AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

“EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA SOBRE O CONTEÚDO DE TOCOFERÓIS EM
PRODUTOS NATURAIS E INDUSTRIALIZADOS E AVALIAÇÃO
SENSORIAL”

MAGDA SINIGALLIA TAIPINA

Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Doutor em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear- Aplicações

Orientadora:

Dra. Nélida Lúcia del Mastro

SÃO PAULO

2009

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Autarquia Associada à Universidade de São Paulo

“EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA SOBRE O CONTEÚDO DE TOCOFERÓIS EM
PRODUTOS NATURAIS E INDUSTRIALIZADOS E AVALIAÇÃO
SENSORIAL”

MAGDA SINIGALLIA TAIPINA

Tese apresentada como parte dos
requisitos para obtenção do Grau de
Doutor em Ciências na Área de
Tecnologia Nuclear Aplicações

Orientadora:

Dra. Nélida Lúcia del Mastro

SÃO PAULO

2009

DEDICATÓRIA

A DEUS e minha família

Aos meus pais, Alba e Manuel

A meu esposo, Alúzio pela compreensão, amor e carinho.

AGRADECIMENTOS

Especialmente à Dr^a Nélida Lúcia del Mastro, pela oportunidade, pelo apoio, orientação, incentivo e amizade.

Aos colegas do CTR e ao Dr. Jair Mengatti pelo apóio e pelos reagentes fornecidos.

A Dr^a Myrna Sabino pela possibilidade de realizar as análises de vitamina E no Instituto Adolfo Lutz .

A Leda C.A Lamardo pelo auxilio na realização das análises de vitamina E no Instituto Adolfo Lutz e Maria Auxiliadora de Brito Rodas da análise sensorial.

Aos engenheiros Elizabeth Somessari e Carlos Gaia pelas irradiações.

À colega Selma M.L. Guedes pelo auxílio no trabalho.

À administração do IPEN por permitir a participação no curso de pós-graduação.

Aos amigos que me acompanham

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

“EFEITO DA RADIAÇÃO GAMA SOBRE O CONTEÚDO DE TOCOFERÓIS EM PRODUTOS NATURAIS E INDUSTRIALIZADOS E AVALIAÇÃO SENSORIAL”

Magda Sinigallia Taipina

RESUMO

O conteúdo e o percentual de retenção de atividade de vitamina E, bem como, as características sensoriais foram analisados em amostras de alimentos fontes de vitamina E: nozes pecãs; biscoitos integrais e alimento fortificado em pó irradiados com doses de 1 e 3 kGy de radiação gama de ^{60}Co . Para a determinação de vitamina E (como equivalentes em α -tocoferol) foram utilizados três lotes dos produtos e aplicado método colorimétrico padronizado pelo Instituto Adolfo Lutz de São Paulo. Para a análise sensorial foi utilizado o Teste de Comparação Múltipla ou Diferença do Controle para todos os produtos que avaliou as amostras irradiadas em comparação ao controle (não irradiado), dimensionando o grau de diferença em termos globais quanto aos atributos sensoriais de: aparência, aroma, textura e sabor, em escala de categoria de 9 pontos, variando de 1 = nenhuma diferença a 9 = extrema diferença do controle “C”. O delineamento experimental empregado foi de blocos completos casualizados, em duas sessões consecutivas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ANOVA, e comparação de médias pelo teste de Dunnett, a 5% de significância. Os resultados mostram que não houve perda de vitamina E nas amostras de nozes pecãs; biscoitos integrais e alimento fortificado em pó irradiados com doses de 1 e 3 kGy. Em relação à análise sensorial, a radiação gama na dose de 3kGy, produziu mudanças nas propriedades sensoriais das nozes pecãs para os atributos de aparência, odor, textura e sabor. A dose de 1kGy não causou diferença significativa para estes atributos. Em relação à análise sensorial de biscoitos integrais e alimento fortificado em pó, foi obtida diferença significativa para todos os produtos irradiados, porém os valores do grau de diferença foram significativamente baixos em relação as amostras não irradiadas, especialmente quando aplicada a dose de 1kGy.

GAMMA RADIATION EFFECT ON TOCOPHEROL CONTENT IN NATURAL AND INDUSTRIALIZED PRODUCTS AND SENSORY EVALUATION

Magda Sinigallia Taipina

Abstract

Vitamin E content, the percentage of activity retention and the sensory characteristics were analyzed in samples of vitamin E rich foods: pecan nuts, whole grain cookies and a fortified powder formula irradiated with 1 and 3kGy of ^{60}Co gamma radiation. For the vitamin E determination (as α -tocopherol equivalents) three different samples lots were employed using the colorimetric method standardized by the Instituto Adolfo Lutz of Sao Paulo. For sensory analysis, the Multiple Comparison or Control Difference Test was used for all products, comparing the irradiated samples to the non-irradiated controls and measuring the difference rate in total terms, concerning appearance, odor, texture and flavor, in a category scale of 9 points, ranging from 1 = no difference to 9 = extreme difference to the control. The experimental outline employed was that of randomized complete blocks design, in two consecutive sessions. The obtained data were submitted to variance analysis, ANOVA, and means comparison by Dunnett test, at 5% significance. The results show that there was no E vitamin loss in the pecan nuts, whole grain cookies and powder food samples, irradiated with 1 and 3 kGy doses. With regard to the sensory analysis, the 3kGy gamma irradiation produced significant changes in the sensory properties of pecan nuts for the attributes: appearance, odor, texture and flavor. The 1kGy dose did not cause a significant difference for these attributes. Concerning the sensory analysis of whole grain cookies and fortified powder food, significant differences were observed in all the irradiated products, although the difference grades were significantly low, compared to those of the non-irradiated samples, especially when 1kGy dose was applied.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	09
1.1 Considerações Gerais	09
1.2 Objetivo	10
2. REVISÃO DA LITERATURA	11
2.1 Vitamina E	11
2.1.1 Aspectos históricos	11
2.1.2 Estrutura da vitamina E	12
2.1.3 Fontes de vitamina E	15
2.1.4 Aspectos nutricionais da vitamina E	17
2.1.5 Biodisponibilidade da vitamina E	19
2.1.6 Propriedades antioxidantes da vitamina E	21
2.1.7 Estabilidade da vitamina E no processamento de alimentos	26
2.1.8 Nozes pecãs	28
2.2. Processamento pela irradiação	29
2. 2.1 A ação da radiação ionizante em alimentos	29
2.2.2 Salubridade de alimentos irradiados	35
2.2.3 Legislação de alimentos irradiados	36

2.2.4 Efeito da radiação nas vitaminas	37
2.2.5 Vitamina E e a radiação	38
2.3 Métodos analíticos para determinação de vitamina E	41
2.4 Análise Sensorial	42
3. MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 Material	49
3.2 Métodos	52
3.2.1 Irradiação	52
3.3 Determinação colorimétrica de vitamina E	54
3.4 Análise sensorial dos alimentos irradiados	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
6. CONCLUSÕES	69
APÊNDICE A	70
APÊNDICE B	71
REFERÊNCIAS	72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Alimentos considerados fontes de vitamina E	16
TABELA 2	Conteúdo de vitamina E em mg / 100 g de alguns produtos	17
TABELA 3	Estabilidade de vitamina E em alimentos submetidos a diversos tratamentos	27
TABELA 4	Teor de vitamina E em nozes pecã (mg /100g)	29
TABELA 5	Aplicação da radiação ionizante em alimentos	35
TABELA 6	Sensibilidade das vitaminas à radiação	38
TABELA 7	Informação nutricional centesimal dos biscoitos empregados no estudo	50
TABELA 8	Informação nutricional centesimal do alimento fortificado em pó	51
TABELA 9	Conteúdo de vitamina E em nozes pecã irradiadas, e % de retenção	60
TABELA 10	Conteúdo de vitamina E em biscoitos irradiados, e % de retenção	61
TABELA 11	Conteúdo de vitamina E em alimento fortificado em pó irradiados, e % de retenção	62
TABELA 12	Análise sensorial de nozes pecã irradiadas através do teste de diferença do controle	64
TABELA 13	Análise sensorial de biscoitos irradiados através do teste de diferença do controle	65
TABELA 14	Análise sensorial de alimento fortificado em pó irradiadas através do teste de diferença do controle	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	α -tocoferol	13
FIGURA 2	Estereoisômeros 2R de α - tocoferol	14
FIGURA 3	Estereoisômeros 2 S de α -tocoferol	14
FIGURA 4	Irradiação de alimento fortificado em pó na Gammacell 220	53
FIGURA 5	Detalhes do método para determinação de vitamina E	55
FIGURA 6	Avaliação da aparência das nozes e demais atributos sensoriais em cabine climatizada	56
FIGURA 7	Avaliação da aparência dos biscoitos e demais atributos sensoriais em cabine climatizada	57
FIGURA 8	Avaliação da aparência do alimento fortificado em pó e demais atributos sensoriais em cabine climatizada	58

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O termo vitamina E é utilizado como descritor genérico de todos os derivados tocóis e tocotrienóis que exibem qualitativamente atividade biológica de α -tocoferol.

A vitamina E é uma vitamina lipossolúvel cuja função mais importante é a sua capacidade de agir como antioxidante e neutralizador de radicais livres instáveis que podem causar danos ao organismo humano. As fontes mais importantes desta vitamina encontradas na dieta são os óleos vegetais, as nozes, germe de trigo e vegetais de folhas verdes. Enquanto esta vitamina exerce sua função antioxidante, protege ao mesmo tempo os outros antioxidantes de serem oxidados (Mahan & Stump, 2005)

Alguns estudos indicam que o conteúdo de α -tocoferol na dieta de adultos não é o adequado sendo inferior às recomendações atuais (Maras *et al*, 2004). Assim sendo, é de extrema importância conhecer de que maneira o processamento dos produtos alimentícios afeta o conteúdo desta vitamina, sejam estes produtos ingeridos “*in natura*” ou industrializados onde a fonte de vitamina se constitua apenas num ingrediente minoritário.

O consumo de alimentos seguros e nutritivos torna-se cada vez mais uma exigência geral. A preservação de alimentos mediante o emprego das radiações ionizantes é um método rápido, econômico e eficaz. A irradiação causa a formação de radicais livres, que também podem ser formados por outros tratamentos como o aquecimento ou por processos normais de oxidação dos alimentos. A segurança e os benefícios de alimentos processados pela radiação estão bem documentados, sendo os mais importantes os benefícios sanitários e fitossanitários, bem como, a extensão da vida de prateleira dos mais diversos produtos alimentícios (Murano, 1995). Esta tecnologia pode ser utilizada tanto em matérias-primas quanto em produtos industrializados, embalados e prontos para o consumo.

Os avanços na indústria de alimentos vêm mostrando crescente demanda por produtos naturais e industrializados fortificados como suplementos nutricionais para atender não só ao público em geral, mas também atletas e pacientes com comprometimento imunológico, como os de câncer, portadores do vírus HIV, transplantados e diabéticos (Bosh, 2005). É da maior importância conhecer o efeito preciso da radiação nesses produtos para poder assim avaliar a necessidade de fortificação e suplementação vitamínica.

É particularmente relevante para a aceitação de alimentos irradiados efetuar análise sensorial. É possível que o tratamento por radiação modifique alguma propriedade dos alimentos mesmo sem detrimento da qualidade nutricional, sendo fundamental assim o estabelecimento de doses adequadas para cada produto específico, a partir das quais não seria recomendada sua aplicação. Mesmo conhecendo o efeito da radiação em componentes isolados dos alimentos, é necessário conhecer o comportamento desses quando presentes junto com outros produtos, pois a radiosensibilidade de um ingrediente depende da natureza dos outros compostos presentes. Assim, para avaliar a ação da radiação no conteúdo de vitamina E interessa estudar diversos tipos de alimentos fontes dessa vitamina tais como um produto natural, um produto industrializado e um alimento fortificado em pó adequado para pacientes imunodeprimidos.

1.2 Objetivo

O objetivo do presente trabalho foi à avaliação da estabilidade da vitamina E contida em produtos alimentícios - nozes pecã, biscoitos integrais e alimento fortificado em pó - frente à radiação ionizante, mediante a determinação analítica do teor de tocoferóis nas amostras irradiadas quando comparado com aquele de amostras não irradiadas. Além da determinação do teor da vitamina, foram verificadas as modificações sensoriais causadas pela irradiação, nos atributos de aparência, aroma, textura e sabor, dependendo da especificidade das amostras em comparação às amostras não irradiadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Vitamina E

2.1.1 Aspectos históricos

Evans & Bishop (1922) observaram problemas de reprodução em ratos que recebiam uma dieta deficiente em lipídeos, a não ser que lhes fornecessem: folhas de alface crespa, gérmen de trigo ou alfafa. Percebeu-se que um fator lipossolúvel inicialmente denominado “fator anti-esterilidade” era essencial para uma gravidez normal em ratas. Posteriormente, a importância da vitamina E na prevenção de esterilidade em ratos machos foi verificada por Mason (1933) e em frangos por Adamstone & Card (1934).

Evans *et al.* (1938) apud Smith (1940) isolaram do óleo de gérmen de trigo um álcool com atividade biológica da vitamina E, que recebeu então o nome de “ α -tocoferol”, do grego “*tocos*” significa nascimento de criança e fero igual a promover. A terminação “*ol*” foi empregada para indicar que se tratava de um álcool. Outros tocoferóis foram isolados de óleos vegetais por Emerson *et al.* (1937), sendo denominados β - e γ - tocoferóis. A estrutura do “ α - tocoferol” (Figura 1) foi determinada por Fernholz (1938).

O conhecimento, sobre o papel que a vitamina E exerce na nutrição humana, na saúde e na doença tem aumentado e mudado nas últimas décadas (Schneider, 2005). Inicialmente, a vitamina E era considerada apenas o antioxidante mais potente natural solúvel em lipídeos. Hoje, se assume que a ação da vitamina E têm muitas mais facetas, dependendo do contexto fisiológico. Mesmo agindo, principalmente como antioxidante, a vitamina E pode ser também pro-oxidante. Pode também ter funções não antioxidantes: como molécula de sinalização, como regulador da expressão gênica e possivelmente, na prevenção de câncer e de aterosclerose. Sendo que o termo vitamina E inclui um grupo de oito tocoferóis e tocotrienóis, deve ser considerado que os isômeros individuais podem ter diferentes propensões com respeito aos diversos papéis fisiológicos.

Há registros na literatura de que a vitamina E exerceria controle sobre a transferência das informações genéticas nas células (Anderson *et al.*, 1988).

2.1.2 Estrutura da vitamina E

Os tocoferóis são compostos fenólicos oleosos amarelo-claros, derivados do cromanol que diferem no número e posição dos grupos metila no anel benzênico (Webster, 1976; Windholz *et al.*, 1976). Possuem propriedades antioxidantes e atividade de vitamina E em vários graus, e são encontrados na forma dextrorotatória em sementes de oleaginosas (óleos de germe de trigo e algodão), em folhas vegetais, em óleos de fígado de peixe. Tradicionalmente, estruturas classificadas como tendo atividade antioxidante de vitamina E, incluem 4 tocoferóis (α , β ou o γ e δ - tocoferóis) e 4 tocotrienóis (α , β ou o γ e δ - tocotrienóis). Todos os tocoferóis quanto os tocotrienóis possuem um anel 6-cromanol e uma cadeia lateral. Esta cadeia é de natureza isoprênica constituída por 16 átomos de carbono, sendo responsável pela lipossolubilidade da vitamina E. Enquanto os tocoferóis apresentam esta cadeia totalmente saturada, os tocotrienóis têm 3 duplas ligações nas posições 3, 7, e 11. Os diferentes isômeros destes compostos (α -, β -, γ - e δ -) diferem entre si pelo número e pela posição de grupos metila no anel cromanol. Assim os α - isômeros dos tocoferóis e dos tocotrienóis possuem grupos metila nas posições 5, 7 e 8 do anel, os β isômeros destes compostos nas posições 5 e 8, os γ nas posições 7 e 8 e os δ na posição 8 somente. Nos tocotrienóis, as duplas ligações nas posições 3 e 7 da cadeia fitila contribuem para a formação de isômeros *cis/trans*. Todos os tocoferóis que ocorrem naturalmente em alimentos tem a estereoquímica RRR na cadeia lateral (IOM, 2000).

Com fórmula $C_{29}H_{50}O_2$, os tocoferóis são preparados sinteticamente na forma racêmica e são utilizados junto com outras vitaminas antioxidantes em nutrição humana e veterinária. Quando obtidos por síntese, são preparados na forma de acetato ou outros ésteres.

Das oito formas de vitamina E que ocorrem naturalmente, apenas à forma de α -tocoferol (FIG. 1) é mantida no plasma humano (IOM, 2000). Entretanto, as únicas formas de α -tocoferol que são mantidas no plasma são RRR- α -tocoferol, a forma de α -tocoferol que ocorre naturalmente em alimentos e as formas 2 R, RRR-, RSR-, RRS-, e RSS- α -tocoferóis presentes no racêmico sintético *all rac* α -tocoferol. O α -tocoferol natural é constituído por um único estereoisômero, o RRR α -tocoferol. Já a forma sintética, obtida a partir da reação da trimetilhidroquinona com o isofitol sintético, é uma mistura de 8 estereoisômeros, sendo apenas um idêntico ao natural (IOM, 2000; Accuff *et al.*, 1994; Cozzolino, 2005; Penteado, 2003). Nas FIG. 2 e 3 são apresentados os estereoisômeros de α -tocoferol. As seguintes designações são empregadas: natural (D- α -tocoferol ou RRR- α -tocoferol) e o sintético (DL- α -tocoferol) (Penteado, 2003).

O α -tocoferol apresenta três centros quirais na cadeia lateral (2, 4' e 8'), totalizando oito formas estereoisoméricas possíveis que ocorrem na forma sintética (Penteado, 2003). Esses centros quirais apresentam configurações R (do latim *rectus* significa direita) ou S (do latim *sinister* é igual à esquerda).

FIGURA 1 - α -tocoferol

FIGURA 2 - Estereoisômeros 2R de α - tocoferol

FIGURA 3 - Estereoisômeros 2S de α - tocoferol

2.1.3 Fontes de vitamina E

As fontes de vitamina E da dieta humana são (USDA, 2006):

- óleos (soja, milho, linhaça, algodão, canola, palma, gergelim, germe de trigo, amendoim, girassol, oliva);
- margarinas (milho, soja, girassol);
- sementes (gergelim, girassol);
- nozes (amêndoa, pecã, amendoim, castanha do Pará ou nozes do Brasil);
- grãos de cereais (milho, arroz)

A melhor maneira de ingerir a quantidade adequada de vitamina E é consumir uma variedade de alimentos fontes dessa vitamina (TAB. 1). Indivíduos saudáveis que tem uma dieta balanceada raramente necessitam de suplementos. Entretanto, alguns estudos indicam que o conteúdo de α -tocoferol na dieta de adultos não é o adequado sendo inferior às recomendações atuais (MARAS *et al*, 2004).

A recomendação de vitamina E depende da quantidade de ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs) consumida. Níveis elevados de PUFAs, que usualmente requerem níveis aumentados de antioxidantes, vêm, geralmente, de óleos de soja, milho, algodão, azeite extra virgem e também extraído da semente da cana. (Mahan & Stump, 2005; Windholz *et al*, 1976; Scherz & Senser, 2000; Thayer *et al.*, 1991; Morello *et al.*, 2004; Villaverde *et al.*, 2004; Cozzolino, 2005; Adhikari, *et al*, 2008).

As nozes são consideradas boas fontes de vitamina E mesmo que o conteúdo dessa vitamina varie conforme o tipo de noz, a região de cultivo, as condições climáticas, o solo, o tempo de colheita, a estabilidade após a colheita, dentre outros fatores (Anderson, 1988). A TAB. 2 apresenta o conteúdo de vitamina E de diversos produtos.

TABELA 1- Alimentos considerados fontes de vitamina E (Ohio St. Univ., 2004).

Pães, Cereais e outros grãos Cereais matinais, Cereais fortificados Germe de trigo
Frutas Maçã assada Damasco Nectarina crua Pêssego
Hortaliças Acelga Couve Mostarda Abóbora Nabo
Carnes, Aves e substitutos Fígado, frango, ou peru
Peixes Marisco em conserva Corvina cozida ou assada Cavala em conserva Salmão assado ou grelhado Vieira assada ou cozida Camarão cozido ou assado
Nozes e sementes Amêndoa Nozes Avelã Amendoim Manteiga de amendoim

TABELA 2 - Conteúdo de vitamina E em mg/100g de alguns produtos segundo USDA, 2004.

Tipo de noz	Teor de Vitamina E em mg/100g
Sementes de girassol	56,5
Amêndoas	26,2
Avelãs	15,2
Amendoim	7,8
Castanha do Pará ou noz do Brasil	7,6
Pistacchios	4,3
Pecãs	4,0
Pignolis	3,5

2.1.4 Aspectos nutricionais da vitamina E

Anteriormente a 1980, para uso farmacológico, uma unidade internacional (UI) de atividade de vitamina E era definida como 1 mg de (*all rac*)- α tocoferil acetato pela farmacopéia dos Estados Unidos de América – (*United Stated Pharmacopeia*) USP (IOM, 2000). Utilizando-se o método de reabsorção fetal em ratos, 1 mg de *all RRR*- α -tocoferol equivale a 1,49 UI de vitamina E (IOM, 2000). Posteriormente, a UI foi substituída pela unidade USP, onde uma unidade de vitamina E foi definida como a atividade de 1mg de (*all rac*)- α -tocoferil acetato, 0,67 mg *RRR*- α -tocoferol, ou 0,74 mg *RRR*- α -tocoferil acetato (USP), (IOM, 2000). Embora as UIs não sejam reconhecidas, muitos alimentos fortificados e suplementos mantêm esta terminologia enquanto as unidades USP são largamente usadas na indústria farmacêutica em rotulagem de vitamina E em suplementos. Ambos os sistemas são equivalentes (IOM, 2000).

A maioria dos dados de rotulagem nutricional não distingue entre as várias formas de tocoferol nos alimentos. As necessidades de consumo, as avaliações nutricionais e do conteúdo de nutrientes dos alimentos são expressas em equivalentes de α -tocoferol (α -TE) que incluem todas as oito formas naturais de vitamina E encontradas nos alimentos (Mahan & Stump, 2005). Previamente,

fatores para a conversão dos tocoferóis e tocotrienóis para unidades α -TE foram baseadas na atividade biológica das várias formas, assim sendo que α -TEs foram definidos como α -tocoferol, mg x 1,0; β -tocoferol, mg x 0,5 ; γ -tocoferol, mg x 0,1; δ -tocoferol, mg x 0,03; α -tocotrienol, mg x 0,3; e β -tocotrienol, mg x 0,05 (IOM, 2000).

Com base na revisão dos dados, os estereoisômeros 2R, RRR-,RSR-, RRS- e α RSS- α -tocoferóis) são agora usados para estimar o requerimento de vitamina E. O estereoisômero 2S do α -tocoferol e outros tocoferóis (β -, γ -, e δ -tocoferol) e os tocotrienóis não são usados para estimar os requerimentos de vitamina E. Assim, o requerimento médio estimado (*Estimated Average Requirements*, EARs), as recomendações nutricionais (*Recommended Dietary Allowances*, RDAs), e a ingestão adequada (*Adequate Intakes* (AIs) seguem a utilização para a ingestão na dieta da forma 2R-estereoisomérica de α -tocoferol dos alimentos “*in natura*”, alimentos fortificados e multivitaminas. Os níveis máximo de ingestão, *Tolerate Upper Intake Level* (ULs) são utilizadas em algumas formas de suplementação de α - tocoferol (IOM, 2000).

As recomendações de ingestão dietética de referência (*Dietary Reference Intakes*, DRIs) para vitamina E, são baseadas apenas no α - tocoferol e não incluem quantias obtidas de outras sete formas naturais de vitamina E (β -, γ - δ -tocoferol e os quatro tocotrienóis). O requerimento médio estimado (EAR), as recomendações nutricionais (RDAs) e a ingestão adequada (AIs) são aplicadas apenas para a ingestão de RRR- α - tocoferol de alimentos e as formas 2R estereoisoméricas de α -tocoferol (RRR-,RSR-, RRS-), e RSS- α -tocoferol que ocorrem em alimentos fortificados e suplementos.

As diferentes formas de vitamina E não são interconvertidas no organismo. Embora o α e o γ -tocoferol sejam absorvidos, apenas o α -tocoferol é secretado pelo fígado para o plasma porque a proteína de transferência do α -tocoferol (α -TTP) reconhece apenas o α -tocoferol para transporte para os tecidos enquanto que o γ -tocoferol é metabolizado e excretado (IOM, 2000; Cozzolino, 2005).

As recomendações de ingestão dietética de referência (IDR) da vitamina E, segundo a legislação dos EUA (INSTITUTE OF MEDICINE, 2000) para homem ou mulher acima de 14 anos é de 15mg/dia; para mulheres grávidas de qualquer idade também 15mg/dia e para mulheres amamentando 19mg/dia. As DRIs para lactentes de 0-6 meses de idade são de 4mg/dia; para crianças de 1-3 anos: 6mg/dia; de 4-8 anos: 7mg/dia; 9-13 anos: 11mg/dia e para maiores de 14 anos 15mg/dia (Cozzolino, 2005).

Segundo a legislação brasileira, a ingestão diária recomendada (IDR) para adulto, gestante e lactante (mulher que aleita) de população sadia é de 10 mg. As IDRs para lactentes de 0-6 meses de idade é de 2,7 mg; para crianças de 7- 11meses: 2,7 mg; de 1- 3 anos: 5 mg; de 4-6 anos: 5 mg e de 7-10 anos: 7 mg (Brasil, 2005).

A atividade da vitamina E é resistente ao aquecimento e a ácidos, mas é instável frente a álcalis, luz ultravioleta e oxigênio e a certos processos tecnológicos. É destruída quando está em contato com gorduras rancificadas, chumbo e ferro (Mahan & Stump, 2005; Allwood *et al.*, 2000; Suknark *et al.*, 2001; Thayer *et al.*, 1991; Windholz, *et al.*, 1976). Os ésteres de tocoferol, como o acetato de tocoferol, disponível no comércio, podem ser mais estável à luminosidade (Bieri *et al.*, 1983; Mahan & Stump, 2005).

2.1.5 Biodisponibilidade da vitamina E

Somente cerca de 20% a 40% do α -tocoferol ingerido é absorvido. A eficiência na absorção da vitamina E é aumentada pelo concomitante consumo de gordura na dieta. A absorção máxima ocorre no intestino delgado e depende de emulsificação, solubilização, difusão através da camada de água, permeação pelos eritrócitos, incorporação às partículas de lipoproteínas e transporte da mucosa para a circulação. Triacilgliceróis de cadeia média parecem colaborar com a absorção da vitamina E. Já os ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa podem prejudicar este processo, uma vez que aumentam a possibilidade de ocorrência de oxidação lipídica, destruindo o nutriente (Penteado, 2003;

Cozzolino, 2005; Mahan & Stump, 2005).

A absorção de tocoferóis é controlada por difusão passiva. Dentro das células da mucosa, o α -tocoferol se combina com outros lipídeos e com as apolipoproteínas, tais como os quilomícrons. Os ésteres de tocoferol necessitam ser hidrolisados no intestino delgado antes de serem absorvidos. A partir de sua absorção, a vitamina E é incorporada aos quilomícrons e assim alcançam o fígado. No fígado, uma proteína específica, α -TTP, seletivamente escolhe o α - tocoferol, entre os demais tocoferóis para incorporação nas lipoproteínas de muito baixa densidade (VLDLs). Portanto, embora o processo de absorção de todos os homólogos do tocoferol de nossa dieta seja similar, a forma α - tocoferol predomina no sangue e nos tecidos (Penteado, 2003; Cozzolino, 2005; Mahan & Stump, 2005).

A forma α - tocoferol também se acumula em tecidos extra-hepáticos, particularmente nos locais onde a produção de radicais livres é maior, como nas membranas das mitocôndrias e no retículo endoplasmático do coração e dos pulmões (Cozzolino, 2005). Outras formas são muitas menos retidas e são excretadas pela bile na urina. A capacidade do plasma para aumentar a concentração de α - tocoferol é limitada.

Alguns componentes da dieta podem interferir na biodisponibilidade da vitamina E. Estudos em animais analisaram o efeito de alguns compostos fenólicos nas concentrações de α e γ - tocoferol no plasma, no fígado e nos pulmões dos animais. Os que receberam gergelim na dieta apresentaram, respectivamente, teores mais altos de α e γ - tocoferóis no plasma e nos tecidos analisados. Dentre as possíveis explicações para tais resultados está o possível efeito inibitório nas enzimas envolvidas na produção de radicais livres, que são fatores de destruição para os tocoferóis no organismo; interação antioxidante dos fenóis da dieta e/ou seus metabólitos com estes radicais (Penteado, 2003).

Para compensar as perdas nutricionais e aumentar a biodisponibilidade dos nutrientes, a fortificação de alimentos, ou seja, a adição complementar de

nutrientes é usada em muitos países (Taipina & Sábato, 2001).

2.1.6 Propriedades antioxidantes da vitamina E

A oxidação lipídica é um dos mais sérios problemas na indústria alimentícia, causando perda na qualidade nutricional, alteração de cor, odor e sabor. Pode haver ainda, o comprometimento da segurança do alimento, já que há formação de produtos secundários embora não se saiba ao certo qual a extensão da oxidação nem a quantidade necessária de produtos formados para produzir efeitos maléficos (Penteado, 2003).

A vitamina E é um nutriente essencial, onde o grupo hidroxila do anel cromanol dos tocoferóis atua como doador de elétrons ou acceptor de radicais livres. Essa reação pode retardar a taxa de oxidação de espécies autooxidativas dos lipídios (Suknark *et al.*, 2001; Govaris *et al.*, 2004; Nogala *et al.*, 2004).

Para prevenção de danos celulares associados ao estresse oxidativo é importante o balanço nutricional da taxa de antioxidantes (Gate *et al.*, 1999). A vitamina E como antioxidante previne a propagação de radicais livres e caracteriza-se por ser inativador do radical peroxila terminando a propagação de reação em cadeia do radical reagindo com radicais peroxila e produtos hidroperóxidos, protegendo os ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs), isto é impedindo a reação deste radical com o ácido graxo. Os radicais peroxila (ROO^*) reagem com a vitamina E (Vit E-OH) muito mais rapidamente do que com os PUFAs (RH). O grupo hidroxil-fenólico de tocoferol reage com um radical peroxila orgânico para formar o hidroperóxido orgânico correspondente e o radical tocoferoxila (Vit. E-O^{*}) (IOM, 2000; Kitts, 1997).

Na presença de vitamina E: $\text{ROO}^* + \text{Vit.E-OH} \rightarrow \text{ROOH} + \text{Vit E-O}^*$

Na ausência de vitamina E: $\text{ROO}^* + \text{RH} \rightarrow \text{ROOH} + \text{R}^*$

Na ausência da vitamina E, os radicais livres catalisam a peroxidação

dos PUFA's (ácidos graxos poliinsaturados) que constituem os componentes estruturais das membranas celulares. Estes ácidos graxos poliinsaturados são particularmente susceptíveis a oxidação mediada por radicais livres. A destruição que se segue leva ao desenvolvimento anormal da estrutura celular e ao comprometimento da função celular. A habilidade da vitamina E de evitar tal destruição levou a concluir que ela poderia eventualmente ser útil em prevenir condições associadas com processos degenerativos mediados por radicais livres, tais como o envelhecimento e o desencadeamento de algumas formas de carcinogênese, artrite e agregação plaquetária (Azzi *et al.*, 2001; Meydani, 2001; Traber, 2001; Freedman & Keaney, 2001; Mahan & Stump, 2005).

Alguns estudos indicam que dieta rica em antioxidantes, como vitamina E combate e previne doenças coronarianas, diabetes (Morello *et al.*, 2004; Maguire *et al.*, 2004; Cozzolino 2005; Knekt, 1999) e isquemia cerebral (Ikeda *et al.*, 2003). Estudos sugerem que dieta rica em alimentos fontes de vitamina E, pode ajudar a proteger pessoas do mal de Alzheimer. Entretanto, a vitamina E em forma de suplementos não está associada com a redução do risco do mal de Alzheimer (National Institutes of Health, 2002).

Estudos de biocinética e metabolismo em fumantes e não fumantes foi possível mostrar que esses grupos processam a vitamina E de maneira diversa (Lodge, 2008). Nesse sentido, há registros na literatura que apresentam dados sobre a inconveniência de suplementação com vitamina E em casos de pacientes masculinos fumantes que consumam dietas ricas em vitamina C (Hemila & Kaprio, 2008).

Conforme a literatura, alimentos como as nozes pecã, ricos em vitamina E ou outros compostos bioativos, que incluem a vitamina C, polifenóis, fitoquímicos, carotenóides e coenzima Q₁₀ apresentam atividade antioxidante de efeito benéfico para a saúde e na prevenção do acúmulo da lipoproteína de baixa densidade (LDL) oxidada e da aterosclerose (Halvorsen *et al.*, 2006; Kaliora *et al.*, 2006; Penteado, 2003).

Deficiências de vitamina B₁₂, B₆, C, E, folato, ferro e zinco, causam dano ao DNA das células, por ruptura das ligações simples e duplas e lesões oxidativas (Ames, 1999).

Liu *et al.*, 1991; Prasad *et al.*, 2001; Kitts, 1997, estimam que a auto-oxidação dos lipídios é uma das maiores causas de danos às biomembranas, resultando em câncer, doenças coronarianas e outras doenças. Esses autores consideram a vitamina E como um importante antioxidante no plasma (o nível de tocoferol no plasma está relacionado com os lipídios plasmáticos totais) e nas membranas dos eritrócitos, capaz de inativar os radicais peroxila produzidos durante a auto-oxidação dos lipídios para proteger biomembranas da peroxidação, por encerrar a reação em cadeia. Por outro lado, Thiele (2001) e Wrona *et al.*, (2004) consideram o α -tocoferol como o antioxidante predominante na camada da córnea, juntamente com a vitamina C e zeaxantina.

A suplementação de antioxidante exógeno como a vitamina E poderia ser um eficiente instrumento para aliviar as conseqüências de danos na pele induzidos por radicais livres (Calabrese *et al.*, 2001; Baldi *et al.*, 2004; Heinrich *et al.*, 2006). Um decréscimo da vitamina E no plasma em pacientes com queimadura é tipicamente associado com aumento da mortalidade. Sugere-se que o pré-tratamento com vitamina E atenuaria a lesão no pulmão causada por queimadura e por inalação de cigarro (Morita *et al.*, 2006).

Segundo alguns autores (Pascoe & Reed, 1988), o nível intracelular de outro sistema antioxidante a glutathiona (GSH) e pró-SH parece ser dependente do conteúdo celular de α -tocoferol, que indiretamente diminuiria a perda de GSH e Pro-SH intracelular e mitocondrial. Considera-se que a defesa antioxidante seria proporcionada no local de peroxidação da membrana, pela vitamina E ou pela glutathiona peroxidase (GPX).

A enzima dependente de selênio (Se), a glutathiona peroxidase (GPX), reduz o peróxido de hidrogênio na água, e assim diminui a quantidade de peróxido disponível para geração de radicais livres, enquanto a vitamina E está envolvida na remoção de produtos de ataque por estes radicais nos lipídios.

Portanto, o (Se) pode atenuar a deficiência em vitamina E, diminuindo as concentrações de precursores de radicais alquilperoxil lipídicos. Por outro lado, na deficiência em (Se), a vitamina E tem um efeito protetor pela remoção dos radicais (Anderson *et al.*, 1988; Cozzolino, 2005; Mahan & Stump, 2005).

Na deficiência em vitamina E e Se, os tecidos com baixa atividade inata de glutathione peroxidase (p.ex., o sistema nervoso central) são especialmente suscetíveis à peroxidação lipídica, ao passo que tecidos com alta atividade de glutathione peroxidase não o são. Entretanto, se a vitamina E estiver adequada e o Se, inadequado, a peroxidação da membrana lipídica será inibida, mas os tecidos com alta produção de peróxidos e baixa atividade congênita de catalase ainda estarão em risco de dano peroxidativo, especialmente as proteínas sulfidrílicas (Cozzolino, 2005).

Nos alimentos encontram-se antioxidantes naturais e sintéticos de distintas procedências: compostos endógenos presentes na matriz dos alimentos, tais como ácido ascórbico, tocoferol e tocotrienol, vitamina A e seu precursor o β -caroteno. Carotenóides como licopeno, luteína, zeaxantina e compostos polifenólicos são procedentes de diferentes partes das plantas. Entre os antioxidantes que se adicionam aos alimentos, para evitar a rancidez, podemos distinguir os de fonte natural e os sintéticos. Tocoferóis e ácido ascórbico e compostos polifenólicos são os antioxidantes naturais mais amplamente utilizados na indústria alimentícia. Entre os antioxidantes sintéticos destacam-se butilhidroxitolueno (BHA), butilhidroxitolueno (BHT), diferentes ésteres de ácido gálico, como o propil-galato, butilhidroquinona (TBHQ), ácido nordihidroguaiarético (ANDG) todos de natureza fenólica. A diferença em sua atividade antioxidante se deve a sua estrutura química, assim como volatilidade, solubilidade e estabilidade térmica (Moreno, 2002).

O fígado é o maior órgão para o metabolismo, no qual mediante o uso crônico de álcool, a citocromo P4502E1 é induzida. A atividade desta enzima causa estresse oxidativo para o fígado e conseqüentemente a cirrose hepática. Certos estudos indicam que o pré-tratamento com as vitaminas antioxidantes E e C, e minerais: selênio e zinco atenuam os efeitos induzidos pelo álcool

(Mcdonough, 2003; Pöschl *et al.*, 2004). Mas, na ausência de ascorbato, as concentrações fisiológicas de α -tocoferol têm menor atividade de neutralização de radicais (Cozzolino, 2005).

Nutrientes antioxidantes protegem contra a toxicidade renal da droga ciclosporina A. A ciclosporina A tem sido usada em vários estados patológicos com base imunológica por ex. pacientes transplantados. As vitaminas E e C podem neutralizar danos histológicos que a ciclosporina A produz no rim (Cid *et al.*, 2003).

Em práticas clínicas que utilizam nutrição parenteral em recém nascidos os nutrientes são administrados em soluções separadas. A adição de emulsão de vitamina lipossolúvel não alterou a estabilidade da dieta parenteral. Observou-se uma perda de 24% do α -tocoferol, depois de 24 horas da adição da emulsão lipídica. Este resultado mostra a estabilidade química por 24 horas do α -tocoferol apesar da peroxidação lipídica ser o fator limitante para a estabilidade da dieta parenteral (Skouroliahou, *et al.*, 2008).

Os sintomas de deficiência de vitamina E em seres humanos são raros e ocorrem em pacientes portadores de distúrbios da absorção intestinal. Insuficiência do pâncreas geralmente leva à esteatorréia e conseqüentemente à má absorção de gorduras e nutrientes lipossolúveis (Biere *et al.*, 1983; Mahan & Stump, 2005). A deficiência de vitamina E está associada à: anemia hemolítica (em bebês com peso abaixo de 1500g); aumento da susceptibilidade dos eritrócitos à hemólise peroxidativa e neuropatia (Rock *et al.*, 1996).

A suplementação da dieta com vitamina E foi o objeto de estudo de diversos autores. Segundo alguns estudos clínicos, a suplementação com vitamina E seria benéfica a pacientes portadores de angina do peito (Bieri *et al.*, 1983). Entretanto, não há consenso em relação ao uso da suplementação de vitaminas como ferramenta na prevenção de alguns tipos de câncer (Slatore *et al.*, 2008).

A administração de vitamina E junto com simvastatin em animais apresentou um efeito protetor contra a redução de fertilidade induzida por hipercolesterolemia (Shalaby, 2004).

2.1.7 Estabilidade da vitamina E no processamento de alimentos

O tratamento térmico como a cocção e o processo de assar causam perdas elevadas de nutrientes nos alimentos. O conteúdo de vitamina E em alimentos conservados em óleos vegetais permanece estável ou aumenta por serem estes também fonte de vitaminas lipossolúveis (fonte de tocotrienóis). Por outro lado, o teor de vitamina E é diminuído em óleo vegetal utilizado para fritura (Leskova *et al.*, 2006).

O processamento dos óleos vegetais em microondas pode modificar o conteúdo de vitamina E, dependendo do tipo de óleo utilizado. A média de retenção de vitamina E varia de 44% a 95% durante o tratamento culinário de vários tipos de carnes e de 60% a 93% em legumes e leguminosas. Há aumento do teor de vitamina E do camarão empanado submetido a fritura em óleo fortificado. Dados da estabilidade térmica da vitamina E em diversas formas de preparo dos alimentos encontram-se na TAB. 3 (Leskova *et al.*, 2006).

TABELA 3 - Estabilidade da Vitamina E contida em alimentos submetidos a diversos tratamentos (Leskova *et al.*, 2006).

Tratamento	Condições	Alimentos	Retenção (%)	Perdas (%)
Cocção	100 °C, 8 min	Carne de coelho		39
Assado	200°C ±10°C, 15 min	“		14
Fritura	175°C±5 °C, 3 min	“		12
Térmico	Após 4-5 vezes de uso	Óleo reprocessado		50
		Carne bovina		33–44
		Carne	95	5
		Feijões	93	
Cozimento	75 min, imersão 15 h	Feijões	93	
	45 min, imersão 16 h	Ervilhas	88	
	165min, imersão 16 h	Feijão de soja	92	
Cozimento	96–99°C, 150 min.	Carne bovina	74	
Pressão	50 min.	Feijões	91	
Microondas	60min, imersão 17h	“	93	
		óleos de soja e milho	90	
		Legumes	60	40
Assado na grelha	93 °C	Carne suína	80	
		Lombo suíno	44	
Fritura rápida	176 °C	Empanados de frango	107	
Fritura		Camarão empanado	850	
Preparo de omelete		Gema de ovo	46,76	
Cozimento	10 min	“	78,37	

2.1.8 Nozes pecãs

As nozes pecãs, originárias da região do vale do rio Mississippi nos EUA, foram introduzidas no Brasil por imigrantes americanos e são atualmente produzidas em algumas regiões, entre elas na Amazônia. O seu cultivo é considerado uma das formas de preservar e reflorestar a região (Arrus et al., 2005).

As nozes pecãs possuem um alto conteúdo de vitamina E, decorrente do alto conteúdo em óleo, que varia de 65% a 75%. A maior parte desse óleo é composto de ácidos graxos insaturados (90% ou mais). Dois terços desse percentual são ácidos graxos monoinsaturados, sendo e a maior parte do restante poliinsaturado.

As nozes pecãs são ricas em fósforo e são boa fonte de vitamina A, tiamina e riboflavina. O conteúdo em carboidratos varia de 12% a 15%, proteínas de 7% a 10%, água de 3% a 4,5% e fibras ao redor de 2,2%. O conteúdo em proteínas é um dos mais baixos dentre as nozes (Natural Food Guide, 2008).

Do total de ácidos graxos, as nozes pecãs contêm ao redor de 95% de ácido oleico e linolênico, distribuídos aproximadamente assim: ácido oleico 39-83%; ácido linolênico 10-49%; ácido esteárico 1,1-2,9%; ácido palmítico 5,4-10,6%, sem vestígios de colesterol. A porcentagem mais elevada de ácidos graxos saturados é muito inferior àquela encontrada em muitos óleos vegetais incluindo milho, amendoim, soja e algodão. Pela concentração em ácido oleico, as nozes pecãs são comparáveis ao o azeite de oliva. Contem também pequena porcentagem de minerais como cálcio, magnésio, potássio e zinco.

Na literatura existem dados diversos em relação ao conteúdo de vitamina E em nozes pecãs como mostra a TAB. 4.

TABELA 4 - Teor de vitamina E em nozes pecã (mg/100g)

	Fonte: Scherz e Senser, 2000	Fonte: USDA, 2006
Total de tocoferóis	20	26,7
α - tocoferóis	1,2	1,4
β -tocoferóis		0,39
δ -tocoferóis		0,47
γ - tocoferóis	19	24,44

2. 2. Processamento pela irradiação

2.2.1 A ação da radiação ionizante em alimentos

A radiação ionizante é uma forma de energia eletromagnética que é capaz de arrancar um dos elétrons orbitais de átomos neutros, transformando-os em um par de íons. A ionização é, portanto a remoção direta ou indireta de um elétron de um átomo, que se transforma em um íon. As partículas carregadas produzem ionização diretamente enquanto que as neutras e as ondas eletromagnéticas, na sua interação com os átomos do meio, produzem ionização apenas indiretamente, criando partículas carregadas, que por sua vez podem ionizar. O termo radiação ionizante, ou simplesmente radiação, é usado para designar tanto um feixe de partículas com ou sem carga elétrica, quanto às ondas eletromagnéticas (Okuno, 1988).

A unidade de medida da dose de radiação no Sistema de Unidades Internacional é o gray (Gy), que é igual à energia absorvida de um joule por kilograma de alimentos. Uma unidade de medida mais antiga encontrada na literatura é o rad, que é igual a 100 ergs de energia absorvida por grama de material. Um Gray é igual a 100 rad e então um milhão de rads (megarad) equivale a 10.000 Gray, ou 10kGy (Olson, 1995).

Os macronutrientes contidos nos alimentos (proteínas, carboidratos e lipídios) são considerados menos vulneráveis que os componentes minoritários como minerais e vitaminas frente a qualquer tipo de tratamento inclusive a irradiação (Bosch, 2005; ICGFI, 1999). Dentre as macromoléculas que constituem os alimentos, os lipídeos são os mais radiosensíveis, sendo muitas vezes responsáveis pela ocorrência de atributos sensoriais desagradáveis inclusive em alimentos irradiados com doses menores de 1 kGy (ICGFI, 1992; Diehl, 1990; Sanches-Bel, 2005).

A qualidade nutricional dos alimentos irradiados é preservada, segundo conclusões do Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiação de Alimentos (ICGFI, 1992), em relação aos aspectos seguintes:

- Conteúdo vitamínico, estabilidade e disponibilidade fisiológica;
- Conteúdo qualitativo de gorduras, em especial a composição dos ácidos graxos essenciais;
- Qualidade protéica;
- Digestibilidade dos componentes dos alimentos, como gorduras, hidratos de carbono e proteínas, mantendo a disponibilidade de energia biológica potencial derivado destes;
- Análise sensorial do alimento.

A irradiação, através da ionização, interage e pode causar mudanças nos constituintes básicos dos alimentos: água, carboidratos (amido e açúcar), lipídios (gorduras e óleos) e proteínas. Os íons reativos ou radicais livres formados durante a irradiação de alimentos combinam-se com outros íons originando produtos mais estáveis. De maneira geral os radicais livres são produzidos também por outros processos aplicados a alimentos tais como o processamento térmico por fritura, assado ou microondas ou mediante trituração ou socadura (BHAT *et al.*, 2008).

As reações químicas dos alimentos que possuem alto conteúdo de água, tais como: as frutas frescas, peixe e aves, são resultantes da interação com

os íons e radicais livres originados pela radiólise da água. Isto ocorre, pois a água, sendo o maior componente, absorve proporcionalmente uma grande quantidade da energia ionizante incidente. Os produtos da radiólise da água reagem com outros componentes do alimento (açúcares, proteínas, vitaminas, e etc). Estes são chamados os efeitos indiretos ou secundários da irradiação (ICGFI, 1992)

É necessário levar em consideração a radiólise da água para a compreensão dos mecanismos de ação da radiação ionizante, seja gama ou feixe de elétrons (EB) em sistemas biológicos (Pikaev,1993):

Formam-se espécies redutoras $\text{H}\bullet$, elétrons aquosos, e espécies oxidantes, $\text{OH}\bullet$, além dos produtos moleculares da oxidação, H_2O_2 .

Em resumo, a reação final da decomposição da água por ação da radiação ionizante é:

De forma geral, a proporção das interações primárias e secundárias (direta ou indireta) ocorridas nos componentes dos alimentos é proporcional à quantidade de água livre em contato com eles durante a irradiação. Assim, o conteúdo de água livre é um dos fatores acrescidos à temperatura, pH, atmosfera etc., que influenciam a maneira pela qual a radiação interage com o produto alimentício (ICGFI, 1992).

Depois de várias décadas de pesquisa e desenvolvimento, a técnica de tratamento por radiação ionizante está sendo considerada como mais uma tecnologia para certas aplicações em alimentos naturais, industrializados e prontos para o consumo (Kaferstein, 1993; Delinceé, 1997; Sommers, 2004; Bosh, 2005). O processamento por radiação pode ser utilizado em: alimentos secos, especiarias, nozes e suplementos, tanto para maior segurança sanitária (com redução da flora patogênica), como para maior duração sem alteração da qualidade nutricional e ou sensorial.

A aplicação tradicional da radiação ionizante é na eliminação de microorganismos nocivos ao homem. Uma delas é a esterilização, ou seja, a redução da carga microbiana a níveis não detectáveis, o que geralmente exige o uso de doses altas (IAEA-TECDOC-587, 1991; FDA, 2007; Ozden, 2007).

Nas aplicações em alimentos, há situações em que o alimento precisa estar livre de qualquer microorganismo e em outras é importante apenas eliminar o risco da transmissão de doenças por agentes patogênicos. Tal é o caso de produtos cárneos, aves e demais produtos de origem animal (FDA, 2007; Ozden, 2007). Zegota e Malolepszy (2008), por exemplo, verificaram que é possível descontaminar caseína industrial e leite em pó com uma dose de 5kGy.

No caso de produtos destinados a grupos específicos mais vulneráveis, como pacientes com comprometimento imunológico, a exigência do grau de segurança alimentar é alta. Produtos como - por exemplo - pó para o preparo de dietas parenterais, fórmulas infantis ou suplementos alimentares, podem eventualmente conter *Bacillus subtilis* e *Bacillus licheniformis*, termófilos (Ronimus, 2006; Pavic, 2005; Lin, 2004; Carvajal, 2003); e *Enterobacter sakasaki* (Breeuwer, 2003; Iversen, 2003; Friedemann, 2008; Hong *et al*, 2008). Outro microorganismo patogênico encontrado em leite em pó, material básico para o preparo de fórmulas infantis é o *Bacillus cereus* que causa infecção e intoxicação alimentar (Hammer, 2001; Hong *et al.*, 2008).

Produtos prontos para o consumo estão sujeitos a contaminação por microorganismos patogênicos como *Listeria monocytogenes* e *Salmonella sp.*

segundo casos relatados na literatura (Cabedo *et al.*, 2008). *Salmonella enteritidis* também foi encontrada em amêndoas prontas para o consumo o que originou um surto internacional de salmonelose em 2001 no Canadá (Isaacs *et al.*, 2005).

Uma aplicação mais incipiente da radiação em alimentos é para o controle de fungos, bolores ou mofo. Pela sua ação direta, estes contaminantes podem ocasionar vários problemas aos produtos armazenados. Desenvolvendo-se em nozes ou sementes podem causar perda do seu poder germinativo e afetar a qualidade produzindo alterações sensoriais como também diminuir o valor nutritivo das proteínas (Fonseca, 2004).

Em sementes de oleaginosas, a contaminação por fungos é atribuída fundamentalmente a espécies de *Aspergillus sp.*, dentre as quais a mais comum é *A. flavus*, que tem uma marcada ação lipolítica. Além do problema das perdas econômicas pelo aumento da acidez, o desenvolvimento de fungos é geralmente acompanhado de produção de toxinas (Fonseca, 2004).

A maneira tradicional de prevenção da contaminação por fungos em oleaginosas é a manutenção a baixos níveis de umidade ou o procedimento de secagem (Fonseca, 2004; Almeida, 1996; Rustom, 1997; Satin, 1993; Castro, 2003).

Várias publicações mostram que os fungos são sensíveis à radiação gama (Refai *et al.*, 1996; Youssef *et al.*, 1999). Entretanto, a secagem e o tratamento por radiação são procedimentos que afetam os próprios fungos, mas não necessariamente neutralizam a ação das toxinas caso estas já estejam presentes.

Segundo a legislação dos EUA (FDA, 1997) está autorizada a aplicação da radiação ionizante para trigo e farinha de trigo com doses de 0,2 a 0,5 kGy com a finalidade da desinfestação e controle de fungos.

Um estudo realizado no Brasil avaliou o efeito da radiação gama de ^{60}Co na redução da deterioração em amêndoas e castanhas de caju. As

amostras foram irradiadas com doses de: 1,5; 3; 6 e 12 kGy. Houve significativa redução da população fúngica nas amostras correspondentes aos tratamentos com 6 e 12 kGy, tanto em amêndoas quanto em castanhas (Freire & Mastro, 2000).

Levando em consideração a sua importância econômica, a Agência Internacional de Energia Atômica publicou um documento técnico sobre o uso da radiação em produtos de origem vegetal (IAEA, 2006). É importante salientar que para cada aplicação específica da radiação em alimentos existe uma faixa de dose adequada recomendada pelos especialistas com base nos estudos publicados na literatura. A aplicação de radiação pode ser dividida em 3 categorias: dose alta ($>10\text{kGy}$), dose média ($1\text{-}10\text{kGy}$) e dose baixa ($\leq 1\text{kGy}$) (Olson, 1995).

Em doses altas os alimentos são esterilizados, como no processo comercial de conserva de alimentos (Olson, 1995).

Em doses médias, há um efeito de pasteurização, onde a vida de prateleira é prolongada e a maioria dos microorganismos patogênica é destruída ou inativada (Olson, 1995). Segundo a legislação dos EUA (FDA, 2007), pode ser utilizado para alimentos um termo alternativo equivalente a “irradiação” que é a “pasteurização a frio”; ambos se referem à finalidade da destruição ou redução de patógenos.

Nas doses baixas o produto é desinfetado, ou seja, são eliminados insetos e outras pragas, e a maturação de frutas e vegetais é retardada (Olson, 1995).

A radiação gama pode também ser utilizada em combinação com tratamentos clássicos (congelamento-refrigeração, aquecimento, atmosfera controlada ou inerte ou pressão reduzida, redução de pH, a presença de ácido láctico ou acético, defumação etc (Bosh, 2005). A TAB. 5 resume as aplicações da radiação ionizante nos alimentos segundo as faixas de dose.

TABELA 5 - Aplicação da radiação ionizante em alimentos (IAEA-TECDOC-587, 1991).

Aplicação	Intervalo de dose (kGy)
Inibição da germinação	0,01 – 0,15
Retardo no amadurecimento	0,01–1,0
Desinfestação	0,2 – 1,0
Controle de parasitas	0,1 – 1,0
Controle de microorganismos patogênicos e fungos	1,5 – 8,0
Redução de microrganismos causadores de decomposição	0,4– 10,0
Esterilização comercial para armazenagem segura	10,0– 50,0
Melhorar propriedades tecnológicas (aumentar a produção de frutas, reduzir o tempo de cozimento para vegetais desidratados)	1,0– 10,0

Há também referências na literatura da aplicação da radiação gama em doses de 10 kGy para a diminuição da antigeneidade de proteínas do leite (Shin *et al.*, 2008).

2.2.2. Salubridade de alimentos irradiados

Para estudar a salubridade de alimentos irradiados foram empregados estudos crônicos e sub-crônicos na alimentação animal. O ensaio sub-crônico é considerado um meio necessário para detectar uma resposta biológica anormal. O estudo crônico requer períodos longos de observação. Os protocolos dos ensaios sub-crônicos requerem o aporte de alimentos controles e irradiados aos animais, durante ao menos uns 10% do total de sua vida. Estudos sub-crônicos e crônicos fornecem informações sobre crescimento, eficiência alimentar,

sobrevida, hematologia, toxicidade, aumento de peso (WHO, 1999).

Os dados de alimentação animal são utilizados para assegurar a salubridade dos alimentos irradiados consumidos pelo homem, considerando que, resultados de outras espécies podem ser extrapoladas ao homem. A ausência de efeitos tóxicos, em um estudo de toxicidade animal adequadamente desenvolvido, fornece uma base razoável de confiança sobre o possível consumo humano desses alimentos (ICGFI, 1992).

A partir de estudos de alimentação animal, apropriadamente conduzidos, chegou-se a conclusão que não existe risco para a saúde com o consumo de alimentos irradiados (WHO, 1999). Com base em estudos de química das radiações em alimentos foi concluído que a radiação não induz a formação de substâncias de implicância toxicológica (Kaferstein, 1993).

2.2.3. Legislação de alimentos irradiados

Segundo a legislação brasileira do âmbito do Ministério da Saúde (Brasil, 2001) com base no Codex Alimentarius (Codex, 1984) poderão ser utilizadas nos alimentos as radiações ionizantes em geral, cuja energia seja inferior ao limiar das reações nucleares que poderiam induzir radioatividade no material irradiado. Esse conceito está amplamente estabelecido no mundo todo (Bosh, 2005).

As radiações permitidas são:

- Raios gama de ^{60}Co ($T_{1/2}$: 5,263 anos; β^- : 0,314MeV; γ : 1,173 e 1,332MeV) e
- Raios gama de ^{137}Cs ($T_{1/2}$: 30 anos; β^- :0,514 e 1,176MeV, que decai a $^{137\text{m}}\text{Ba}$, $T_{1/2}$: 2,554 min.; γ :0,662MeV);
- Feixe de elétrons de até 10MeV;
- Raios X de até 5 MeV.

Na atual legislação brasileira do Ministério da Saúde (Brasil, 2001), que

deixou sem efeito as portarias anteriores, não há restrições em relação às doses a serem aplicadas, não mais vigorando a lista restrita de alimentos autorizados para serem irradiados que constavam das Portarias: 9 de 8-3-1985 e 30 de 25-9-1989 do Ministério da Saúde. No texto da resolução hoje em vigor, fica estabelecido que:

a) “a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida”;

b) a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou os atributos sensoriais do alimento”.

Cabe destacar a abrangência da legislação do Brasil nesta matéria, uma vez que a maioria dos países proíbe, não tem legislação sobre alimentos irradiados, ou permite apenas a irradiação de alguns produtos.

Dentre os países que possuem legislação autorizando o uso da radiação em alimentos pode-se citar: Alemanha, Argentina, Bangladesh, Bélgica, Brasil, Canadá, Chile, China, Costa Rica, Croácia, Cuba, República Checa, Dinamarca, Finlândia, França, Hungria, Índia, Indonésia, Irã, Israel, Itália, Japão, Coreia, México, Holanda, Noruega, Paquistão, Filipinas, Polônia, Federação Russa, África do Sul, Espanha, Síria, Tailândia, Ucrânia, Reino Unido, Uruguai, EUA, Vietnã e Iugoslávia (Mastro,1999).

2.2.4 Efeito da radiação nas vitaminas

A sensibilidade das vitaminas lipossolúveis ao processo de irradiação varia enormemente dependendo dos alimentos envolvidos, a dose de radiação e as condições ambientais durante a irradiação e estocagem (Kilcast, 1994; Diehl & Josephson (1994); World Health Organization, 1994). Entretanto, alguns efeitos da irradiação sobre a vitamina E podem não ter nenhuma relevância nutricional.

A vitamina E é facilmente oxidada por produtos de oxidação de ácidos graxos insaturados. A irradiação de alimentos contendo lipídios em presença de

oxigênio, ou sua estocagem em ar mostrou causar grande perda de vitamina E (Urbain, 1986). A TAB. 6 apresenta de maneira geral a sensibilidade das vitaminas à radiação (Diehl, 1992).

TABELA 6 - Sensibilidade das vitaminas à radiação.

Mais sensível	Menos sensível
Vitaminas lipossolúveis	
Vit.E → β - Caroteno → Vita.A → Vit.D → Vlt.K	
Vitaminas hidrossolúveis	
Vit. B ₁ (tiamina) → Vit.C → Vit.B ₆ → Vit. B ₂ → Folato → niacina → Vit. B ₁₂	

Há grande disparidade de dados em relação às perdas de vitaminas em alimentos irradiados. Muitas vezes, contudo, tais perdas seriam pequenas ou comparáveis àquelas associadas com outros métodos de processamento de alimentos (ICGFI, 1992). Por outro lado, como visto acima, há perdas consideráveis de vitaminas em qualquer processamento como o cozimento ou durante o armazenamento de alimentos.

2.2.5 Vitamina E e a radiação

Dentre os artigos publicados sobre vitamina E e radiação gama grande parte descrevem a capacidade radioprotetora da vitamina (Urbain, 1986 ; Hanson *et al.*, 1988; Razem, 1994; Manzi *et al.*, 2003; Sezen *et al.*, 2008). Resultados de experimentos realizados em animais indicaram que nutrientes antioxidantes, tais como: a vitamina E e o selênio, exercem efeito protetor contra a letalidade e outros efeitos da radiação ionizante. Um suplemento dietético de vitamina E e óleo de amendoim ou somente óleo de amendoim depois da irradiação, foi capaz de modificar a resposta biológica da radiação em ratos, prevenindo em certo grau o efeito letal. Concluiu-se que houve efeito benéfico em caso de exposição à radiação ionizante, considerando a conveniência de uma terapia oral pós-

irradiação em uma emergência (Mastro & Villavicencio, 1990; Weiss & Landauer, 2003).

Os antioxidantes que ocorrem naturalmente em alimentos podem fornecer proteção contra doses baixas de radiação, com potencial terapêutico quando administrado depois da irradiação (Yanardag *et al.*, 2001; Weiss & Landauer, 2003).

O α -tocoferol mostrou proteger a membrana lipossomal contra a peroxidação lipídica causada pela irradiação. O ácido ascórbico e o α -tocoferol são doadores de átomos de hidrogênio para os radicais lipídicos, formando hidroperóxido (LOOH) e álcool (LOH), terminando dessa maneira o processo propagativo *in vivo*. Esta ação forma o radical tocoferila, o qual pode ser também reduzido para regenerar o α -tocoferol (Pascoe & Reed, 1988). Um efeito radioprotetor sobre células em cultura foi observado quando vitaminas antioxidantes (C, E, β -caroteno) foram adicionadas às células antes e depois da irradiação. O efeito radioprotetor de vitaminas em geral é dependente de sua concentração (Konopacka & Rzeszowska, 2001).

Segundo alguns autores, os reparos químicos do DNA por doação de átomos de hidrogênio pode ser um importante mecanismo de proteção contra o dano aos cromossomos em células ósseas causada pela irradiação. Esses estudos mostraram que as vitaminas C e E são protetores efetivos em ratos expostos aos raios gama (Sarma & Kesavan, 1993).

A vitamina E está envolvida com o reparo rápido da lesão histopatológica no baço de ratos submetidos à irradiação (Malhotra *et al.*, 1990). O ácido ferúlico bem como, as vitaminas antioxidantes, têm efeito benéfico e poderiam bloquear radicais livres induzidos por radiação ultravioleta (Funasaka *et al.*, 2000; Trombino *et al.*, 2004; El-Demerdash *et al.*, 2004).

Os efeitos da irradiação sobre a vitamina E contida nos alimentos, particularmente depois do processamento, são complexos. Há poucos estudos

específicos sobre o efeito da radiação no conteúdo de α -tocoferol em alimentos, como por exemplo, um estudo realizado em alho irradiado (Rios & Penteado, 2003).

Segundo estudos realizados com soluções de vitamina E, a irradiação da solução de α -tocoferol em isoctano, sob nitrogênio, com radiação gama e elétrons, produziu um padrão idêntico de perda da vitamina de 80%. Não houve diferença significativa entre sua degradação em ar e em nitrogênio na faixa de dose compreendida entre 1 kGy e 10^2 kGy (Diehl apud Singh, 1991).

É geralmente considerado que a irradiação de alimentos em presença de ar ou oxigênio resulta em destruição de α -tocoferol. Os peróxidos e hidroperóxidos que são formados durante a irradiação de alimentos, seriam os responsáveis pela destruição do α -tocoferol (Thayer *et al.*, 1991). Para minimizar as perdas da vitamina E pode ser aplicada a exclusão de oxigênio como também temperaturas baixas (Diehl, 1990; Thayer *et al.*, 1991), bem como, utilizar doses baixas (Jo & Ahn, 2000).

Nenhuma diferença significativa foi observada no conteúdo de α -tocoferol na irradiação de óleo de girassol na dose total de 1 kGy. Amostras sob nitrogênio sofreram menos perdas de α -tocoferol do que aquelas expostas ao ar. (Diehl apud Singh, 1991).

Aveia em flocos empacotada, irradiada a 1 kGy e estocada por 8 meses sob nitrogênio perdeu apenas 5 % de seu conteúdo de tocoferol contra uma perda de 56 % em aveia em flocos irradiada e estocada em ar (Thayer *et al.*, 1991).

Os resultados de pesquisas realizadas já há alguns anos mostraram que avelãs irradiadas a 1 kGy, sofreram perda de 18% de α -tocoferol, enquanto que o processo de assar, produziu perda de 13%. Quando as avelãs foram irradiadas e então assadas, houve um efeito sinérgico e o total de perda de tocoferol foi de 67% (Thayer *et al.*, 1991).

2. 3. Métodos analíticos para determinação de vitamina E

As dificuldades observadas durante a extração das vitaminas lipossolúveis decorrem, em parte, da topologia delas diante das células vegetais e animais as quais estão intrinsecamente ligadas e à complexidade da própria natureza dos componentes básicos das membranas. Assim, o isolamento e conseqüente separação das vitaminas dependem do seu grau de desestabilização diante dos agentes externos associados à própria técnica.

Para a avaliação da vitamina E, não existe um único método aplicável a todos os tipos de alimentos, pois depende muito da especificidade da amostra. Os métodos aplicáveis envolvem a extração de lipídios que contém os tocoferóis, removendo as substâncias interferentes para posteriormente proceder à determinação dos tocoferóis (Deusth, 1995; Amin, 2001). Além disso, há grande diferença de resultados dependendo do processo de extração utilizado (Xu, 2008).

Emmerie & Engel (1938) reportavam, já em 1938, a determinação de α -tocoferol por titulação potenciométrica, utilizando as propriedades redutoras desse composto. Martinek (1964) posteriormente descrevia método para determinar tocoferóis totais baseado no uso de tripiridiltiazina como reagente cromogênico para a determinação de vitamina E.

Amin (2001) descreve a determinação colorimétrica de acetato de tocoferila. O método está baseado na redução de azul de tetrazólio em meio alcalino após extração com éter de petróleo a partir de EDTA aquoso e transesterificação. A reação de oxidação redução ocorre após 10 min em banho a $90 \pm 2^\circ\text{C}$ levando à formação do derivado do formazan. As medidas de absorbância são realizadas a 526nm.

O método de cromatografia líquida de alta performance (HPLC), realiza a determinação individual de tocoferóis e tocotrienóis, e é aplicável a óleos vegetais, alimentos “in natura” e estocáveis de consumo imediato. Entretanto a

determinação quantitativa e avaliação dos três tocoferóis homólogos (β, γ, δ) e os outros quatro tocotrienóis não são determinados por este método. A recuperação de α -tocoferol é quantitativa depois da saponificação na presença de um antioxidante e exclusão da luz, mas perdas de tocotrienóis ocorrem. A extensão de perdas de tocotrienóis depende da concentração de álcali presente e da temperatura (Brubacher, 1985; Nollet, 2000; Jensen & Lauridsen, 2007).

Para que os métodos analíticos tenham utilidade é necessário que os dados gerados, principalmente aqueles obtidos a partir de matrizes biológicas, sejam confiáveis. Conforme definição da Farmacopéia dos EUA (United States Pharmacopeia, 1995), a validação de métodos assegura a credibilidade destes durante o uso rotineiro. Dentro desse contexto, foi escolhido o método colorimétrico já validado (Brasil, 2002), utilizado rotineiramente no Instituto Adolfo Lutz.

2.4. Análise Sensorial

Segundo definição da Associação Brasileira de Normas Técnicas a análise sensorial é a disciplina científica usada para evocar, medir, analisar e interpretar reações às características de alimentos e materiais percebidas pelos sentidos da visão, olfato, gosto, tato e audição (ABNT, 1995).

A análise sensorial é realizada em função das respostas transmitidas pelos indivíduos às varias sensações que se originam de reações fisiológicas e são resultantes de certos estímulos, gerando a interpretação das propriedades intrínsecas aos produtos. Para isto é preciso que haja interação entre as partes indivíduos e produtos, contato e interação. O estímulo é medido por processos físicos e químicos e as sensações por efeitos psicológicos. As sensações produzidas podem dimensionar a intensidade, extensão, duração, qualidade, gosto ou desgosto em relação ao produto avaliado (IAL, 2005).

A combinação de sensações: gustativas (doce, amargo, ácido, salgado), olfativas (baunilha, floral, frutado, etc) e táteis bucais (quente ou frio, adstringente, metálico) que são designadas pelo termo “sabor”, percebidas

durante a degustação (ABNT, 1993; IAL, 2005).

A “aparência” de um alimento refere-se a propriedades visíveis como: cor (tonalidade, uniformidade, pureza); textura visual (brilhante, liso ou rugoso); tamanho e forma (fibroso, granuloso); características da superfície (aglomerado, solto) (ABNT, 1993; IAL, 2005).

O atributo sensorial “odor” é perceptível pelo órgão olfativo quando certas substâncias voláteis são aspiradas (via ortonasal) e o “aroma”, (via retronasal) durante a degustação (ABNT, 1993; IAL, 2005).

A “textura” de um alimento compreende: as propriedades: geométricas e de superfície de um alimento (relacionadas com o tamanho e orientação das partículas se: fibroso; granuloso, arenoso, floculento) mecânicas: (dureza, viscosidade, fraturabilidade) e as relacionadas com a presença, liberação e adsorção da gordura óleo ou umidade (suculência, oleosidade, viscosidade). Geralmente é percebida por três ou quatro sentidos: os receptores mecânicos, táteis e, eventualmente, os visuais e auditivos (ABNT, 1993; IAL, 2005).

A análise sensorial deve ser utilizada para avaliar atributos sensoriais de alimentos que sofreram processos de irradiação, paralelamente aos estudos microbiológicos e nutricionais (Sommers *et al.*, 2004). Como toda tecnologia, a irradiação de alimentos apresenta limitações. Foi relatado, por exemplo, alterações sensoriais de odor, dependendo da dose de irradiação e da composição dos alimentos. É necessário então, encontrar um equilíbrio, para que a dose escolhida produza efeitos saudáveis necessários e preserve as características sensoriais dos alimentos (Desmonts, 1997; Bosh, 2005).

Em análise sensorial de alimentos, o teste de Comparação Múltipla ou Diferença do Controle é muito utilizado na verificação de diferenças significativas entre amostras que sofreram distintos tratamentos em comparação a um padrão ou amostra - controle. O teste consiste na apresentação de uma amostra-controle e uma ou mais amostras codificadas. Sempre se introduz uma amostra igual ao controle (placebo) entre as amostras codificadas. (Meilgaard *et al.*, 1987; Ferreira

et al, 2000). O provador é solicitado a provar as amostras-teste comparando-as à amostra-controle, utilizando uma escala apropriada de 5, 7 ou 9 pontos para avaliar o grau da diferença. Recomenda-se de 20 a 50 apresentações de cada amostra e da amostra-controle. Exemplo: 15 provadores e duas a três repetições (IAL, 2005; Ferreira *et al*, 2000).

Segundo (Ferreira *et al*, 2000) o delineamento de blocos completos casualizados pode ser empregado quando todas as amostras forem apresentadas, a todos os provadores. Neste caso, para avaliação estatística pela análise de variância, ANOVA, as fontes de variação devem ser: total, provadores (blocos), tratamentos (amostras) e erro.

A análise de variância, ANOVA é muito utilizada na comparação de dois ou mais tratamentos ou amostras em que se tem uma relação de causa e efeito entre os resultados obtidos, mas obriga os tratamentos serem independentes (Faria *et al.*, 2000). Esta análise permite estabelecer se as médias das populações em estudo são, ou não, estatisticamente diferentes das demais. Assim, é realizada uma comparação de médias dos distintos tratamentos com a amostra-controle utilizando o teste de Dunnett, estabelecendo-se uma significância ao nível de 5% (O'Mahony, 1986).

Na literatura, é restrito o número de trabalhos em relação à irradiação de alimentos e análise sensorial. Nenhum, porém, aborda os produtos objeto deste estudo.

Há trabalhos citados na literatura que estudam o efeito da irradiação na qualidade sensorial de produtos de origem animal, realizados em diversos laboratórios aplicados em produtos, doses e condições diversas (Sudarmadji & Urbain, 1972; Rodrigues *et al.*, 1992; Bagorogoza *et al.*, 2001; Migdal & Owczarczyk, 2002; Gomes *et al.*, 2003; Ozden *et al.*, 2007; Placek, 2004; Zhu *et al.*, 2004)

Há também trabalhos que abordam a análise sensorial de produtos de origem vegetal irradiados. Salsicha, bife e tofu de soja foram irradiados nas

doses: 1,5 ou 3,2 kGy e submetidos a análise sensorial. A cor vermelha foi mais acentuada em salsicha e a textura não foi alterada após a irradiação (Niemira *et al.*, 2003).

Amostras de feijão tipo “Carioca Tybata” irradiado em dose de: 0; 1; 2; 6 e 10 kGy foram avaliadas por provadores pelo método de análise descritiva quantitativa. As amostras de feijão tratadas com doses de: 6 e 10 kGy tiveram diferença na aparência (colorida e brilhosa) comparada com a dose de 2 kGy e o controle (mais quebradiço). As amostras tratadas com doses de: 6 e 10 kGy apresentaram diferenças de aroma (outro aroma) em relação ao controle e aquelas tratadas com dose de 1 kGy não tiveram diferença significativa (Armelim, *et al.*, 2006).

Em estudo com folhas de alface refrigeradas (1 e 4°C) submetidas à irradiação em doses de 0,33 e 0,53 kGy e estocadas por um período acima de 10 dias, verificou-se que não houve alteração sensorial no amolecimento do alface irradiado. Concluiu-se que a aparência e sabor foram mais alterados por causa do tempo de estocagem do que por condições de temperatura (Foley *et al.*, 2002).

Para folhas de coentro irradiadas na dose de até 2 kGy, não houve alteração na qualidade nutricional e sensorial em termos de cor, textura e aroma (Fan *et al.*, 2003 a; Sommers *et al.*, 2004).

Em estudo com pimenta vermelha em pó, para o atributo sensorial cor, não houve diferença significativa nas amostras irradiadas em dose de até 7 kGy, no conteúdo do pigmento carotenóide capsantina determinado através do método colorimétrico. A avaliação sensorial não determinou diferença significativa em relação ao odor indesejável e pungente entre as amostras irradiadas nas doses: 0; 3; 5 e 7 kGy, devido ao desaparecimento de alguns compostos voláteis durante a irradiação (Lee *et al.*, 2004).

Tomates cortados em cubos (Prakash, 2002) foram tratados com radiação gama (0,5; 2 e 3kGy) e avaliadas as mudanças microbiológicas, físicas, químicas e propriedades sensoriais. No tratamento com dose 3 e 0,5 kGy a perda

da firmeza foi de 50% e 30 % respectivamente.

Cebolinhas tratadas com radiação gama nas doses de: 0; 1; 2 e 3 kGy foram estocadas a 3°C e estudados os atributos sensoriais. As irradiações com as doses de 2 e 3 kGy resultaram em perda de aroma e deterioração da qualidade visual enquanto que a dose de 1kGy mostrou melhor qualidade sensorial (Fan *et al.*, 2003b).

Fatias de melão irradiadas por feixe de elétrons (0; 0,7 e 1,4 kGy) foram analisadas no 21º dia de estocagem em relação aos parâmetros sensoriais. Verificou-se que não houve alteração da cor da fruta. Houve alteração na textura no melão irradiado na dose de 1,4 kGy. A irradiação não afetou atributos descritivos de sabor (Palekar *et al.*, 2004).

Mastro *et al.*, (1999) avaliaram a aceitação de morangos e citros irradiados com 1,7 e 4kGy. Uma diferença significativa foi observada nas amostras irradiadas para os atributos de aparência, cor, sabor e textura em relação ao controle.

Num estudo comparativo, provadores analisaram as características sensoriais de 4 tipos de cidra de maçã: não tratada, pasteurizada pelo calor, e irradiada com doses de 2 e 4kGy. Verificou-se que a cidra irradiada tinha sabor indesejável comparada com as amostras não tratadas e pasteurizadas (Wang *et al.*, 2003).

Polpa de abacate congelada a vácuo embalada em PVC foi irradiada em quatro diferentes doses: 0,5; 1,0; 1,5 e 2,5 kGy com ⁶⁰Co. As amostras foram submetidas à análise sensorial. Os provadores não detectaram modificações sensoriais em relação a sabor indesejável e cor nas doses estudadas e concluíram que este processo pode ser aplicado por não afetar a qualidade e aumentar a vida de prateleira em dois anos (Valdivia *et al.*, 2002).

Arevalo *et al* (2002) estudaram por análise sensorial as mudanças induzidas por radiação de ⁶⁰Co (150; 250 e 350 Gy) em abacate “*in natura*”. Os

provadores julgaram tão aceitáveis as frutas irradiadas com 100 Gy quanto aquelas não irradiadas.

A determinação de compostos voláteis e a análise sensorial foram realizadas em amostras de suco de laranja irradiadas em doses: 0,5; 1,0; 2,0 e 3 kGy usando teste de Diferença de Controle. Quinze provadores treinados participaram do estudo desenvolvendo a técnica de escala, avaliação do processo e reconhecimento de amostras de suco do estudo. Concluiu-se que as amostras de suco não irradiadas foram significativamente diferentes das irradiadas, com alteração de odor (Yoo *et al.*, 2003).

Mangas irradiadas (1 kGy) e estocadas foram avaliadas na qualidade microbiológica e sensorial (El-Samahy *et al.*, 2000). A irradiação reduziu o valor D_{10} de bolores em mangas. Os resultados mostraram que mangas irradiadas com doses de 1,0 kGy podem ser estocadas por 50 dias em 12 ± 1 °C pois não apresentaram mudanças indesejáveis na qualidade sensorial da fruta quando comparadas com mangas refrigeradas não irradiadas por 25 dias.

Amostras de frutas secas foram irradiadas para desinfestação e submetidas a análise sensorial. Amostras de uva passa, damasco (após 0, 1, 2, 3 meses de estocagem e figo seco (após 1, 3, 6 e 12 meses de estocagem) empacotadas, foram irradiadas nas doses de 0,5 e 1,0 kGy para desinfestação e de 0,5 até 5,0 kGy para realização de análise sensorial. Os resultados mostraram que o processo de irradiação em doses baixas de até 1 kGy é um efetivo tratamento pós-colheita e nenhum efeito adverso foi encontrado em atributos sensoriais (Cetinkaya *et al.*, 2006).

Sanches-Bel (2005) realizou análise sensorial de amêndoas da variedade Guará, irradiadas com doses 3; 7 e 10 kGy. Os provadores não detectaram diferenças nas doses 3 ou 7 kGy, após 4 meses de estocagem, enquanto que na dose 10 kGy, citaram sabor de ranço.

Sanches-Bel *et al.* (2008) observaram diferenças significativas na análise sensorial em amêndoas após um período de 5 meses de estocagem a

20°C nas amostras com doses de: 3; 7 e 10 kGy. Nenhuma alteração foi observada em relação à doçura, textura ou cor, mas na dose 10 kGy, foi verificado sabor ranço.

Na literatura há trabalhos que aplicam análise sensorial em biscoitos, mas apenas em função do conteúdo em diversas farinhas e não relacionadas à ação da radiação (Hooda & Jood, 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Amostras de 3 tipos de alimentos ricos em vitamina E:

- Amostras de nozes pecã (*Carya illinoensis*) "in natura" de cor clara adquiridas do produtor da cidade de São Leopoldo (RS), embaladas em sacos plásticos a vácuo, utilizadas dentro do período de validade (120 dias após aberto);
- Biscoitos de trigo integral enriquecidos com sementes de girassol, em pacotes de 200 g, adquiridos diretamente do produtor da cidade de Curitiba (PR) em embalagens próprias do fabricante utilizados dentro do período de validade (8 meses);
- Amostras de alimento fortificado em pó (sabor baunilha), três lotes diferentes de amostras (lata de 400 g), obtidos em drogaria utilizados no período de validade de 12 meses.

Segundo o fabricante, os biscoitos integrais continham: farinha de trigo integral, açúcar mascavo, girassol, óleo de milho, amido de milho, mel, malte de cevada, canela e cravo em pó, sal, fermentos químicos (bicarbonato de sódio, bicarbonato de amônio, pirofosfato e ácido de sódio), estabilizantes lecitina de soja, aromatizante, acidulante e ácido cítrico. Na TAB. 7 encontra-se a informação nutricional centesimal fornecida no rótulo da embalagem dos biscoitos utilizados neste estudo e calculada em 100 g do produto.

Na TAB. 8 consta a Informação nutricional centesimal do alimento fortificado em pó empregado neste estudo. Segundo o rótulo, o alimento contém: leite em pó desnatado, açúcar, maltodextrina, leite em pó integral, estabilizante, lecitina de soja e aromatizante.

TABELA 7 - Informação nutricional centesimal dos biscoitos empregados no presente estudo

Informação nutricional por 100 g	
Valor calórico	450 kcal
Carboidratos	60 g
Proteínas	10 g
Gorduras totais	20 g
Gorduras saturadas	3,7g
Colesterol	0 mg
Fibra alimentar	7,5 g
Cálcio	62,5 mg
Ferro	3,7 mg
Sódio	225 mg
Magnésio	117,5 mg
Zinco	292,50 mg
Fósforo	0,45 mg
Selênio	35mcg
Vitamina B1	0,57 mg
Vitamina B6	0,4 mg
Niacina	2,5 mg
Ácido Fólico	62,5mg
Ácido Pantotênico	1,35mg
Vitamina E	25 mg

TABELA 8 - Informação nutricional centesimal do alimento fortificado em pó

Quantidade por porção 100 g	
Valor energético	375 kcal
Carboidratos	62,5 g
Proteínas	25 g
Gorduras totais	2,75 g
Gorduras saturadas	1,5 g
Gorduras trans	0 g
Fibra alimentar	0 g
Sódio	300 mg
Cálcio	900 mg
Ferro	14 mg
Potássio	625 mg
Cloreto	850 mg
Fósforo	775 mg
Magnésio	260 mg
Zinco	7mg
Manganês	2,3mg
Cobre	900 µg
Iodo	130 µg
Vitamina A	600 µg
Vitamina E	10 mg
Vitamina C	45 mg
Niacina	16 mg
Ácido Pantotênico	5,0 mg
Vitamina B6	1,3 mg
Vitamina B2	1,3 mg
Vitamina B1	1,2 mg
Biotina	30 µg
Ácido fólico	400 µg
Vitamina K	65 µg

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Irradiação

A irradiação de nozes pecã, biscoitos integrais e alimento fortificado em pó, iniciou-se a -4°C e foi realizada em fonte de ^{60}Co Gammacell 220 da Atomic Energy Commission of Canadá Ltd –AECL- (FIG. 4) nas doses 1 kGy e 3kGy. A taxa de dose variou entre 4,5 a 2,88 kGy/h, dosimetria previa realizada pelo método de Fricke. As amostras controles (0 kGy) permaneceram em temperatura ambiente ($\approx 22^\circ\text{C}$).

As condições de irradiação escolhidas são aquelas possíveis de serem aplicadas em processos tecnológicos. Segundo a legislação, para produtos manipulados e/ou embalagens de produtos industrializados abertos, a temperatura de congelamento poderá ser 0 a -5°C e tempo máximo de armazenamento 10 dias (São Paulo, 1999).

Para a determinação analítica de vitamina E e a análise sensorial foram utilizados respectivamente:

- Três lotes de nozes pecãs (acondicionados em sacos plásticos esterilizados), três amostras de 300 g cada (amostra controle e as irradiadas com dose de 1 e 3 kGy) e 700 g (controle); 350 g (1 kGy); 350 g (3kGy) e na segunda etapa com as mesmas quantidades (2,8 kg) foram irradiadas em dois dias consecutivos .
- Três lotes de biscoitos integrais, três amostras de 200 g cada (amostra controle e as irradiadas com dose de 1 e 3 kGy) e pacotes de 200g de biscoitos (39 unidades) foram utilizados em experimento efetuado em três etapas: 5 pacotes (controle); 4 pacotes (3 kGy) e 4 pacotes (1 kGy) e nas etapas seguintes, a repetição com as mesmas quantidades foram irradiados em três dias consecutivos.
- Três lotes de alimento fortificado em pó (acondicionados em sacos plásticos esterilizados), três amostras de 200 g cada (amostra controle e as

irradiadas com dose de 1 e 3 kGy) e utilizados em experimento efetuado em duas etapas: 800 g (controle); 400 g (3kGy) e 400 g (1kGy), sendo irradiados em dois dias consecutivos (total de 3,2 kg).

FIGURA 4 - Irradiação de alimento fortificado em pó na fonte Gammacell 220.

3.3 Determinação colorimétrica de vitamina E

Para a determinação de vitamina E ou tocoferóis em nozes pecã, foram utilizados três lotes, três amostras de 300 g cada (amostra controle e as irradiadas com dose de 1 e 3 kGy) para cada lote utilizado, mantidos sob refrigeração (7°C) até o dia da análise. Para os demais produtos foram mantidas as mesmas condições de temperatura.

Para a determinação da vitamina E em biscoitos integrais, foram utilizados três lotes, três amostras de 200g cada (amostra controle e as irradiadas com dose de 1 e 3 kGy) para cada lote utilizado.

Para a determinação da vitamina E em alimento fortificado em pó, foram utilizados três lotes, três amostras acondicionados em sacos plásticos esterilizados pesando 200 g cada (amostra controle e as irradiadas com dose de 1 e 3 kGy) para cada lote utilizado.

As análises de vitamina E foram realizadas no laboratório de Química Biológica do Instituto Adolfo Lutz (IAL), utilizando os procedimentos padronizados por essa instituição (IAL, 2005). Foram utilizadas alíquotas de 5 g de nozes pecã, 2g de biscoito integral e 3 g de alimento fortificado em pó.

O método utilizado baseia-se na redução de íons ferro (III) e posterior quelação do ferro (II) com α - α' -dipiridila para determinação de tocoferóis e tocotrienóis. Consiste numa saponificação com hidróxido de potássio e álcool, na presença de ácido pirogálico seguida por extração com éter de petróleo (Figura 5). Os extratos foram lavados com água destilada até que a fase aquosa não apresentasse coloração rósea (pela adição de fenoftaleína) e filtrados com sulfato de sódio anidro completando o volume com éter de petróleo. As amostras foram evaporadas até *secura*, sob nitrogênio.

As amostras de vitamina E foram dissolvidas em álcool, adicionadas com α - α' -dipiridila e solução de cloreto de ferro III e finalmente EDTA, tendo uma coloração amarela alaranjado. A absorbância foi medida a 520nm em colorímetro

Coleman Júnior modelo 6/35 a 520 nm ou em espectrofotômetro Hewelett Packard (FIG. 5) A concentração de vitamina E foi determinada usando a curva padrão previamente preparada com solução de α - tocoferol, em concentração de 25 a 150 μ g (Strohecker & Henning,1966).

FIGURA 5 - Detalhes da aplicação do método para determinação de vitamina E. Esquerda: Separação de fases para extração da vitamina E; Direita: espectrofotômetro HP utilizado.

3. 4 Análise sensorial dos alimentos irradiados

As análises sensoriais de nozes pecã, biscoito integral e alimento fortificado em pó foram efetuadas no Laboratório de Análise Sensorial do Instituto Adolfo Lutz de São Paulo. Foi utilizado o Teste de Comparação Múltipla ou Diferença do Controle (ABNT, 1995), para todos os produtos em um período de 24-48 horas após a irradiação.

Para análise sensorial de nozes, três amostras por lote foram acondicionadas em sacos plásticos esterilizados pesando: 700 g (controle); 350 g (1 kGy); 350 g (3kGy) e na segunda etapa com as mesmas quantidades (total de 2,8 kg). Para avaliação das nozes foi selecionada e treinada uma equipe de 13 provadores, faixa etária 20-50 anos, de ambos os sexos. Os testes foram realizados em triplicata, com 39 julgamentos, onde foram avaliadas as amostras irradiadas em comparação ao controle não irradiado, dimensionando o grau de

diferença quanto aos atributos sensoriais de: aparência, aroma, textura e sabor, em escala de categoria de 9 pontos, variando de 1 = nenhuma diferença a 9 = extrema diferença do controle “C”. Exemplo do quadro utilizado para avaliação encontra-se no APÊNDICE A.

A aparência das nozes foi avaliada em pratinhos de porcelana branca (FIG. 6), sendo as amostras recobertas com vidro de relógio, sob iluminação artificial branca. Os demais atributos (textura, odor e sabor) foram avaliados em cabine individual climatizada (FIG. 6), iluminada com lâmpada artificial vermelha. As amostras foram apresentadas simultaneamente e codificadas com algarismos numéricos de três dígitos ao acaso, incluindo o próprio controle codificado. Os provadores foram treinados no uso correto da escala e instruídos a enxaguar a boca com água, para remover resíduos entre amostras.

O delineamento experimental empregado foi de blocos completos casualizados, em duas sessões consecutivas, perfazendo um total de 39 avaliações de amostras de nozes. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ANOVA, e comparação de médias pelo teste de Dunnett, a 5% de significância (Instat, 1993).

FIGURA 6 - Avaliação da aparência das nozes e demais atributos sensoriais em cabine climatizada

A análise sensorial de biscoitos empregou o mesmo método e a mesma ficha para o teste (escala de 9 pontos: 1= nenhuma a 9= extrema diferença do controle), conforme APÊNCIDE A, com equipe de 22 provadores em triplicata, com 66 julgamentos, faixa-etária 20-50 anos, de ambos os sexos, selecionados quanto à acuidade visual para cores, identificação de odores e reconhecimento de gostos primários (Iso/Dis 3972, 1990). Foi aplicada também análise estatística pela ANOVA e teste de Dunnett, estabelecendo uma significância ao nível de 5% (FIG. 7).

O delineamento experimental empregado foi de blocos completos casualizados, em três sessões consecutivas, perfazendo um total de 66 avaliações de amostras de biscoitos. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, ANOVA, e comparação de médias pelo teste de Dunnett, a 5% de significância (Instat, 1993).

FIGURA 7 - Avaliação da aparência dos biscoitos e demais atributos sensoriais em cabine climatizada.

Para a análise sensorial do alimento fortificado em pó (3,2 kg), as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos esterilizados, e o experimento efetuado em duas etapas: 800 g (controle); 400 g (3 kGy) e 400 g (1 kGy), sendo irradiados previamente em dois dias consecutivos.

A análise sensorial de alimento fortificado em pó empregou também o método de Diferença do Controle e a ficha para o teste (escala de 9 pontos: 1 = nenhuma a 9 = extrema diferença do controle), conforme APÊNDICE B. Os testes foram realizados em duplicata. A equipe foi composta de 20 provadores em duplicata—com 40 julgamentos, faixa-etária 20-50 anos, de ambos os sexos, selecionada quanto à boa acuidade visual para cores, identificação de odores e reconhecimento de gostos primários (ISO/DIS 3972, 1990). Para este produto, os atributos sensoriais avaliados foram de aparência, odor, sensação bucal e sabor.

O atributo aparência foi avaliado na amostra em pó, contido em placas de Petri sobrepostas em prato de porcelana branca, sob iluminação fluorescente branca. Os demais atributos, odor, sensação bucal e sabor foram avaliados após a reconstituição do produto em água (concentração proporcional à recomendada pelo fabricante no rótulo), em cabines climatizadas sob iluminação artificial vermelha, para mascarar quaisquer diferenças de aparência. O preparo do produto consistiu em dissolução de 40g do pó (correspondente a 3 colheres de sopa) para 200 ml de água purificada (água ao invés de leite conforme indicou a rotulagem). O delineamento experimental foi o de blocos completos casualizados, em duas sessões consecutivas, perfazendo um total de 40 avaliações sensoriais. Foi aplicada também análise estatística pela ANOVA e teste de Dunnett, a 5% de significância (Instat, 1993) (FIG. 8).

FIGURA 8 - Avaliação da aparência de alimento fortificado em pó e demais atributos em cabine climatizada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sommers (2004), relata que as mudanças sensoriais induzidas pelo processo de irradiação dependem da formulação do produto.

Os dados experimentais das determinações de vitamina E como equivalentes em α -tocoferol em nozes pecãs são apresentados na TAB. 9. Evidencia-se que quando irradiadas nas doses de 1 e 3 kGy, as amostras preservaram sua concentração de tocoferóis e com retenção total na atividade de vitamina E. Os percentuais de retenção de atividade em média foram de 100,1 para a dose de 1 kGy e de 101,3 para a dose de 3 kGy.

Os dados obtidos neste trabalho com nozes foram ao redor de 15 mg de tocoferóis totais/100 g, são inferiores aos descritos por outros autores, como consta na TAB. 4, que descrevem conteúdo acima de 20 mg de tocoferóis totais /100 g.

Warner *et al.*,(2008), descrevem a grande estabilidade oxidativa do conteúdo de γ -tocoferóis em óleos, sendo que, o presente resultado corrobora essa afirmação, porquanto as nozes pecã são muito ricas em γ -tocoferóis (tabela 4). Neste caso, houve grande estabilidade frente à ação oxidativa decorrente da ação da radiação.

Os resultados da análise de vitamina E em biscoitos integrais são apresentados na TAB. 10. Evidencia-se que nas amostras de biscoitos irradiados nas doses de 1 e 3 kGy, houve também retenção total na atividade de vitamina E. Os percentuais de retenção de atividade em média foram de 103,3 para a dose de 1 kGy e de 100,4 para a dose de 3 kGy.

O produto industrializado escolhido neste estudo foi o biscoito integral enriquecido com sementes de girassol. O óleo de girassol é composto por perto de 90% de ácidos graxos insaturados e mais de 90% do seu conteúdo em vitamina E é composto por α -tocoferol (Skoric et al, 2008). Na composição desses

biscoitos (TAB. 7) está incluído óleo de milho, também rico em ácidos graxos insaturados. É possível assim que esses ingredientes estejam, de alguma forma, envolvidos na resistência à radiação.

TABELA 9 - Conteúdo de vitamina E em nozes pecãs irradiadas, média (X), desvio padrão (σ), e % de retenção para três lotes utilizados

Amostra	Vitamina E (mg /100 g)				
	0kGy	1kGy	% Retenção	3kGy	% Retenção
1º lote					
1	15,02	14,62		15,95	
2	14,58	14,58		15,02	
3	14,39	14,83		14,63	
X $\pm\sigma$	14,66 $\pm$ 0,32	14,68 $\pm$ 0,13	100,13	15,20 $\pm$ 0,67	103,62
2º lote					
4	16,33	16,13		16,27	
5	16,36	16,16		16,41	
6	16,70	16,54		17,04	
X $\pm\sigma$	16,46 $\pm$ 0,20	16,27 $\pm$ 0,22	98,86	16,57 $\pm$ 0,41	100,65
3º lote					
7	15,00	15,38		14,80	
8	15,42	15,59		15,12	
9	15,56	15,59		15,89	
X $\pm\sigma$	15,32 $\pm$ 0,29	15,52 $\pm$ 0,12	101,27	15,27 $\pm$ 0,56	99,61

TABELA 10 - Conteúdo de vitamina E (mg/100g) em biscoitos irradiados, média (X), desvio padrão (σ), e % de retenção.

Amostra	Vitamina E (mg /100 g)				
	0kGy	1kGy	%Retenção	3kGy	%Retenção
1º lote					
1	10,25	11,38		10,45	
2	11,48	12,33		10,98	
3	10,95	11,83		11,35	
X $\pm\sigma$	10,89 $\pm$ 0,61	11,84 $\pm$ 0,48	108,79	10,93 $\pm$ 0,45	100,42
2º lote					
4	8,80	8,88		8,80	
5	8,78	8,80		8,78	
6	9,43	9,65		9,45	
X $\pm\sigma$	9,00 $\pm$ 0,37	9,11 $\pm$ 0,47	101,17	9,01 $\pm$ 0,38	100,09
3º lote					
7	7,40	7,40		7,38	
8	7,93	7,93		8,13	
9	9,15	9,13		9,15	
X $\pm\sigma$	8,16 $\pm$ 0,90	8,15 $\pm$ 0,88	99,90	8,22 $\pm$ 0,89	100,72

Os resultados da análise de vitamina E em alimento fortificado em pó são apresentados na TAB. 11. Evidencia-se que houve também retenção do conteúdo em tocoferóis, sendo os percentuais de retenção em média de 99,2 e 99,9 para as amostras irradiadas com 1 e 3 kGy respectivamente.

TABELA 11 - Conteúdo de vitamina E (mg/100g) em alimento fortificado em pó irradiado, média (X), desvio padrão (σ) e % de retenção.

Amostra		Vitamina E (mg /100 g)			
1º lote	0kGy	1kGy	%Retenção	3kGy	%Retenção
1	11,46	11,65		11,82	
2	11,46	11,46		10,97	
3	11,46	11,31		11,25	
X $\pm\sigma$	11,46 $\pm$ 0	11,47 $\pm$ 0,17	100,11	11,34 $\pm$ 0,43	99,01
2º lote					
4	11,82	11,65		11,82	
5	12,15	11,47		11,47	
6	12,15	12,15		12,52	
X $\pm\sigma$	12,04 $\pm$ 0,19	11,75 $\pm$ 0,35	97,65	11,93 $\pm$ 0,53	99,14
3º lote					
7	12,25	12,25		12,70	
8	12,25	12,10		12,55	
9	12,25	12,37		12,04	
X $\pm\sigma$	12,25 $\pm$ 0	12,24 $\pm$ 0,13	99,91	12,43 $\pm$ 0,34	101,47

Conforme dados da literatura (Diehl apud Singh,1991; Jo & Ahn, 2000) há variabilidade de resultados da análise de vitamina E em produtos alimentícios dependendo dos mais diversos fatores, mas verificou-se neste trabalho a grande estabilidade frente à radiação desta vitamina lipossolúvel contida nos produtos utilizados no presente estudo.

Espécies reativas de oxigênio são formadas enzimaticamente, quimicamente e por irradiação em alimentos (Choe & Min, 2005). A ocorrência dessas espécies em alimentos é inevitável devido à natureza biológica dos alimentos. Estes são responsáveis pelo início da reação de oxidação e reagem com lipídios, proteínas, açúcares e vitaminas; produzindo compostos voláteis indesejáveis e tornando os gêneros alimentícios menos aceitáveis ou inaceitáveis pelos consumidores. Destroem também ácidos graxos essenciais, aminoácidos e vitaminas e podem produzir produtos carcinogênicos (Choe & Min, 2005).

Os alimentos são suscetíveis a reações oxidativas. Vegetais ricos em gorduras e óleos de peixe, com alto nível de insaturação sofrem oxidação lipídica que é o que determina sensorialmente o limite aceitável no tocante a vida de prateleira (Macrae *et al*, 1993 b).

Segundo Machado & Santiago (2001) e Anderson (1988) os tocoferóis são altamente instáveis, cuja degradação por oxidação é acelerada pela presença de ácidos, luz, calor, metais e peróxidos. Entretanto, os resultados do presente trabalho (TAB. 9, 10 e 11) mostram a estabilidade frente à radiação do teor de tocoferóis contidos nos produtos alimentícios.

Em relação à análise sensorial, na TAB. 12 encontram-se os resultados do teste de comparação múltipla ou diferença do controle das nozes pecã tratadas com diferentes doses de radiação de ^{60}Co , em termos globais para os atributos sensoriais de aparência, textura, odor e sabor, em comparação à amostra controle não irradiada.

A dose de 3 kGy promoveu diferenças significativas ($p < 0,05$) nas características sensoriais de aparência, textura, odor e sabor, magnitude da diferença: “ligeiramente diferentes” da amostra não irradiada, em escala de 9 pontos. Contribuiu para maior grau de diferença o atributo sabor. Para nozes tratadas com 1 kGy de radiação ionizante não houve diferença significativa em relação aos produtos do controle, em nenhum dos atributos sensoriais avaliados.

TABELA 12 - Análise sensorial de nozes pecã irradiadas comparadas à amostra controle (0 kGy) através do teste de diferença do controle.(±) Erro padrão da média. MDS: Mínima diferença significativa.

Atributo sensorial	Avaliação			MDS
	0 kGy	1 kGy	3 kGy	
Aparência	1,54 ^b ±0,10	1,62 ^b ±0,15	2,00 ^a ±0,14	0,34
Textura	1,46 ^b ±0,12	1,69 ^b ±0,19	2,13 ^a ±0,16	0,38
Odor	1,66 ^b ±0,17	1,64 ^b ±0,15	2,18 ^a ±0,16	0,40
Sabor	1,56 ^b ±0,13	2,03 ^b ±0,21	3,77 ^a ±0,21	0,48

Não diferem significativamente do controle valores médios seguidos de letras iguais, na mesma linha.

Na TAB. 13 encontram-se os resultados da análise sensorial de biscoitos integrais irradiados em comparação ao controle. Os biscoitos irradiados com 1 e 3kGy apresentaram diferença significativa global (5% de erro) para todos os atributos sensoriais. Entretanto, a intensidade do grau de diferença de 9 pontos foi numericamente próxima a “nenhuma diferença do controle” (<2) para aparência e textura e “ligeira diferença” (3-4) para o odor e sabor. Os valores dos atributos sensoriais foram sensivelmente menos intensos na dosagem de 1 kGy.

TABELA 13 - Análise sensorial de biscoitos irradiados e amostras controle (0 kGy) através do teste de diferença do controle. ($\pm$) Erro padrão da média. MDS: mínima diferença significativa.

Atributo sensorial	Avaliação			MDS
	0 kGy	1 kGy	3 kGy	
Aparência	1,17 ^b $\pm$ 0,06	1,67 ^a $\pm$ 0,10	1,68 ^a $\pm$ 0,11	0,20
Textura	1,23 ^b $\pm$ 0,06	1,67 ^a $\pm$ 0,11	1,89 ^a $\pm$ 0,12	0,24
Odor	1,27 ^b $\pm$ 0,08	2,53 ^a $\pm$ 0,18	3,65 ^a $\pm$ 0,19	0,40
Sabor	1,38 ^b $\pm$ 0,09	2,45 ^a $\pm$ 0,19	3,82 ^a $\pm$ 0,23	0,45

^{ab} Valores médios seguidos de letras distintas, na mesma linha, diferem da amostra-controle a 5% de significância.

Na TAB. 14 encontram-se os resultados da análise sensorial das amostras de alimento fortificado em pó, tratadas com diferentes doses de radiação de ⁶⁰Co, em termos globais para os atributos sensoriais de aparência, odor, sensação bucal e sabor, em comparação a uma amostra controle. As amostras de alimento fortificado em pó irradiadas com 1 e 3kGy apresentaram diferenças significativas globais (5% de erro) para todos os atributos sensoriais avaliados. No entanto, a intensidade do grau de diferença pela escala estruturada de 9 pontos, o valor foi inferior ou próximo a “ligeira diferença” do controle” (valor 3 da escala), para ambas as doses de irradiação empregadas para o produto.

Para os atributos de aparência e sabor na dose de 3 kGy, a intensidade do grau de diferença (9 pontos) foi numericamente próximo a “ligeira diferença” (3-4) e sensação bucal e odor, o valor inferior a “ligeira diferença” (3-4). Os valores dos atributos sensoriais foram menores na dosagem de 1kGy.

TABELA 14 - Análise sensorial de alimento fortificado em pó irradiadas e amostras controles (0 kGy) através do teste de diferença do controle. ($\pm$) Erro padrão da média. MDS: mínima diferença significativa.

Atributo sensorial	Avaliação			MDS
	0 kGy	1 kGy	3 kGy	
Aparência	1,03 ^b $\pm$ 0,03	2,50 ^a $\pm$ 0,14	3,88 ^a $\pm$ 0,18	0,29
Odor	1,30 ^b $\pm$ 0,13	2,03 ^a $\pm$ 0,17	2,78 ^a $\pm$ 0,23	0,46
Sensação bucal	1,23 ^b $\pm$ 0,08	1,88 ^a $\pm$ 0,16	2,65 ^a $\pm$ 0,21	0,37
Sabor	1,20 ^b $\pm$ 0,10	2,58 ^a $\pm$ 0,19	3,75 ^a $\pm$ 0,26	0,48

^{a,b} Diferem significativamente do controle valores médios seguidos de letras distintas, na mesma linha.

Comparando os dados das TAB. 12, 13 e 14, é possível verificar que as nozes pecãs foram os produtos irradiados que menos sofreram o impacto negativo da ação da radiação, isto é, houve provavelmente menor incidência de peroxidação lipídica. Warner et al. (2008) verificaram que óleos com maior estabilidade foram aqueles com alto conteúdo em γ -tocoferóis. Dados da literatura (TAB. 4) apresentam as nozes pecã como contendo uma porcentagem excepcionalmente alta (92%-95%) de γ -tocoferóis. Este fato pode contribuir de alguma maneira para explicar o resultado encontrado no presente trabalho. Também, Miraliakbari e Shahidi (2008) verificaram que particularmente o óleo de pecã é um dos óleos de nozes mais estáveis tanto frente à autooxidação quanto à fotooxidação.

Nozes e outros produtos com alto teor de lipídios, como batatas fritas, podem ser embalados sob nitrogênio ou embalagem a vácuo a fim de limitar a quantia de oxigênio disponível para reações de oxidação (Macrae *et al*, 1993b). Por sua vez, Oro et al. (2008) mostraram que a estabilidade das nozes pecãs não se alterou no armazenamento com filmes plásticos de nylon-polietileno sob vácuo ou em recipientes de polipropileno a temperatura ambiente por 120 dias.

Durante o processamento convencional e o armazenamento ocorrem normalmente alterações lipídicas em produtos como nozes, pistachios e amendoins. Na torrefação de nozes, por exemplo, ocorre um aumento de hidroperóxidos e compostos aldeídicos, ambos produtos da oxidação lipídica (Yaacoub *et al*, 2008). Também há referências sobre a interação entre os produtos da reação de Maillard e a oxidação lipídica em avelãs (Severini *et al*, 2008).

É conhecido o fato de que os tocoferóis podem agir como pró-oxidantes em altas concentrações de óleos e na presença de sais de ferro e cobre (Pakorny, 1991). O efeito pró-oxidante do α -tocoferol estaria relacionado com a formação de radicais α -tocoferoxila que, quando presentes em altas concentrações, propiciariam a ocorrência de um número de reações paralelas indesejáveis, podendo aumentar a taxa de peroxidação (Penteado, 2003).

O leite em pó, constituinte do alimento enriquecido utilizado no presente trabalho, tem grande superfície de contato com o ar e baixa atividade de água, condições que particularmente aumentam as reações de oxidação (Lercker & Rodriguez- Estrada, 2000). O leite contém ácidos graxos saturados, os quais variam com o tipo de animal do qual é produzido, a idade, o tipo de ração ingerida e a estação do ano. No inverno, por exemplo, a gordura do leite contém relativamente baixa concentração de tocoferóis. Alguns países permitem a adição de ácido ascórbico para eliminar a geração de um odor proveniente da oxidação lipídica durante a estocagem (Macrae *et al*, 1993 a).

O colesterol presente em alimentos de origem animal pode ser oxidado durante o processamento e estocagem (Lercker & Rodriguez- Estrada, 2000). Por sua vez, o processo de spray – dried, que alterna correntes de ar e aquecimento, utilizado para a obtenção de leite em pó integral e gema de ovo em pó, alimentos fontes de colesterol, favorece a oxidação do colesterol (Lay *et al*, 1995.). Assim, a alteração sensorial em alimento fortificado em pó produzida pela radiação encontrada no presente trabalho pode ser atribuída não só à peroxidação lipídica

geral, mas também à oxidação do colesterol como sugerem alguns autores (Lay *et al.*, 1995; Lercker & Rodriguez- Estrada, 2000).

As substâncias químicas presentes nos alimentos ou formulações, podem acelerar ou inibir a oxidação. Por exemplo, proteínas do leite como a beta-caseína hidrolisada pode aumentar a absorção de ferro e prevenir a peroxidação lipídica em alimentos contendo alto conteúdo de ácidos graxos poliinsaturados (Kansci *et al.*, 2004).

No processo tecnológico de produção de biscoitos são utilizadas gorduras vegetais refinadas, óleos e outros lípidos (margarinas, manteigas e gorduras hidrogenadas). Foi estudada a degradação hidrolítica e oxidativa destes lípidos e as substâncias formadas não apenas por oxidação da fração lipídica mas também no amassamento e assadura são oligopolímeros de triacilglicerol e triacilglicerol oxidado (Caponio *et al.*, 2007; Cercari *et al.*, 2006; Caponio *et al.*, 2008).

Na formulação de biscoitos a adição de 2% de antioxidantes naturais como extratos de plantas pode ser utilizado na proteção contra a degradação lipídica (Reddy *et al.*, 2005).

Os presentes resultados, obtidos com biscoitos integrais e alimento fortificado contendo ferro na sua formulação, corroboram a maioria dos dados encontrados na literatura, com relação às alterações sensoriais produzidas nos alimentos pela irradiação (Anderson, 1988; Lescano *et al.*, 1991; Machado & Santiago, 2001; Penteado, 2003; Sanches - Bel, 2005).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da tecnologia de irradiação de alimentos tende a incluir não só alimentos naturais, mas também produtos industrializados e fortificados destinados a pacientes com o sistema imune debilitado, como os portadores de câncer, vírus HIV, transplantados ou gastrectomizados. Por outro lado, um dos mais importantes avanços para atender as recomendações nutricionais nos últimos anos é representado pela fortificação de alimentos. Nesse contexto, é altamente recomendável a continuidade de trabalhos como o presente estudo, uma vez que é fundamental o conhecimento de como são afetados os diversos componentes de dietas especiais pelos processamentos aplicados.

6. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho mostraram que a vitamina E contida em produtos naturais, como nozes pecã, e industrializados, no biscoito integral e alimento fortificado em pó, teve uma grande estabilidade química frente à radiação ionizante, porém ocorreram mudanças nos atributos sensoriais dependendo da dose aplicada.

1. Não houve perda de vitamina E como consequência da irradiação nas doses de 1 e 3 kGy em nozes pecã, amostras de biscoitos integrais enriquecidos com sementes de girassol e, em, amostras do alimento fortificado em pó.
2. Em relação à análise sensorial, a radiação gama na dose de 3 kGy induziu alterações nas propriedades sensoriais das nozes pecãs para os atributos de aparência, aroma, textura e sabor. A dose de 1kGy não causou diferença significativa, sendo assim uma dose recomendável.
3. A radiação gama ocasionou diferenças significativas nos biscoitos integrais e nos alimentos em pó fortificados, porém os valores do grau de diferença foram significativamente menores em relação ao controle não irradiado, especialmente quando aplicada à dose de 1kGy.

APÊNDICE A

Quadro 1 - Modelo da ficha para teste de comparação múltipla (nozes e biscoitos integrais)

Nome:		Data:			
<p>Você está recebendo amostras codificadas de ----- para comparar a um controle (C).</p> <p>Você está recebendo amostras codificadas ----- . Por favor, primeiro avalie a amostra controle (C). Depois compare as amostras codificadas ao controle, indicando o grau de diferença conforme escala abaixo.</p>					
(1) nenhuma diferença do C (2) (3) ligeira diferença do C (4) (5) regular diferença do C (6) (7) muita diferença do C (8) (9) extrema diferença do C	Amostra	Aparência	Odor	Textura	Sabor
	_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____	_____
Comentários:					

APÊNDICE B

Quadro 2 - Modelo da ficha para teste de comparação múltipla.(alimento lácteo).

Nome:		Data:			
<p>Você está recebendo uma amostra-controle “C” e 3 amostras codificadas de alimento lácteo.</p> <p>Por favor, primeiro avalie “C” e depois, da esquerda para a direita, as amostras codificadas, utilizando a escala abaixo e marcando o nº que corresponde ao grau de diferença para cada atributo.</p>					
(1) nenhuma diferença do C	Amostra	Aparência	Odor	Sensação bucal	Sabor
(2)	_____	_____	_____	_____	_____
(3) ligeira diferença do C	_____	_____	_____	_____	_____
(4)	_____	_____	_____	_____	_____
(5) regular diferença do C	_____	_____	_____	_____	_____
(6)					
(7) muita diferença do C					
(8)					
(9) extrema diferença do C					
Comentários:					

REFERÊNCIAS

- ACUFF, R.V.; THEDFORD, S.S.; HIDIROGLOU, N.N.; PAPAS, A .M.; ODOM, T.A. Relative bioavailability of RRR- and all rac-alpha-tocopheryl acetate in humans: Studies using deuterated compounds. **Am. J. Clin. Nutr.**, v. 60, n. 397, p. 397-402, 1994.
- ADAMSTONE, F.B.; CARD, L. E. The effects of vitamin E deficiency on the testes of the male Fowl (*Gallus domesticus*). **J. Morphol.**, v. 56, p. 339-59, 1934.
- ADHIKARI, P.; HWANG, K.T.; SHIN, M.K.; LEE, B.K.; KIM, S.K.; KIM, S.Y.; LEE, K.T, KIM, S.Z. Tocols in caneberry seed oils. **Food Chem.**, v. 1, n. 3, p.687-690, 2008.
- ALLWOOD, M.C.; MARTIN H.J. The photodegradation of vitamin A and E in parenteral nutrition mixtures during infusion. **Clin. Nutr.** , v. 19, n. 5, p. 39-342, 2000.
- ALMEIDA, A. P. **Microbiota fúngica e produção de aflatoxinas e fumonisinas, por cepas de *Aspergillus flavus* Link e *Fusarium moliniforme* Sheldon, de três híbridos de grãos de milho recém-colhido**. 1996. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- AMES, B.N. Micronutrient deficiencies: A major cause of DNA damage. **Câncer Prevent.** , v. 889, p. 87-106, 1999.
- AMIN, A .S. Colorimetric determination of tocopheryl acetate (vitamin E) in pure form and in multivitamin capsules. **Eur. J. Pharm. Biopharm.**, v. 51, n. 3, p. 267-272, 2001.
- ANDERSON L.; DIBBLE, M.V.; TURKKI, P.R.; MITCHELL, H.S.; RYNBERGEN, H.J. **Nutrição**. Rio de Janeiro, RJ. Guanabara, 1988. p. 108–112.
- AREVALO, L.; BUSTOS, M.E.; SAUCEDO, C. Changes in the vascular tissue of fresh Hass avocados treated with cobalt 60. **Rad. Phys.Chem.**, v. 63, n. 3-6, p. 375-377, 2002.
- ARMELIM, J.M.; CANNIATTI-BRAZACA, S.G.; SPOTO, M.H.E.; ARTHUR, V.; PIEDADE, S.M.S. Quantitative descriptive analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under gamma radiation. **J. Food Sci.**, v. 71, n. 1, p. 8-12, 2006.
- ARRUS, K.; BLANK, G.; CLEAR, R.; HOLLY, R.A.; ABRAMSOM, D. Microbiological and aflatoxin evaluation of Brazil nut pods operations. **J. Food Prot.**, v. 68, n. 5, p. 1060-1065, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Métodos de análise sensorial dos alimentos e bebidas**. Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1993 (NBR 12.806).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Teste de comparação múltipla em análise sensorial dos alimentos e bebidas**: Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1995 (NBR 13.526).

AZZI, A.; BREYER, I.; FEHR, M.; RICCIARELLI, R.; STOCKER, A.; ZIMMER, S.; ZINGG, J.M. Nonantioxidant functions of α -tocopherol in smooth muscle cells. **J. Nutr.**, v. 131, p. 378S - 381S, 2001.

BAGOROGOZA, K.; BOWERS, J.; OKOT-KOTBER, M. The effect of irradiation and modified atmosphere packaging on the quality of intact chill-stored turkey breast. **J. Food Sci.**, v. 66, n. 2, p. 367-372, 2001.

BALDI, A.; LOSIO, M.N.; CHELI, F.; REBUCCI, R.; SANGALLI, L.; FUSI, E.; BERTASI, B.; PAVONI, , CARLI, S.; POLITIS, I. Evaluation of the protective effects of alpha-tocopherol and retinol against ochratoxin A cytotoxicity. **British. J. Nutrit.**, v. 91, n. 4, p. 507-512, 2004.

BHAT, R.; SRIDHAR, K.R.; BHUSHAN, B.; SHARMA, A. Canavalia cathartica free radicals studied by ESR. **Acta Aliment.**, v. 37, n. 3, p. 337- 345, 2008.

BIERE, J. G.; CORASH, L.; HUBBARD, V.S. Medical uses of vitamin E **New England J. Med.**, v. 308, n. 18, p.1063-1071, 1983.

BOSH, A.V. La irradiación de los alimentos. **Segur. Nucl.**, n. 35, p. 2-12, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 21, 26 de janeiro de 2001. Dispõe sobre regulamento técnico para irradiação de alimentos. **Diário Oficial, da República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F, 29 jan.2001. Seção 1, Parte Eletrônica, p. 35.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 475, 19 de março de 2002. "Guia para validação de Métodos Analíticos".

Disponível em:

<http://www.anvisa.gov.br/hotsite/genericos/legis/resolucoes/2002/475_02re.htm >.

Acesso em: 27 out. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 269, 22 de setembro de 2005. "Regulamento técnico sobre a Ingestão Diária Recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais" Disponível em: <<http://e-legis.anvisa.gov.br/leisref/public/showAct.php?id=18828&word>> Acesso em: 26 nov. 2008.

BREEUWER, P. Desiccation and heat tolerance of *Enterobacter sakasakii*. **J. Appl. Microbiol.**, v. 95, n. 5, p. 967-973, 2003.

BRUBACHER, G.; MÜLLER-MULOT, G.; SOUTHGATE, D.A. T. **Methods for the determination of vitamins in food**. London: Elsevier Applied Science, 1985, p. 97-107.

CABEDO, L.;BARROT, L.;PICART, I.; CANELLES, A.; TEIXIDO, I. Prevalence of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella* in ready-to-eat food in Catalonia, Spain. **J. Food Prot.**, v. 71, n. 4, p. 855-859, 2008.

CALABRESE, V.; SCAPAGNINI, G.; CATALANO, C.; BATES, TE.; GERACI, D.; PENNISI, G.; GIUFFRIDA S.A.M. Regulation of heat shock protein synthesis in human skin fibroblasts in response to oxidative stress: Role of vitamin E. **Int. J. Tissue React.**, v. 23, n. 4, p. 127-135, 2001.

CAPONIO, F.; GOMES, T.; PASQUALONE, A.; SUMMO, C. Use of the high performance size exclusion chromatography analysis for the measurement of the degree of hydrolytic and oxidative degradation of the lipid fraction of biscuits. **Food Chem.**, v.102, p. 232-236, 2007.

CAPONIO, F.; SUMO, C.; PASQUALONE, A.; BILANCIA, M.T. Effect of kneading and baking on the degradation of the lipid fraction of biscuits. **J. Cereal. Sci.**, v. 48, n. 2, p. 407- 412, 2008.

CARVAJAL, M. Aflatoxin M-1 in pasteurized and ultrapasteurized milk with different fat content in Mexico. **J. Food Prot.**, v. 66, n. 10, p. 1885-1892, 2003.

CASTRO, M.F.P.M. **Efeitos da fosfina no crescimento de *Aspergillus flavus* Link e na produção de aflatoxinas em milho (*Zea, Mays, L*) armazenado com elevados teores de umidade. 2003.** Tese (Doutorado) - Unicamp, Campinas.

CERCARI, L.; CONCHILLO, A; RODRIGUEZ-ESTRADA, M.T.; ANSORENA, D.; ASTIASARAN, I.; LERCKER, G. Preliminary study on health related lipid components of bakery products. **J.Food Protec.**, v.69,n.6,1393-1401, 2006.

CETINKAYA, N.; OZYARDIMCI, B.; DENLI, E.;IC, E. Radiation processing as a post-harvest quarantine control for raisins, dried figs and dried apricots. **Rad. Phys.Chem.**, v. 75.n. 3, p. 424-431, 2006.

CHOE, E.; MIN, B.D. Chemistry and Reactions of Reactive Oxygen Species in foods. **J. food Sci.**, v.70, n.9, p.142-149, 2005.

CID T.P.; GARCIA, J.R.C.; ALVAREZ, F.C.; DE ARRIBA G. Antioxidant nutrients protect against cyclosporine A nephrotoxicity. **Toxicology**, v. 189, n. 1-2, p. 99-111, 2003.

CODEX. **General Standart for Irradiated Foods and Recommended Internacional Code of Praticce for the Operation of Radiation Facilities used for the Treatment of foods.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1984, v. 15.

COZZOLINO, S.M.F. **Biodisponibilidade de nutrientes.** Barueri, S.P.:Manole, 2005. p. 13-275.

DELINCEÉ, H. Is it safe to eat irradiated food? Toxicological aspects. **Ann. Fals. Exp. Chim.**, v. 90, n. 941, p. 331-346, 1997.

DESMONTS, M. H. Les modifications organoleptiques des aliments traités par ionization. **Ann. Fals. Exp. Chim.**, v. 90, n. 941, p. 347-353, 1997.

DEUSTSH, M. J. **Vitamins and Other Nutrients** In: Cunniff, P., ed. Official Methods of Analysis of International AOAC.16.ed. Arlinton, VA: AOAC International, 1995.

cap.45.

DIEHL, J. F. Food irradiation: Is it an alternative to chemical preservatives. **Food Addit. Contam.**, v. 9, p. 409-416, 1992.

DIEHL, J. F. **Safety of irradiated foods**. New York, N.Y: Marcel Dekker, 1990, p. 95 –199.

DIEHL, J. F.; JOSEPHSON, E.S. Assesment of wholesomeness of irradiated foods. **Acta Aliment.**, v. 23, n. 2, p. 195-214, 1994.

EL-DEMERDASH F.M.;YOUSSEF M.I.; KEDWANY F.S.;BAGHDADI, H.H. Role of alpha-tocopherol and beta –carotene in ameliorating the fenvalerate-induced changes in oxidative stress, hemato-biochemical parameters, and semen quality of male rats. **J. Environ. Sci. Health, Part-B, Pestic. Food Contam. Agric. Wastes**, v. 39, n. 3, p. 443-459, 2004.

EL-SAMAHY, S.K.; YOUSSEF, B.M.; ASKAR, A.A; SWAILAM, H.MM. Microbiological and chemical properties of irradiated mango. **J. Food Saf.**, v. 20, n. 3, p. 139-156, 2000.

EMERSON, O.H.; EMERSON, G.A.; MOHAMMED, A.; EVANS, H.M. The chemistry of vitamin E Tocopherols from various sources. **J. Biol. Chem.**, v. 122, p. 99-107, 1937.

EMMERIE, A.; ENGEL, CHR. Colorimetric Determination of dl- α -Tocopherol (Vitamin E). **Nature**, v. 142, p. 873-873, 1938.

EVANS, H.; BISHOP, K.S. On the existence of a hitherto unrecognized dietary factor essencial for reproduction. **Science.**, v. 56, p. 650-1, 1922.

EVANS, H.M.; EMERSON, O.H.; EMERSON, G.A. **J. Biol. Chem.**, v. 113, p. 319, 1936. apud SMITH, L.I. The chemistry of vitamin E. **Chem. Rev.**, v. 27, p. 287-39, 1940.

FAN, X.; NIEMIRA, B. A.; SOKORAI, K. J. B. Sensorial, nutritional and microbiological quality of fresh cilantro leaves as influenced by ionizing radiation and storage. **Food Res. Int.**, v. 36, p. 713-719, 2003a.

FAN, X.; NIEMIRA, B. A.; SOKORAI, K. J. B. Use of ionizing radiation to improve sensory and microbial quality of fresh-cut green onion leaves. **J. food Sci.**, v. 68, n. 4, 2003b.

FARIA, E.V.; MORI, E.E.M.; YOTSUYANAGI, K. **Técnicas de análise sensorial**:. Campinas, SP. Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2000.

FDA – Food and Drug Administration, 1999. **Irradiation in the production, processing and handling of food**. Disponível em: <http://www.asn.org/policy/index.asp?bid=3311>. Acesso em: 12 nov 2007.

FDA – Food and Drug Administration. **Irradiation in the production, processing and handling of food**, v. 62, n. 232, 1997.

FERNHOLZ, E. On the constitution of α -tocopherol. **J. Am. Chem. Soc.**, v. 60, p. 700-5, 1938.

FERREIRA, V.L.P.; ALMEIDA, T.C.A.; PETTINELI, M.L.C; DA SILVA, M.A.A.P.; CHAVES, J.B.P.; BARBOSA, E.M.M. **Análise sensorial: testes discriminativos e afetivos**. Campinas, S.P: PROFIKA/SBCTA, 2000. (Manual Série Qualidade)

FOLEY, D.M; DUFOUR, A; RODRIGUEZ, L.; CAPORASO, F; PRAKASH, A. Reduction of Escherichia coli 0157:H7 in shredded iceberg lettuce by chlorination and gamma irradiation. **Rad. Phys. Chem.**, v. 63, n. 3-6, p. 391-396, 2002.

FONSECA, H. Os fungos e a deterioração de alimentos. Boletim técnico nº 4, p.1-4, 2004. Disponível em: <<http://www.micotoxinas.com.br/boletim4.htm>>. Acesso em: 28 set. 2004.

FREEDMAN, J.E.; KEANEY Jr.J.F. Vitamin E inhibition of platelet aggregation is independent of antioxidant activity. **J. Nutr.**, v. 131, p. 374S-7S, 2001

FREIRE, F.C.O.; MASTRO, N.L.d. Effect of gamma radiation on the fungal deterioration of cashew nuts and kernels. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 18, agosto 2000, Belém, PA. **Anais...** Belém, PA: Revista Fitopatologia Brasileira, v. 25.n. 458.

FRIEDEMANN, M. *Enterobacter sakazakii* in powdered infant formula. **Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitssch.**, v. 51, n. 6, p. 664-674, 2008.

FUNASAKA Y.; KOMOTO M.; ICHIHASHI. M. Depigmenting effect of alpha-tocopheryl ferulate on normal human melanocytes. **Pigm. Cell Res.**, v. 13, sup. 8, p. 170-174, 2000.

GATE L.; PAUL J.; BA, G.N.; TEW, K.D.; TAPIERO H. Oxidative stress induced in pathologies: the role of antioxidants. **Biomed. Pharmacother.**, v. 53, n. 4, p. 169-180, 1999.

GOMES, H.D.; DA SILVA, E.N.; CARDEIRO, H.M.A. B.; CIPOLLI, K.M.V.A.B. Effect of gamma radiation on refrigerated mechanically deboned chicken meat quality. **Meat Sci.**, v. 65, n. 2, p. 919-926, 2003.

GOVARIS, A.; BOTSOGLOU, N.; PAPAGEORGIOU, G.; BOTSOGLOU, E.; AMBROSIADIS, I. Dietary versus post-mortem use of oregano oil and/or alpha-tocopherol in turkeys to inhibit development of lipid oxidation in meat during refrigerated storage. **Int. J. Food Sci Nutr.**, v. 55, n. 2, p. 115-123, 2004.

HALVORSEN, B.L.; CARLSEN, M.H.; PHILLIPS, M.; BOHN, S.K.; HOLTE, K.; JACOBS, D.R.; BLOMHOFF, R. Content of redox-active compounds (i.e. antioxidants) in foods consumed in the United States. **Am. J. Clin. Nutr.** v. 84, n. 1, p. 95-135, 2006.

HAMMER, P. Incidence and properties of *Bacillus cereus* strains from a milk powder plant-risk consideration and quality assurance. **Kiel. Milchwirtsch.**

Forschungsber., v. 53, n. 2, p. 123-146, 2001.

HANSON WR, HOUSEMAN KA, COLLINS PW: Radiation protection in vivo by prostaglandins and related compounds of the arachidonic acid cascade. **Pharmacol. Ther.**, v. 39, p. 347-56, 1988.

HEINRICH, U; TRONNIER, H; STAHL, W; BEJOT, M.; MAURETTE, J.M. Antioxidant supplements improve parameters related to skin structure in humans. **Skin Pharm. Physiol.**, v. 19, n. 4, p. 224-231, 2006.

HEMILA H.; KAPRIO J. Vitamin E supplementation may transiently increase tuberculosis risk in males who smoke heavily and have high dietary vitamin C intake. **British J. Nutr.**, v.100, n. 4, p. 896-902, 2008.

HONG, Y.H.;PARK, J.Y.;PARK, J.H.;CHONG, M.S.;KWON, K.S.;CHUNG, K.; WON,M.S.; SONG.K.B. Inactivation of *Enterobacter sakasaki*, *Bacillus cereus*, *Salmonella typhimurium* in powdered weaning food by electron-beam irradiation. **Rad. Phys. Chem.** v.77,n.9,p.1097-1100, 2008.

HOODA, S; JOOD, S. Organoleptic and nutritional evaluation of wheat biscuits supplemented with untreated and treated fenugreek flour. **Food Chem.**, v. 90, n. 3, p. 427- 435, 2005.

IAEA – INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Analytical detection methods for irradiated foods**. A review of the current literature. Vienna, 1991 (IAEA-TECDOC-587).

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Use of irradiation to Ensure the Higienic quality of fresh, pre-cut fruits and vegetables and other minimally processed food of plant origin**. Vienna IAEA-TECDOC-1530, December, 2006.

ICGFI - INTERNACIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION. **Facts about food irradiation**. Vienna, IAEA, 1999, p.9.

ICGFI – INTERNACIONAL CONSULTATIVE GROUP ON FOOD IRRADIATION. **Training Manual on operation of food irradiation facilites**. Vienna: IAEA, 1992, p. 1-116.

IKEDA, K.; NEGISHI, H; YAMORI, Y.; Antioxidant nutrients and hypoxia /ischemia brain injury in rodents. **Toxicology**, v. 189, n. 1-2, p. 55-61, 2003.

INSTAT. **Graph. Pad InStat tm**, Dr. Cipolla-Neto. São Paulo, SP: USP, 1993. versão. 2.01,1990-1993.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. NORMAS ANALÍTICAS DO IAL: **Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos**. 4 ed. São Paulo, SP: Instituto A. Lutz, 2005, p. 285 - 645.

IOM - INSTITUTE OF MEDICINE. Vitamin E. In: INSTITUTE OF MEDICINE. **DRI. Dietary references intakes for vitamin C, vitamin E, Selenium and carotenoids**. Washington, D.C: National Academy Press, 2000.cap 6 p. 186-283.

ISAACS, S.; ARAMINI, J.; CIEBIN, B.; FARRAR, J.A.; AHMED, R.; MIDDLTON, D.; CHANDRAN, AU.; HARRIS, L.J.; HOWES, M.; CHAN, E.; PICHETTE, A.S.; CAMPBELL, K.; GUPTA, A.; LIOR, L.Y.; PEARCE, M.; CLARK, C.; RODGERS, F.; JAMIESON, F.; BROPHY, I.; ELLIS, A. An international outbreak of salmonellosis associated with raw almonds contaminated with a rare phage type of *Salmonella enteridis*. **J. Food Protec.**, v. 68, n.1, p. 191-198, 2005.

ISO. International Organization for Standardization. **Method of investigating sensitivity of taste**. International Standard–ISO/DIS n° 3972, Geneva, 1990, 5p.

IVERSEN, C. Risk profile of *Enterobacter sakazakii*, an emergent pathogen associated with infant milk formula. **Trends Food Sci. Technol.**, v. 14, n. 11, p. 443-454, 2003.

JENSEN, S.K.; LAURIDSEN, C. Alpha-Tocopherol stereoisomers. **Vitam. E: Vitam. Horm. Adv. Res. Appl.**, v. 76, p. 281-308, 2007.

JO, C.; AHN, D.U. Volatiles and oxidative changes in irradiated pork sausage with different fatty acid composition and tocopherol content. **J. Food Sci.**, v. 65, n. 2, p. 270-275, 2000.

KAFERSTEIN, K.F.; MOY, G.G. Public Health Aspects of Food Irradiation. **J. Public Health Policy**, v. 2, n. 14, p.149-163, 1993.

KALIORA, A.C; DEDOUSSIS, GVZ; SCHMIDT, H. Dietary antioxidants in preventing atherogenesis. **Atherosclerosis**, v. 187, n. 1, 2006.

KANSCI, G.; GENOT, C.; MEYNIER, A.; GAUCHERON, F.; CHOBERT, J.M. Beta-Caseinophosphopeptide (fl-25) confers on beta-casein tryptic hydrolysate an antioxidant activity during iron–ascorbate-induced oxidation of liposomes. **Lait**, v. 84, n. 5, p. 449-462, 2004.

KILCAST, D. Effect of Irradiation on Vitamins. **Food Chem.**, v. 49, p. 157-164, 1994.

KITTS, D.D. An evaluation of the multiple effects of the antioxidants. **Food Technol.**, v. 8, n. 6, p. 198-202, 1997.

KNEKT, P.; REUNANEN, A.; MARNIEMI, J.; LEINO, A.; AROMAA, A. Low vitamin E status is a potential risk factor for insulin-dependent diabetes mellitus. **J. Intern. Med.**, v. 245, p. 99-102, 1999.

KONOPACKA, M.; RZESZOWSKA, W.J. Mutation Research-Genetic Toxicology and Environmental. **Mutagenesis**, v. 491, n. 1-2, p. 1-7, 2001.

LAY, S.M; GRAY, J.I.; ZABIK, M.E. Evaluation of solid phase extraction and gas chromatography for determination of cholesterol oxidation products in spray-dried whole egg. **J. Agric. Food Chem.**, v. 43, p. 1112-1126, 1995.

LEE, J.H.; SUNG, T.H.; LEE, K.T.; KIM, M.R. Effect of gamma-irradiation on color, pungency, and volatiles of Korean red pepper powder. **J. Food Sci.**, v. 69, n. 8, p. 585-592, 2004.

LERCKER, G.; RODRIGUEZ-ESTRADA, M.T. Cholesterol oxidation: Presence of 7-ketocholesterol in different food products. **J. Food Compos. Anal.**, v. 13, p. 625-631, 2000.

LESCANO, G.; NARVAIS, P.; KAIRIYAMA, E. Sterilization of spices and vegetable seasoning by gamma-radiation. **Acta Aliment.**, v. 20, n. 3-4, p. 233-242, 1991.

LESKOVÁ, E.; KUBÍKOVÁ, J.; KOVÁČIKOVÁ, E.; KOŠICKÁ, M.; HOLČÍKOVÁ, K.; HOLČÍKOVÁ, J.; Vitamin losses: Retention during heat treatment and continual changes expressed by mathematical models. **J. Food Compos. Anal.**, v. 19, n. 4, p. 252-276, 2006.

LIN, LC. Survey of an aflatoxin M-1 contamination of dairy products in Taiwan. **J. Food Drug Anal.**, v. 12, n. 2, p. 154-160, 2004.

LIU, Z.L.; WANG, L. J.; LIU Y.C. Studies on bio-Antioxidants-prooxidation of vitamin E on the autooxidation of linoleic acid in sodium dodecyl sulfate micelles. **Sci. China**, v. 34, n. 7, 1991.

LODGE, J.K. Mass spectrometry approaches for vitamin E research. **Biochem. Soc. Trans.**, v. 36, p. 1066-1070, 2008.

MACHADO, F.M.S.; SANTIAGO, V.R. **O papel das Frutas e Hortaliças na Nutrição Humana**. In: TORRES, E. A.F.S.; MACHADO, F.M.S. Alimentos em questão, uma abordagem técnica para as dúvidas mais comuns. São Paulo: Ponto Crítico, 2001, p. 25-33.

MACRAE, R.; ROBINSON, R.K.; SADLER, M.J. **Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition**. London, UK. Academic Press, 1993, v. 1, p. 212-232. **a**.

MACRAE, R.; ROBINSON, R.K.; SADLER, M.J. **Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition**. London, UK.: Academic Press, 1993, v. 5, p. 3375- 3381. **b**.

MAGUIRE, L.S.; O`SULLIVANS, M.; GALVIN, K.; O`CONNOR, T.P.; O`BRIEN, N.M. Fatty acid profile, tocopherol, squallene and phytosterol content of walnuts, almonds, hazelnuts and the macadamia nut. **Int. J. Food Sci. Nutr.**, v. 55, n. 3, p. 171-178, 2004.

MAHAN, K.L; STUMP, S.E. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. São Paulo, SP, Roca, 2005. p. 84-87.

MALHOTRA, N.; RANA. K.; RANI, N. Role of vitamin E in repair of radiation-induced spleen injury in mice. **Nat. Acad. Sci. Letters**, v. 13, n. 5, 1990.

MANZI, F.R.; BÓSCOLO, F.N.; ALMEIDA, S.M.; TUJI, F.M. Morphological study of the radioprotective effect of vitamin E (dl-alpha-tocopheril) in tissue reparation in rats. **Radiol. Bras.**, v. 36, n. 6, 2003.

MARAS, J.E.; BERMUDEZ, O.I.; QUIAO, N.; BAKUM, P.J.; BOODY-ALTER, EL.; TUCKER, K.L. Intake of alpha-tocopherol is limited among US adults. **J. Am.**

Dietet. Assoc., v. 104, n. 4, p. 567 -575, 2004.

MARTINEK, R.G. Method for the Determination of Vitamin E (Total Tocopherols) in Serum. **Clin. Chem.**, v. 10, p. 1078-1086, 1964.

MASON, K.E. Differences in testis injury and repair after vitamin A deficiency, vitamin E deficiency and inanition. **Am. J. Anat.**, v. 52, p. 133, 1933.

MASTRO, N.L. Alimentos esterilizados para uso em hospitais e rações militares. **Rev. Bras. Pesq. Desenvol.**, v. 2, n. 1, p. 1-3, 1999.

MASTRO, N.L.; MATTIOLO-MARCHESE, S.R.; KIKUCHI, O.K.; VILLAVICENCIO, A.L.C.H.; SABATO, S.F.; RELA, P.R.; TAIPINA, M.S. Avaliação da aceitação de morangos e citros irradiados. In: VII Congresso Geral de Energia Nuclear, 31 ago.- 3 set. 1999, Belo Horizonte, MG. **Anais...** Rio de Janeiro, R.J: ABEN, Sirius Multimedia. 1CD-ROOM

MASTRO, N.L.; VILLAVICENCIO, A. L.C. H. Defenses against ionizing radiation in mice: action of alpha-tocopherol and oil peanut. In: Annual Meeting of the Experimental Biology Societies Federation, 5 Aug. 24 -28, 1990, Caxambu **Proceedings...** Caxambu, MG, 1990.1 p.

MCDONOUGH, K.H. Antioxidant nutrients and alcohol. **Toxicology**, v. 189, n. 1-2, p. 89-97, 2003.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory Evaluation Techniques**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1987, p. 68 -72.

MEYDANY, M. Vitamin E and artherosclerosis: Beyond prevention of LDL oxidation. **J. Nutr.**, v. 131, p. 366S-68S, 2001.

MIGDAL, W.; OWCZARCZYK, H.B. Radiation decontamination of meat lyophilized products. **Rad. Phys.Chem.**, v. 63, n. 3-6, p. 371-373, 2002.

MIRALIAKBARI, H.; SHAHIDI, F. Oxidative stability of tree nut oils. **J. Agric. Food Chem.**, v. 56, n. 12, p. 4751-4759, 2008.

MORELLO, J.R; MOTILVA, M.J.; TOVAR, M.J.; ROMERO, M.P. Changes in commercial virgin olive oil, during storage , with special emphasis on the phenolic fraction **Food Chem.**, v. 85, p. 357-364, 2004.

MORENO, C.S. Compuestos polifenólicos: efectos fisiológicos, actividad antioxidante. **Alimentaria**, v. 38, n. 329, p. 29-39, 2002.

MORITA, N.; SHIMODA, K.; TRABER, MG.; WESPHAL, M.; ENKHBAATAR, P.; MURAKAMI, K.; LEONARD, S.W.; TRABER, LD.; TRABER, DL Vitamin E attenuates acute lung injury in sheep with burn and smoke inhalation injury. **Redox Rep.**, v. 11, n. 2, p. 61-70, 2006.

MURANO, E.A. ed. **Food Irradiation: A Sourcebook**. Ames, IA: Iowa State University Press, 1995, 136 p.

NATIONAL INSTITUTES OF HEALTH. Diet rich in foods with Vitamin E may reduce Alzheimer's Disease Risk .NIH **News Release**, n 301, p496-1752, 2002. Disponível em < <http://www.nia.nih.gov> > Acesso em: 25 junho 2002.

Natural Food Guide – Nuts. Disponível em:
<http://www.naturalhub.com/natural_food_guide_nuts_common.htm#Pecan>.
Acesso: 05 ago. 2008.

NIEMIRA, B.A.; SOMMERS, C.H.; FAN, X.T.; SOKORAI, K.J.B. Formulation of soy-based RTE foods influences radiation sensitivity of *Listeria monocytogenes* and postirradiation product sensory properties. **J. Food Saf.**, v. 23, n. 1, p. 35-46, 2003.

NOGALA, M.; KORCZAK J.; WAGNER KH.; ELMADFA, I. Tocopherol composition of deodorization distillates and their antioxidative activity. **Nahrung**, v. 48, n. 1, p. 34-37, 2004.

NOLLET, L.M.L. (ed.) **Food Analysis by HPLC**. New York, N.Y.: Marcel Dekker, 2000.p.336-340.

O'MAHONY, M. **Sensory evaluation of food-Statistical methods**. New York, NY: Marcel Dekker, 1986.p. 153-166.

OHIO STATE UNIVERSITY. **OHIO STATE UNIVERSITY EXTENSION FACT SHEET: Human Nutrition**. Disponível em: <<http://ohioline.osu.edu/hyg-fact/5000/5554.html>>. Acesso: 24 ago. 2004.

OKUNO, E. **Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios**. São Paulo, SP, Harbra, 1988.

OLSON, D. G. **Irradiation processing** In: HAYES, D. J. et al. Food Irradiation: A Sourcebook Ames, IA: Iowa State Univ. Press, 1995, p. 3-25.

ORO, T.; OGLIARI, P.J; AMBONI, R.D.M.C.; BARRERA-ARELLANO, D.; BLOCK, J.M. Quality evaluation of Pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch] during storage in different packaging. **Grasas y Aceites**, v. 59, n. 2, p. 132-138, 2008.

OZDEN, O.; IMUGUR, M.; ERKAN, N. Preservation of iced refrigerated sea bream (*Sparus aurata*) by irradiation: microbiological, chemical and sensory attributes. **Eur. Food Res. Technol.**, v. 225, n. 5-6, p. 797-805, 2007.

PAKORNÝ, J. Natural antioxidants for food use. **Trends Food Sci. Technol.**, v.2,p. 223-227, 1991.

PALEKAR, M.P.; CABRERA-DIAZ, E.; KALBASI-ASHTARI, A.; MAXIM, J.E.; MILLER, R.K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; CASTILLO, A. Effect of electron beam irradiation on the bacterial load and sensorial quality of sliced cantaloup. **J. Food. Sci.**, v. 69, n. 9, p. 267-273, 2004.

PASCOE, G.A.; REED, D.J. Cell calcium, Vitamin E, and the thiol redox system in cytotoxicity. **Free Rad. Biol. Med.**, v. 6, p. 209- 224, 1988.

PAVIC, S. An Outbreak of food poisoning in a Kindergarten caused by milk powder containing toxigenic *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis*. **Arch. Lebensmittelhyg.**, v. 56, n. 1, p. 20-22, 2005.

PENTEADO, M.V.C. **Vitaminas: aspectos Nutricionais, bioquímicos, Clínicos, e Analíticos**. Barueri, SP.:Manole, 2003. p. 123-155.

PIKAEV, A. K. Current status of radiation technology and dosimetry problems. **Khimiya Vysokikh Energii**, v. 2, p. 44-53, 1993. In: BORRELY, S.I. **Tratamento de esgoto sanitário com o uso de acelerador de elétrons**. São Paulo: 1995. Dissertação (Mestrado). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares-USP.

PLACEK, V.; SVOBODOVA, V.; BARTONICEK, B.; ROSMUS, J.; CAMRA, M. Shelf-stable food through high dose irradiation. **Rad. Phys.Chem.**, v. 71, n. 1-2, p. 515-518, 2004.

PÖSCHL, G.; SEITZ, HK. Alcohol and cancer. **Alcohol Alcohol.**, v. 39, n. 3, p. 155-165, 2004.

PRAKASH, A.; MANLEY, J.; De COSTA, S.; CAPORASO, F.; FOLEY, D. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes. **Rad. Phys.Chem**, v. 63, p. 387-390, 2002.

PRASAD, K.N.; COLE, W.C.;KUMAR, B.; PRASAK, K.C. Scientific rationale for using high-dose multiple micronutrients as adjunct to standard and experimental cancer therapies. **J. Am. Coll. Nutr.** v. 20, n. 5, p. 450s-463s, 2001.Suppl.1.

RAZEM, K. Activity of Antioxidants in Solution and in Irradiated Heterogeneous System. **J. Am. Oil Chem. Soc.**, v. 71, n. 5, p. 519-523, 1994.

REDDY, V.; UROOJ, A.; KUMAR, A. Evaluation of antioxidant activity of some plants extracts and their application in biscuits. **Food Chem.**, v. 90, n.1-2, p. 317-321, 2005.

REFAI, M.K.; AZIZ, N.H.; EL-FAR, F.M.; HASSAN, A. A Detection of ochratoxin produced by *A. ochraceus* in feedstuffs and its control by gamma irradiation. **Appl. Radiat. Isot.**, v. 7, p. 617-621, 1996.

RIOS, M.D.G.; PENTEADO, M.V.C. Determinação de α -Tocoferol em alho irradiado utilizando cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **Quím. Nova**, v. 26, n.1, p.10-12, 2003.

ROCK, C.L.; J ACOB, R.A.; BOWEN, P.E. Update on the on the biological characteristics of the antioxidant micronutrients: vitamin C, vitamin E, and the carotenoids. **J. Am. Diet. Assoc.**, v. 96, n. 7, p. 693-672, 1996

RODRIGUEZ, H.R.; LASTA, J. A.; MALLO, R. A.; MARCHEVSKY, N. Low-Dose Gamma Irradiation. **J. Food Protec.**, v. 56, n. 6, p. 505-509, 1992.

RONIMUS, R S. Survival of thermophilic spore-forming bacteria a 90(+) year old milk powder from Ernest Shackelton 'sCape Royds Hut in Antarctica. **J. Dairy Res.**, v. 73, n. 2, p. 235-243, 2006.

RUSTOM, L.Y.S. Aflatoxin in food and feed: occurrence, legislation and inactivation by physical methods. **Food Chem.**, v. 59, n. 1, p. 57-67, 1997.

SANCHES BEL P. Oil quality and sensory evaluation of almond (*Prunus amygdalus*) stored after electron beam processing. **J. Agric. Food Chem.**, v. 53, n. 7, p. 2567-2573, 2005.

SANCHES BEL.; EGEA, I.; ROMOJARO, F.; MADRID, M.C.M. Sensorial and chemical quality of electron beam irradiated almonds (*Prunus amygdalus*). **Sci. Direct**, v. 41, p. 442-449, 2008.

SÃO PAULO (Estado) Portaria CVS-06 de 12 de março de 1999. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo: 12-3-1999. Seção 1, p. 24-30.

SARMA, L; KESAVAN, P.C. Protective effects of vitamins C and E against γ - ray-induced chromosomal damage in mouse. **Int. J. Radiat. Biol.**, v. 63, n. 6, p. 759-764, 1993.

SATIN, M. **Food Irradiation: A Guidebook**. Pennsylvania: Lancaster, 1993.

SCHERZ, H; SENSER F. **Food composition and nutrition tables**. Boca Raton, Fl: CRC, 2000. p. 1026.

SCHNEIDER, C. Chemistry and biology of vitamin E. **Mol. Nutr. Food Res.**, v. 49, n. 1, p. 7-30, 2005.

SEVERINI, C.; PITTIA, P.; NICOLI, M.C.; PINNAVAIA, G.G. Interactions between Maillard reactions products and lipid oxidation during the roasting process and storage of hazel-nuts (*Corylus avellana*). In: YANOT, T.; MATSUNO, R.; NAKAMURA, K. eds. **Development in food engineering**. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1994. pt.1, p. 289-291. (Proceedings of the International Congress on Engineering and Food, 1993, Chiba, Japan). apud Scifinder, 2008.

SEZEN, O.; ERTEKIN, M.; DEMIRCAN, B.; KARSLIOGLU, İ.; ERDOGAN, F.; KOÇER, İ.; ÇALIK, İ.; EPDIREMEN, A. Vitamin E and l-carnitine, separately or in combination, in the prevention of radiation-induced brain and retinal damages. **Neurosurg. Rev.**, v. 31, n 2, p. 205-213, 2008.

SHALABY, M.A.; EL ZORBA, H.Y.; KAMEL, G.M. Effect o alpha-tocopherol and simvastatin on male fertility in hypercholesterolemic rats. **Pharmacol. Res.**, v. 50, n. 2, p. 137-142, 2004.

SHIN, J.H.; JEONG, S.G.; HAN, G.S; JANG, A.; CHAE, H.S.; YOO, Y.M.; AHN, C.N.; LEE, J.W.; CHEORUN, J.; LEE, W.K.; HAM, J.S. Reduction of the antigenicity of powdered milk by gamma irradiation. **Korean J. Food Sci. Anim. Resour.** v. 28, n.3, p. 306-311, 2008.

SINGH, H. **Dose rate effect in food irradiation: A review L' Effect débit de dose en irradiation des aliments: Un examen**. Pinawa, Manitona: Whitestshell Laboratories, 1991 (AECL-10343).

SKORIC D, JOCIC S, SAKAC Z, LECIC N. Genetic possibilities for altering

sunflower oil quality to obtain novel oils. **Canadian J. Physiol. Pharmacol.**, v. 86, n. 4, p. 215-221, 2008.

SKOUROLIAKOU, M.; MATTHAIIOU, C.; CHIOU, A.; PANAGIOTAKOS, D.; GOUNARIS, A.; NUNN, T.; ANDRIKOPOULOS, N.; Physicochemical stability of parenteral nutrition supplied as all-in-one for neonates. **J. Parenter. Enter. Nutr.**, v. 32, n. 2, p. 201-209, 2008.

SLATORE, C.G.; LITTMAN, A.J.; AU, D.H.; SATIA, J.A.; WHITE, E. Long-Term Use of Supplemental Multivitamins, Vitamin C, Vitamin E, and Folate Does Not Reduce the Risk of Lung Cancer. **Am. J. Respir. Crit. Care Med.**, v. 177, p. 524-530, 2008.

SOMMERS, C.; FAN, X.T.; NIEMIRA, B.;RAJKOWSKI, K. Irradiation of ready-to-eat foods at USDA' S Eastern Regional Research Center –2003 update. **Rad. Phys. Chem.**, v. 71, n. 1-2, p. 511-514, 2004.

STROHECKER, R; HENNING, H.M. **Vitamin assay: tested methods**. 2.ed. Berlin Verlag Chemie-Gmbh-Weinheim Bergstr,1966. p. 289-296.

SUDARMADJI, S.; URBAIN, W.M. Flavor sensitivity of selected animal protein foods to gamma radiation. **J. Food Sci.**, v. 37, p. 671-672, 1972.

SUKNARK, K.; LEE, J.; EITENMILLER, R.R.; PHILLIPS, R.D. Stability of Tocopherols and Retinyl Palmitate in Snack Extrudates. **J. Food Sci.**, v. 66, n. 6, p. 897-901, 2001.

TAIPINA, M.S.; SABATO, S.F. **Melhoria de Alimentos: Fortificação e Substituição de Nutrientes** In: TORRES, E. A.F.S.; MACHADO, F.M.S. Alimentos em questão, uma abordagem técnica para as dúvidas mais comuns. São Paulo: Ponto Crítico, 2001, p.83-93.

THAYER, D.W.; FOX J.B.; LAKRITZ.L. **Effect of Ionizing Radiation on vitamins**. In: THORNE, S. Food irradiation. London: Elsevier, 1991, p. 286-314.

THIELE, J.J. Oxidative targets in the stratum corneum. Skin pharmacology and applied skin physiology. **Skin Pharmacol. Appl.**, v. 14, p. 87-91, Suppl.1, 2001.

TRABER, M.G. Does vitamin E decrease heart attack risk? Summary and implications with respect to dietary recommendations. **J. Nutr.**, v. 131, p. 395S–7S, 2001.

TROMBINO, S.; SERINI, S.; DI NICUOLO, F.; CELLENO L.; ANDO, S.; PICCI, N.; CALVIELLO, G.; PALOZZA, P. Antioxidant effect of ferulic acid in isolated membranes and intact cells: Synergistic interactions with alpha-tocopherol, beta-carotene and ascorbic acid. **J. Agric. Food Chem.**, v. 2, n.8, p.2411-2420, 2004.

URBAIN, M.W. **Government Regulation of Irradiated Foods; Radiation Chemistry of Food Components**. In: Food Irradiation. New York, N.Y: Academic Press, 1986, p. 57-287.

USDA NUTRIENT DATABASE FOR STANDARD REFERENCE, RELEASE 15.

Vitamin E (mg) content of Selected Foods per Common Measure, sorted by nutrient content. p. 1-24, 2004. Disponível em:

<<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/SR16-1/w.trank/16-1 w.trank/16-1 .430. pdf.>>. Acesso: 29 set. 2004.

USDA NUTRIENT DATABASE FOR STANDARD REFERENCE, RELEASE 19 (2006). Nuts pecan. Disponível em:

<<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>> Acesso em: 27 ago. 2007.

USP. UNITED STATES PHARMACOPEIA. 23. ed. Rockville: United States Pharmacopeial Convention, 1995. p. 864-865.

VALDIVIA, M.A; BUSTOS, M.E; RUIZ, J.; RUIZ, L.F. The effect of irradiation in the quality of the avocado frozen pulp. **Rad. Phys. Chem.**, v. 63, p. 379-382, 2002.

VILLAVARDE, C.; CORTINAS, L.; BARROETA, A.C.; MARTIN-ORUE, S.M.; BAUCCELLS, M.D. Relationship between dietary unsaturation and vitamin E in poultry. **J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.**, v. 88, n. 3-4, p.143-149, 2004.

WANG, H.; REITMEIER, C.A.; GLATZ, B.A.; CARRIQUIRY, A.L. Mixed Model Analysis of Sensory Characteristics of Irradiated Apple Cider. **J. Food Sci.**, v. 68, n. 4, p. 1498-1503, 2003.

WARNER, K.; MILLER, J.; DEMURIN, Y. Oxidative stability of crude mid-oleic sunflower oils from seeds with γ - and δ -tocopherol levels. **J. Am. Oil Chem. Soc.**, 85, p. 529-533, 2008

WEBSTER, A.M. **Webster's Third New International Dictionary**. USA, p. 2403, 1976.

WEISS J.F; LAUNDER MR. Protection against ionizing radiation by antioxidant nutrients and phytochemicals. **Toxicology**, v. 189, n.1-2, p.1-20, 2003.

WINDHOLZ, M.; BUDAVARI, S.; STROUMTSOS, L.Y; FERTIG, M.N. **The Merck Index**. Rahway, N.J: Merck, 1976.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10kGy**. Geneva. WHO, 1999, p. 23-41.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Safety and nutritional adequacy of irradiated food**. Geneva, 1994, p. 140-141.

WRONA, M.; MANOWSKA, M.; SARNA, T. Zeaxanthin in combination with ascorbic acid or alpha-tocopherol protects ARPE-19 cells against photosensitized peroxidation of lipids. **Free Rad. Biol. Med.**, v. 36, n. 9, p. 1094-1101, 2004.

XU, Z.M. Comparison of extraction methods for quantifying vitamin E from animal tissues. **Bioresour. Technol.**, v. 99, n. 18, p. 8705-8709, 2008.

YAACOUB, R; SALIBA, R.; NSOULI, B.; KHALAF, G.; BIRLOUEZ-ARAGON, I. Formation of lipid oxidation and isomerization products during processing of nuts and sesame seeds. **J. Agric. Food Chem.**, v. 56, n.16, p. 7082-7090, 2008.

YANARDAG, R.; BOLKENT, S.; KISIR, A. Protective effects of alpha-tocopherol acetate and sodium selenate on the liver of rats exposed to gamma radiation. **Biol. Trace Elem. Res.**, v. 83, n. 3, p. 263-273, 2001.

YOO, S.R.; MIN, S.; PRAKASH, A.; MIN, D.B. Off-odor study with γ -Irradiated orange juice using sensory and volatile compound analyses. **J. Food Sci.**, v. 68, n. 4, p. 1259- 1262, 2003.

YOUSSEF, M.; B; MAHROUS, S.R.; AZIZ, N.H. Effects of gamma radiation on aflatoxin B1 production by *Aspergillus flavus* in ground beef stored at 5°C. **J. Food Saf.**, v. 19, p.231-239,1999.

ZEGOTA, H.; MALOPESZY, B. The decontamination of industrial casein and milk powder by irradiation. **Rad. Phys. Chem.** v. 77, n. 9, p.1108 –1111, 2008.

ZHU, M.J.; LEE, E.J., MENDONCA, A.; AHN, D.U. Effect of irradiation on the quality of turkey ham during storage. **Meat Sci.**, v. 66, n. 1, p. 63-68, 2004.