

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GABRIELLA VIEIRA RODRIGUES

PANORAMA E PERSPECTIVA DO USO DE IRRADIAÇÃO NA CONSERVAÇÃO DE
ALIMENTOS

PATOS DE MINAS
2019

GABRIELLA VEIIRA RODRIGUES

PANORAMA E PERSPECTIVA DO USO DE IRRADIAÇÃO NA CONSERVAÇÃO DE
ALIMENTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia - *Campus* Patos de Minas como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Orientador: Prof. Dr. Thiago Leite Soares

PATOS DE MINAS
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



HOMOLOGAÇÃO 20/2019/FEQUI

GABRIELLA VIEIRA RODRIGUES

Panorama e perspectiva do uso de irradiação na conservação de alimentos

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

Prof. Dr. Thiago Soares Leite

Orientador(a) - UFU

Prof.^a Dr.^a Bruna Castro Porto

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG

Prof.^a Dr.^a Marieli de Lima

UFU

Patos de Minas, 11 de julho de 2019.



Documento assinado eletronicamente por **Thiago Soares Leite, Presidente**, em 11/07/2019, às 17:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marieli de Lima, Membro de Comissão**, em 11/07/2019, às 17:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bruna Castro Porto, Usuário Externo**, em 11/07/2019, às 20:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1343962** e o código CRC **9EC8AA36**.

Referência: Processo nº 23117.036077/2019-24

SEI nº 1343962

Homologação 20 (1343962)

SEI 23117.036077/2019-24 / pg. 1

Dedicatória,

À Deus, aos meus pais, Josefa e Pedro, as minhas irmãs Larissa e Paulla, e a minha família; pelo apoio, incentivo, compreensão e amor.

Amo vocês, sou grata por tudo!

RESUMO

A irradiação é um método físico que se baseia em expor o alimento a uma certa quantidade de radiação ionizante por um determinado tempo, de acordo com o objetivo desejado e as características do alimento a ser processado. O objetivo do presente estudo foi realizar um levantamento bibliográfico a respeito do panorama geral do uso de irradiação na conservação de alimentos, suas vantagens, princípios e limitações. A irradiação é utilizada com o propósito de impedir o desenvolvimento de bactérias e fungos, evitar o uso de conservantes químicos, conservar especiarias, matar e/ou ocasionar esterilidade em parasitas, insetos e seus ovos e larvas que causam a deterioração nos alimentos. O tipo de radiação mais empregada no processo de conservação de alimentos é a do tipo Gama, entretanto também são usados em menor escala raios X e feixe de elétrons. A irradiação em alimentos é dividida em três categorias de acordo com a dosagem aplicada, são elas: radurização, radiciação e radapertização. A preocupação dos consumidores em consumir os alimentos processados por essa tecnologia é considerada uma barreira para sucesso do desenvolvimento desse método, e com isso se torna fundamental a divulgação correta a respeito das vantagens e segurança desse método, através de órgãos governamentais e não governamentais, seja por meio de reportagens em jornais, revistas, radio e/ou programas de televisão, a fim de minimizar essa rejeição.

Palavras-chave: irradiação em alimentos; radiação ionizante; conservação de alimentos; consumidores

ABSTRACT

Irradiation is a physical method which is based on exposing the food to a certain amount of ionizing radiation for a given time, according to the desired objective and characteristics of the food to be processed. The objective of the present study was to carry out a bibliographical review about the general panorama of the use of irradiation in food preservation, its advantages, principles and limitations. Irradiation is used to prevent the development of bacteria and fungi, to eliminate insects, to avoid the use of chemical conservatives, to preserve spices, to kill and / or to cause sterility in parasites, insects and their eggs and larvae that cause deterioration in foods. The most used type of radiation in the food preservation process is Gamma, however, X-rays and electron beam are also used in smaller scale. Food irradiation is divided into three categories according to the dosage applied, which are: radurization, radicization and radaperization. Consumers' concern about consuming processed foods by this technology is considered a hurdle to the successful development of this method, and with this, it becomes fundamental to advertise correctly about the advantages and safety of this method, through governmental and non-governmental organs, or through of newspapers, magazines, radio and / or television programs in order to minimize this rejection.

Keywords: irradiation in food; ionizing radiation; food preservation; consumers

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVO GERAL	11
2.1	Objetivos Específicos	11 3
	METODOLOGIA	Erro! Indicador não definido.
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4.1	Conceitos gerais sobre irradiação em alimentos	12
4.2	Histórico	13
4.3	Tipos de radiação e irradiadores	14
4.4	Doses de irradiação para alimentos	18
4.5	Princípio do método de irradiação nos alimentos	19
	4.5.1 Efeito fotoelétrico	20
	4.5.2 Efeito Compton	20
	4.5.3 Produção de pares	21
4.6	Principais processos de irradiação de alimentos	22
4.7	Alterações químicas, físicas e nutricionais nos alimentos irradiados ...	22
4.8	Efeitos nos microrganismos	24
5	LEGISLAÇÃO PARA ALIMENTOS IRRADIADOS NO BRASIL	26
6	PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA IRRADIAÇÃO EM ALIMENTOS	27
7	PERSPECTIVAS DO USO DE IRRADIAÇÃO EM ALIMENTOS NO BRASIL	29
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

A grande procura por alimentos com menor custo e maior vida útil pelos consumidores, incentiva a indústria de alimentos ao desenvolvimento de novos produtos (GAVA et al., 2009). Uma das maiores preocupações de cientistas e pesquisadores é a manutenção das características naturais dos alimentos, o que leva ao surgimento e aperfeiçoamento das técnicas de conservação, com foco na qualidade sanitária dos produtos alimentícios (MASSAGUER, 2005).

Os alimentos contêm agentes de natureza biológica (microrganismos) ou de natureza bioquímica (enzimas), que podem causar algumas alterações indesejáveis nos alimentos, e em razão disso, é necessário reduzir sua ação, totalmente ou parcialmente, através dos processos de conservação. Esses processos se baseiam no emprego de alguns princípios físicos e/ou químicos, como por exemplo, uso de altas e baixas temperaturas, eliminação de água, aplicação de aditivos conservantes ou solutos diversos, armazenamento em atmosfera controlada ou modificada, uso de certas radiações e filtração. Os resultados, custos e o tipo de tecnologia a ser usada depende do alimento a ser processado (BARUFALDI & OLIVEIRA, 1998).

Para obter e preservar alimentos com qualidade por um maior período e ao mesmo tempo garantir alimentos mais seguros à saúde do consumidor, se faz fundamental o uso de métodos de conservação (GOMES et al., 2007; MODANEZ, 2012). As chamadas tecnologias emergentes como, a irradiação, por exemplo, tem sido muito estudadas, pois apresentam vantagens para o processamento de alimentos, conseguindo produtos com poucas alterações nutricionais e sensoriais (BARBOSA-CÁNOVAS et al., 1998).

A irradiação é uma das técnicas de conservação de alimentos que consiste na exposição do alimento a uma quantidade moderada de radiação ionizante (raios gama ou X) por um determinado tempo, conforme os objetivos desejados. Essa técnica age no controle de diversos microrganismos (GUIMARÃES et al., 2013; MASSAGUER, 2005). Quando comparado a outros métodos, a irradiação possui a vantagem de não elevar a temperatura do alimento, o que pode resultar em menores alterações físicas e nutricionais.

Desde 1963 a *Food and Drug Administration* (FDA) regulamenta o uso de radiação ionizante na esterilização de alimentos. (DELINCÉE et al., 1998; FUMENTO, 1994; LOAHARANU, 1994).

Contudo, mesmo com a aprovação e regulamentação do uso da tecnologia existem muitas dificuldades que atrapalham a comercialização dos alimentos processados com irradiação de forma satisfatória. Sendo que não são problemas de essência técnica ou científica, mas associados com a percepção e aprovação dos consumidores (ORNELLAS et al., 2006). A

sociedade inclina-se a ter mais confiança em alimentos naturais e processados de forma tradicional, e com isso tende a suspeitar dos alimentos processados com as tecnologias emergentes, que não possuem conhecimento (HUOTILAINEN & TUORILA, 2005).

É comum grande parte dos consumidores pressuporem que as novas tecnologias de processamento de alimentos ofereçam um risco maior para a saúde quando comparadas ao processamento convencional (ORNELLAS et al., 2006). Dessa forma é de grande importância a divulgação de informações a respeito dos alimentos processados por novas tecnologias, contudo, alguns pontos referentes a aceitação não são facilmente resolvidos através de campanhas publicitárias, uma solução é aperfeiçoar os rótulos a fim de conseguir alcançar as expectativas dos clientes (HAMSTRA, SMINK, 1996).

Desse modo, a aceitação dos consumidores é considerada um ponto crítico para o sucesso do desenvolvimento de novos produtos alimentícios (MACFIE, 2007). Portanto, o comportamento dos consumidores quanto ao uso de novas tecnologias deve ser levado em consideração desde o início do desenvolvimento do produto. Com isso, é necessário explorar as perspectivas tanto dos consumidores como dos desenvolvedores para que o produto tenha sucesso no mercado (SIEGRIST, 2008).

2 OBJETIVO GERAL

Realizar um levantamento bibliográfico a respeito do panorama geral do uso de irradiação na conservação de alimentos, suas vantagens, princípios e limitações.

2.1 Objetivos Específicos

- a) Compreender as especificidades da técnica de irradiação em alimentos;
- b) Apurar as diferentes formas de irradiação existentes na conservação de alimentos;
- c) Definir as legislações que fiscalizam o uso de irradiação em alimentos no Brasil;
- d) Propor medidas para minimizar a rejeição por parte da população em relação aos alimentos irradiados.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Conceitos gerais sobre irradiação em alimentos

Considerado um método físico, a irradiação é empregada para inúmeras finalidades nos alimentos, propiciando benefícios tecnológicos, sociais e econômicos (RODRIGUES, 2014).

A irradiação é uma técnica de conservação que se fundamenta em submeter o alimento a uma quantidade controlada de radiação ionizante, onde essa quantidade de radiação irá depender do objetivo que se deseja alcançar. A aplicação dessa técnica tem como finalidade impedir o crescimento de microrganismos, como bactérias e fungos que causam a deterioração nos alimentos, sem ocasionar danos ao alimento e conseqüentemente reduzindo ao máximo as perdas. A irradiação também consegue atuar impedindo deteriorações naturais causadas por processos fisiológicos como brotamento, maturação e envelhecimento, possibilitando aumentar o tempo de vida útil dos alimentos e fornecer um alimento mais seguro para o consumo (FDA, 2011; GHOBRI, 2008).

Considerada como uma técnica antiga, altas doses de radiação eram utilizadas em comidas para uso militar, alimentos que iam para viagens espaciais e para pacientes com a imunidade baixa. Posteriormente, foi investigado o uso de doses de radiação menores nos mesmos alimentos, e concluiu-se que a radiação poderia ser utilizada para benefícios gerais em diversos alimentos, não apenas em alimentos específicos, acarretando em uma nova alternativa para aumentar a qualidade de produtos (DIEHL, 1990; ROBERTS, 2014).

O uso de radiação em processamento de alimentos para redução de microrganismos é uma técnica conhecida e aceita pela ANVISA através da Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001. O governo brasileiro autoriza o processamento por irradiação de todos os itens alimentares e das suas matérias-primas (PRESTES, 2002).

O processo de conservação por irradiação pode ser realizado com o alimento a granel ou embalado, onde pode ser consumido imediatamente após a exposição dos raios, visto que o alimento não se torna radioativo. Esse método é considerado um dos métodos mais velozes de esterilização, além de não ser prejudicial ao meio ambiente, desde que respeitadas normas de segurança e descarte deste tipo de material (BORALI, 2008; SILVA, 2008).

Na técnica de irradiação para conservação de alimentos é indispensável analisar os efeitos químicos e físicos ocasionados pela interação do alimento com a radiação ionizante. Após a Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001 exigir rotulagem nos alimentos

irradiados, houve um significativo aumento de estudos com o intuito de indicar se o alimento foi irradiado ou não, e qual a dosagem utilizada no processo (LEAL et al., 2004).

Com o uso da irradiação tornou-se dispensável o emprego de substâncias químicas na conservação de alimentos, e esse fato foi visto de forma notável nesta tecnologia (DIEHL, 1990).

3.2 Histórico da irradiação no Brasil

Ornellas et al. (2006) citam sobre o histórico do método de irradiação no Brasil, onde estes relatam que foram realizadas as primeiras pesquisas com alimentos irradiados pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), localizado em Piracicaba (SP). No mesmo ano J. Appleby e A.J. Banks reduziram a existência de doenças e o fim de pestes nos alimentos utilizando raios alfas, beta ou gama em cereais, e com isso obtiveram a primeira patente para o uso de irradiações de alimento (CREDE, 2005).

Em 1914 cientistas alemães e franceses apresentaram interesse pela técnica. Em 1950 esse método foi reconhecido pela Comissão de Energia Atômica, por ser usado pelas forças armadas norte-americanas na conservação de alimentos (BORGES, 2002).

Em 1960, no Canadá, foi liberado o uso de irradiação em batatas a fim de impossibilitar a germinação. Cerca de 15.000 toneladas de batatas eram processadas por mês. Por razões econômicas a fábrica funcionou durante apenas uma safra e em seguida foi fechada (MASEFIELD e DIETZ, 1983).

No decorrer dos anos, os alimentos irradiados foram estudados e avaliados pela FDA e o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Entre o ano de 1965 e 1970 a OMS, *Food and Organization* (FAO), Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA), e *Joint Expert Committee on Food Irradiation* (JECFI), começaram a analisar as características e a segurança dos alimentos processados por irradiação (ALMEIDA, 2006; CREDE, 2005).

No Brasil, apenas no decorrer da década de 70 e 80 a irradiação no processamento de alimentos se fortaleceu devido à realização de pesquisas toxicológicas com o intuito de certificar a inofensividade dos alimentos irradiados (CREDE, 2005).

Ornellas et al. (2006) complementam dizendo que em 1985, no Brasil, mesmo com a autorização da utilização de irradiação para conservação de alimentos, as pesquisas se limitavam unicamente às instituições de pesquisa.

O FDA declara aprovado o uso de irradiação em condimentos e especiarias secas, carne de porco, frutas e vegetais, e em aves (DERR, 1996; PAULI & TARANTINO, 1995).

3.3 Tipos de radiação e irradiadores

O termo “radiação” é empregado para intitular a energia radiante que se desloca pelo espaço em forma de ondas eletromagnéticas (HERNANDES et al., 2003). A radiação ionizante é o tipo de energia utilizada na irradiação em alimentos, assim designada por remover elétrons por meio da conversão de átomos e moléculas em íons (LANDGRAF, 2002).

As emissões mais relevantes utilizadas são as do tipo Alfa, Beta, nêutrons, raios x e Gama. Os nêutrons não são empregados no processo de conservação de alimentos por apresentarem alta energia e por consistirem em potenciais formadores de elementos radioativos, que apresentam efeitos indesejáveis à saúde do consumidor. Enquanto as partículas Alfa e Beta também não são empregadas, mas, por apresentarem baixa capacidade de penetração, logo preferencialmente são utilizadas radiação Gama de alta energia e raios x. O baixo rendimento da produção de raios x utilizados na conservação de alimentos é considerado um obstáculo, pois apenas cerca de 1% da energia essencial se converte na radiação desejada (TÉBEKA, 2007). As radiações ionizantes Gama e o raio x são identificados como ondas eletromagnéticas de alta frequência (CENA, 2005). É possível comparar as frequências de ondas das radiações Gama e raio x com outros tipos de radiações eletromagnética na Figura 1 abaixo:

Figura 1: Espectro eletromagnético



Fonte: CAMARGO, 2007

As radiações eletromagnéticas criadas no decorrer do decaimento de radioisótopos, como Cobalto 60 ou Césio 137 são as chamadas radiações Gama (TÉKEKA, 2007). A eficiência da penetração das radiações Gama, Beta e Alfa é representada pela Figura 2 a seguir:

Figura 2 - Eficiência da penetração das radiações Gama, Beta e Alfa



Fonte: Guia da química (2012)

O Cobalto 60 é utilizado na conservação de alimentos dentre os radioisótopos emissores de raios gama, onde 80% de sua produção é no Canadá, é possível obtê-lo através do bombardeamento do cobalto natural com nêutrons em um reator nuclear (BORALI, 2008; EVANGELISTA, 2005).

O Cobalto 60 produz os raios gamas, que possuem um alto poder penetrante e são utilizados em caixas acondicionadas por alimentos frescos ou não. Devido ao seu tempo de meia vida ser de 5,3 anos, a fonte deve ser modificada periodicamente para preservar o potencial radioativo (EVANGELISTA, 2005).

O radioisótopo Césio 137 provem artificialmente da separação de dois núcleos, o urânio e o plutônio. Existem diversos estudos a respeito do Césio, que atua similarmente como elemento de pasteurização e esterilização. De acordo com Hernandes (2006), em 1960 na Alemanha, Ribert Wilhelm Bunsen e Gustav Kirhhoff descobriram o Césio. O Césio 137 é o isótopo mais importante do Césio que é encontrado no silicato de alumínio.

Evangelista (2005) destaca que em 1989, o Césio 137 foi considerado como inválido para a conservação de alimentos pelo Parlamento Europeu, porém, não existe nenhum documento definitivo desta desaprovação.

De acordo com Esteves (1997), as características físicas da radiação emitida como: disponibilidade, preço e segurança são parâmetros básicos para a seleção das fontes de radiação gama. A Tabela 1 a seguir mostra resumidamente as características da radiação gama.

Tabela 1: Principais características das fontes emissoras de ^{60}Co e ^{137}Cs .

Características	^{60}Co	^{137}Cs
Forma da fonte	Metal	Cloreto de Césio

Origem	Cobalto natural	Produto da fissão nuclear do urânio
Meia vida	5,3	30 anos
Decaimento	12,39% ao ano	2,28% ao ano
Produção	Por ativação com nêutrons do ⁶⁰ CO num reator nuclear	Separação por métodos químicos dos outros subprodutos do combustível nuclear
Energia dos fótons	1,17 MeV + 1,33 MeV	0,66 MeV
Solubilidade em água	Nula	Rápida

Fonte: ESTEVES, 1997

As radiações emitidas pelo Cobalto 60 e pelo Césio 137 são consideradas radiações altamente penetrantes, atingindo altas velocidades e conseqüentemente capazes de destruir bactérias presentes em alimentos já embalados. O radioisótopo Cobalto 60 é mais utilizado que o Césio 137 devido a sua disponibilidade, custo, baixa solubilidade em água resultando em maior segurança ambiental (LANDGRAF, 2002).

A permissão para o uso desses tipos de radiação só foi concedida porque, além de gerarem efeitos desejáveis nos alimentos, essas radiações não provocam radioatividade nas embalagens e nem nos alimentos, e são acessíveis em relação ao custo e quantidade disponível permitindo o uso comercial do processo (LANDGRAF, 2002).

A umidade, temperatura, tensão de oxigênio do meio e estado físico do alimento a ser irradiado influenciam no processo de irradiação, por essa razão são definidas metodologias próprias para cada alimento a ser processado, incluindo os diferentes níveis de doses de radiação (TÉKEKA, 2007).

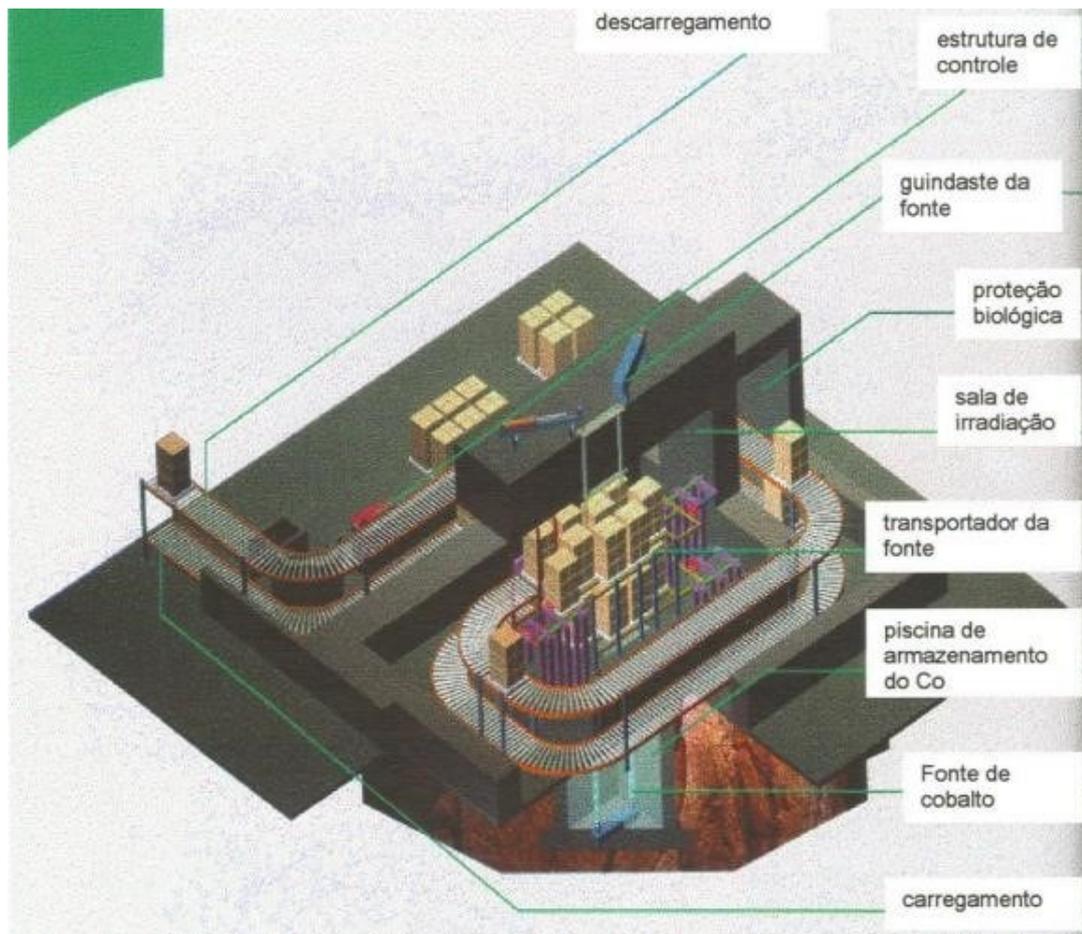
As instalações onde ocorrem os processos de irradiação de alimentos devem ser licenciadas pela autoridade competente municipal ou estadual por meio de emissão de Alvará Sanitário, que devem ter a aprovação da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) e realizar cadastro em órgão competente no Ministério da Saúde. A instalação deve acompanhar e praticar as BPF's (Boas Práticas de Fabricação), e prover de POP's (Procedimentos Operacionais Padronizados) e Manual de Boas Práticas de Fabricação (SILVA et al., 2012).

Os equipamentos irradiadores utilizados no processamento de alimentos são formados por uma câmara, com paredes de 2 metros de espessura feitas de concreto e blindadas com chumbo, contendo em seu interior a fonte de irradiação. Por meio de uma esteira, os alimentos a serem processados são transportados para dentro da câmara, onde recebem a dose de radiação necessária, dose essa calculada antecipadamente com a finalidade de realizar uma distribuição correta da dose dentro do alimento, sem que haja alterações nas suas propriedades. O processo

e a fonte de radiação são monitorados e regulados por meio de um sistema eletrônico, manipulado por pessoas treinadas na parte externa do equipamento. Ao final do processo, o alimento sai da câmara também pela esteira (XAVIER et al., 2007; MODANEZ, 2012; CENA, 2005). Como a radiação gama é emitida constantemente, quando a fonte não estiver em uso, a mesma deve ser acondicionada em uma piscina com água, pois serve como blindagem absorvendo a energia, e com isso impede a exposição dos operadores a essa radiação (CENA, 2015; GHOBRIIL, 2008).

A formação dos irradiadores depende de seu porte e de sua categoria. O irradiador ideal para processar um certo alimento depende da dose a ser utilizada, da densidade do alimento e distribuição das doses (GHOBRIIL, 2008). A Figura 3 representa um irradiador de grande porte com fonte de Cobalto 60.

Figura 3: Irradiador de grande porte com fonte de Cobalto 60.



Fonte: Adaptado de MDS Nordion – Canadá (empresa fabricante de irradiadores).

No Brasil, encontram-se equipamentos irradiadores de pequeno porte, empregados na irradiação de sangue, e de grande porte, empregados na esterilização de materiais cirúrgicos, e em menor escala para processar alimentos (LEAL et al., 2004). A empresa brasileira de

Radiações Ltda. (EMBRARAD), situada em Cotia - SP, possui um equipamento irradiador Nordion JS-7500, a empresa Tech Ion Industrial Brasil S.A, situada em Manaus e a Companhia Brasileira de Esterilização (CBE) situada em Jarinú - SP utilizam irradiadores para processar diversos produtos, entre eles, embalagens e alimentos (CDTN, 2005; DEL MASTRO, 1999).

3.4 Doses de irradiação para alimentos

O contato das radiações ionizantes com o alimento é um procedimento que ocorre em nível atômico. Ao penetrar o alimento, estas radiações transmitem energia para as partículas que forem encontradas pelo caminho. Esta energia transmitida é designada dose absorvida (D) e determinada como a quantidade de energia dada ao alimento pelos fótons ou partículas ionizantes ($d\varepsilon$), por unidade de massa (dm), como mostra a Equação 1:

$$D = \frac{d\varepsilon}{dm} \quad (1)$$

A dose absorvida pelo alimento irradiado é medida em termos de rad, porém, há pouco tempo esta unidade foi trocada pelo Gray, que equivale a 100 rad. A energia absorvida pelo alimento irá depender da densidade, espessura e massa do produto irradiado, sendo que 1 Gray corresponde 1 Joule de energia absorvida por quilograma de alimento irradiado (DAIANE, 2010). A Equação (2) demonstra a conversão de unidades.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} = 100 \text{ rad} \quad (2)$$

A dose a ser absorvida pelo alimento deve ser necessariamente conhecida em todos os processos industriais que empregam a irradiação, visto que as alterações físicas, químicas e biológicas se baseiam nesta medida. Gray é a unidade usada pelo sistema internacional de medidas (SI). Nas técnicas de irradiação em alimentos é extremamente importante a determinação da dose máxima e de tolerância, onde a dose máxima é a dose fundamental para conseguir o resultado pretendido e a dose de tolerância é a maior dose que o alimento pode receber para não afetar a saúde do consumidor (LANDGRAF, 2002).

Para assegurar que a dose foi aplicada corretamente no produto, os equipamentos irradiadores devem prover de um sistema dosimétrico devidamente calibrado a fim de determinar a dose absorvida (MCLAUGHLIN, 1995).

Para obter os resultados pretendidos nos alimentos é necessário aplicar diferentes níveis de dose. As doses de irradiação absorvidas pelos alimentos são comumente descritas como: baixas (menores que 1 kGray), médias (1-10kGray) e grandes (maiores que 10 kGray) (GHOBRIEL, 2008). A Tabela 2 a seguir mostra as doses limites de radiação e seus objetivos.

Tabela 2: Doses de radiação, em kGy e respectivos objetivos em alimentos.

Objetivo	Dose (kGy)	Alimentos
Desinfestação	1,0	Arroz
Inibição de brotamento	0,18	Batata
Inibição de brotamento	0,18	Cebola
Desinfestação	1,0	Feijão
Desinfestação	1,0	Milho
Desinfestação	1,0	Trigo
Desinfestação	1,0	Farinha de trigo
Descontaminação	10,0	Especiarias
Desinfestação	1,0	Mamão
Aumento do tempo de prateleira	3,0	Morango
Desinfestação	1,0-2,2	Peixe
Descontaminação	7,0	Frango

Fonte: Vicente e Saldanha, Acta Tecnológica, (2012).

3.5 Princípio do método de irradiação nos alimentos

A radiação ionizante gera íons positivos e negativos através da interação com as moléculas dos alimentos, e desta forma transfere energia por elétrons. A criação dessas cargas tem como consequência efeitos químicos e biológicos que impossibilitam a divisão celular em bactérias pela quebra de sua estrutura molecular. A quantidade de energia usada para alcançar esses efeitos não é capaz de induzir radioatividade nos alimentos (VENTURA et al., 2010).

Os processos orgânicos que induzem o alimento à deterioração são interrompidos através da irradiação (NUNES, 2014). Os mecanismos de interação da radiação ionizante com a matéria mais importantes são: efeito fotoelétrico, efeito Compton e produção de pares. A energia do fóton ou da partícula incidente e do número atômico que formam a matéria que define qual o tipo de interação irá ocorrer (CLEGG, COLLYER, 1991; CHARLESBY, 1960; PLATZER, 1967; O'DONNELL & SANGSTER, 1970).

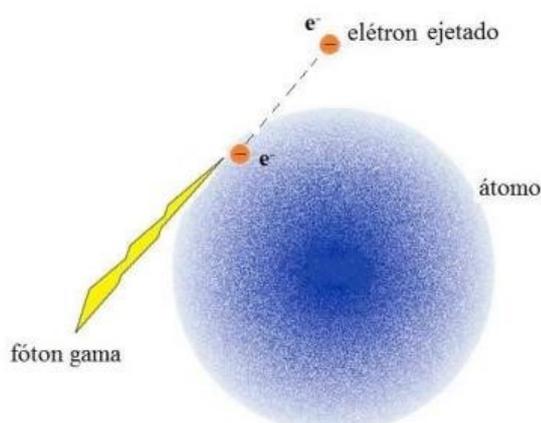
3.5.1 Efeito fotoelétrico

Método no qual os fótons alteram os estados eletrônicos dos átomos e moléculas ao serem absorvidos por pelo material absorvedor. Nesse método toda a energia é transferida para o elétron ligado ao átomo pelo fóton incidente, ocasionando na sua emissão. A probabilidade de ocorrer o efeito fotoelétrico decorre do número atômico em que o efeito é observado, isto é, a probabilidade será alta quando o número atômico for alto (CLEGG, COLLYER, 1991; O'DONNELL & SANGSTER 1970).

O método é mais significativo quando aplicado em materiais pesados e em energias baixas, onde a possibilidade de ocorrer o método é parcialmente grande, até para fótons de altas energias, ao passo que para materiais leves a possibilidade de ocorrer limita-se aos fotons de energias baixas (CHARLESBY, 1960; CLEGG & COLLYER, 1991; SPINKS & WOODS, 1990).

De maneira geral, no efeito fotoelétrico, um elétron orbital recebe energia de um fóton do feixe de raio gama para simplificar a sua retirada do átomo. A figura abaixo caracteriza a interação do raio gama com o elétron orbital (SILVA et al, 2014).

Figura 4: Efeito fotoelétrico



Fonte: Revista Virtual Química, vol.6, 2014.

3.5.2 Efeito Compton

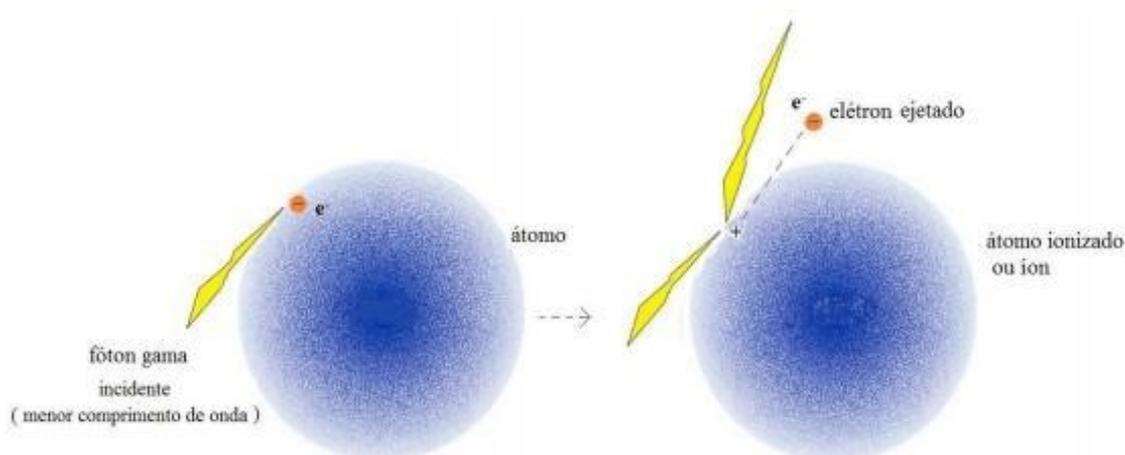
Os elétrons ejetados dispõem energia considerável para facilitar a colisão com elétrons orbitais de outros átomos ocasionando novas ionizações de forma a reconstituir um novo equilíbrio químico (WOODS, 1994).

O efeito Compton é o mecanismo mais importante que envolve a transferência de energia em alimentos irradiados. Neste efeito, a ejeção de elétron é causada pela transferência de energia de um fóton incidente que interage com o átomo. Os demais átomos são ionizados e

excitados através da energia contida nos elétrons ejetados. As alterações químicas e biológicas são geradas através da interação da radiação que penetra intensamente no alimento e interage com átomos e moléculas (URBAIN, 1986).

O efeito Compton ocorre quando a energia do fóton é maior àquela essencial para ejetar um elétron. De maneira geral, no efeito Compton, um elétron livre ou fracamente ligado ao átomo espalha e ganha uma parcela da energia do fóton incidente. A outra parcela da energia se converte em um fóton disperso. A figura a seguir mostra a ejeção de um elétron orbital e o fóton disperso (SILVA, 2014).

Figura 5: Efeito Compton



Fonte: Revista Virtual Química, vol.6, 2014.

3.5.3 Produção de pares

A produção de pares é uma forma de absorção da radiação eletromagnética de alta energia. Esse efeito acontece quando o raio incidente possui uma energia alta. Ao passar próximo de núcleos, há uma produção de um par de partículas pelos raios: um elétron e um pósitron, os dois providos com uma determinada velocidade. As duas partículas produzidas transmitem sua energia cinética para o meio material, do qual o pósitron se recombina com um elétron do meio e gera dois fótons. O número atômico e a massa atômica, além do nível de energia da radiação também afetam a probabilidade de acontecer esse efeito (ALMEIDA, 2006).

De maneira geral, a probabilidade de ocorrência de cada um dos efeitos depende do grau de energia das radiações incidentes (ALMEIDA, 2006).

3.6 Principais processos de irradiação em alimentos

Com o emprego das irradiações nos alimentos se fez necessário a determinação de doses ideais nos mesmos. Em 1964, uma equipe de pesquisadores microbiologistas designou as nomenclaturas radapertização, radurização e radiciação (JAY, 2005). De acordo com Valente (2004), os principais processos de irradiação de alimentos são divididos em três grupos: radapertização, radurização e radiciação.

Radapertização é um processamento que utiliza doses maiores de radiação, acima de 10 kGy, com a finalidade de reduzir o número de microrganismos, com exclusão de vírus.

Radurização é um método no qual o alimento é submetido a baixas doses de radiação, entre 1 a 10 kGy, sendo o suficiente para reduzir e possibilitar a desinfestação de insetos que trazem danos para o alimento. Esse método é aplicado em produtos *in natura* como especiarias, temperos, chás e condimentos.

Radiciação é uma técnica que se fundamenta em expor o alimento a doses intermediárias de radiação, entre 0,1 a 1 kGy, com o objetivo de desinfestar e destruir as bactérias e parasitas. É mais utilizada em sucos e carne frescas, pois retarda a deterioração e aumenta o tempo de vida útil do alimento.

3.7 Alterações químicas, físicas e nutricionais nos alimentos irradiados

Do mesmo modo que outros métodos de processamento de alimentos causam determinadas alterações químicas, físicas e nutricionais, a técnica de irradiação também pode provocar esse tipo de modificação. O tipo e a grandeza destas alterações procedem das composições dos alimentos, especialmente da quantidade de água contida no alimento, da dose de radiação aplicada, temperatura e condições do meio, ou seja, ausência ou presença de oxigênio (KILCAST, 1994; WIELND, 1984).

O principal componente dos alimentos normalmente é a água, e os efeitos da radiação na água são de interesse particular. As moléculas de água sofrem radiólise ao serem irradiadas. Ao penetrarem no tecido vivo a radiação ionizante, remove elétrons das moléculas da água, gerando íons altamente reativos (DIEHL, 1990; URBAIN, 1986).

Existem alguns fatores que afetam diretamente no resultado do processo, como por exemplo o estado físico do alimento. A água no estado sólido impossibilita a difusão dos radicais livres, o mesmo ocorre quando um alimento congelado é submetido ao processo de irradiação, os produtos da radiólise da água são impossibilitados de reagir com o substrato. Quando o alimento é descongelado os radicais ganham movimento e reagem com o substrato.

A presença de oxigênio é outro fator que influencia no resultado do processo, pois produz radicais superóxidos, e por essa razão que embalagens com atmosfera modificada influenciam na característica dos produtos radiolíticos gerados. Os alimentos desidratados por apresentarem baixa atividade de água afetam a mobilidade dos radicais livres formados pela radiólise da água (LANDGRAF, 2002).

A radiação afeta proteínas, carboidratos e lipídeos. As mudanças nas características físico-químicas das proteínas são ocasionadas pela radiação gama, dependendo de sua dosagem (NISAZAWA, 1998). Nas proteínas, os efeitos são vistos em doses relativamente altas. As proteínas podem sofrer desenrolamento, coagulação, desdobramento, e divisão de aminoácidos. Geralmente as ligações sulfídricas e as pontes de hidrogênio são mais atacadas que as ligações peptídicas. Ainda que considerado um efeito indesejável, a irradiação é diversas vezes empregada para causar desdobramento na molécula de proteína com a finalidade de aumentar a capacidade de reações. O uso da irradiação além de prejudicar a estrutura da proteína também prejudica as propriedades funcionais, como por exemplo no ovo, onde a dose essencial para eliminação da *Salmonella* vai ocasionar o desaparecimento da viscosidade da clara e gerar sabores não desejáveis na gema (CIÉSLA et al., 2000).

A relação dos processos de auto oxidação de lipídeos com a geração de compostos causadores de rancidez, tais como, os peróxidos e compostos carbonil voláteis são exemplos das prováveis modificações estimuladas pelo processo de irradiação. Os ácidos graxos insaturados são mais fáceis de serem oxidados que os saturados, apesar que o processo de oxidação possa ser moderado pela retirada de oxigênio no decorrer do processo de irradiação (KILCAST, 1994; MERRITT, 1972).

O uso da irradiação nos carboidratos pode ocasionar quebras em unidades menores, ou seja, quebra da parede celular, processo esse responsável pelo amadurecimento de frutas e alguns vegetais. A consequência depende da natureza e da fase de maturação da fruta ou vegetal (KILCAST, 1994). O emprego da irradiação em frutas evidencia algumas desvantagens, pois conforme a dose utilizada, pode haver o escurecimento, amolecimento e aparecimento de depressões superficiais, amadurecimento anormal e perda de aroma e sabor dos produtos (CHITARRA; CHITARRA, 1990).

As vitaminas por serem micronutrientes, são sensíveis a qualquer processamento, especialmente ao térmico. Algumas vitaminas são estáveis ao processo de irradiação, tais como a riboflavina, niacina e vitamina D, ao passo que outras são consideradas relativamente instáveis, como a tiamina e vitaminas A, C, E e K (KILCAST, 1994; THOMAS et al., 1981).

Experimentos científicos realizados no decorrer dos últimos 30 anos não comprovaram a presença de nenhum produto químico nos alimentos processados por irradiação. Não existe nenhum indicativo que menciona que os radicais livres ou produtos radiolíticos afetem a segurança dos alimentos irradiados (BRASIL, 2012).

As reações químicas geradas pela radiação podem provocar alterações sensoriais nos alimentos. A existência de H_2O_2 e H , provenientes da radiólise da água, podem ocasionar indiretamente o aparecimento de odores e sabores indesejáveis (THAKUR e SINGH, 1994). Os sabores e odores de ranço, queimado, amargo, queijo e grão molhado são considerados característicos (DIEHL, 1990).

As questões associadas à formação de odores e sabores desagradáveis nos alimentos podem ser diminuídas, aplicando a irradiação quando o alimento estiver no estado congelado, pois em temperaturas menores, a difusão de radicais livres criados é moderada, impedindo a mobilidade e reatividade da radiação com o alimento (LANDGRAF, 2002).

Nem todos os alimentos podem ser processados por irradiação, como por exemplo, o leite e seus derivados, pois desenvolvem um sabor desagradável devido à oxidação da gordura a partir da ionização, e assim produzindo sabor de “ranço”. Para utilizar a irradiação como um processo de conservação é preciso realizar um estudo das propriedades sensoriais. Em grande parte dos alimentos essas modificações não ocorrem ou são mínimas (CHRISTANTE, 2015).

3.8 Efeitos da radiação nos microrganismos

De acordo com Kappke (2007) uma das especificidades da radiação ionizante é sua elevada capacidade de lesar a célula. O efeito esterilizante está ligado à sua competência de ionização, ou seja, o poder do material irradiado em absorver a energia. A radiação ionizante afeta o DNA de modo direto pela aplicação de energia na macromolécula, ou de forma indireta pela aplicação de energia na água que envolve a formação de radicais primários, englobando íons de hidrogênio e elétrons livres.

Ao absorver a radiação ionizante, o material biológico ou microrganismo, tem sua molécula de DNA afetada principalmente. A radiação também ocasiona modificações na membrana celular, prejudicando o transporte de substâncias fundamentais para a atividade celular, e também tem impacto sobre as enzimas e sobre os processos de síntese, sobretudo de DNA e RNA. As alterações causadas são diversas, onde a sensibilidade à radiação é inversamente ligada a dimensão e a complexidade do organismo, por exemplo, a dose essencial para matar animais superiores é em torno de 0,005 a 0,1 kGy, para vírus é cerca de 10 a 200kGy,

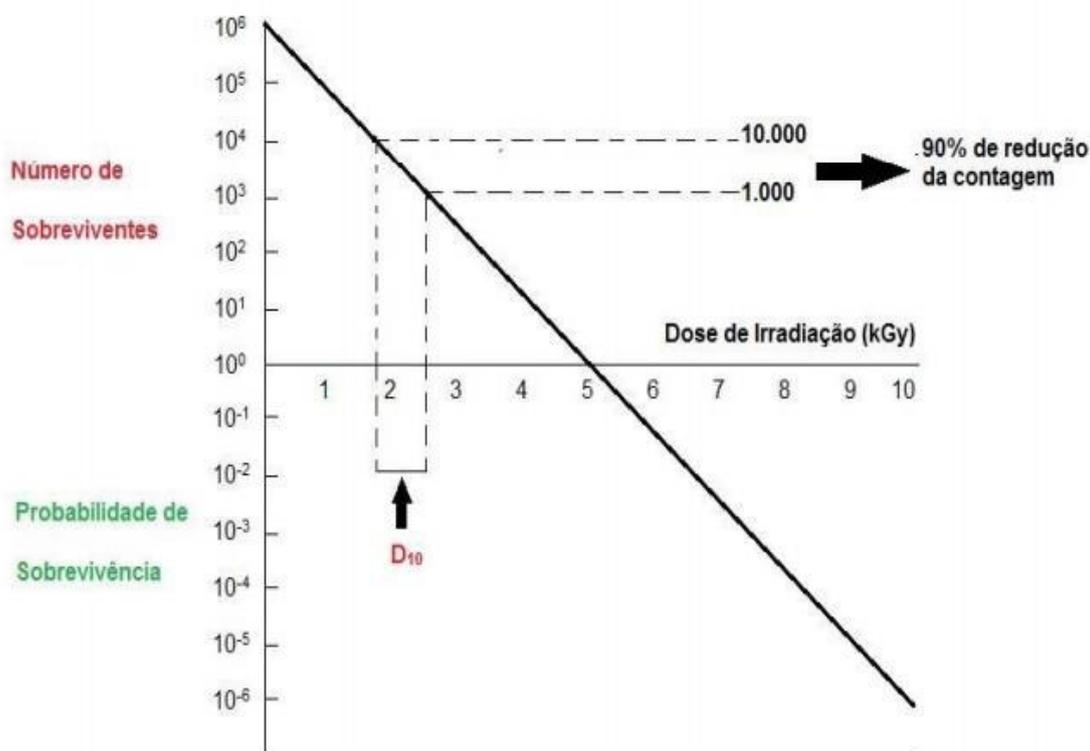
para as células bacterianas vegetativas é entre 0,5 a 10 kGy e para esporos é de 10 a 50 kGy. A dose necessária para destruir os microrganismos depende da extensão do genoma, isto quer dizer que, quanto maior o número de informações genéticas mais facilmente será atingido pela radiação, como é o caso dos mamíferos (URBAIN,1986).

De acordo com Diehl (1990) e Urbain (1986) para se definir a radiosensibilidade de um microrganismo, ou seja, sensibilidade dos tecidos vivos à ação dos raios ionizantes, geralmente se utiliza a dose D_{10} que representa a dose essencial para inativar 90% da população microbiana. A radiação é utilizada para inativação de microrganismos, essa inativação é descrita por uma equação cinética de primeira ordem, com a quantidade de microrganismos sobreviventes (N) dependendo da dose absorvida (D) pelo produto. A Equação 2, apresentada abaixo, descreve uma inativação de microrganismo de primeira ordem, onde N_0 é o número inicial de microrganismo presentes e D_{10} é a dose de redução decimal:

$$\log \frac{N}{N_0} = - \frac{D}{D_{10}} \quad (2)$$

A associação entre inativação em função da quantidade de radiação essencial para reduzir a carga microbiana ou atingir um ponto de segurança de esterilização (SAL) pode ser visto na Figura 6:

Figura 6: Sobrevivência microbiológica versus dose de irradiação



Fonte: Revista Virtual Química, volume 6, 2014.

O SAL (*Sterility Assurance Level*) é determinado em função da chance de sobrevivência do microrganismo quando exposto a uma certa quantidade de radiação (LAMBERT, 1998).

4 LEGISLAÇÃO PARA ALIMENTOS IRRADIADOS NO BRASIL

Existe uma legislação específica para alimentos irradiados, no Brasil, intitulada: Resolução – RDC nº 21, de 26 de janeiro, de 2001, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Com a finalidade de “estabelecer os requisitos gerais para o uso da irradiação em alimentos com vistas à qualidade sanitária do produto final”.

Os decretos e resoluções do Brasil são: Decreto-lei nº 986 de 21 de outubro de 1969, aonde institui as normas básicas sobre alimentos e as primeiras normas da legislação brasileira sobre a irradiação de alimentos referenciada no Art 2º VII; Decreto nº 72.718 de 29 de agosto de 1973, estabelece normas gerais sobre irradiação de alimentos e estabelece a elaboração, armazenamento, transporte, distribuição, importação, exportação e exposição a venda ou entrega ao consumo de alimentos irradiados; Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001, estabelece os requisitos gerais para o uso da irradiação de alimentos com vistas a qualidade sanitária do produto final (ANVISA, 2016).

Segundo a legislação, “qualquer alimento pode ser tratado por irradiação, desde que a dose mínima seja suficiente para alcançar a finalidade pretendida e a dose máxima seja inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e sensoriais do alimento”. O rótulo do produto deve conter a informação “alimento tratado por irradiação” devendo estar presente também na listagem de ingredientes, quando um alimento irradiado é utilizado como ingrediente em um produto (BRASIL, 2001).

Segundo Wieland (2010), na circunstância de alimentos comercializados a granel, é obrigatório colocar uma faixa indicando que o alimento foi processado por irradiação. Também é possível usar o símbolo internacional, como mostrado na figura abaixo.

Figura 7: Símbolo internacional da irradiação em alimentos



Fonte: POLIZEL (2006)

Wieland (2010) afirma que a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) orienta o licenciamento do uso de irradiação a fim de assegurar a segurança das fontes de radiação e proteção radiológica dos trabalhadores e consumidores, onde esse licenciamento acompanha etapas que vão desde a autorização do espaço de instalação até o fim da vida útil da instalação, sendo que o Ibama também é outro órgão considerado responsável pelo licenciamento ambiental das instalações. Para o funcionamento das instalações de irradiação de alimentos é necessário possuir o Alvará Sanitário e ter cadastramento nos órgãos competentes do Ministério da Saúde e Ministério da Agricultura.

5 PRINCIPAIS VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA IRRADIAÇÃO EM ALIMENTOS

Através da radiação é possível obter uma vasta gama de vantagens, tal como a possibilidade de esterilizar os alimentos já embalados ou não. Alguns fatores podem influenciar diretamente no processo de irradiação, como a temperatura, umidade e quantidade de oxigênio

do meio, assim como as características físicas do material a ser irradiado. Por isto, para cada alimento a ser irradiado são definidas metodologias particulares (ANDREUCCI, 2014).

A irradiação é um dos melhores métodos de conservação, pois é o único que consegue destruir patógenos em alimentos crus e congelados. Usando esse método os alimentos podem ser conservados por um longo período sem necessidade de utilizar o método de refrigeração (EMBRARAD, 2008).

De forma geral, a técnica de irradiação é usada para eliminar microrganismos e parasitas e com isso reduzir perdas de safras, impossibilitar alterações bioquímicas e inibir germinação de raízes e, portanto, prolongar a durabilidade do alimento com uma boa qualidade higiênicas sanitárias (ABREU et al., 2008; FAO, 1996; FELLOWS, 2008; IAEA, 1985; GAONKAR, 1995; MALISKA, 2000; NASCIMENTO, 1992; VILLAVICENCIO, 1998; SANTOS et al., 2003). Além disso, outra vantagem é minimizar as perdas no pós-colheita, uma vez que a irradiação retarda a maturação de frutas e hortaliças e, por conseguinte melhora o transporte e armazenamento. O uso da irradiação também é utilizado como substituto de produtos químicos nas lavouras reduzindo perdas econômicas (IAEA, 1985; THAKUR; SINGH, 1995; OMI, 2005).

O método de irradiação é capaz de diminuir o tempo de cozimento de determinados alimentos, como por exemplo, os alimentos desidratados. Com o uso da irradiação é possível suprir a adição de produtos químicos para temperos e especiarias, matar e/ou ocasionar esterilidade em parasitas, insetos e seus ovos e larvas (BERNARDES, 1996; SILVA, 2007).

Ventura (2010) defende que uma das vantagens da técnica de irradiação nos alimentos é a capacidade de minimizar o desperdício de alimentos através da desinfecção e aumentar a vida útil do alimento e, por conseguinte expandir o comércio internacional, otimizando a saúde pública com a descontaminação de carne fresca e reduzindo o consumo de energia elétrica.

Porém, o uso dessa tecnologia possui limitações, como alto investimento para empreendê-la, pois a falta de consumidores nacionais e internacionais e a cultura contrária à radiação dificultam a implantação desta. Outra desvantagem do processo de irradiação é que não pode ser empregado em todos os tipos de alimentos, como nos casos dos alimentos com alto teor de gordura, por serem sensíveis e se expostos a uma dosagem errada de radiação podem sofrer rancificação oxidativa. Também há a possibilidade de perdas de alguns componentes nutricionais do alimento e a presença de toxinas em alguns alimentos mesmo com a carga microbiana eliminada, além do mais alguns microrganismos podem adquirir uma resistência a

radiação (FELLOWS, 2008; SILVA, 2000). Os alimentos líquidos como o leite são mais predispostos à radiólise podendo ganhar um sabor desagradável (SILVA, 2007).

Hobbs e Roberts (1992) afirma que a técnica de irradiação possui poucas desvantagens, podendo destacar entre elas: a ininterrupção da atividade enzimática quando armazenado e mudanças químicas como o ranço, podendo ocorrer em alimentos propensos a esse tipo de mudança.

A radiação é capaz de provocar alterações nas estruturas dos materiais de embalagens, mudando suas propriedades químicas, mecânicas e de barreiras originais. Devido a isso os materiais a serem utilizados para esse tipo de processo devem possuir resistência físico química à radiação, não podem sofrer redução das suas propriedades de proteção, nem transmitir substâncias tóxicas ou produzir sabores e odores desagradáveis ao produto (GOULAS et al., 2003; SCOTT, 1990).

Conforme Borali (2008) uma das barreiras do método é a rejeição do consumidor devido à falta de informação sobre o processo de irradiação e interpretações precipitadas da população.

O método de irradiação para conservação de alimentos vem sendo precisamente estudado e tem gerado discussão. Entretanto, a falta de informação e explicação sobre o processo gera confusão, incerteza e enganos, e isso, é o que provavelmente tem dificultado sua utilização. Também é preciso contradizer os mitos sobre a irradiação, principalmente que essa técnica gera alimentos radioativos (CREDE, 2005).

De acordo com Fox (2002) a reação dos consumidores quando interrogados sobre o consumo de alimentos irradiados não é positiva, devido ao fato de relacionarem o consumo dos alimentos processados por essa tecnologia com uma ameaça de surgimento de câncer.

6 PERSPECTIVAS DO USO DE IRRADIAÇÃO EM ALIMENTOS NO BRASIL

Existem diversas perspectivas para a utilização da irradiação, visto que até o presente momento este método pode ser apontado como ideal para melhorar a qualidade da segurança microbiológica dos alimentos. A irradiação é considerada um método a frio, devido a isso as características dos alimentos são mantidas mais próximas às dos alimentos frescos, o que satisfaz a demanda dos consumidores. Essa vantagem é particular do processo, uma vez que a dosagem varia com o objetivo desejado (LANDGRAF, 2002).

É extremamente fundamental destacar que a irradiação não abona o uso das Boas Práticas de Fabricação e nem o uso de matérias primas de boa qualidade, pois, assim como nos

outros processos de conservação os resultados não são satisfatórios caso as matérias primas sejam de má qualidade (LANDGRAF, 2002).

O efeito sinérgico da irradiação combinado com outros processos vem sendo pesquisado ao longo dos anos. O emprego de outros métodos de conservação aliados a menores doses de irradiação resulta na minimização dos problemas associados às características sensoriais e conseqüentemente reduz o custo do processo de irradiação por utilizarem doses menores. De maneira geral, a combinação de outros métodos de conservação com a irradiação tem sido proposta para melhorar a qualidade dos alimentos minimamente processados (LANDGRAF, 2002).

No Brasil, a informação que o público tem a respeito dos métodos de conservação de alimentos, em específico, a irradiação, é muito limitada. Contudo, quando providos de conhecimentos específicos do método, averigua-se um aumento significativo no número de consumidores decididos a consumir o alimento irradiado. Por essa razão é preciso que os órgãos do governo responsáveis realizem campanhas juntamente com a vigilância sanitária dos alimentos e com as indústrias com o intuito de esclarecer os benefícios e vantagens sobre o método de irradiação (LANDGRAF, 2002).

O Centro de Energia Nuclear na Agricultura em Piracicaba (São Paulo) tem aumentado as pesquisas devido à resistência dos consumidores em aceitarem o processo de irradiação em alimentos. Entretanto, é fundamental a divulgação da segurança do processo, para dessa forma romper as barreiras que prejudiquem a aceitação (ORNELLAS et al., 2006).

Silva et al. (2010) defendem que o método de irradiação de alimentos é um método favorável para o futuro, contudo, é essencial que, professores nutricionistas e órgãos do governo invistam na divulgação do processo, para dessa forma converter a ideologia dos consumidores.

De acordo com Wieland (2010) para uma entrada estratégica no mercado de alimentos irradiados é necessário dar uma atenção a mais para a possível formação de alianças cooperativas.

Wieland (2010) complementa que para total ascensão do uso de irradiação no processamento de alimentos, alguns estudos propõem que as indústrias devem analisar diversos aspectos sendo eles, de natureza técnica, empresarial, econômica e ambiental de maneira estruturada, planejada e completa observando estrategicamente a criação de alianças sendo com entidades associadas ao abastecimento, e até mesmo com instituições de pesquisas. A junção de produtores, distribuidores, cooperativas agrícolas e industriais devem salientar os custos e melhorar as instalações e a logística de abastecimentos, saída e distribuição dos produtos.

Garcia Canal et al. (2002) acreditam que as alianças locais e de capacitação seriam favoráveis, onde as alianças locais combinadas com produtores agrícolas amplificaria os comércio de fornecedores e distribuidores, e as alianças de capacitação combinadas com os institutos de ensino e pesquisas garantiria a execução mais rápida dos requisitos de regulação e ao mesmo tempo serviria para ganhar vantagem competitiva acima dos concorrentes nacionais e/ou internacionais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A irradiação é capaz de conservar os alimentos alterando as estruturas moleculares e impedindo a divisão de células vivas por meio da aplicação de radiação do tipo gama, raios X ou feixe de elétrons.

Para se empregar a irradiação como método de conservação é fundamental analisar os efeitos químicos, físicos e sensoriais causados pela interação da radiação ionizante com o

alimento. A técnica de irradiação é influenciada por diversos fatores, tais como: temperatura, umidade e disponibilidade de oxigênio do meio, bem como pelo estado físico do alimento a ser processado. Por essa razão, para cada alimento a ser irradiado são determinados procedimentos particulares, inclusive dosagens diferentes que são estabelecidas pela legislação vigente com o intuito de não oferecer risco toxicológico ao consumidor e aumentar a vida útil do produto.

A irradiação apresenta grandes obstáculos, O maior deles é a preocupação dos consumidores em consumir os alimentos irradiados, e com isso se torna fundamental a divulgação correta a respeito das vantagens e segurança desse método, através de órgãos governamentais e populacionais, seja por meio de reportagens em jornais, revistas, radio e/ou programas de televisão, a fim de minimizar essa rejeição.

Conforme foi exposto, o método de irradiação, assim como nos outros processos de conservação de alimentos, apresenta vantagens e limitações. Porém, uma grande vantagem é a não alteração da qualidade sensorial do produto final e ao mesmo tempo a oferta de um alimento seguro e próprio para o consumo, enquanto as desvantagens se restringem às discretas alterações nas características sensoriais dos alimentos. Assim, as vantagens superam as desvantagens do processo, sendo uma tecnologia que apresenta grande potencial para ser difundida de forma crescente pela indústria de alimentos brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.G.; FREITAS, M.Q.; JESUS, E.F.O. et al. **Caracterização sensorial e análise bacteriológica do peixe- sapo (*Lophius gastrophysus*) refrigerado em irradiado**. Ciência Rural, v.38, n.12, p.498-503 2008.

ALMEIDA, Ana Paula. **Avaliação da influência do processo de irradiação em especiarias utilizando a técnica de difração de Raios X**. 2006. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006

ANDREUCCI, Ricardo. **Iniciação à Radiologia Industrial**. São Paulo: ABENDE, 2014.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária - **Decreto-lei nº 986 de 21 de outubro de 1969**. Disponível em:

<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/836d7c804745761d8415d43fbc4c6735/dec_lei_986.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 27 de outubro de 2018.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária - **Decreto nº 72.718 de 29 de agosto de 1973**. Disponível em:

<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/fc165c00474583c58eecd3fbc4c6735/DECRET_72718_1973.pdf?MOD=AJPERES> Acesso em: 27 de outubro de 2018.

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária - **Resolução RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001**. Disponível em:

<<http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/791ccc804a9b6b1b9672d6460069>> Acesso em: 27 de outubro de 2018.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V., Pothakamury, U.R., Palou, E., Swanson, B.G. 1998, **Nonthermal presentation of foods**, Editora Board, 276.

BARUFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. 317 p.

BERNARDES, D. M. L. **Avaliação de métodos de identificação de especiarias e vegetais desidratados submetidos a radiação gama**. Tese de doutorado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.1996

BORALI, Catarina. **Irradiação de alimentos**. 22 f. Monografia (Graduação em Nutrição) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008

BORGES, Alexandre. **Avaliação bacteriológica da lingüiça de frango frescal submetida à radiação gama**. 66 f. Monografia (Especialista em Irradiação de Alimentos) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2002.

BRASIL. IRD-**Instituto de Radioproteção e Dosimetria**, 2001

BRASIL, PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. Decreto nº 72718, de 29 de agosto de 1973. **Estabelece normas gerais sobre irradiação de alimentos**. Disponível em: Acesso em: 01 de dezembro de 2018.

CAMARGO, A. C. **Divulgação da tecnologia de irradiação de alimentos e outros materiais: Princípios da irradiação**. CENA- Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Laboratório de Irradiação de alimentos e Radioentomologia- CENA/USP, 2007. Disponível em <<http://www.cena.usp.br/irradiacao/principios.htm>> Acesso em: 10 de abril. 2019.

CDTN - **Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear**. CDTN, FUNED e UFMG pesquisam irradiação de alimentos. 2005. Disponível em Acesso em: 01 Abr. 2019.

CENA – Centro de Energia Nuclear na Agricultura. **Divulgação da tecnologia de irradiação de alimentos e outros materiais: Irradiação de alimentos**. 2005. Disponível em <<http://www.cena.usp.br/irradiacao/irradiacaoalimentos.htm>> Acesso em: 20/maio de 2019

CIÉSLA, K.; ROOS, Y.; GLUSZEWSKI, W. **Denaturation processes in gamma irradiated proteins studied by differential scanning calorimetry**. Radiation Physics and Chemistry, Oxford, v. 58, n. 3, p. 233-243, 2000.

CHARLESBY, A. **Atomic Radiation and Polymers**. Oxford: Pergamon, 1960.

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

CHRISTANTE, Luciana. **Biblioteca virtual/UNICAMP**, 2015.

CLEGG, D.W; COLLYER, A.A. **Irradiation effects on polymers**. New York, N.Y.: Elsevier Science, 1991.

CREDE, R. G. **Estudos dos efeitos da radiação gama e de aceleradores de elétrons na detecção de grãos de milho (Zea mays) geneticamente modificado**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – IPEN/Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

DAIANE, Kelly. **Ciência e Tecnologia de Alimentos - Conhecimento e atitudes sobre alimentos irradiados de nutricionistas que atuam na docência**, 2010.

DEL MASTRO, N. L. **Development of food irradiation in Brazil. Progress in nuclear energy, Great Britain**, v. 35, n. 3-4, p. 229-248, 1999.

DELINCÉE, H.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; MANCINI-FILHO, J. **Protein quality of irradiated Brazilian beans. Radiation Physics and Chemistry**, v.52, n. 1-6, p. 43-48, 1998.

DERR, D. D. **Progress of food irradiation in the United States**. Radiat. Phys. Chem., Oxford, v. 48, p.362-363, 1996.

DIEHL, J.F. **Safety of irradiated foods**. New York: Marcel Dekker, 345p. 1990.

EMBRAPA. **Plano estratégico para os Citros (2012-2017)**. Disponível em: Acesso em: 23 de outubro de 2018.

EMBRARAD, **Empresa Brasileira de Radiação**. 2008. Disponível em: Acesso em: 15 abril. 2019.

ESTEVES, M.P.G.C.S., 1997, **Irradiação de Especiarias. Métodos de Detecção do tratamento e estudo das alterações em que se baseiam**. Tese de Doutorado., Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, Portugal. 1997.

EVANGELISTA, José. **Tecnologia de alimentos**. 2. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2005.

FAO. Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura. **Código de práticas para el tratamiento de los alimentos por irradiación**. Vienna: FAO/WHO, 1979. 36, n.1/2, p.87-121, 1996.

FDA – Food and Drug Administration. Food irradiation – Whaty you need to know. **Food Facts de U. S. Food and Drug Administration**, 2011. Disponível em < <http://www.fda.gov/default.htm> > Acesso em 05 de novembro de 2018.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. Porto Alegre: Artmed, 2008.

FOX, J. A. **Influences on purchase of irradiated foods**. Food Technology, v.56, n. 11, p. 3437, 2002. Disponível em: Acesso em: 18 de maio. 2019.

FUMENTO, M. **Irradiation: a winning recipe for wholesome beef**. Priorities, v. 6, n. 2, p. 37-39, 1994.

GAONKAR, A.G. **Food processing: recent development**. New York: Elsevier Science & Technology Books, 1995.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. S.; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Nobel, 2009.

GCIIA. Grupo Consultivo Internacional sobre Irradiação de Alimentos. **A irradiação de alimentos: ficção e realidade**. Vienna, 1990.

GHOBRIL, Carlos. IPEN-Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares- **Gestão tecnológica para instalação de um irradiador de alimentos no vale do Ribeira**, 2008.

GOMES, A, T.; CEREDA, M. P. VILPOUX, O. **Desidratação osmótica: uma tecnologia de baixo custo para o desenvolvimento da agricultura familiar**. *Revista Brasileira de Gestao e Desenvolvimento Regional*, v. 3, n. 3, p. 212 – 226, 2007.

GOULAS, A.E.; RIGHANAKOS, K. A.; KONTOMINAS, M. G. **Effect of ionizing Radiation on Physicochemical and Mechanical Properties of Commercial Multilayer Coextruded Flexible Plastics Packaging Materials**. *Rad. Phys. Chem.*, v.68, p.965-872, 2003.

GUIMARÃES, I. C. O. et al. **Technological quality of white rice subjected to gamma irradiation (Co60)**. *Revista Ceres*, v. 60, n. 6, 2013.

HAMSTRA, A.M., SMINK, C. 1996. **Consumers and biotechnology in the Netherlands**. *British Food Journal*, 98, (4-5), 34 - 38. 1996.

HERNANDES, N. K. **Aplicação de baixas doses de radiação gama para extensão da vida útil de beterraba vermelha (Beta vulgaris SSP. Vulgaris L.), cv. Early Wonder, minimamente processada**. 2006. 107 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2006.

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

HOBBS, B. C.; Roberts, D. **Toxinfecções e Controle Higiênico-Sanitário de Alimentos**. São Paulo: Varela. 1992.

HUOTILAINEN, A., & TUORILA, H. **Social representation of new foods has a stable structure based on suspicion and trust**. *Food Quality and Preference*, 16, 565 - 572. 2005

IAEA. International Atomic Energy Agency. **La irradiación de alimentos en latinoamerica (IAEA – TECDOC – 331)**. Vienna, 1985.

JAY, James. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Belo Horizonte: Biblioteca da UFMG, 2005

KAPPKE, Jaqueline. **Estudo dos danos provocados pela radiação gama em células de E. coli**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba. Curitiba, 2007.

KILCAST, D. **Effect of irradiation on vitamins.** Food Chemistry, Great Britain, v. 49, n. 2, p. 157-164, 1994.

LAMBERT, B. J. **ISO radiation sterilization standards.** Radiation Physics and Chemistry, , 52, 11, 1998.

LANDGRAF, Mariza. **Fundamentos e Perspectivas da irradiação de alimentos visando ao aumento de sua segurança e qualidade microbiológica.** 2002. 91 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

LEAL, A. S.; KRAMBROCK, K; GUEDES, K.; RODRIGUES, R. R. **Ressonância paramagnética eletrônica- RPE aplicada à análise de especiarias irradiadas (com radiação gama).** Ciência e tecnologia de Alimentos, v. 24, p. 427- 430, 2004.

LOAHARANU, P. **Food irradiation in developing countries a practical alternativa.** International Atomic Energy Agency Bulletins 1, p. 30-35, 1994.

MACFIE, H. . **Consumer- led food product development.** Woodhead publishing, 144. 2007.

MALISKA, C. **Conservação de alimentos por irradiação.** Higiene alimentar, Minas Gerais, v.11, n.68/69, p.6-17, 2000.

MASEFIELD, J., DIETZ, G. R. **Food irradiation the evaluation of commercialization opportunities.** CRC Crit. Ver. Food Sci. Nutrit., Boca Raton, v.19, p.259, 1983.

MASSAGUER, P. R. **Microbiologia dos processos alimentares.** São Paulo: Varela, 2005.

MCLAUGHLIN, W. L.; Desrosiers, M. F. **Dosimetry systems for radiation processing.** Radiation Physics and Chemistry 1995.

MERRITT, C. **Quantitative and qualitative aspects of trace volatile components in irradiated foods and food substances.** Radiation Research Review, Amsterdam, v. 3, n. 4, p. 353- 368, 1972.

MODANEZ, L. **Aceitação de alimentos irradiados: uma questão de educação.** 2012. Tese (Doutorado em tecnologia nuclear). Instituto de Pesquisa Energeticas e Nucleares, São Paulo, 2012.

NASCIMENTO, L.M. **Efeito da radiação gama (Co60) nas propriedades físico-químicas e sensoriais de feijões envelhecidos (Phaseolus vulgaris).** São Paulo, 1992. 135f . Tese (Doutorado)- Universidade São Paulo, São Paulo, 1992.

NISAZAWA, M. **Studies on irradiation of agar agar in the solid-state - on the changes of water holding capacity of agar agar hydrogel produced by irradiation.** Journal of Applied Polymer Science, New York, v. 36, n. 7, p. 1673-1676, 1988.

NUNES, Patrícia OS MITOS E AS VERDADES DA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS. **Ciências Biológicas e da Saúde**, Recife, p.103-110, jul. 2014.

O'DONNELL, J.H. & SANGSTER, D. F. **Principles of Radiation Chemistry**. New York, N.Y.: Arnold E., 1970.

OMI, N.M. **A irradiação de alimentos e os hábitos alimentares atuais**. Santos: INAC, 2005.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A.; CAMBERO RODRÍGUEZ, M. I. **Tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, p.125-144, 2005.

ORNELLAS, C. B. D. et al. **Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 26, n. 1, p. 211-213, 2006.

PLATZER, N.A.J. **Irradiation of Polymers**. Washington, Wash.: American Chemical Society, 1967.

PRESTES, Fernando. Associação Brasileira de Batata- **Irradiação Definitivamente uma tecnologia agrícola**, 2002.

PAULI, G.; TARANTINO, L. **FDA regulatory aspects of food irradiation**. J. Food Prot, Des Moines, v.58, p.209-212, 1995.

POLIZEL, G. G.. **O uso da radiação no controle microbiológico dos alimentos de origem animal**. 2006. 38 f. Monografia (Especialização em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal e Vigilância Sanitária e Alimentos) - Universidade Castelo Branco, Rio de Janeiro, 2006

ROBERTS, P. B. Food Irradiation is Safe: Half a century of Studies. Radiation Physics and Chemistry. **Radiation Physics and Chemistry**, 105 p. 78 – 82, 2014.

RODRIGUES, Alana. **Avaliação da irradiação como método de conservação pós-colheita de mini tomates e concepção da opinião de consumidores sobre alimentos irradiados**. 2014. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências dos Alimentos, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2014.

SANTOS, A.F.; VIZEU, D.M; DESTRO, B.D.G.M. et al. **Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de *Salmonella* spp. em carne de frango**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.23, n.2, p.200-205, maio/ago. 2003.

SCOTT, G. **Mechanisms of polymer degradation and stabilization**. New York, N.Y.: Elsevier Applied Science, 1990.

SIEGRIST, M. . **Factors influencing public acceptance of innovative food technologies and products**. Trends in Food Science & Technology 19, 603 - 608. 2008.

SILVA, A. C. O. **Efeito da radiação gama sobre lipídios, microbiota contaminante e validade comercial do leite cru integral refrigerado e sobre características sensoriais do leite pasteurizado integral refrigerado**. 2008. Tese (Doutorado em Higiene Veterinária e Processamento Tecnológico de Produtos de Origem Animal) – Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2008.

SILVA, É.F.S. **Irradiação em alimentos**. 2007. Disponível em:< <https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/17897/11712>> Acesso em: 05 abril. 2019.

SILVA, J.A. **Tópicos da tecnologia de alimentos**. SÃO PAULO: VARELA, 2000.

SPOLAORE, A.J.G.; GERMANO, M.I.S.; GERMANO, P.M.L. Irradiação de alimentos, In: Germano, P.M.L.; Germano, M.I.S. Higiene e vigilância sanitária de alimentos, 27, p. 421-39, 2001.

SILVA, K. D. et al. **Conhecimento e atitudes sobre alimentos irradiados de nutricionistas que atuam na docência**. Revista: Ciência Tecnologia Alimento, Campinas. v. 30, n. 3, p. 645 – 651, 2010.

SILVA, R. C. S., Roberta Maria da; AQUINO, Kátia Aparecida da Silva. The Interaction of Gamma Radiation with the Matter in the Process of Sterilization. **Revista Virtual de Química**, [s.l.], v. 6, n. 6, p.1624-1641, 2014.

SILVA, Sandra Aparecida Pereira da; FERREIRATM, Luelma Leal de Sousa; VALGAS, Glêcio Oliveira. **A conservação de alimentos utilizando a irradiação e sua importância na conservação do arroz**. Núcleo Interdisciplinar de Pesquisa, Brasília, p.1-12, 2012.

SPINKS, J.W.T & WOODS, R. J. **An Introduction to Radiation Chemistry**. New York: John Wiley e Sons Inc. 1990.

TÉBÉKA, Iris. Departamento de Química Fundamental - **Radiações Nucleares: Histórico e Aplicação Industrial na Preservação de Alimentos**, 2007.

THAKUR, B.R.; SINGH, R.K. **Combination processes in food irradiation**. Trends in Food Science and Technology, v.6, n.1, p.07-11, jan. 1995.

THAKUR, B.R., SINGH, R.K. Food irradiation: chemistry and applications. Food Reviews International, v. 10, n. 4, p. 437-473, 1994

THOMAS, M. H.; ATWOOD, B. M.; WIERBIEKI, E.; TAUB, I. A. **Effect of radiation and conventional processing on the thiamin content of pork**. Journal of Food Science, Chicago, v. 46, n. 3, p. 824-828, 1981.

URBAIN, W.M. (Ed.). **Food Irradiation. Food Science and Technology-A. series of monographs**. Florida: Academic Press Inc., 351p. 1986.

VALENTE, Angélica Moreira. **Efeito da irradiação sobre mexilhões Perna. Coliformes termotolerantes e Enterococcus: ação antimicrobiana e análise sensorial das amostras**. 2004. 81 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2004.

VENTURA, D. **Utilização da irradiação no tratamento de alimentos: processamento geral de alimentos** - módulo II. 2010. Disponível em: Acesso em: 3 abril. 2019.

VICENTE e SALDANHA. **Emprego da técnica de radiação ionizante em alimentos industrializados**, 2012

VILLAVICENCIO, A.L.C.H. **Avaliação dos efeitos da radiação ionizante de Co60 em propriedades físicas, químicas e nutricionais dos feijões Phaseolus vulgaris L. e Vigna unguiculata (L.) Walp.** 1998. 138f . Tese (Doutorado)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

WIELAND, Patrícia et al. **Alimentos preservados com radiação: a vantagem competitiva que falta ao Brasil**. Rev. FAE, Curitiba, v.13, n.2, p. 1-16, . 2010.

WIELND, F. M. **A salubridade dos alimentos irradiados**. Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.18, n. 1, p. 48-56, 1984.

WOODS, R. J.; Pikaev, A. **Em Applied Radiation Chemistry: radiation processing**; Wiley, J.; Sons: New York, 1994.

XAVIER, A. M.; LIMA, A. G.; VIGNA, C. R. M.; VERBI, F. M.; BORTOLETO, G. G.; GORAIEB, K.; COLLINS, C. H.; BUENO, M. I. M. S. **Marcos da história da radioatividade e tendências atuais**. Química Nova, v. 30, n. 1, p. 83-91, 2007.