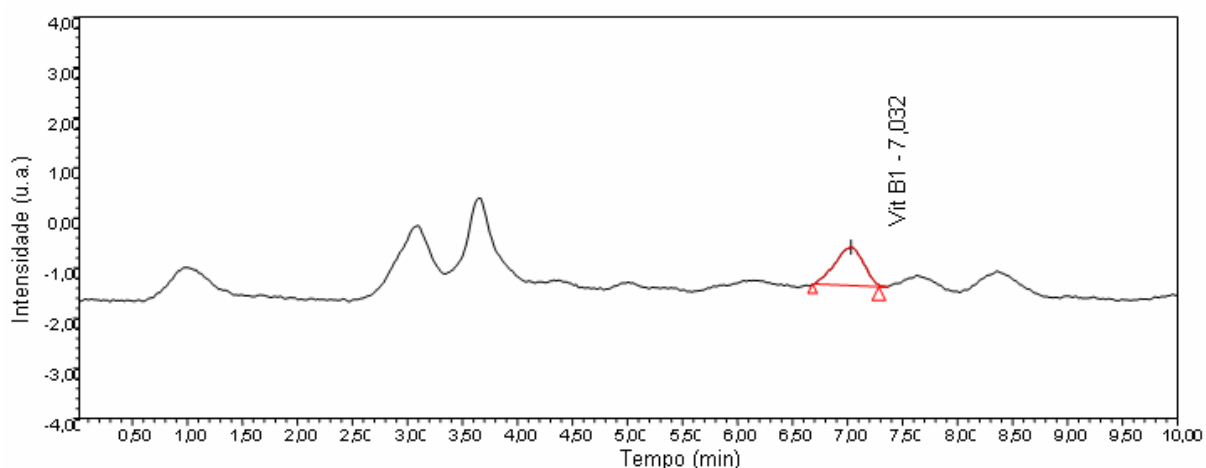


FIG. 4.5 Cromatograma de tiamina do tucumã irradiado com 1,0 kGy.

A tiamina degrada facilmente com o calor, e também na presença de óxidos ou ácidos, mas SOUZA (2008) ao analisar o feijão fradinho irradiado, sugere que os demais componentes do alimento irradiado exercem efeito protetor na tiamina, o que foi provado nos resultados obtidos, que indicam variação na concentração de tiamina somente para a maior dose de irradiação, 2,0 kGy.

A análise estatística mostrou, com 95% de nível de confiança, que o processo de irradiação reduziu os teores de tiamina para os frutos irradiados. Um segundo teste (Tukey Test) comprovou que a redução de tiamina foi mais significativa na dose de 2,0 kGy.

4.2.2 VITAMINA B₂

O tucumã apresenta um teor surpreendente de riboflavina uma vez que essa vitamina não é encontrada comumente em outros frutos. As principais fontes naturais de riboflavina são leite, fígado, rim, levedura, queijo, verduras, peixe e ovos. A vitamina B₂ é de fácil absorção, e tal como outras vitaminas B, não é armazenada no organismo e deve ser reposta regularmente através de alimentos integrais ou suplementos. O Comitê FAO/OMS fixou as necessidades nutricionais da riboflavina em 0,55mg por 1.000 calorias para todos os grupos etários e condições fisiológicas (FRANCO, 2007), o que é atendido com aproximadamente 250 g da polpa de tucumã.

A TAB. 4.2 mostra as concentrações médias de riboflavina nas amostras do tucumã controle e irradiado.

TAB. 4.2 – Concentrações de riboflavina no tucumã controle (não irradiado) e irradiado com doses de radiação gama.

CONTROLE E DOSES	CONCENTRAÇÕES DE RIBOFLAVINA (mg/100g)
Controle	0,183 ^a
0,5 kGy	0,205 ^a
1,0 kGy	0,220 ^a
2,0 kGy	0,222 ^a

a – não há diferença significativa para 95% NC.

As figuras 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9 mostram, respectivamente, o cromatograma padrão da riboflavina, a curva de calibração e os cromatogramas das amostras controle e 1,0 kGy.

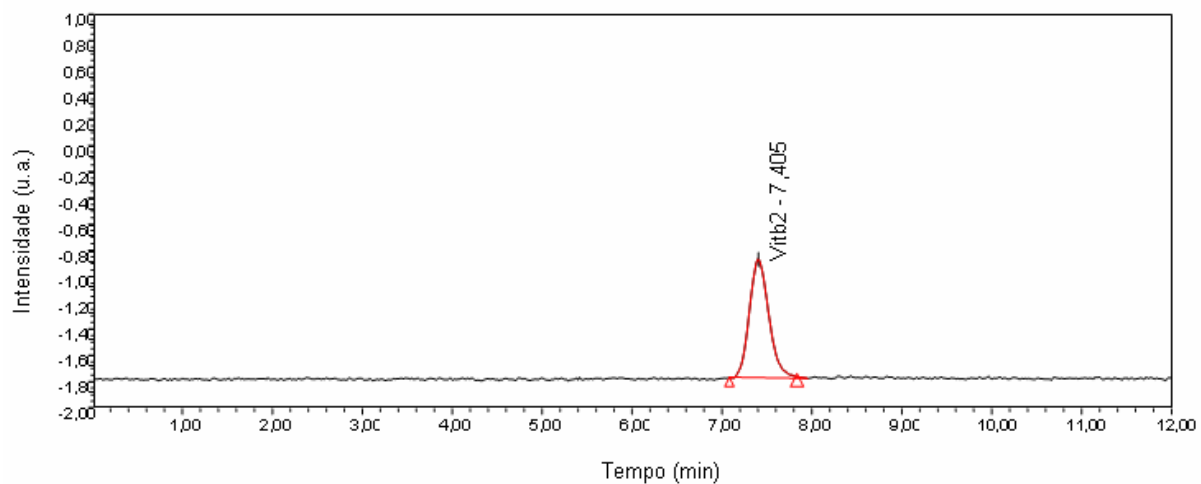


FIG. 4.6 Cromatograma do padrão de riboflavina.

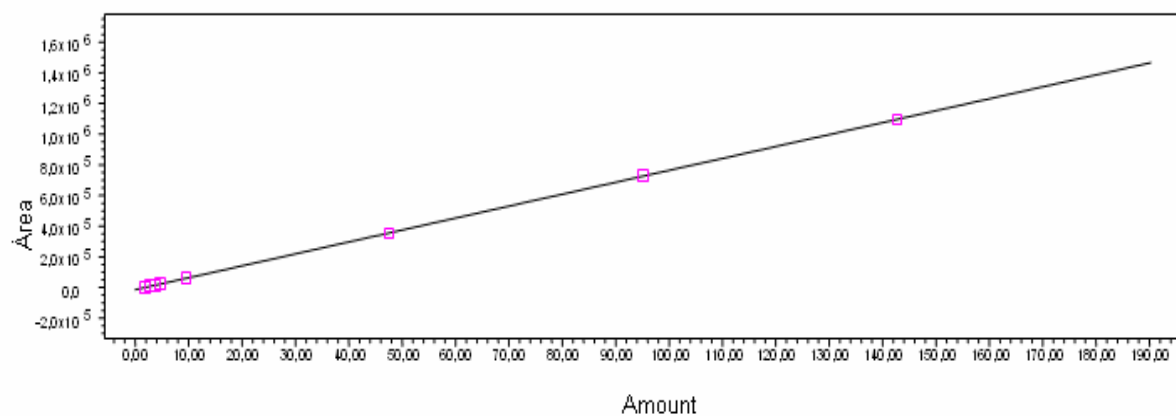


FIG. 4.7 Curva de calibração da riboflavina $R^2=0,999985$.

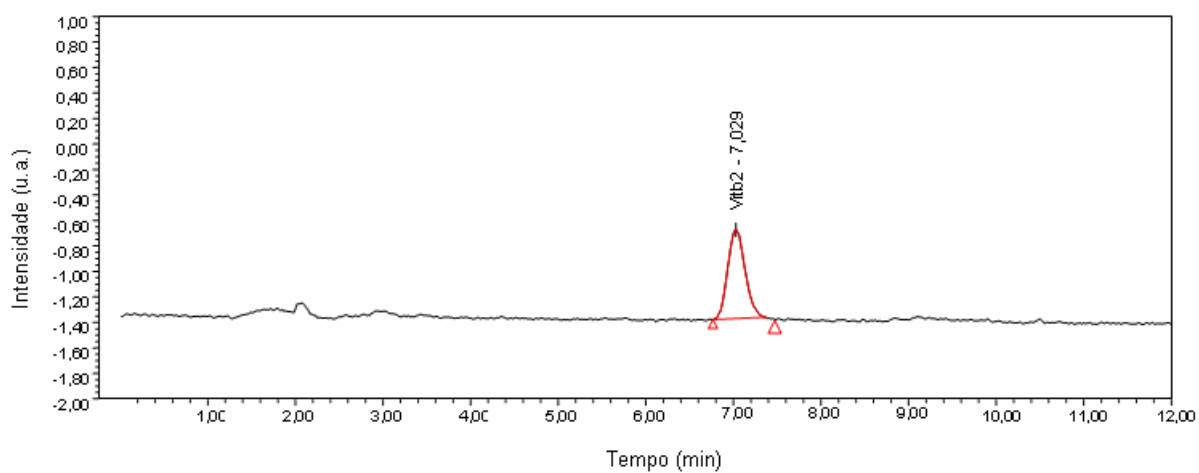


FIG. 4.8 Cromatograma de riboflavina do tucumã Controle.

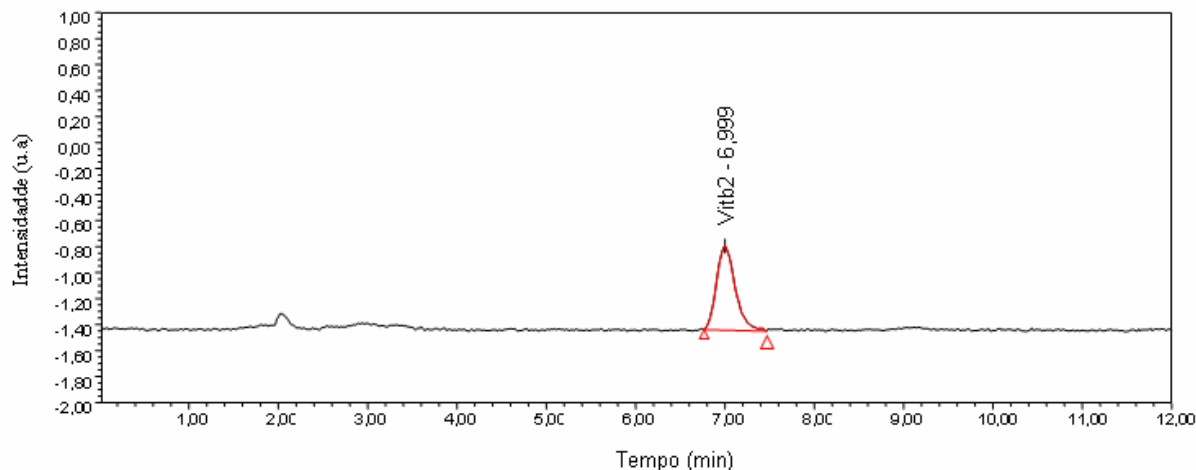


FIG. 4.9 Cromatograma de riboflavina do tucumã irradiado com 1,0 kGy.

Ao contrário da tiamina, a riboflavina não é destruída pelo calor, oxidação ou ácidos. A energia fornecida pela irradiação se mostrou insuficiente para promover variação significativa nos teores de riboflavina segundo o teste ANOVA com 95% NC.

4.3 QUANTIFICAÇÃO DOS TEORES DOS AÇÚCARES (FRUTOSE, GLICOSE E SACAROSE)

O grau de maturidade dos frutos pode ser indicado pelo nível dos açúcares nos mesmos. Durante o amadurecimento, desenvolvem-se sabores e odores específicos, ocorrendo um decréscimo na concentração de amido e ácidos orgânicos nos vegetais. Para continuação dos processos metabólicos nos vegetais há necessidade de uma grande demanda de energia, que é obtida através da hidrólise de polissacarídeos e com conseqüente aumento nos teores de açúcares.

Os teores dos açúcares do fruto tucumã controle e irradiados obtidos por CLAE estão descritos na TAB. 4.3.

TAB. 4.3 – Concentrações dos açúcares no tucumã controle (não irradiado) e irradiado com doses de radiação gama.

CONTROLE E DOSES	CONCENTRAÇÕES DE FRUTOSE (g/100g)	CONCENTRAÇÕES DE GLICOSE (g/100g)	CONCENTRAÇÕES DE SACAROSE (g/100g)
Controle	1,76 ^a	2,36 ^a	ND
0,5 kGy	1,89 ^a	2,36 ^a	ND
1,0 kGy	1,73 ^a	2,40 ^a	ND
2,0 kGy	1,89 ^a	2,58 ^a	ND

a – não há diferença significativa para 95% NC.

As análises não revelaram a presença de sacarose nas amostras, como pode ser visto nas figuras 4.10 e 4.11, sendo determinado somente os teores de frutose e glicose. Observa-se que o teor de glicose excede o de frutose. SILVA (2008) estudando o fruto buriti (*Mauritia flexuosa L.*) obteve a mesma relação e sugere que o baixo nível de frutose em relação a glicose se deve ao fato da primeira ser consumida no processo de amadurecimento do fruto.

A FIG 4.10 mostra o cromatograma dos açúcares do tucumã controle e a FIG 4.11 mostra o mesmo cromatograma sobreposto com o padrão de açúcares, revelando que não há concentração de sacarose nas amostras.

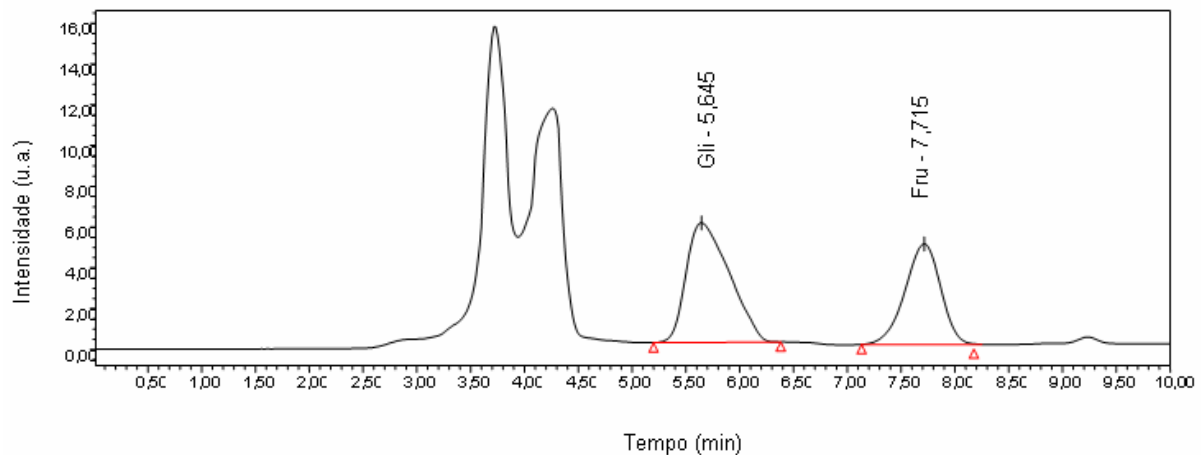


FIG. 4.10 Cromatograma dos açúcares do tucumã controle.

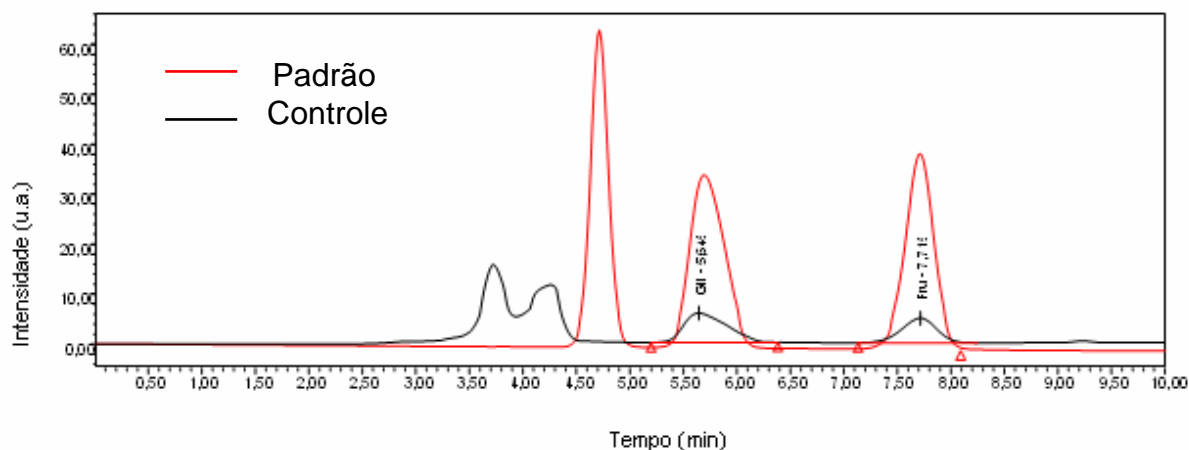


FIG. 4.11 Cromatograma dos açúcares do tucumã controle e do padrão sobrepostos.

A ausência de sacarose pode ser justificada como consequência da quebra das ligações glicosídicas, resultando nos monossacarídeos glicose e frutose, devido ao estágio de maturação do fruto que já era avançado no período da análise, o armazenamento congelado, a possível conversão em ácidos graxos ou como substrato energético para o metabolismo de microorganismos.

Segundo teste estatístico ANOVA foi determinado que os níveis de frutose e glicose não sofreram variação devido ao processo de irradiação com 95% de nível de confiança.

4.4 QUANTIFICAÇÃO DE CAROTENÓIDES TOTAIS, α -CAROTENO E β -CAROTENO

Os carotenóides totais foram determinados por espectrofotometria e a quantificação dos carotenos (α e β) realizada por cromatografia líquida de alta eficiência – CLAE.

4.4.1 CAROTENÓIDES TOTAIS

Os carotenóides totais foram obtidos por espectrofotometria UV a 450 nm. A FIG. 4.12 representa os espectros UV/Visível do tucumã irradiado com 0,5 kGy.

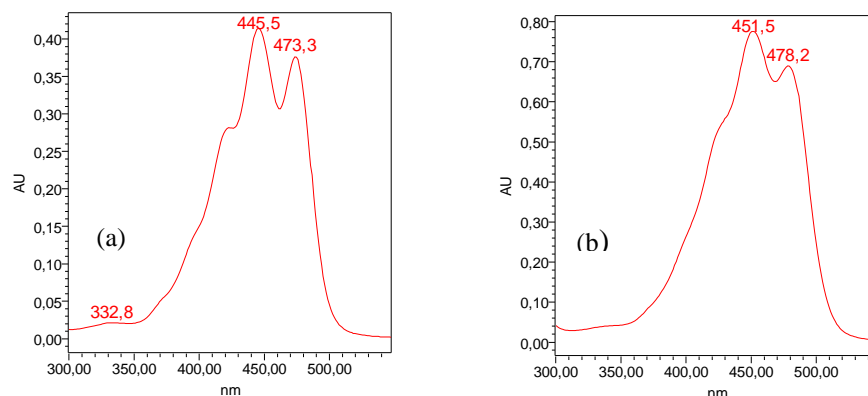


FIG. 4.12 Espectros de α -caroteno (a) e β -caroteno (b) do tucumã irradiado com 0,5 kGy.

A quantidade de carotenóides no tucumã equivale à encontrada no buriti (*Mauritia flexuosa L.*) por SILVA (2008). Como pode ser visto na TAB. 4.4, que representa os níveis de carotenóides totais encontrados no tucumã e no buriti irradiado. A tabela demonstra que o teor de carotenóides do tucumã é comparável ao do buriti. E ambos possuem cerca de 4 vezes mais carotenóides que a cenoura, uma importante fonte de carotenóides em muitas regiões do mundo.

TAB. 4.4 Concentrações de carotenóides totais em 100g de polpa do tucumã em comparação com a concentração do buriti (adaptado de SILVA, 2008) .

Controle e doses (kGy)	Carotenóides totais no tucumã em $\mu\text{g}/100\text{g}$	Carotenóides totais no buriti em $\mu\text{g}/100\text{g}$
Controle	40261 ^a	37646 ^a
0,5 kGy	39054 ^a	32517 ^a
1,0 kGy	36728 ^a	33762 ^a
2,0 kGy	37239 ^a	26564 ^b

a – não há diferença significativa para 95% NC.

b – há diferença significativa para 95% NC.

Os níveis de carotenóides totais para o tucumã irradiado não apresentaram decréscimo significativo em relação ao controle segundo análise estatística com nível de confiança de 95%. Tal resultado pode ser atribuído ao efeito protetor do alto teor de óleos apresentado pelo fruto. Já os carotenóides totais do buriti sofreram redução, sendo esta mais significativa para a dose de 2,0 kGy.

4.4.2 CAROTENOS (α E β)

As figuras 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16 representam os cromatogramas das amostras do fruto controle e irradiadas com 0,5 kGy, 1,0 kGy e 2,0 kGy.

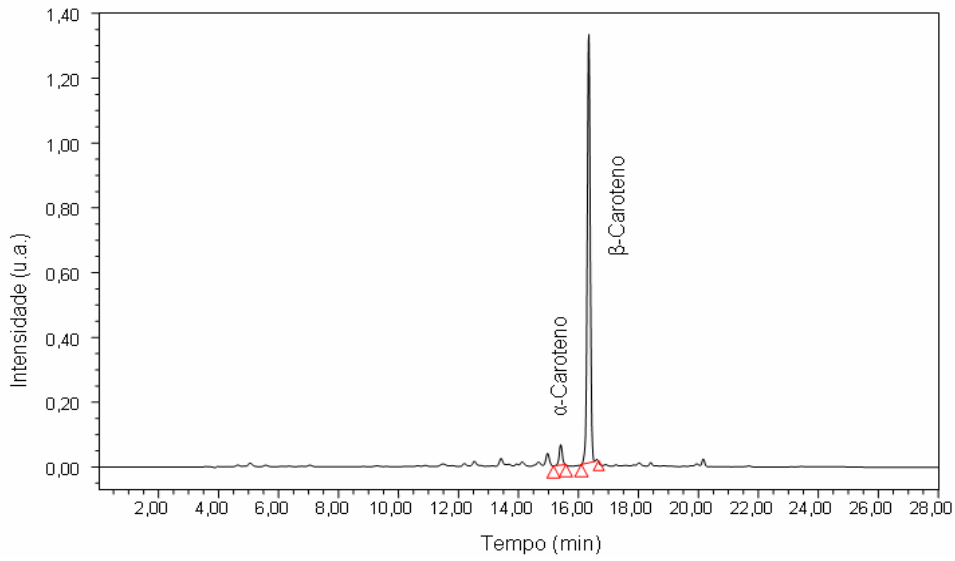


FIG. 4.13 Cromatograma do extrato do tucumã controle onde figuram α e β -carotenos.

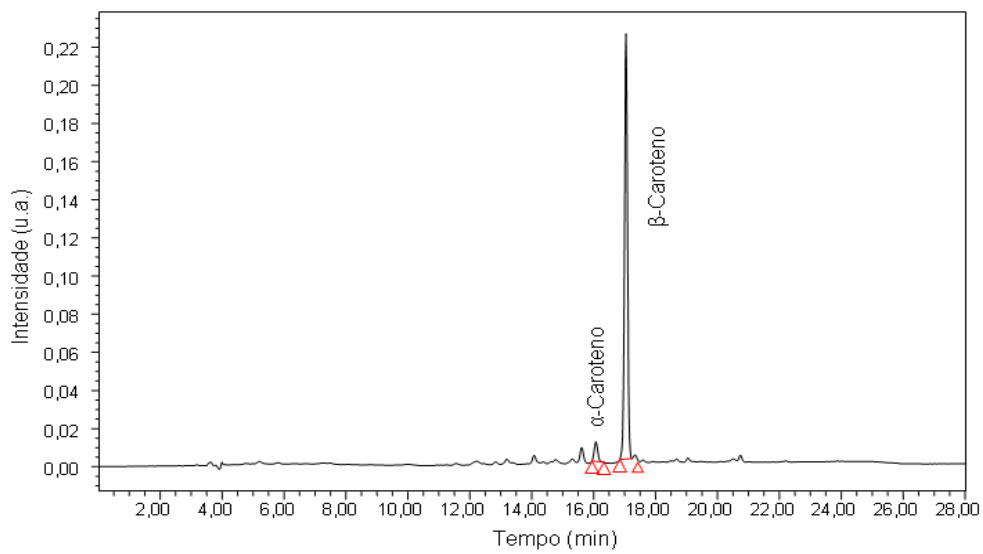


FIG. 4.14 Cromatograma do extrato do tucumã irradiado com 0,5 kGy onde figuram α e β -carotenos.

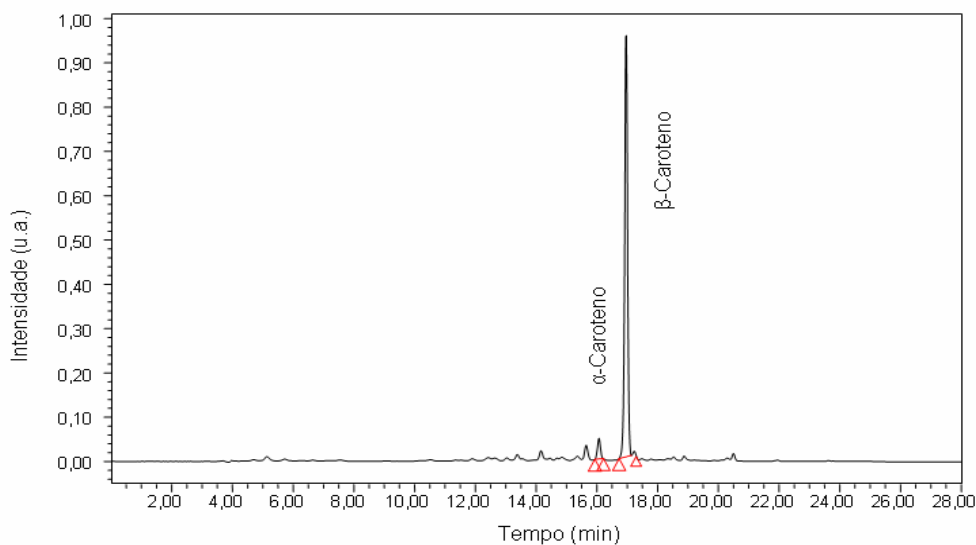


FIG. 4.15 Cromatograma do extrato do tucumã irradiado com 1,0 kGy onde figuram α e β -carotenos.

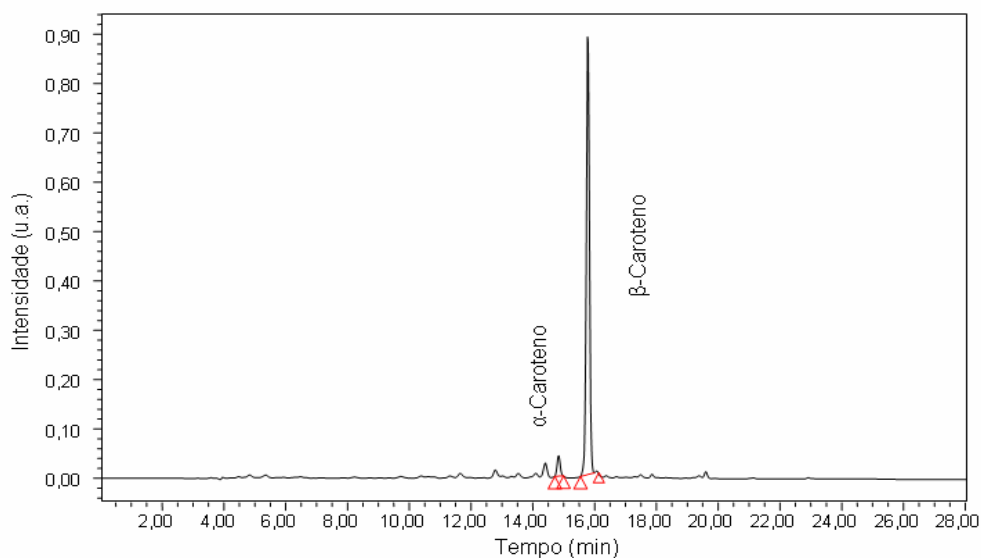


FIG. 4.16 Cromatograma do extrato do tucumã irradiado com 2,0 kGy onde figuram α e β -carotenos.

Em todos os cromatogramas, observa-se a presença de um pico majoritário, o qual representa o β -caroteno. O pico menor representa o α -caroteno.

A TAB. 4.5 mostra os níveis de α -caroteno para as amostras controle e irradiadas assim como os valores correspondentes para retinol. Análogo para a TAB. 4.6 em relação ao β -caroteno. O cálculo do retinol foi realizado levando em

consideração que o Equivalente de Atividade de Retinol (RAE) corresponde a 1µg de retinol ou 12 µg de β-caroteno ou 24 µg de α-caroteno (CAMPOS e ROSADO, 2005).

Segundo o teste ANOVA com nível de significância de 95% não houve redução nos níveis de α-caroteno. Já para o β-caroteno, segundo o mesmo teste estatístico, houve redução das concentrações, principalmente na dose de 2,0 kGy em relação ao controle (Tukey Test para 95% NC). LIMA *et al* (2004) em estudos com cenouras irradiadas, também observaram a redução dos carotenóides majoritários com o aumento de dose de radiação e propuseram uma rota de degradação dos carotenóides através de oxidação e quebra das ligações químicas em α e β-iononas.

TAB. 4.5 Concentrações de α-caroteno em 100g de polpa de tucumã *in natura* e a correspondência em retinol de acordo com as recomendações do IOM (2001).

Controle e doses (kGy)	α-Caroteno em µg/100g	Retinol em µg/100g (RAE)
Controle	1790,4 ^a	74,6
0,5 kGy	1855,3 ^a	77,3
1,0 kGy	1613,6 ^a	67,2
2,0 kGy	1720,6 ^a	71,7

a – não há diferença significativa para 95% NC.

TAB. 4.6 Concentrações de β-caroteno em 100g de polpa de tucumã *in natura* e a correspondência em retinol de acordo com as recomendações do IOM (2001).

Controle e doses (kGy)	β-Caroteno em µg/100g	Retinol em µg/100g (RAE)
Controle	32608,75 ^a	2717,396
0,5 kGy	30661,55 ^a	2555,129
1,0 kGy	28594,00 ^a	2382,833
2,0 kGy	30568,00 ^b	2547,333

a – não há diferença significativa para 95% NC.

b – há diferença significativa para 95% NC.

Os valores das concentrações de carotenóides totais assim como o equivalente em retinol para cada amostra (controle e irradiadas) são apresentados na TAB. 4.7 em $\mu\text{g}/100\text{g}$.

TAB. 4.7 Concentrações de carotenóides totais em 100g de polpa de tucumã *in natura* e a correspondência em retinol de acordo com as recomendações do IOM (2001).

Controle e doses (kGy)	Carotenóides totais em $\mu\text{g}/100\text{g}$	Retinol em $\mu\text{g}/100\text{g}$ (RAE)
Controle	40261	2791,996
0,5 kGy	39054	2632,433
1,0 kGy	36728	2450,067
2,0 kGy	37239	2619,025

4.5 QUANTIFICAÇÃO DOS TEORES DE AMINOÁCIDOS

Os aminoácidos foram determinados por CLAE nas amostras de tucumã controle e irradiadas. Foram detectados 15 aminoácidos, e destes, 7 essenciais constituídos por isoleucina, leucina, lisina, fenilalanina, treonina, histidina e valina; e os não essenciais alanina, arginina, ácido aspártico, ácido glutâmico, glicina, prolina, serina e tirosina.

As concentrações de aminoácidos essenciais nas amostras controle e irradiadas estão representadas na TAB. 4.8. Os teores de Aminoácidos não essenciais estão na TAB. 4.9.

TAB. 4.8 Concentrações dos aminoácidos essenciais em 100g de polpa de tucumã.

Aminoácidos Essenciais	Doses e concentrações em g/100g da amostra			
	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy	2,0 kGy
Histidina (HIS)	0,065	0,075	0,065	0,070
Isoleucina (ILE)	0,055	0,060	0,050	0,060
Leucina (LEU)	0,090	0,100	0,085	0,105
Lisina (LYS)	0,070	0,070	0,065	0,085
Fenilalanina (PHE)	0,075	0,085	0,070	0,080
Treonina (THR)	0,055	0,04	0,040	0,045
Valina (VAL)	0,075	0,08	0,075	0,090

TAB. 4.9 Concentrações de aminoácidos não essenciais em 100g de polpa de tucumã.

Aminoácidos Não Essenciais	Doses e concentrações em g/100g da amostra			
	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy	2,0 kGy
Alanina (ALA)	0,035	0,070	0,060	0,080
Arginina (ARG)	0,040	0,030	0,030	0,035
Ácido Aspártico (ASP)	0,150	0,140	0,135	0,170
Ácido Glutâmico (GLU)	0,125	0,155	0,140	0,190
Glicina (GLY)	0,215	0,245	0,225	0,285
Prolina (PRO)	0,025	0,030	0,020	0,035
Serina (SER)	0,085	0,100	0,085	0,105
Tirosina (TYR)	0,100	0,100	0,080	0,105

O tucumã apresenta teores consideráveis de aminoácidos essenciais. A recomendação da ingestão diária de aminoácidos essenciais segundo IOM (2004) para a histidina é de 18mg/g de proteína, a concentração desse aminoácido no tucumã é cerca de 43% da recomendação para 100g de polpa. A lisina, que é um aminoácido limitante, também está em teor razoável, cerca de 15% em 100g de polpa, caracterizando o fruto como uma boa fonte complementar de histidina. O mesmo acontece para os outros aminoácidos essenciais (TAB. 4.10).

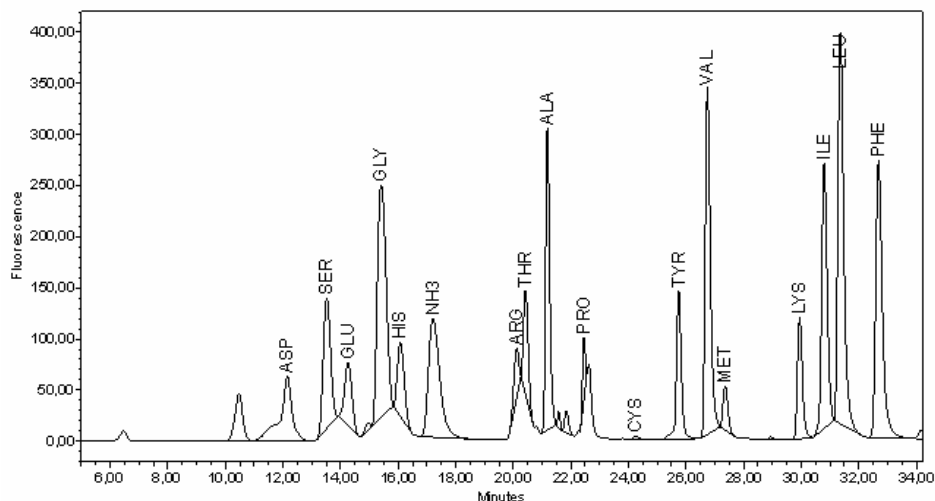
TAB. 4.10 Recomendação da ingestão de aminoácidos essenciais em 100g de polpa de tucumã.

Aminoácidos	DRI Proteína (mg/g)	DRI Polpa (g/100g)	Recomendação (%)
Histidina	18	0,152	43
Isoleucina	25	0,211	26
Leucina	51	0,430	21
Lisina	55	0,464	15
Fenilalanina + Tirosina	47	0,400	44
Treonina	27	0,228	24
Valina	32	0,270	28

Fonte: Adaptado de BORA *et al* (2001).

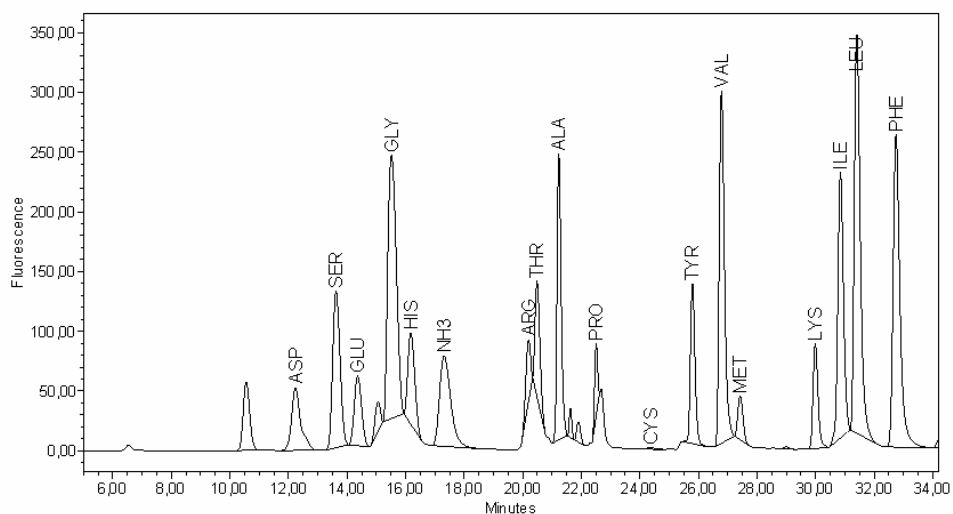
Segundo análise estatística ANOVA com nível de confiança de 95% aplicada nas concentrações de cada um dos 15 aminoácidos analisados, não houve perdas significativas resultantes do processo de irradiação, o que prova que a irradiação pode ser empregada para fins de conservação do fruto até a dose de 2,0 kGy sem perdas significativas. Os resultados obtidos nesse trabalho estão de acordo com DIEHL (1990), que conclui que proteínas e enzimas parecem permanecer estáveis após tratamento com radiação gama.

Os cromatogramas das figuras 4.17, 4.18, 4.19 e 4.20, com amostras controle e irradiadas com 0,5 kGy, 1,0 kGy e 2,0 kGy, respectivamente, demonstram o comportamento das concentrações em virtude do aumento da dose.



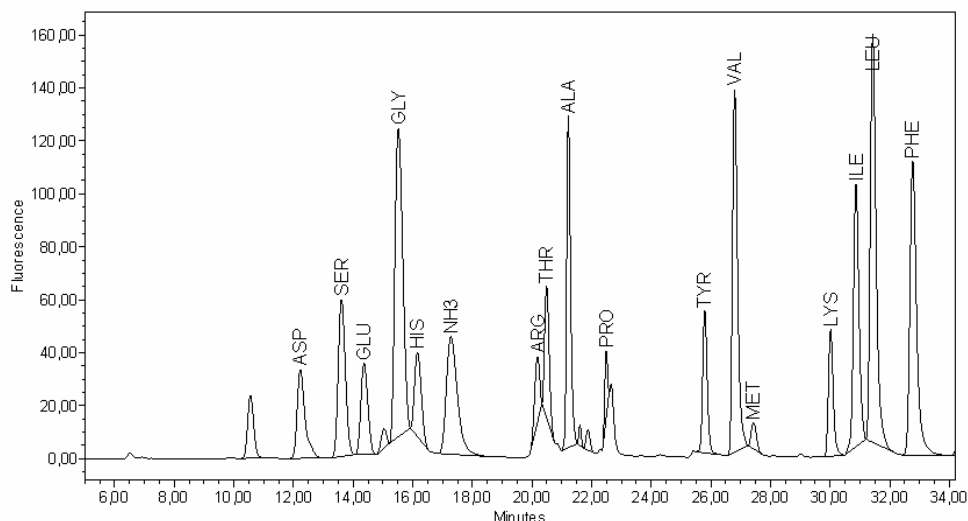
*Aminoácidos: ASP(Ácido aspártico); SER(Serina); GLU(Ácido glutâmico); GLY (Glicina); HIS(histidina); ARG(Arginina); THR(treonina); ALA(Alanina); PRO(Prolina); TYR(Tirosina); VAL(Valina); LYS(Lisina); ILE(Isoleucina); LEU(Leucina); PHE(Fenilalanina).

FIG. 4.17 Cromatograma de aminoácidos do tucumã controle.



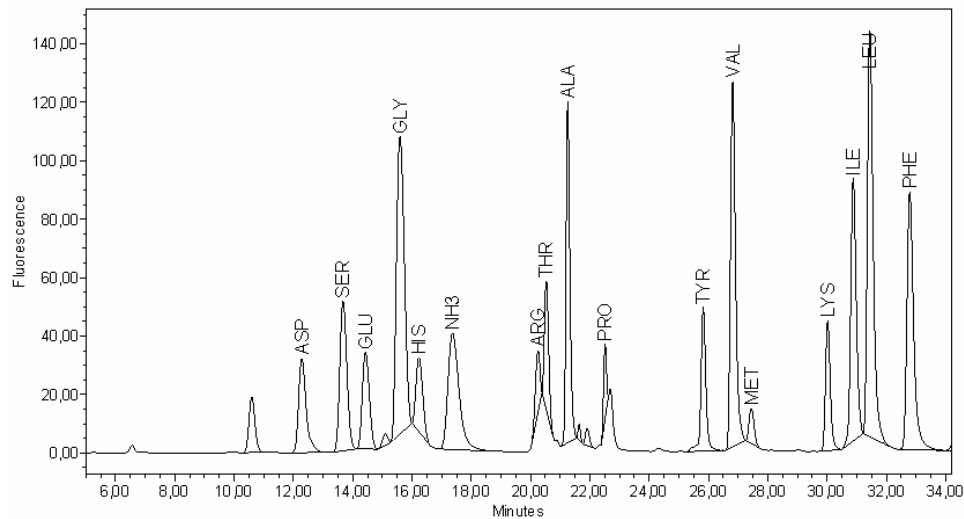
*Aminoácidos: ASP(Ácido aspártico); SER(Serina); GLU(Ácido glutâmico); GLY (Glicina); HIS(histidina); ARG(Arginina); THR(treonina); ALA(Alanina); PRO(Prolina); TYR(Tirosina); VAL(Valina); LYS(Lisina); ILE(Isoleucina); LEU(Leucina); PHE(Fenilalanina).

FIG. 4.18 Cromatograma de aminoácidos do tucumã irradiado com 0,5 kGy.



*Aminoácidos: ASP(Ácido aspártico); SER(Serina); GLU(Ácido glutâmico); GLY (Glicina); HIS(histidina); ARG(Arginina); THR(treonina); ALA(Alanina); PRO(Prolina); TYR(Tirosina); VAL(Valina); LYS(Lisina); ILE(Isoleucina); LEU(Leucina); PHE(Fenilalanina).

FIG. 4.19 Cromatograma de aminoácidos do tucumã irradiado com 1,0 kGy.



*Aminoácidos: ASP(Ácido aspártico); SER(Serina); GLU(Ácido glutâmico); GLY (Glicina); HIS(histidina); ARG(Arginina); THR(treonina); ALA(Alanina); PRO(Prolina); TYR(Tirosina); VAL(Valina); LYS(Lisina); ILE(Isoleucina); LEU(Leucina); PHE(Fenilalanina).

FIG. 4.20 Cromatograma de aminoácidos do tucumã irradiado com 2,0 kGy.

4.6 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE ÓLEO

Os lipídeos são os principais constituintes da polpa do tucumã, presentes na concentração de 58,65% segundo BORA *et al* (2001). De acordo com o mesmo trabalho a polpa de tucumã apresenta 25 ácidos graxos, com a distribuição de 25,59% de ácidos graxos saturados, 47,36% de monoinsaturados e 27,05% de polinsaturados. Os ácidos graxos palmítico (C_{16:0}) e esteárico (C_{18:0}) são os principais ácidos graxos saturados, na concentração de 13,86% e 9,8%, respectivamente. O principal ácido graxo monoinsaturado é o oléico (C_{18:1}), na concentração de 46,81%. Quanto aos ácidos graxos polinsaturados, o ácido graxo linoléico (C_{18:2}) é o principal representando 26,12% e o ácido graxo linolênico (C_{18:3}) presente na concentração de 0,93%. Assim a distribuição dos lipídios da polpa do tucumã é semelhante a composição dos óleos de origem vegetal (TAB. 4.11).

TAB. 4.11 – Composição centesimal do tucumã.

COMPONENTES	POLPA (%)
Umidade	10,62 ±2,54
Lipídios	58,65±1,56
Proteínas	8,44±0,18
Fibras	12,02±0,16
Carboidratos (Sem fibra)	7,15±1,37
Cinzas	3,12±0,09

Fonte: Adaptado de Bora *et al* (2001), Caracterización de Las Fracciones Protéicas y Lipídicas de Pulpa y Semillas de Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart).

Os teores de lipídios no tucumã foram determinados por RMN de baixo campo em análise preliminar (TAB. 4.12).

TAB. 4.12 Percentual dos teores de óleos na polpa do tucumã.

Doses	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy	2,0kGy
Concentração (%)	44,12	48,391	49,836	37,196

Os resultados da TAB 4.12 são bem próximos dos obtidos por BORA *et al*, 2001, que analisaram o teor de lipídeos da farinha obtida da polpa (com cerca de 56%) do tucumã.

Alem de fonte de energia a quantidade de lipídeos no tucumã é muito importante para favorecer a biodisponibilidade dos carotenóides no organismo. FENNEMA (2000) afirma que o β -caroteno dissolvido em óleo é absorvido mais facilmente que o β -caroteno em alimentos com baixo teor de óleos. A absorção de β -caroteno no organismo conta primeiramente com a separação deste da matriz alimentar. O β -caroteno é lipossolúvel, e será dissolvido pelos lipídios da matriz, separando-o para ser mais facilmente absorvido no trato intestinal.

Segundo análise estatística ANOVA com nível de confiança de 95% aplicada nos teores de óleo do tucumã houve variação significativa em relação ao controle.

5 CONCLUSÃO

O tucumã é um fruto da Amazônia com elevado potencial nutritivo. As análises por cromatografia líquida de alta eficiência - CLAE e espectrofotometria revelam que o fruto possui um teor apreciável de carotenóides, no mesmo nível ou ligeiramente superior aos níveis encontrados no buriti (*Mauritia flexuosa* L.), que por sua vez possui quatro vezes mais carotenóides que a cenoura. Possui teores razoáveis de glicose e frutose, riboflavina e aminoácidos além de tiamina. O fruto apresentou estabilidade na maior parte de seus componentes em relação ao processo de irradiação para as doses de 0,5 kGy, 1,0 kGy e 2,0 kGy..

O fruto não apresentou ácido ascórbico a níveis detectáveis. A tiamina sofreu redução em sua concentração no fruto irradiado. A redução foi mais significativa para a dose de 2,0 kGy cerca de 34% em relação ao controle. Dessa forma a dose de 1,0 kGy foi a mais efetiva na conservação do fruto considerando a tiamina.

O teor de riboflavina detectado no tucumã é surpreendente, uma vez que essa vitamina é mais comum em derivados do leite, fígado, rim, levedura, verduras, peixe e ovos. Não houve diferença significativa nos níveis de riboflavina entre a amostra controle e as irradiadas. O fruto, mesmo irradiado, pode ser considerado uma boa fonte alternativa de riboflavina.

Não foi detectada a presença de sacarose nas amostras, somente frutose e glicose foram determinadas. A ausência deste dissacarídeo possivelmente poderia ser atribuída ao avançado estágio de maturação dos frutos. A quantidade de frutose encontrada é menor que a de glicose. Tal fato é justificado pelo elevado consumo de frutose nos processos metabólicos da planta em virtude do amadurecimento. Os teores de frutose e glicose se mantiveram para todas as doses aplicadas revelando que o processo de irradiação não causa prejuízo às concentrações dos dois monossacarídeos.

O tucumã possui alto nível de carotenóides, dentre os quais figuram como carotenos majoritários o β -caroteno, em maior abundância, e o α -caroteno, em segundo, ambos com quantidades médias de 80% e 5%, respectivamente, do total de carotenóides. A radiação gama mostrou-se capaz de influenciar significativamente

os teores de β -caroteno para a dose de 2,0 kGy, com redução de cerca de 7,5% em relação ao controle. Já a concentração de α -caroteno não sofreu reduções pelo processo de irradiação.

O processo de irradiação não causou decréscimos significativos nas concentrações de aminoácidos do tucumã. Todos os 15 aminoácidos detectados por CLAE mantiveram suas concentrações estáveis inclusive para a dose de 2,0 kGy o que prova que a irradiação com baixas doses pode ser aplicada ao tucumã para fins de conservação.

A irradiação se mostrou um método de conservação bastante promissor na conservação de frutos nativos com alto teor de pró-vitamina A e vitamina B2. Tal fato contribui para o emprego desses frutos no combate a hipovitaminose A em todas as regiões do país, uma vez que um dos fatores limitantes dessa abordagem é a duração dos frutos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERS, N. et al. **Vitamins and their biological functions**. Vitamins in Animal Nutrition. Alemanha. 2002. Cap. 2, p. 9-31.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos**. Teoria e prática. 3. ed. Viçosa: UFV, 478 p., 2006.
- AUGUSTO, F., VALENTE, A.L.P., SANTOS, T. E., RIVELLINO, S.R. **Screening of Brazilian fruit aromas using solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry**. J Chromatogr A 873, 2000: pp.117–127.
- BARBOSA, J. J. **Introdução à tecnologia de alimentos**. Rio de Janeiro: Livraria Kosmos, 1976.
- BOBBIO, P. A., BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**, 2 ed. São Paulo, Varela , 1992.
- BORA, P. S., NARAIN, N., ROCHA, R. V. M., MONTEIRO, A. C. O., MOREIRA, R. A. **Caracterización de Las Fracciones Protéicas y Lipídicas de Pulpa y Semillas de Tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart)**. Ciência e tecnologia Alimentaria, Reynosa, Mexico, 2001. vol. 3 n. 02, pp. 111-116.
- BRADFORD, R., LOAHARANV, P. A. **Harmonizing Approach to regulating Food Irradiation Based on Group of Foods**. WHO/IAEA/FAO. In: **Seminar of regulations on harmonization on food irradiation in Asia and the Pacific**. Malaysia, IAEA – TECDOC – 696, p.155-160, 1993.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. **Resolução RDC nº 21**, de 26 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento para irradiação de alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 29 jan. 2001.

Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/21_01rdc.htm>. Acesso em: 15 out. 2006.

BRASIL. **Portaria DINAL, nº 9**, de 08 de março de 1985. Ministério da Saúde. Divisão Nacional de Vigilância Sanitária de Alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/>>. Acesso em: 15 out. 2006.

BRASIL. **Portaria SVS/MS, nº 326**, de 30 de julho de 1997. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 01 ago. 1997. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/326_97>. Acesso em: 15 out. 2006.

CAMPOS, F. M., ROSADO, G. P., **Novos fatores de conversão de carotenóides provitamínicos A**. Ciênc. Tecnol. Alimentos. Campinas, 2005. pp. 571-578.

CDC. **Preliminary FoodNet data on the incidence of infection with pathogens transmitted commonly through food** – Select sites, United States, 2003. Morb. Mortal. Weekly Rep. v. 53, n. 16, p. 338 – 343.

CHANG, S., ERDMAN, J. W. Jr., CLINTON, S. K., VADIVELLOO, M., STROM, S. S., YAMAMURA, Y., DUPHORNE, C.M., SPITZ, M. R., AMOS, C. I., CONTOIS, J.H., GU, X., BSBSISN, R. J., SCARDINO, P. T., HURSTING, S. D., **Relationship Between plasma Carotenoids and Prostate Cancer**. Nutrition and Cancer, 53(2), 127–134, 2005.

CHITARRA, M. I. F. & CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**. Lavras, FAEPE, 1990. 293p.

CODEX , Stan 106. **Norma General del Codex para Alimentos Irradiados**. Disponível em: <http://www.codexalimentarius.net/web/standard_list.do?lang=es>. Acesso em: 25 de jun. 2007.

COLLEMAN III, W. M. **A Study of the Behavior of Polar and Nonpolar Solid-Phase Microextraction Fibers for the Extraction of Maillard Reaction Products**; 1997 *J. Chromatogr. Sci. A* , 35, 245-258.

CONEGLIAN, R. C., CASTRICINI, A., MEDEIROS, S. F., VITAL, H. C., **Uso da radiação gama na conservação pós-colheita do tomate de mesa em estágio maduro**. 2004, TAIPINA, Magda Sinigallia.

DEGANI, A. L. G.; CASS, Q. B.; VIEIRA, P. C. **Química Nova na escola - Cromatografia - N°7**, Maio, 1998.

DIEHL, J. F. **Food Irradiation-past, present and future**. Radiation physics and Chemistry, 2002. v.63, p.211-215.

DIEHL, J. F. **Safety of irradiated foods**. New York and Basel: Marcel Dekker, Inc., v. 36, 1990. 345 p.

FENNEMA, O. R. **Química dos Alimentos**. 2 ed. Zaragoza: Acribia, 2000, 1272 p.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**. Revista e Atualizada. 9. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 2007. 307 p.

GIACOMINI, L. Z., **Quantificação de Vitamina A em Concentrados Polivitamínicos por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência**. Tese. UFSM, Santa Maria , RS, Brasil, 2006.

GOMES, F. S., **Carotenóides, uma possível proteção contra o desenvolvimento do câncer**. Rev. Nutr., Campinas, set./out., 2007, 20(5):537-548.

GORDON, D.B. **Spectroscopic Techniques, in Principles and Techniques in Practical Biochemistry**. K. Wilson & J. Walker Eds., Cambridge University Press, Cambridge. 1995, pp. 324-344.

HAGENMAIER, R. D. & BAKER, R. A. **Microbial population of shredded carrot in modified atmosphere packaging as related to irradiation treatment.** Journal of Food Science, 1998. v.63, n.1, p.162-164.

HAWTHORNE, S., MILLER, D., PAWLISZYN, J., and ARTHUR, C. (1992) **Solventless determination of caffeine in beverages using solid-phase microextraction with fused silica fibers.** J. cromatogr. 603, 1992. 185-191.

HENKEL, J. **Irradiation features.** Food and Drug Administration. FDA Consumer Magazine, n. 98 – 2320, 1998. Disponível em: <http://www.fda.gov/fdac/features/1998/398_rad.htm>. Acessado em: 10/08/2008.

ACELETRON IRRADIAÇÃO INDUSTRIAL. **Histórico da Irradiação de Alimentos.** 2008. Disponível em: <http://www.aceletron.com.br/irradiacao/historico_alimentos.htm>. Acessado em 30/08/2008.

IBÁÑEZ, E.; LÓPEZ-SEBASTIÁN, S.; RAMOS, E.; TABERA, J.; REGLERO, G. **Analysis of volatile fruit components by headspace solid-phase microextraction.** Food Chemistry, Vol. 63, No. 2, pp. 281-286, 1998.

IEMMA, J.; ALCARDE, A. R.; DOMARCO, R. E.; SPOTO, M. H. F.; BLUMER, L.; MATRAIA, C. **Radiação gama na conservação do suco natural de laranja.** *Scientia Agricola*, 1999. v.56, n.4, p.1193-1198,

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa de Orçamentos Familiares – POF 2002-2003. **Análise da disponibilidade domiciliar de alimentos e do estado nutricional do Brasil.** Rio de Janeiro: Diretoria de Pesquisas, 2004.

IOM. National Academy of Sciences. **Dietary Reference Intakes (DRIs): Recommended Intakes for Individuals, Vitamins.** Food and Nutrition Board,

Institute of Medicine, 2004. Disponível em: <www.iom.edu/?id=21381>. Acesso em: 30/11/2008.

KADER, A. A.; ROSEN, J. **Postharvest physiology and quality maintenance of sliced pear and strawberry fruits**. Journal of Food Science, Chicago, v. 54, p. 656-659, 1989.

KAPLAN, I. **Nuclear Physics**. Second edition. Addison-Wesley Publishing Company. Japan, 1963.

KHACHIK, F., BEECHER, G. R., GOLI, M. B., **Separation, identification, and quantification of carotenoids in fruits, vegetables and human plasma by high performance liquid chromatography**. Pure&App/. Chem., 1991. Vol. 63, No. 1, pp. 71-80.

KILCAST, D. **Effect of irradiation on vitamins**. Food Chemistry, v. 49, p. 157-164, 1994.

KOROKOLVAS, A., BURCKALTER, J.H. **Química Farmacêutica**. Rio de Janeiro:

KRINSKY, N. I. **The biological properties of carotenoids**. Great Britain, 1994. Pure & Appl. Chem., Vol. 66, No. 5, pp. 1003-1010. Printed in KWON, J. H.; BYUN, M. W.; CHO, H. O.; J. Food Sci. , 50, 379, 1985.

LADOMERY, L. G. **Principles of the Codex General Standard for irradiated foods and associated code of practice**. WHO/IAEA/FAO. In: SEMINAR ON HARMONIZATION OF REGULATIONS ON FOOD IRRADIATION IN ASIA AND THE PACIFIC, 1993, Malaysia. Anais. Malaysia: IAEA – TECDOC 696, 1993, p. 63-66.

LEHNINGER, A. L. **Vitaminas e Microelementos na função de enzimas**. In Princípios de Bioquímica. 8 ed. São Paulo: Sarvier , p. 185-202: Cap. 10 Guanabara Koogan, 1973. p.783, p.657-668. parte 6.

LIMA, K. S. C.; GROSSI, J. L. S.; LIMA, A. L. S.; ALVES, P. F. M. P.; CONEGLIAN, R. C. C.; GODOY, R. L. O. & SABAA-SRUR, A. U. **Efeito da irradiação ionizante gama na qualidade pós-colheita de cenouras (*Daucus carota* L.) cv. Nantes**. Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 21, n. 2, 2001, pp. 202-208.

LIMA, K. S. C., LIMA, A. L.S., FREITAS, L. C., DELLA-MODESTA, R. C. & GODOY, R. L. **O Efeito de baixas doses de irradiação nos carotenóides majoritários em cenouras prontas para o consumo**. Ciên. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 24, n. 2, 2004, pp. 183-193.

LIMA, K. S. C.; LIMA, A. L. S.; LUCHESE, R. H.; GODOY, R. L. O.; SABAA-SRUR, A. U. O. **Cenouras minimamente processadas em embalagens com atmosferas modificadas e tratadas com radiação gama: avaliação microbiológica, físico-química e química**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 23, n. 2, 2003, pp. 240-250.

LIMA, R.Q. Direito de resposta. **Revista Consumidor**. jun./jul. 2002. Disponível em: <http://www.cliquequimica.com.br/ultimas_noticias_irradiacao.htm>. Acesso em: 30/11/2008.

LORENZI, H. **Arvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**, v. 1, 4 ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002.

LORENZI, H, **Palmeiras do Brasil: Exóticas e Nativas/ Harri Lorenzi – Nova Odessa, SP. Editora plantarum, 1996.**

MATICH, A. J.; ROWAN, D. D.; BANKS, N. H.; **Solid Phase Microextraction for quantitative headspace sampling of apple volatiles**. *Anal. Chem.*, 68, 4114, 1996.

MAXIE, E.C.; SOMMER, N.F.; EAKS, I.L. **Effect of gamma radiation on citrus fruits**. In: INTERNATIONAL CITRUS SYMPOSIUM, California, 1969. Proceedings. Vienna: IAEA, 1969. p.1375-1387.

Mc. DOWELL, L.R. **Vitamins in Animal Nutrition**. Publ. Academic Press, N.Y. 1989.

MELLO, L. C. **Alimentos irradiados**. Revista Nutriweb. Maio 2001. Disponível em:
<<http://www.nutriweb.org.br/n0202/irradiados.htm>>. Acesso em: 03/01/2007.

MINATTI. **Doce com o açúcar**. Univ. Federal de Santa Catarina. 2007. Disponível em: <http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/sugar.html> Acesso em: 05 de fev. 2009.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Wholesomeness of Irradiated Food**: (TRS 659). World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1981.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS), Ginebra. **Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados**. 1995. 178 páginas.

PELUSIO, F., NILSSON, T. MONTANARELLA, L., TILIO, R., LARSEN, B., FACCHETTI, S., and MADSEN, J. **Headspace solid-phase microextraction analysis of volatile organic sulfur compounds in black and white truffle aroma**. J. Agric. Food chem. 1995. 43, 2138-2143.

POTHISIRI, P. **Control of food irradiation facilities and good irradiation practices**. WHO/IAEA/FAO. In: SEMINAR ON HARMONIZATION OF REGULATIONS ON FOOD IRRADIATION IN ASIA AND THE PACIFIC, 1993, Malaysia. Anais. Malaysia: IAEA – TECDOC 696, p. 67-72.

PRICE, W.J. **Nuclear Radiation Detection**. New York: McGraw-Hill, 1958.

QUINTÃO, L. C. **Dados da fome**. ONG Banco de Alimentos. 2007. Disponível em:
< <http://www.bancodealimentos.org.br/por/dadosfome/dadosdesperdicio.htm>>.
Acesso em: 16 nov. 2008.

- QUINTEIRO, M. C. Q. ; NOBRE, A. L. R. ; FERREIRA, A. B. B.; GODOY, R. L. O.; CASTRO, I. M. **Microextração em Fase Sólida: fundamentos e Aplicações em Análise de alimentos**. B. CEPPA, Curitiba, jan/jul. 2003, v21, n. 1, p 1-30.
- RIOS, M. D. G., PENTEADO, M. V. C. **Determinação de α -tocoferol em alho irradiado utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE)**, 2002.
- RODRIGUEZ - AMAYA, D.B. **A guide to carotenoid analysis in foods**. Washington: ILSI Press, 1999. 64p.
- ROBERTS, T. **Cold Pasteurization of Food by Irradiation**. Virginia Tech. Agosto 1998. Disponível em: <<http://www.ext.vt.edu/pubs/foods/458-300/458-300.html>>. Acesso em: 06 mai. 2007.
- ROCHA, M. A. A., SOUZA, Q. F., **O Uso de Alimentos Irradiados no Tratamento de Pacientes com baixa Imunidade**. UNIP, Brasília, 2007.
- SBP, Sociedade Brasileira de Pediatria, **Deficiência de Vitamina A**. Documento Científico (Impresso),Fev., 2007.
- SHIELS, M. E.; OLSON, J. A.; SHIKE, M.; ROSS, A. C. **Tratado de nutrição moderna na saúde e na doença**. 9. ed. São Paulo: Manole, 2003.
- SILVA, C. R. M., NAVES, M. M. V. **Suplementação de vitaminas na Prevenção de Câncer**. Rev. Nutr., Campinas, maio/ago., 2001,14(2): 135-143.
- SILVA, J. M. **Emprego da radiação gama na manutenção nutricional do fruto buriti (*Mauritia Flexuosa L.*) do cerrado brasileiro** / Jaqueline Michele da Silva. –Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.
- SIQUEIRA, A. A. Z. C., **Efeitos da Irradiação e refrigeração na qualidade e no valor nutritivo da Tilápia (*Oreochromis niloticus*)**. Piracicaba, 2001, 137 p. (Dissertação).

- SOUZA, L. B. **Efeito da Irradiação Gama sobre as Características Químicas, Sensoriais e Microbiológicas do Feijão-Fradinho (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)** / Luciana Boher e Souza. - Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.
- TAIPINA, M. S. DEL MASTRO, N. L. **Radiation effects on vitamin A and beta-carotene contents in liver products.** Institute of Nuclear Chemistry and Technology; Nukleonika – original Edition. 2003, VOL 48; PART 1, pages 9-12.
- TAPE, N. **Control of food irradiation practices and the role of the ICGFI guidelines and codes.** WHO/IAEA/FAO. In: SEMINAR ON HARMONIZATION OF REGULATIONS ON FOOD IRRADIATION IN ASIA AND THE PACIFIC, 1992, Malaysia. Anais. Malaysia: IAEA – TECDOC 696, 1992, p. 141-145.
- TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; PRINZIO, R. Di; PRINZIO, A. R. Di; **Radioproteção e dosimetria: fundamentos.** Rio de Janeiro: IRD/CNEN, 2003. 242 p.
- VALENTE, A.L.P.; AUGUSTO, F. **Microextração por fase sólida.** Química Nova, v.23, n.4, p.523-530,2000.
- VILELA, N.J.; LANA, M.M.; MAKISHIMA, N. **O peso da perda de alimentos para a sociedade: o caso das hortaliças.** Horticultura Brasileira, Brasília, abr./jun. 2003 v.21, n. 2, p. 141-143.
- VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; BOGNÁR, A.; DELINCÉE, H.; MANCINI-FILHO, J. **Effect of gamma irradiation on the thiamine, riboflavin and vitamin B6 content in two varieties of Brazilian beans.** Radiation Physics and Chemistry, Dinamarca, v. 57, n. 3-6, p. 299-304, 2000.
- VITAL, H.C. **Apostila do Curso de Especialização em Irradiação de Alimentos.** Universidade Federal Fluminense. 2000. 4 p. (Manuscrito).

VITAL, H. C.; VELLOZO, S. O. **Perspectivas de uso do irradiador gama do IPE.** In: CGEN, 6., Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: v. iii, out., p. 27-31, 1996.

WEST, S. MDS Nordion. **Sterilization.** Disponível em: <<http://www.mds.nordion.com/products/sterilization.htm>>. Acesso em: 25/01/2007.

WHO, **Global prevalence of vitamin A deficiency.** World Health Organization, Geneva, 1995.

WHO. **High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10kGy.** Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group, technical report series n. 890. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 1999.

WHO. **Inocuidad e idoneidad nutricional de los alimentos irradiados.** Ginebra: World Health Organization, 1995. 172 p.

WHO. **Nutricion y prevención de enfermedades crónicas.** Informe Técnico 797. Ginebra: World Health Organization, 1990. 223 p.

WILLIS, M.S., WIANS, F.H. Jr. **The role of nutrition in preventing prostate cancer: a review of the proposed mechanism of action of various dietary substances.** Clin Chim Acta. 2003; 330(1-2):57-83.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis.** 3. ed. New Jersey & USA: Prentice Hall, 1996.

7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

1. Estudar os efeitos da radiação gama nos ácidos graxos do fruto tucumã com enfoque na prevenção de doenças crônicas;
2. Elaboração de produtos a base da polpa e óleos do tucumã para auxiliar no combate a hipovitaminose A no Brasil como medidas de governo/políticas de governo;
3. Estudo dos efeitos do processo de irradiação nos voláteis do tucumã por CG-MS;
4. Estudo dos efeitos do processo de irradiação nas fibras do tucumã.

8 APÊNDICES

8.1 APÊNDICE 1 – TRABALHOS APRESENTADOS EM CONGRESSOS

I - CONGRESSO DE CIÊNCIAS MILITARES

TÍTULO: Carotenóides no Tucumã (*Astrocaryum vulgare*) submetido ao processo de irradiação gama.

DATA: 07 a 11 de julho de 2008.

LOCAL: EsAO - Vila Militar – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.

FORMA DE APRESENTAÇÃO: Pôster.

II - CBCTA – Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologia de Alimentos.

TÍTULO: Aplicação de baixas doses de radiação ionizante gama em frutos tropicais.

DATA: 06 a 09 de outubro de 2008.

LOCAL: Belo Horizonte – Minas Gerais.

FORMA DE APRESENTAÇÃO: Pôster.

III - 14th CIFST - WORLD CONGRESS OF FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY

TÍTULO: Application of Gamma Irradiation Process To Brazilian Native Tucumã Fruit.

DATA: 19 a 23 de outubro de 2008.

LOCAL: Changai – China.

FORMA DE APRESENTAÇÃO: Apresentação.

IV - COLACRO XII - XII Congresso Latino – Americano de Cromatografia e Técnicas Relacionadas.

✓ **TÍTULO:** Efeito da radiação gama no fruto tucumã (*Astrocaryum vulgare*): Avaliação dos teores de Aminoácidos e Açúcares por CLAE;

DATA: 27 a 30 de outubro de 2008.

LOCAL: Hotel Oásis Atlântico – Florianópolis – Santa Catarina.

FORMA DE APRESENTAÇÃO: Pôster.

- ✓ **TÍTULO:** Emprego da CLAE na determinação de carotenóides, ácido ascórbico e tiamina no fruto Tucumã (*Astrocaryum vulgare*) submetido ao processo de irradiação gama.
DATA: 27 a 30 de outubro de 2008.
LOCAL: Hotel Oásis Atlântico – Florianópolis – Santa Catarina.
FORMA DE APRESENTAÇÃO: Pôster.

V – IX ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IME 2008

TÍTULO: Emprego da Cromatografia no Acompanhamento dos Constituintes Químicos e Nutricionais de Frutos Irrradiados.

DATA: 20 a 22 de outubro de 2008.
LOCAL: Hotel IME – Rio de Janeiro – Rio de Janeiro.
FORMA DE APRESENTAÇÃO: Pôster.

8.2 APÊNDICE 2 - INSTITUIÇÕES QUE CONTRIBUÍRAM PARA REALIZAÇÃO DESTE TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido com a colaboração de profissional de quatro grandes instituições brasileiras: Instituto Militar de Engenharia – IME, Embrapa Agroindústria de alimentos, Centro Tecnológico do Exército – CETEx e Instituto de Macromoléculas Heloísa Mano, IMA – UFRJ.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA – IME

O Instituto Militar de Engenharia (IME) é o estabelecimento de ensino do Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT) responsável, no âmbito do Exército Brasileiro, pelo ensino superior de Engenharia e pela pesquisa básica.

O IME ministra cursos de graduação, pós-graduação e extensão universitária para militares e civis.

Inseri-se no Sistema de Ciência e Tecnologia do Exército, cooperando com os demais órgãos, por meio da prestação de serviços e pela execução de atividades de natureza técnico-científicas.

O Instituto coopera, pelo ensino e pela pesquisa, também para o desenvolvimento científico-tecnológico do País.

O IME localiza-se na histórica Praia Vermelha, na cidade do Rio de Janeiro, junto ao Bondinho do Pão de Açúcar, cartão postal da Cidade do Rio de Janeiro.

EMBRAPA AGROINDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A Embrapa Agroindústria de Alimentos originou-se da fusão de três instituições existentes no Rio de Janeiro com longa tradição de pesquisa: o Instituto de Tecnologia Alimentar, o Instituto de Tecnologia de Óleos e o Instituto de Tecnologia de Bebidas e Fermentações. Em 1971, como resultado dessa fusão, foi criado o Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar – CTAA, que desenvolvia suas atividades em instalações físicas divididas entre os bairros do Maracanã e Jardim Botânico. A partir de 1973, com a fundação da Embrapa, o CTAA foi incorporado a esta Instituição como uma de suas Unidades Descentralizadas.

Em 1984, o CTAA foi transferido para novas instalações físicas, construídas no bairro de Guaratiba, quando assumiu também mandato de âmbito nacional e teve seu nome mudado para Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos. Ao final da década de noventa, com a implantação da Política de Comunicação da Embrapa, o CTAA passou a adotar o nome síntese de Embrapa Agroindústria de Alimentos.

CENTRO TECNOLÓGICO DO EXÉRCITO - CTE_x

O centro tecnológico do exército - CTE_x é o órgão de apoio da Secretaria de Ciência e Tecnologia destinado a supervisionar e executar a pesquisa tecnológica, o desenvolvimento experimental, bem como a normatização e a avaliação técnica do material de emprego militar. Tem sob sua subordinação, como órgãos de execução, o Campo de Provas da Marambaia e os Institutos de Pesquisa e Desenvolvimento e de Projetos Especiais, todos localizados junto ao CTE_x, em Guaratiba (Zona Oeste do Rio de Janeiro), formando o Complexo Científico e Tecnológico de Guaratiba.

INSTITUTO DE MACROMOLÉCULAS PROFESSORA ELOÍSA MANO – IMA

O Instituto de Macromoléculas professora Eloísa Mano - IMA é um órgão suplementar do Centro de Tecnologia da UFRJ e desenvolve atividades de ensino, pesquisa e serviços. Foi fundado em 1968, pela Professora Eloisa Biasoto Mano, ainda atuante como Professora Emérita. Como atividade paralela e intrinsecamente ligada, desenvolve pesquisa, outros cursos, assim como serviços para indústrias, quer na área de plásticos, na de borracha, mistura de polímeros, compósitos inclusive com elastômeros, novos materiais, adesivos, tintas fibras, espessantes, polímeros de fontes renováveis, polímeros naturais, polímeros solúveis em água, aditivos para o petróleo, tensoativos, catalisadores para Ziegler e metalocenos; ou ainda, reciclagem tanto sob o aspecto químico como sob o aspecto econômico e de gestão tecnológica. Desde 1977 o IMA já formou quase 400 profissionais entre mestres e doutores para o Brasil e outros países da América Latina, todos engajados em pesquisa ou na indústria ou ainda, em outras universidades formando núcleos de propagação e desenvolvimento do conhecimento em macromoléculas.

8.3 APÊNDICE 3 – EXEMPLO DE TRATAMENTO ESTATÍSTICO

ANOVA nas concentrações de tiamina.

Tiamina

	Controle	0,5 kGy	1,0 kGy	2,0 kGy
	0,051	0,036	0,04	0,033
	0,049	0,036	0,051	0,034
$\sum X_{ij}$	0,100	0,072	0,091	0,067
$\sum X_{ij}/n$	0,05	0,036	0,0455	0,0335
$\sum \sum X_{ij}$	0,33			
$\sum \sum X_{ij}/N$	0,04125			

Varição Dentro do Grupo	
$\sum X_1^2$	0,005002
$\sum X_2^2$	0,002592
$\sum X_3^2$	0,004201
$\sum X_4^2$	0,002245
$\sum \sum X_{ij}^2$	0,014040
C	0,013613

Calculando as Somas dos Quadrados	
SS (Total)	0,000427
SS(Grupo)	0,000364
SS (erro)	0,000063

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

H_A : As concentrações são diferentes.

Tabela Anova

Fonte	Tabela SS	DF	MS
Total	0,000427	7	
Grupo	0,000364	3	0,000121
Erro	0,000063	4	0,000016

$\alpha=0,05$ (Monocaudal)

$F_{0,05(1),3,4} = 6,59$

F 7,714286

Se $F \geq 6,59 \rightarrow$ rejeito H_0 com 95% NC

Resultado: Rejeito H_0 com 95% NC

TUKEY TEST para as médias das concentrações de Tiamina.

Comparação Múltipla

SE = 0,002806

Rank crescente das medias
 4 2 3 1
 0,0335 0,036 0,0455 0,05

Comparar	Diferença XA-XB	SE	q	$q_{0,005(1)3,4}$	Conclusão
1x4	0,016500	0,002806	5,879747	5,757	Rejeito que $\mu_1 = \mu_4$
1x2	0,014000	0,002806	4,988877	5,757	Aceito que $\mu_1 = \mu_2$
1x3	0,004500	0,002806	1,603567	5,757	Aceito que $\mu_1 = \mu_3$
3x4	0,012000	0,002806	4,276180	5,757	Aceito que $\mu_3 = \mu_4$
3x2	0,009500	0,002806	3,385309	5,757	Aceito que $\mu_3 = \mu_2$
2x4	0,002500	0,002806	0,890871	5,757	Aceito que $\mu_2 = \mu_4$