



[UTILIZAÇÃO DA IRRADIAÇÃO NO TRATAMENTO DE ALIMENTOS]

[PROCESSAMENTO GERAL DE ALIMENTOS – MÓDULO II]

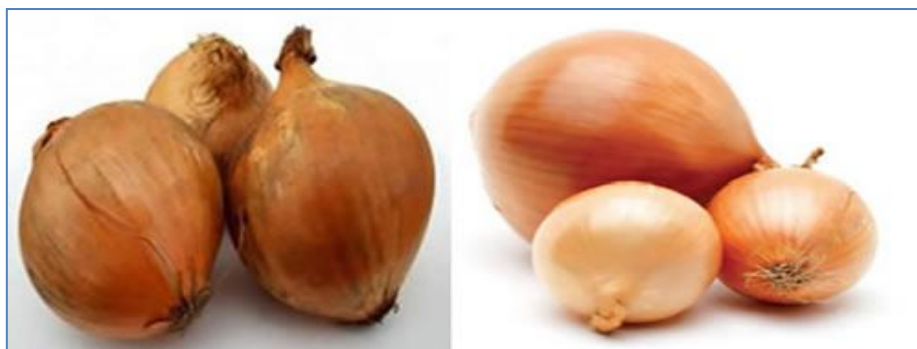


Figura 1 Diferenças entre cebolas não submetidas a radiação e com radiação

TRABALHO REALIZADO POR: Diana Ventura 20803005, Joana Rufino 20803006, Cláudia Nunes 20803008 e Nuno Mendes 20803054



Índice

Introdução	4
Processos de irradiação nos alimentos	5
Fontes da irradiação de ionização	5
Dose e Dosimetria	6
Aplicações da irradiação	7
Vantagens da irradiação	8
Efeitos nos microrganismos e nos componentes dos alimentos	11
Efeito em proteínas	13
Efeito em hidratos de carbono	13
Efeito em lípidos	14
Efeito em vitaminas	14
Efeito em enzimas	15
Aplicação da irradiação nos alimentos	16
Plantas alimentícias	16
Especiarias	16
Fruta e vegetais	17
Bagas	17
Mangas	17
Cereais e grãos	17



Alimentos de origem animal.....	18
Carne de aves	19
Carne de carneiro	20
Carne de bovino	21
Carne de porco	22
Carnes processadas	23
Pescado e alimentos pescados.....	24
Principais problemas da irradiação	26
Aspectos legais e questões de segurança	28
Atitude dos consumidores	29
Conclusão	30
Bibliografia.....	31



INTRODUÇÃO

A irradiação dos alimentos não é uma tecnologia recente, pois é muito mais antiga e muito mais estudada que outros processos de conservação introduzidos na indústria alimentar nos últimos anos. A descoberta dos raios-x em 1929 e de substâncias radioactivas um ano mais tarde conduziu a imensas investigações sobre os efeitos biológicos da radiação ionizante. Este método foi utilizado em primeira mão por cientistas britânicos em 1905 e mais tarde usada nos Estados Unidos da América para inactivar um parasita humano, a *Trichinella spiralis*, que contaminava os músculos do porco. O processo de irradiação compreende a exposição de alimentos, quer pré-embalados ou sem embalagem, a um predeterminado nível de radiação de ionização de acordo com o tipo de produto alimentar que se pretende tratar, sejam estes produtos derivados de plantas, como vegetais, frutas e cereais ou até derivados de animais, como carne ou peixe. Neste processo é muito importante conhecer as fontes de radiação de ionização, pois ocorre uma interacção ao nível molecular e por isso é necessário entender a forma como a energia é quantificada e também a extensão em relação às suas limitações e vantagens, pois o excesso de energia pode por em risco a qualidade do alimento. As fontes desta energia são os raios- γ dos radionucleótidos ^{60}Co ou ^{137}Cs , raios-x ou por aparelhos que funcionem a determinados níveis de energia. Possíveis aplicações da irradiação são a desinfestação, o prolongamento da vida de prateleira, a descontaminação e o melhoramento da qualidade do produto, pois provocam efeitos nos microrganismos e nos componentes dos alimentos, tais como proteínas, hidratos de carbono, lípidos e vitaminas. Todas estas fontes de radiação exigem um elevado planeamento, quanto à sua viabilidade económica, a sua instalação deve cumprir a legislação de higiene e segurança e também a adesão a estes produtos por parte do consumidor é um factor importante a considerar face à sua consagração no mercado.



PROCESSOS DE IRRADIAÇÃO NOS ALIMENTOS

O processo de irradiação compreende a exposição de alimentos, quer pré-embalados ou a granel (sem embalagem), a um preestabelecido nível de radiação de ionização, sendo muito importante conhecer as fontes de radiação de ionização: a forma como é que a energia quantificada e também as suas limitações e vantagens.

A radiação de ionização interage com as moléculas dos materiais de forma a criar iões negativos e positivos, e assim transferindo energia por electrões. Os efeitos da radiação em materiais biológicos podem ser directos ou indirectos. Um dos efeitos directos é o facto das reacções químicas ocorrerem como resultado do bombardeamento de energia irradiada na molécula alvo, já os efeitos indirectos devem-se às consequências da difusão reactiva de radicais livres formados pela radiólise da água, como por exemplo, o radical hidróxido $\text{OH}^\cdot$, o átomo de H e o peróxido de hidrogénio (H_2O_2).

FONTES DE RADIAÇÃO DE IONIZAÇÃO

Existem duas classes de radiação de ionização: electromagnética e de partículas – os raios- γ dos radionucleótidos ^{60}Co ou ^{137}Cs , raios-x gerados por aparelhos que funcionam a ou abaixo de 5 MeV^1 ou por outros aparelhos, feixes de electrões, que funcionem a ou abaixo de um nível de energia 10 MeV . As diferentes características das fontes de irradiação são sumariadas na tabela 1. Cientistas observaram que tanto o uso de isótopos, como de aparelhos tinham impactos idênticos sobre os alimentos, mas apesar disso, os consumidores tiveram uma reacção mais favorável às radiações provenientes de aparelhos, pois faziam associações de forma negativa dos isótopos com a indústria nuclear. Todas estas fontes de radiação exigem um elevado planeamento, quanto à sua viabilidade económica. Grande parte do seu alto custo está associado à

¹ 1 megaelectrão volt = $1.60217646 \times 10^{-13}$ joules



necessidade de elevado sistema de blindagem que proteja o ambiente exterior, quando estas radiações estão a ser utilizadas. Além disso, a instalação deve cumprir a legislação de higiene e segurança.

Tabela 1 Características das fontes de Irradiação

FONTE DE RADIAÇÃO	CARACTERÍSTICAS
Cobalto-60	1. Elevado poder penetrante 2. Fonte radioactiva permanente 3. Alta eficiência 4. Fonte de fácil reabastecimento 5. Baixa taxa de transferência
Feixes de electrões	1. Baixo poder penetrante 2. Ligar/ desligar a capacidade 3. Alta eficiência 4. Alta taxa de transferência 5. Energia e refrigeração necessárias 6. Tecnicamente complexo
Raios-x	1. Elevado poder penetrante 2. Ligar/ desligar a capacidade 3. Baixa eficácia 4. Alta taxa de transferência 5. Energia e refrigeração necessárias 6. Tecnicamente complexo

DOSE E DOSIMETRIA

A dose de radiação ou nível do tratamento define-se como a quantidade de energia absorvida durante a exposição. Tradicionalmente, a dose de radiação de



ionização absorvida pelo material irradiado tem sido medido em termos de *rad*, mas recentemente esta unidade foi substituída pelo *gray* (Gy), que é igual a 100 *rad*. 1 Gy representa 1 J de energia absorvida por quilograma do produto irradiado, cuja energia absorvida depende da massa, densidade e espessura do alimento.

As doses dos alimentos irradiados são geralmente caracterizadas como: baixas (menores que 1 kGy), médias (1-10kGy) e grandes (maiores que 10 kGy). Diferentes níveis de dose são necessários para obter resultados desejáveis nos produtos. Os níveis de energia geralmente utilizados para obter algum propósito tecnológico considerável é normalmente, extremamente baixo, temos como exemplo, 0,1 ou 1,0 kGy que podem ser equivalentes a um calor energético de 0,024°C ou 0,24°C, respectivamente. Cientistas calcularam com base em que 10 kGy (máximo valor de energia recomendado pelo código alimentar) de energia ionizante é equivalente a um calor energético de 10 J / g, e da capacidade térmica da água é 4,2 J / g °C, ou seja, $10/4.2 = 2.4$ ° C. Assim sendo, é um método de conservação de alimentos frios. A ausência de alterações visíveis e do pequeno aumento da temperatura são consequências da dificuldade em detectar se o alimento foi irradiado ou não.

APLICAÇÕES DA IRRADIAÇÃO

As potenciais aplicações da irradiação na indústria alimentar são diversas, tais como, desinfestação, prolongamento da vida de prateleira, descontaminação e melhoramento da qualidade do produto.

A desinfestação é um dos mais importantes tratamentos de pós-colheita no processamento de alimentos, e são usualmente utilizados produtos químicos com este propósito. O controlo de insectos na fruta pode ser atingido com doses maiores que 3 kGy. Uma dose baixa entre 0,15-0,50 kGy pode apenas prejudicar insectos em vários estados de desenvolvimento que podem estar presentes nos alimentos, tais como, prejudicar a viabilidade sexual do insecto ou a sua capacidade para se tornar um adulto.

A irradiação permite o prolongar a vida útil dos alimentos inibindo por exemplo, a germinação de batatas, cebola, inhame e alho utilizando 0,02-0,15 kGy. Outra forma consiste em retardar o amadurecimento e senescência de algumas frutas tropicais como a banana, abacates, mamão e manga a 0,12-0,75 kGy e também se



estende a produtos perecíveis, como a carne bovina, aves e frutos do mar, pela descontaminação de microrganismos deteriorantes. Regra geral, as frutas perdem progressivamente a resistência a fitopatógenos, com o amadurecimento. Quando uma dose baixa é usada para retardar o amadurecimento, um maior nível de resistência é mantido nas frutas e o desenvolvimento microbiano e também atrasado como benefício adicional.

Por fim, a irradiação pode ser aplicada com vista a melhorar a qualidade do produto. Considerando o caso de um sumo, podemos obter maior rendimento de sumo se os frutos forem primeiramente irradiados com várias doses de kGy, o que melhora a recuperação do produto. A extensão das doses e os seus efeitos estão resumidos na tabela 2.

Tabela 2 Extensão e objectivos das doses de kGy nos alimentos irradiados

Limite de dose	Propósito	Limite de dose (kGy)	Exemplos
Dose baixa (<1 kGy)	Inibição da germinação; Desinfestação de insectos e parasitas; Retardamento do amadurecimento.	0,05-0,15 0,15-0,50 0,50-1,00	Batatas, alho, cebolas; Cereais, frutos secos, carne de porco; Frutos frescos e vegetais.
Dose média (1-10 kGy)	Diminuição do desenvolvimento microbiano; Redução dos patogénicos não esporolados; Redução microbiana nos produtos secos	1,0-3,0 2,0-7,0 7,0-10,0	Peixe, morangos; Aves, mariscos; Ervas, especiarias;
Dose alta	Esterilização	25,0-50,0	Refeições dietéticas estéreis;
Dose muito alta	Redução ou eliminação de vírus contaminantes	10,0-100,0	

VANTAGENS DA IRRADIAÇÃO



Foram identificadas algumas vantagens do uso da irradiação no tratamento de alimentos:

- Minimizar as perdas de alimentos: A desinfestação e o prolongamento da vida de prateleira podem reduzir as perdas de alimentos frescos, através do uso de irradiação. A perda de uma grande quantidade de colheitas devido a infestação de insectos pode ser controlada e minimizada por irradiação em alimentos, tais como, grãos, leguminosas, tubérculos e frutas. Especialmente no terceiro mundo, a irradiação tem um grande potencial em que em muito dos casos, os alimentos são deteriorados durante a fase de pós colheita;
- Melhoramento da saúde pública: Alimentos, especialmente musculares (carnes), são contaminados por microrganismos patogénicos ou parasitas. A descontaminação destes alimentos frescos pode melhorar problemas de saúde pública. *Salmonella* é a fonte primária de doenças de origem alimentar derivado de produtos de aves. A irradiação é também um método que assegura a qualidade higiénica de alimentos sólidos.
- Aumento do comércio internacional: Muitos alimentos frescos não são candidatos ou são desqualificados para o comércio internacional, devido à infestação por insectos, a infecções por microrganismos e a sua escassa vida útil de prateleira, que restringe o transporte a longas distâncias. A irradiação pode aumentar ou melhorar o comércio de alimentos frescos pelos mercados internacionais, proporcionando um processo eficaz de quarentena para alimentos infestados ou infectados ou que ajudem a prolongar a vida útil dos alimentos.
- Uma alternativa à fumigação nos alimentos: Várias substâncias químicas, tais como etileno são utilizadas para a fumigação de alimentos ou ingredientes alimentares. A utilização destes desinfectantes está rapidamente a diminuir, devido à sua natureza tóxica e impacto ambiental. O uso de baixas doses de irradiação de 0,2-0,7 kGy pode controlar a infestação de insectos de grãos e outros produtos armazenados.
- Aumentar a poupança de energia: A energia utilizada para a irradiação de alimentos é baixa, comparando com a utilizada para produtos enlatados,



refrigerados ou congelados. Além disso, a proibição de refrigerantes CFC's pode resultar em maiores custos de alimentos refrigerados e por isso, no futuro, a junção de irradiação e refrigeração podem elevar o potencial de poupança de energia durante o processamento de alimentos. A redução das necessidades energéticas, também pode contribuir para a redução global da poluição causada por produtos de combustão de combustíveis tradicionais.



EFEITOS NOS MICRORGANISMOS E NOS COMPONENTES DOS ALIMENTOS

Semelhante a outros métodos de radiação, a irradiação afecta o crescimento microbiano – de bactérias, bolores e leveduras - e também conduz a mudanças nos componentes dos alimentos, tais como, lesões no material genético da célula, impedindo-a de realizar os processos biológicos necessários para a sua existência. A estabilidade dos componentes dos alimentos também precisa de ser conhecida para determinar a sua funcionalidade e segurança.

Os alvos principais da irradiação são os ácidos nucleicos e lípidos da membrana. Alteração nos lípidos da membrana, particularmente lípidos polinsaturados, origina uma perturbação nas membranas, sendo que sofre efeitos destrutivos sobre várias das suas funções, como a permeabilidade. A actividade de enzimas da membrana pode ser um efeito secundário da degradação da membrana lipídica. As radiações de ionização actuam através das mudanças induzidas na estrutura do ADN das células irradiadas, o que resulta na prevenção da replicação de outras funções. Os níveis de energia utilizados são suficientes para romper certas ligações nas moléculas de ADN, tornando assim insustentável a reprodução da célula. Os ácidos nucleicos, devido ao seu grande tamanho, são os principais alvos dos radicais livres gerados pela irradiação. Os cromossomas das bactérias são muito sensíveis intrinsecamente e podem ocorrer danos letais, como resultado da exposição à irradiação. A capacidade das bactérias para reparar uma limitada soma desses danos, dá-lhes consideravelmente maior resistência a essas radiações.

Foram analisados os factores que afectam a susceptibilidade de microrganismos à irradiação, e estes são: o nível de dose, a temperatura, a atmosfera (presença ou ausência de oxigénio), o ambiente e o tipo de organismo (tamanho, quanto menor o organismo alvo, mais é resistente à radiação de ionização, o número e idade das células). Em geral, quanto maior a dose aplicada, menor o número de sobreviventes, menor é a temperatura e também, menor a velocidade das reacções, como a formação de radicais de moléculas de água. Estes radicais podem afectar indirectamente, interferindo



com as funções celulares normais, como o transporte da membrana. Em geral, as bactérias tornam-se mais resistentes à radiação de ionização no estado congelado, bem como no estado seco. Em ambos os estados, presume-se que a contribuição dos efeitos indirectos da radiólise de água é significativamente reduzida. A composição do meio de irradiação vai afectar a sobrevivência dos microrganismos à irradiação. Como regra, a forma de vida mais simples é a que mais resistente aos efeitos da irradiação. Por exemplo, os vírus são mais resistentes do que as bactérias, que são mais resistentes que os fungos, que por sua vez são mais resistentes que seres humanos. Além disso, dentro das bactérias, alguns géneros são encontrados para ser mais resistentes do que outros. Os esporos bacterianos são os mais resistentes do que as suas células vegetativas correspondentes, por um factor de cerca de 5-15.

Tabela 3 Efeitos das doses nos microrganismos

Parasita	Dose mínima efectiva	Efeitos da irradiação
Protozoários <i>Toxoplasma gondii</i> <i>Entamoeba histolytica</i>	0,09-0,7 0,251	Morte dos parasitas ou eliminação da infecção Morte do quisto
Trematodes <i>Fasciola hepatica</i> <i>Clonorchis sinensis</i> <i>Opisthorchis viverrini</i> <i>Paragonimus westermani</i>	0,03 0,15–0,20 0,10 0,10	Inibe a maturação Inibe a maturação Inibe a maturação Inibe a maturação
Cestodes <i>Taenia</i> <i>Taenia solium</i> <i>Echinococcus granulosas</i>	>3,00 0,40 0,30 0,20-0,70 0,50	Inactivação completa de larvas Impede o desenvolvimento em humanos Eliminação da infecção Eliminação da infecção Eliminação da infecção
Nematodes <i>Trichinella spiralis</i>	0.10–0,66 0.11	Eliminação da infecção Esterilização feminina



<i>Angiostrongylus cantonesis</i>	2,00–4,00	Diminuição da infecção
<i>Gnathostoma spinigirum</i>	7,00	Diminuição da penetração de larvas
<i>Anisakis species</i>	6,00	Diminuição da penetração de larvas

EFEITOS NAS PROTEÍNAS

Mesmo utilizando doses reduzidas de irradiação as proteínas podem sofrer desenrolamento, coagulação, desdobramento, e divisão de aminoácidos. Normalmente as ligações peptídicas não são as mais atacadas e os principais efeitos verificam-se nas ligações sulfúricas e nas pontes de hidrogénio.

Apesar de poder ser um efeito indesejável muitas vezes a irradiação é utilizada para provocar desdobramento na molécula da proteína, liderando a capacidade para mais reacções.

Para além da estrutura, a irradiação afecta também as propriedades funcionais da proteína. No caso do ovo, a dose necessária para a destruição da *Salmonella* vai provocar perda de viscosidade da clara e flavors indesejáveis na gema. Um ovo sujeito a radiação com 6 kGy mostrou uma fina condição aquosa, que pode contribuir para a destruição ou alteração da ovomucina, o principal composto espessante da albumina do ovo. A caseína do leite sujeita à mesma radiação resulta num aumento do tempo de coagulação do coalho e redução da estabilidade térmica.

O desenvolvimento do flavors indesejados a altas doses contribui para a presença de benzeno, fenóis e compostos de sulfatos formados por fenilalalinas, tirosinas e medioninas, respectivamente.

EFEITOS NOS HIDRATOS DE CARBONO

Quando os hidratos de carbono de alto peso molecular são sujeitos a radiação, as ligações entre os vários monómeros podem ser quebradas, originando a despolimerização. É este o processo responsável pela maturação de frutas e vegetais, quando os constituintes da parede celular são degradados.

No, entanto, é preciso ter em conta que a maturação pode ter vantagens ou desvantagens dependendo do pretendido. Por exemplo, pode ser vantajoso para



aumentar o rendimento do sumo e na redução do tempo de secagem e do tempo de cozedura, em alimentos desidratados.

O açúcar pode ser hidrolizado ou oxidado quando sujeito a radiação gama. A irradiação do trigo até 0,2- 10 kGy aumenta o nível inicial de água solúvel reduzindo o açúcar de 5% - 92% comparando com amostras não tratadas. Aumentando a redução inicial dos açúcares resultado da degradação do amido.

Estas diferenças são altamente vantajosas na formação do flavor do pão e do aroma pelas reacções ácidas de redução açúcar-amido.

No entanto, podemos obter efeitos mutagénicos e citotóxicos, quando sujeitamos hidratos de carbono puros a doses de irradiação muito elevada.

EFEITOS NOS LÍPIDOS

É frequente, utilizando radiação, encontrar gorduras com sabor a ranço, provocadas pelo processo natural de autooxidação que é iniciado pela radiação. Os ácidos insaturados são mais susceptíveis à oxidação do que os ácidos saturados, porque são mais instáveis. Este processo pode ser mais demorado pela eliminação do oxigénio pelo vácuo ou pela atmosférica modificada.

Nos lípidos, particularmente os ácidos gordos insaturados, a decomposição radiolítica é por via de uma quebra preferencialmente na posição do carbono funcional da dupla ligação. Esta decomposição induz a formação de alguns compostos voláteis responsáveis por odores indesejáveis. A formação de peróxidos e compostos voláteis, e o desenvolvimento de ranços e flavors indesejáveis foram observadas.

EFEITOS NAS VITAMINAS

A destruição das vitaminas C, E e K depende da dose usada, e por isso, as perdas são baixas quando são utilizadas doses baixas. O ácido ascórbico em solução é completamente instável à radiação mas nos frutos e vegetais parecem totalmente estáveis a doses baixas de tratamento. As vitaminas particularmente a vitamina A, B12, C, E, K, e tiamina, que é bastante estável, são degradadas quando a irradiação é feita na presença de oxigénio.

A irradiação pode também danificar parcialmente as vitaminas C e B. As perdas de vitamina são frequentemente citadas em doses altas e irreais, ou em condições



irreais. Em particular, a vitamina C perde frequentemente, em comparação com a perda do ácido ascórbico, ignorando o facto de a irradiação converter o ácido ascórbico em ácido dehidroascórbico, que é também activo como a vitamina.

EFEITOS NAS ENZIMAS

As enzimas são bastante mais resistentes à radiação do que os microrganismos, e por isso devem ser inactivadas antes da. Normalmente, a inactivação de enzimas é um processo térmico. Geralmente, podemos dizer que a completa inactivação das enzimas requer entre 5 a 10 vezes a dose necessária para a destruição dos microrganismos. O valor D da enzima pode ser 40 kGy e serão quase sempre necessários quatro D para a sua destruição completa. Deste modo, os alimentos irradiados podem ser mais instáveis durante o armazenamento pela sua susceptibilidade aos ataques enzimáticos, do que os alimentos não irradiados. A elevada resistência das enzimas à irradiação tem sido demonstrada com a fosfatase do leite, que não é destruída por doses de irradiação suficientes para esterilizar o leite. Além disso, as enzimas no seu meio natural, como nos alimentos, são relativamente mais resistentes. A actividade das enzimas não é afectada com doses normais, e deste modo, limita um tempo de prateleira razoável nos frutos e vegetais.



APLICAÇÃO DA IRRADIAÇÃO NOS ALIMENTOS

PLANTAS ALIMENTÍCIAS

Os tecidos das plantas mostram um breve aumento na respiração e na produção de etileno mesmo em doses reduzidas. A taxa de respiração aumenta linearmente com o aumento das doses de irradiação.

Tabela 4 – Efeitos da irradiação em fruta e legumes

Efeitos	Resultados	Amostras
Benéfico	Retardação da maturação	Bananas, Mangas, Papaías,
	Retardação do envelhecimento	Cerejas, Damascos, Papaías
	Diminuição do controlo de	Tomates, Morangos, Figos
Prejudicial	Intelorância	Pêras, Abacates, Limões, Toranjas, Laranjas, Tangerinas, Pepino, Abóbora, Pimentos, Azeitonas,
	Aceleração da maturação	Pêssegos, Nectarinas
	Tolerância apenas à radiação	Ananás, Líchias, Melão

ESPECIARIAS

O uso de radiação para descontaminação de especiarias é cada vez mais importante. As especiarias importadas da Europa de Leste estão frequentemente contaminadas por microrganismos patogénicos, normalmente *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Bacillus*, *Aspergillus* e *Fusarium*. Utilizando uma dose de radiação de 2,5 kGy os fungos e as bactérias são reduzidas até 2 ciclos logarítmicos e utilizando 7,5 kGy conseguimos eliminar toda a população.



FRUTA E LEGUMES

BAGAS

O tempo de prateleira dos morangos, cerejas, mirtilos e amoras podem ser prolongados com doses baixas de irradiação. Os mirtilos, por exemplo, irradiados com 0,25; 0,5 e 0,75 kGy podem ser armazenados a 1°C durante 1, 3 e 7 dias, respectivamente. A firmeza das bagas foi ligeiramente afectada pela radiação, o flavor e a textura foram negativamente afectados com doses elevadas. A perda de peso, cor, sólidos solúveis e acidez não foram afectadas pela radiação.

MANGAS

A irradiação desta fruta é uma grande mais-valia para a sua preservação. No entanto, os benefícios dependem do grau de maturação em que a radiação é aplicada. A dose óptima de radiação é 0,75 kGy durante 45 minutos.

CEREAIS E GRÃOS

Grãos e cereais são tratados com baixas doses de irradiação para eliminar fungos, uma vez que alguns destes microrganismos produzem micotoxinas.

Além do papel protector contra insectos e microrganismos, a irradiação também afecta vários critérios de qualidade de grãos de cereais.

O pico da viscosidade do amilograma e os valores de queda do número da farinha diminuíram com o aumento da dose de irradiação.

O amilograma descobriu também que a altura máxima e a estabilidade da massa diminuem com a dose.

**Tabela 5: Efeito das doses de irradiação em cereais e grãos**

Dose de irradiação	Efeito
0,2 a 1,0 kGy	• Controlo de infestação de insectos no interior de cereais.
5,0 kGy	• Morte do número total de esporos de muitos fungos, que sobrevivem a doses de irradiação muito baixas.
>5,0 kGy	• Deterioração do volume do pão e qualidade do fermento.
10,0 kGy	• volume de grãos e miolo de pão danificados.

ALIMENTOS DE ORIGEM ANIMAL

A irradiação é eficaz para matar as bactérias patogénicas presentes em carne vermelha e eficaz para prevenir ou retardar a deterioração microbiana de carnes frescas e aves de capoeira.

No entanto, o tratamento por irradiação não é eficaz para impedir mudanças nas carnes, que prejudicam a aceitação pelo consumidor, como a oxidação dos pigmentos, que produz descolorações cinza a castanho; e, oxidação da gordura da carne causando mau sabor, devido ao oxigénio atmosférico.

Tabela 6 : Efeito das doses de irradiação em alimentos de origem animal

Dose de irradiação	Efeito
Até 2,5 kGy	• Controlo de microrganismos, como: ○ <i>Salmonella</i>; ○ <i>Escherichia coli</i>; ○ <i>Listeria monocytogenes</i>; ○ <i>Staphylococcus aureus</i>.
Acima de 2,5 kGy	• Alteração do sabor, odor e cor da carne.
0,25 a 10 kGy	• Aumento da vida de prateleira; • Rancificação acelerada, em condições aeróbias; • Odor e sabor a gordura, durante armazenamento.

CARNE DE AVES

Com uma dose baixa de irradiação, não são destruídos todos os microrganismos. Os sobreviventes, tais como: *Moraxella*, *Acinobacter*, *Lactobacillus* e *Streptococcus*, podem causar deterioração.

Mulder determinou que: doses abaixo de 0,5 kGy induzem odor de radiação; doses de 2,5 kGy induzem mudanças de sabor, que podem ser removidas num posterior cozimento; doses máximas de 2,5 a 5,0 kGy prolongam a vida de prateleira a temperaturas muito altas durante 6 a 14 dias sem alterar a qualidade organoléptica insignificante.

Patterson estudou a sensibilidade da irradiação no ar, dióxido de carbono, no vácuo e nitrogénio em 7 espécies de bactérias inoculadas em carne de aves estéril. Verificou que *Streptococcus faecalis* e *Streptococcus aureus* não são sensíveis à atmosfera; a *Pseudomonas putida*, a *Salmonella typhimurium*, a *Escherichia coli*, a



Moraxella phenylpyruvica e *Lactobacillus* são mas sensíveis noutras atmosferas do que no ar. Patterson concluiu que a irradiação é mais letal em atmosfera de dióxido de carbono e que as bactérias são mais resistentes à irradiação na atmosfera com nitrogénio que a atmosfera de dióxido de carbono e ar condicionado.

Tabela 7 : Efeitos da irradiação em carne de aves

Doses de irradiação	Efeitos
• 0,27 kGy a 5°C • 0,42 a -5°C	• Diminuição de cerca de 90% de células de <i>Escherichia coli</i>
1,50 kGy	• Eliminação de <i>Staphylococcus aureus</i> em frango irradiado no vácuo a 0°C e mantida a 35°C por 20 horas
2,0-2,5 kGy	• Eficaz no controlo de <i>Listeria</i>
2,5 a 5,0 kGy	• Eliminação da <i>Serratia marcescens</i>

CARNE DE CARNEIRO

Se os pedaços de carne e a carne picada estiverem armazenados a 0-3°C durante 1 semana não irradiadas, encontram-se estragados.

Tabela 8: Efeitos de doses de irradiação em carne de carneiro

Doses de irradiação	Efeito
1,0 a 2,5 kGy	- pedaços de carne irradiada aceitável por 3 a 5 semanas; - carne picada aceitável por 2 a 4 semanas.
2,4 kGy	- crescem bactérias gram-negativas e <i>Brocothrix thermosphacta</i> em carcaça de cordeiro, a 50°C; - efeitos adversos sobre atributos sensoriais.
4,0 kGy	impede crescimento de bactérias, durante a 8 semanas a 0-1°C.

CARNE DE BOVINO

Pseudomonas, *Enterobacteriaceae* e *Brocothrix thermosphacta* fortemente são inibidos em amostras de carne de bovino irradiadas, não alterando as propriedades sensoriais.

Rodriguez e al. estudou o efeito da irradiação em dose 2 kGy para carne embalada em vácuo e verificou que foram encontrados 107 UFC's/cm² de psicotróficos quando as amostras são armazenadas durante 8 a 11 dias e que não foram observados psicotróficos em amostras armazenadas durante 28 dias.

Concluiu que para doses de 1 a 5 kGy, a vida útil de carne embalada em vácuo é ampliada.

Grant e al. estudou o efeito da irradiação em doses de 2 kGy sobre o crescimento e produção de toxinas de *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus* em carne assada.

Concluiu que esta dose de irradiação diminui o número de patogénicos e adia a produção de toxinas.



Snyder determinou que altas temperaturas, seguidas de irradiação sobre a carcaça de envelhecimento poderá reduzir o número de microrganismos.

Lee e al. determinou que a irradiação em conjunto com MPA contendo 25% de dióxido de carbono e 75% de nitrogénio faz com que haja rápido envelhecimento de carne de bovino armazenada a 30°C por 2 dias.

Carnes irradiadas imediatamente refrigeradas após envelhecimento são mais tenras e não há crescimento excessivo de bactérias, sendo mais eficiente do que altas temperaturas seguidas de irradiação sobre carcaças de envelhecimento.

Sommers, determinou que:

1. A irradiação inactiva bactérias patogénicas (*Escherichia coli*, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*) em carne picada;
2. A irradiação não torna alimento radioactivo;
3. A irradiação não altera aroma, sabor, tenrura da carne picada, quando utilizada adequadamente;
4. Não há risco de cancro quando há consumo de carne irradiada a longo prazo;
5. Carne picada irradiada é nutritiva e saudável;
6. Irradiação eficaz para melhorar segurança microbiológica de carne picada.

CARNE DE PORCO

Sivinski e Switzer determinaram que dose de irradiação baixa (entre 0,30 e 1,0 kGy) inactiva parasita *Trichinella spiralis* em carne de porco e que dose de 1,0 kGy em carne de porco embalada em vácuo armazenada até 21 dias a 4 °C diminui o número de mesófilos, psicotróficos e estafilococos durante armazenamento da carne.

Striploins estudou a carne de porco embalada em vácuo (pH 6,2 a 6,6) e determinou que:

Dose de 0,57 kGy – predominam *Staphylococcus*, *Micrococcus* e espécies de leveduras;



Dose até 1,0 kGy – significativas mudanças de cor (organolépticas, odor e sabor);

Dose 1,0 kGy – eficaz para prolongar a vida de armazenamento e produção de ligeiras alterações na cor e odor;

Dose 2,5 kGy – resultante odor que torna a carne inaceitável;

Dose 2,5 a 4,3 kGy – redução do número de bactérias viáveis presentes.

Mitchell determinou que dose 0,5 a 1,75 kGy prolonga vida de prateleira, se produto é armazenado a 5°C.

A irradiação na presença de oxigénio tem efeito negativo sobre as características químicas e sensoriais tornando o produto rejeitável.

CARNES PROCESSADAS

A quantidade de nitritos e a formação de nitrosaminas em carnes curadas são reduzidas pela irradiação.

Nível de nitritos em bacon irradiado é reduzido de 120-150 para 20-40 mg/Kg, sem perda de qualidade organoléptica.

Tabela 9: Efeitos de doses de irradiação em carnes processadas

Doses de irradiação	Efeito
1,0 a 2,0 kGy	inactivação de <i>Enterobacteriaceae</i>.
2,0 kGy	pequenas alterações de sabor e aroma se produto armazenado até 5 a 7 dias



Bactérias de ácido láctico são a espécie dominante durante o armazenamento, sendo mais resistente à radiação.

Combinação de redução de pH e radiação impede crescimento de Enterobactérias (incubação a 10°C).

Murano e al. estudou as características organolépticas de rissóis de carne irradiados a 2,0 kGy e armazenados sobre refrigerados e verificou que, passado 1 dia, a carne de rissóis irradiados é mais succulenta e macia que os não irradiados e que, passados 7 dias, não se verificaram alterações.

PESCADOS E PRODUTOS PESCADOS

Sigh e Nickerson mencionaram que o controlo de organismos patogénicos e a extensão da vida útil do pescado fresco poderia ser alcançada com doses relativamente baixas de irradiação. No entanto, *Clostridium botulinum* presentes no peixe permanecem inalterados pelas doses de baixas irradiações.

A vida útil de um determinado produto depende das condições de irradiação e armazenamento variando de espécie para espécie. Assim como dentro de cada produto os níveis de irradiação dependem do tipo de microrganismos que queremos eliminar (Tabela 1).

Tabela 10: níveis de irradiação estimados para eliminar organismos patogénicos nos peixe seco

Organismo patogénico	Dose de irradiação (kGy)
Insectos e larvas (humidade 20%)	0,3
Insectos e larvas (humidade 20-40%)	0,5
Bolores	3-5
Bactérias	2,5



Foram estudados os efeitos da irradiação e posterior armazenamento em carapau espanhol até 20 dias a 2°C. Descobriram que a formação de azoto básico volátil total foi menor em peixes irradiados que em peixes não irradiados e o valor de alguns ácidos gordos diminui após a irradiação enquanto outros aumentaram.

Também foi estudado o efeito de baixas doses de irradiação (2kGy ou menos) na redução de patogénicos e deteriorantes e sobre a qualidade sensorial dos produtos de caranguejo através de 14 dias de armazenamento de gelo. Observou-se que a irradiação de facto reduz bactérias de deterioração, que prolonga a vida útil por mais três dias. Para além disso, o odor e sabor mantêm-se em produtos irradiados enquanto que odores e sabores indesejáveis nos produtos armazenados 14 dias no gelo desenvolve-se mais rapidamente.

Em geral, a aceitabilidade de amostras irradiadas foi superior em relação a amostras com controlo a 14 dias de armazenamento em gelo.



PRINCIPAIS PROBLEMAS DA IRRADIAÇÃO

A implementação de uma tecnologia bem sucedida depende da disponibilidade de uma infra-estrutura adequada.

A Irradiação tem altos custos de capital e cima das doses limiar provoca alterações organoléticas e odores desagradáveis. No entanto tem baixo custo operacional, exige baixo consumo de energia, elimina todos os microrganismos e suas toxinas, prolonga a vida útil do alimento e não se verifica perdas significativas de nutrientes.

O sucesso do tratamento depende da dose de irradiação, o grau de maturidade fisiológica, o estado do produto, a temperatura atmosférica durante e após o tratamento e a susceptibilidade dos microrganismos a serem controlados.

Os materiais de embalagens utilizados durante a irradiação não devam fazer com que substâncias indesejáveis migrem para os alimentos (tabela 2). A irradiação pode afectar diferentes materiais de embalagens de maneiras diferentes, logo a forma e material do recipiente é também muito importante neste tipo de tratamento. A forma cúbica do recipiente é mais satisfatória para a distribuição total da dose ideal de irradiação.

Tabela 11: os materiais de embalagens aprovados pelo FDA para uso durante a irradiação

Tipo de material	Dose máxima de irradiação (kGy)
Papel (kraft)	0,5
Papel (glassine)	10
Cartão (cera)	10



Cellophane (revestido)	10
Filme de poliestireno	10
Borracha filme HCL	10
Nylon-6	10
Papel vegetal	60
Polietileno tereftalato	60
Copolímeros de estireno	60



ASPECTOS LEGAIS E QUESTÕES DE SEGURANÇA

Um grupo de FAO/ IAEA/ WHO Expert Committee on food irradiation (IJEFCI) concluíram que a irradiação de um alimento até uma dose total média de 10 kGy não causa riscos toxicológicos e não introduz especiais problemas nutricionais ou microbiológicos.

Em 1993, o conselho da Associação Médica Americana em ciência aprovou a irradiação de alimentos como uma ferramenta segura e eficaz para aumentar a segurança alimentar e reduzir a incidência de doenças transmitidas por alimentos, uma opinião expressa anteriormente pelo departamento de Agricultura dos E.U.

A irradiação de alimentos de produtos agrícolas é permitida em cerca 40 países e aproximadamente 60 instalações de irradiação comercial operam nos Estados Unidos.

Este método não deve ser uma desculpa para a falta de higiene e não é usado para reduzir níveis inaceitavelmente altos de contaminação microbiológica.



ATITUDE DOS CONSUMIDORES

A aplicação e eficácia de custo de irradiação como método de controlo de patogénicos de origem alimentar depende da atitude do consumidor, acções reguladoras, economia e logística associada a diferentes situações.

Existem razões para a comercialização lenta de irradiação de alimentos, tais como: a hesitação da indústria, o tempo de processo de aprovação demorado e insuficiente educação. No entanto o que determinara o futuro da irradiação de alimentos é o desenvolvimento de um método de detecção simples e confortável, a harmonização da legislação, o compromisso da indústria alimentar e as atitudes do consumidor.

Os consumidores ainda não estão bem informados sobre alimentos irradiados. Eles precisam de informações precisas sobre segurança, benefícios e limitações deste processo para aumentar a aceitação de alimentos irradiados.



CONCLUSÃO

A “**irradiação**” dos alimentos é um processo de conservação de alimentos que apresenta vantagens e limitações como qualquer outro processo, pelo que não é tão excelente como alguns pensam, nem tão terrível como indicam outros.

Destacam-se entre as vantagens da irradiação, por exemplo: o facto de reduzir potencialmente o contacto de muitos alimentos com produtos químicos utilizados para prevenir o desenvolvimento de microrganismos; e, o facto de o tratamento se poder aplicar após o embalamento, quer em pacotes pequenos ou a granel, em estado congelado ou à temperatura ambiente, impedindo a contaminação.

No entanto, a irradiação pode também ser prejudicial para os alimentos. Isto observa-se quando a irradiação afecta as distintas formas dos alimentos, rompendo as moléculas largas, tais como a celulose e hidratos de carbono curtos. A celulose, como é o principal constituinte das paredes celulares das plantas, ao ser rompida, algumas frutas e legumes tornam-se moles e perdem a sua textura característica quando são irradiadas.

Para além disso, a irradiação das gorduras cria radicais livres que oxidam as gorduras, levando à sua rancidez e à degradação dos alimentos.

No mercado dos alimentos, o número de produtos irradiados é muito pequeno, inclusive nos países em que este processo de conservação é permitido. Os aspectos de regulamento e segurança do processo de irradiação, factores de equipamento e custos e a necessária aceitação do consumidor contribuem para a duvidosa comercialização dos alimentos irradiados.



BIBLIOGRAFIA

- CASP, A.; ABRIL, J. – **Procesos de Conservación de Alimentos**. 13ª Edição. Ediciones Mundi-Prensa, 1998. ISBN 84-7114-810-2
- RAHMAN, Mohammad Shafiur - **Handbook of Food Preservation**. 2ª Edição.