

Radioatividade e Irradiação de Alimentos

Radioactivity and Food Irradiation

Renata Ribeiro Couto

Engenheira Graduanda em Física

Departamento de Eletrônica Quântica – IF

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, RJ

engenheira_renata@hotmail.com

Arnaldo José Santiago

Departamento de Eletrônica Quântica – IF

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, RJ

ajsant@uerj.br

Resumo: O descobrimento e o desenvolvimento de técnicas utilizando a tecnologia com material radioativo proporcionou benefícios a diversos segmentos da sociedade. Dentre eles, o setor de alimentos que, por meio desses, não só conseguiu abrandar, mas também evitar uma série de ocorrências hospitalares, ao mesmo tempo que obteve aumento da lucratividade nos produtos perecíveis por meio do uso de feixes radioativos. A irradiação pode contribuir muito para minimizar a ação de microorganismos, que diminuem a vida útil dos alimentos, bem como em processos de esterilização. Desmistificar a teoria e dar informações cientificamente embasadas à população, que tem receio da utilização dessas técnicas, é função dos que trabalham na área. Nesse sentido, o professor de ensino médio, se bem informado, pode contribuir com a popularização das tecnologias nucleares.

Palavras-chave: irradiação de alimentos; irradiação; radiação; radioatividade.

Abstract: The discovery and development of techniques by using the technology with radioactive material, provided several benefits to many segments of society. Among them, the food sector that not only slow down but was able to avoid hospital

Recebido em 15/09/2010 - Aceito em 18/11/2010.

RECEN Guarapuava, Paraná v. 12 n° 2 p. 193-215 jul/dez 2010

contingencies, and, at the same time, increased its profitability in perishable products by making use of radioactive beams. Irradiation is useful to minimize the action of microorganisms, which reduce the shelf life of foods, as well as in sterilization processes. Demystifying the theory and furnishing evidence-based information to the people who are afraid of using these techniques is one of the researcher's function. Accordingly, high school teacher, if well informed, can contribute to the popularization of nuclear technologies.

Key words: food irradiation; irradiation; radiation; radioactivity.

1 Introdução

A crescente preocupação com a preservação da saúde, motivada, quer pelo humanismo quer pelo fator econômico, tem levado a se buscar uma diminuição dos riscos de contaminação, uma melhora na eficiência dos tratamentos e a redução do tempo e custos de internação, bem como uma dieta livre de agentes patológicos presentes na superfície ou no interior dos alimentos devido a sua má higienização, ou pelo seu processo natural de decomposição. Essas preocupações têm como finalidade, impedir doenças de origem alimentar e, também, de minimizar problemas relacionados com os tempos de armazenamento [1].

Grande parte do alimento disponível mundialmente para o consumo, é produzida em países de clima quente, e sob deficientes condições higiênicas. As condições em que se encontram, na colheita, e o seu posterior processamento determinam, não só a sua capacidade de conservação, mas também a carga microbiana que possuem. Nesse cenário, a irradiação de alimentos pode ser a melhor solução, se se procura a conservação e a descontaminação microbiana dos alimentos.

No decorrer dos séculos, as técnicas de preservação de alimentos foram se desenvolvendo com o aumento do conhecimento científico. O número de produtos sendo processados por irradiação no mundo inteiro está constantemente aumentando e, desde a década de 90, já inclui diversos itens, como despojos médicos, frutas e vegetais, carnes, frutos do mar e especiarias [2].

A irradiação comercial de alimentos está autorizada no Brasil desde 1973 e, agora,

não há restrição dos alimentos que podem ser irradiados. Entretanto, a detecção do tratamento, i.e., a possibilidade de se identificar um alimento que foi irradiado, e as investigações das mudanças induzidas no alimento devido à irradiação são de extrema importância no controle da segurança dos produtos alimentícios, e constituem campo de intensa e atual pesquisa.

Hoje em dia, a irradiação promete melhorar a habilidade de conservar os alimentos e, ao mesmo tempo, controlar a incidência de algumas doenças. Um fator que influencia o ritmo de crescimento da irradiação de alimentos é a compreensão e aceitação do processo pelo público, que ainda é dificultada em virtude dos frequentes mal-entendidos e temores existentes a respeito das tecnologias relacionadas à energia nuclear e ao uso das radiações [3]. Neste sentido, trabalhos como este são importantes para o público em geral e, em especial, para professores não especialistas, para que possam, em sala de aula, levar informações confiáveis a seus alunos, acerca dos cuidados necessários e dos principais benefícios advindos das tecnologias nucleares. Este trabalho está focado no problema da irradiação de alimentos, mas existem centenas de outras aplicações das tecnologias nucleares, como por exemplo, a geração de energia [4] e as aplicações em medicina [5], para as quais, estudos semelhantes poderiam ser desenvolvidos.

Acredita-se então que, somente a informação cientificamente embasada, pode realmente contribuir, de forma satisfatória, para a popularização e a disseminação dos avanços tecnológicos na área nuclear, motivo pelo qual propõe-se a realização deste trabalho, e apresenta-se um estudo atualizado sobre a importante tecnologia de irradiação de alimentos, produzindo material informativo para o público em geral.

2 Radioatividade

A idéia da utilização da radiação ionizante na preservação de alimentos veio muito depois da descoberta dos raios X por Röntgen e da radioatividade por Becquerel em, aproximadamente, 1895. Radiação ionizante é aquela que ioniza o meio por onde ela passa. Henri Becquerel realizou diversos estudos e verificou que sais de urânio emitiam radiação semelhante à dos raios X, impressionando chapas fotográficas. Já o entendimento do fenômeno se deve a pesquisas conduzidas pelo casal Pierre

e Marie Curie, a partir de 1898. Esse experimento incentivou Curie a determinar, numericamente, a energia liberada pelo elemento rádio, tendo ela encontrado cerca de 140 calorias por grama a cada hora. Foi ela também que criou o termo radioatividade.

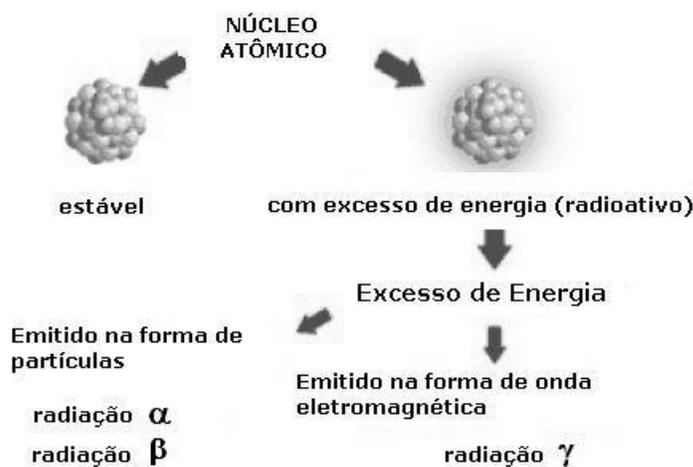


Figura 1. Ilustração da radioatividade

Denomina-se radioatividade a capacidade que certos núcleos atômicos possuem, de emitir radiação, i.e., partículas e/ou fótons para reduzir sua energia, tal como ilustrado na figura 1. Assim, essas partículas ou energias são chamadas radiação, enquanto que o direcionamento destas partículas emitidas sobre um alvo (alimento, células cancerígenas, etc. . .) é chamado irradiação. A unidade do sistema internacional de unidades (S.I.) de atividade radioativa é o Becquerel (Bq) e equivale a 1 desintegração/segundo. A unidade Curie (Ci), que corresponde a $3,7 \times 10^{10}$ desintegrações por segundo, não é do sistema internacional, mas também é largamente empregada.

O nome desta unidade foi originalmente atribuído, em homenagem a Pierre Curie, pelo Congresso de Radiologia de 1910. Cada elemento radioativo, seja natural ou obtido artificialmente, transmuta-se (se desintegra ou decai) num intervalo de tempo que lhe é característico. Para se acompanhar a duração (ou a “vida”) de um elemento radioativo, é preciso estabelecer uma forma de comparação. Este tempo, por convenção, é tomado como o tempo que leva para um elemento radioativo ter sua atividade

reduzida à metade da atividade inicial, e foi denominado meia-vida ($T_{1/2}$) do elemento. Isso significa que, para cada meia-vida que passa, a atividade radioativa vai sendo reduzida à metade da anterior, até atingir um valor que não permite mais distinguir suas radiações daquelas provenientes do meio ambiente. A este processo, dá-se o nome de decaimento radioativo nuclear, ou simplesmente decaimento nuclear.

O decaimento nuclear obedece a uma lei simples que é chamada de lei do decaimento radioativo. Esta lei fornece a previsão do número de núcleos de uma dada amostra radioativa, que ainda não decaíram, dentro de um intervalo de tempo [6]. Por exemplo, seja $N(t)$ o número de núcleos de uma amostra radioativa, os quais ainda não decaíram, ou seja, ainda estão excitados, num certo instante t . Temos, então, que o número de núcleos que decaem no intervalo de tempo entre t e $t + \Delta t$, deve ser proporcional a N e a Δt , o que se escreve como $-\Delta N = \lambda N \Delta t$. A constante de proporcionalidade λ é uma constante que equivale à probabilidade de decaimento por unidade de tempo. O sinal negativo $-\Delta N$ indica a diminuição de núcleos em relação ao número N da amostra inicial. Esta equação diz que se contarmos o número N em vários instantes de tempo e traçarmos um gráfico, o resultado seria o apresentado na figura 2.

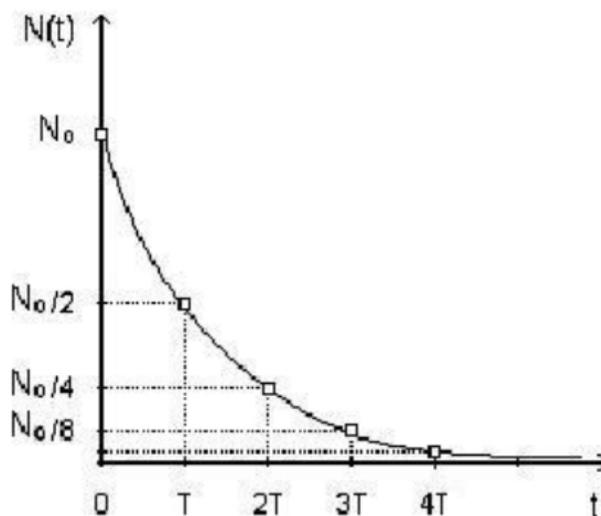


Figura 2. Número N de núcleos que ainda não decaíram em função do tempo t

Na figura 2, podemos observar que N cai exponencialmente com t o que, na forma de equação, fica:

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (1)$$

onde $N_0 = N(t = 0)$.

Como ilustração, de uma forma simples de se “falar” para o público, em geral, os conceitos acima e, em particular, o de meia-vida, apresentamos o seguinte exemplo adaptado de [7]. Uma família, dispõe de 4 kg de açúcar para seu consumo normal. A função do açúcar é adoçar o café, sucos, bolos e doces. Adoçar é a atividade do açúcar, assim como a emissão de radiação é a atividade dos elementos radioativos. Para evitar a obesidade, fez-se um racionamento, da seguinte forma.

- Na primeira semana, foram consumidos 2 kg, metade da quantidade inicial, e com esta quantidade fizeram-se bolos, pudim, refrescos, sucos, além de adoçar o café da manhã.
- Na segunda semana, foram consumidos 1 kg, metade da quantidade anterior, e 1/4 da inicial. Nesta semana, deixou-se de fazer os bolos.
- Na terceira semana, só foi possível adoçar os refrescos, sucos e café, com os 500 g, então existentes.

Procedendo da mesma forma, na décima semana, restaram cerca de 4 g de açúcar, que não dariam para adoçar um cafezinho. Essa quantidade de açúcar não faria mais o efeito de adoçar e nem seria percebida. De maneira análoga, a amostra radioativa, após um certo período, emite a uma taxa tão baixa que é comparável à radioatividade ambiente não sendo, neste caso, percebida. No exemplo citado, a meia-vida do açúcar é de uma semana e, decorridas 10 semanas, praticamente não haveria mais açúcar, ou melhor, a atividade adoçante do açúcar não seria notada. No entanto, se, ao invés de 4 kg, a família tivesse partido inicialmente de 200 kg, após 10 meias-vidas, ainda restaria uma quantidade considerável de açúcar. Desta forma, pode-se notar que a quantidade de meias vidas necessárias para que uma amostra radioativa atinja

o nível de segurança ambiental, dependerá da atividade inicial da amostra. Ainda, se o racionamento fosse de sal, partindo-se da mesma quantidade inicial que o açúcar, a meia-vida do sal seria maior, porque a quantidade de sal que se usa na cozinha é muito menor do que a de açúcar. De fato, leva-se muito mais tempo para gastar 4 kg de sal do que 4 kg de açúcar, para uma mesma quantidade de pessoas. A simulação do “decaimento” do açúcar é bastante simples, podendo ser realizada em Fortran (linguagem de programação), Excel (software, aplicativo do sistema Windows, para cálculos matemáticos e estatísticos) ou usando-se uma calculadora de bolso. Na figura 3, está ilustrado este decaimento.

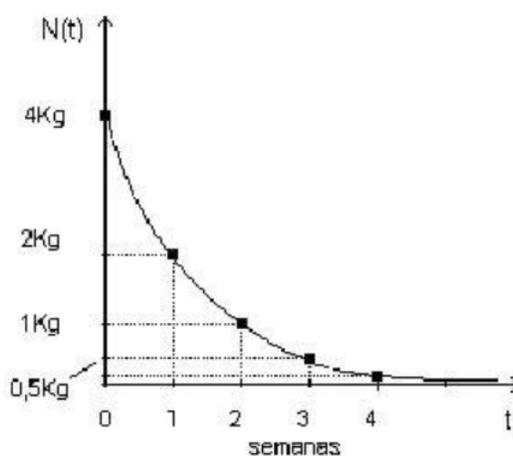


Figura 3. Estoque de açúcar no instante t

3 Irradiação de alimentos

No Brasil, as primeiras pesquisas com irradiação de alimentos foram feitas na década de 50, pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), em Piracicaba (SP). Em junho de 1965, em uma audiência do comitê de energia atômica, foi estabelecido que todos os alimentos irradiados com doses até 5,6 Mrad (56 kGy), usando fonte de cobalto-60 ou elétrons com energias de até 10 MeV (milhões de eletrôn-volts) eram seguros e adequados nutricionalmente para o consumo. Tal conclusão se baseou em uma série de estudos, nos quais cada possibilidade de dano foi considerada com

cuidado, mas nenhum dano foi encontrado [1, 3].

Os alimentos irradiados foram aprovados pelas autoridades de saúde em 40 países, entre eles o Brasil. Mesmo com a permissão, em 1985, do uso da irradiação para conservação de alimentos, os processos se restringiram quase que exclusivamente às instituições de pesquisas, uma vez que o país contava com um número restrito de especialistas[8].

Desde 1986, a unidade de dose absorvida, no Sistema Internacional, é o Gray (Gy), que representa a quantidade de radiação correspondente à absorção de 1 Joule de energia por quilograma. O Gray substitui a unidade anterior, o rad (radiation absorbed dose), que correspondia à absorção de 1 erg de energia por grama de material.

Existe regulamentação sobre irradiação de alimentos desde 1973, e portarias complementares foram editadas em 1985 e 1989. A Portaria nº 09, de 08 de março de 1985, determinou as normas gerais sobre irradiação de alimentos. Ela prevê o limite superior de irradiação de 10 kGy, e a lista dos produtos aprovados para irradiação e suas respectivas doses[9]. Atualmente, todas as normas para o emprego desta tecnologia estão descritas na Resolução nº 21 de 26 de janeiro de 2001, aprovada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que não restringe quais alimentos podem ser irradiados desde que a dose máxima absorvida seja inferior àquela que comprometa as qualidades funcionais e sensoriais do alimento, e que a dose mínima seja suficiente para alcançar o objetivo pretendido[10]. Também, por intermédio da Resolução RDC 21, ficou estabelecido que todo produto tratado por energia ionizante deve ser rotulado, e em seu rótulo deve constar a frase: “alimento tratado por processo de irradiação” [11].

A ANVISA, seguindo o Codex Alimentarium [12], deixa como opcional a inclusão do símbolo internacional do uso da radiação ionizante, a radura, que está ilustrado na figura 4. Contudo, o FDA (Food and Drug Administration) americano, desde 1986, tornou compulsório o uso da radura (juntamente com o texto escrito) nos alimentos irradiados que são comercializados nos EUA.

Esta rotulagem é exigida por lei, para informar aos consumidores que eles estão comprando um alimento que foi processado por irradiação. O aviso é necessário porque a radiação não deixa nenhum vestígio aparente indicando que o alimento foi

processado. O consumidor, em geral, não pode detectar se um alimento foi irradiado, quer seja pela aparência, cheiro ou pelo toque. Isto contrasta com outras técnicas de processamento, tais como cozinhar, enlatar ou congelar, processos em que se percebe o tratamento.



Figura 4. Radura: símbolo utilizado em produtos irradiados

Os alimentos irradiados servidos em estabelecimentos tais como restaurantes, não necessitam de nenhum rótulo ou declaração no cardápio, pois o alimento oferecido, obviamente terá sido re-processado. A rotulagem, também não se faz necessária no caso de ingredientes irradiados que entram em um composto alimentar em pequena proporção, como é o caso de temperos e especiarias. Neste caso, apesar da dispensa de rotulagem para o produto final, se substância irradiada é utilizada como ingrediente, essa circunstância deve ser declarada na lista de ingredientes, entre parênteses, após o nome do mesmo.

3.1 Radiações ionizantes

Radiações ionizantes são aquelas que possuem energia suficiente para ionizar átomos ou moléculas que, então, pelo processo de ionização se tornaram íons positivos, se perderam um ou mais elétrons, ou tornaram-se íons negativos, se capturaram um ou mais elétrons[13, 14].

O tratamento de alimentos com radiação ionizante (raios X, raios gama e elétrons

acelerados) não é estudo recente. De fato, carnes, peixes e vegetais têm sido preservados utilizando-se a energia solar, há séculos. Mais tarde foram utilizadas irradiações por infravermelho e as microondas como energias possíveis para o processamento de alimentos [15]. A irradiação de alimentos é um tratamento físico que consiste na exposição dos alimentos, já embalados ou a granel, a uma fonte de radiação ionizante, durante o tempo necessário para se obter as alterações desejáveis, tais como a inibição de brotamentos, retardo na maturação, redução da carga microbiana, eliminação de micro-organismos patogênicos, esterilização, desinfecção de grãos, cereais, frutas e especiarias. Este tipo de tratamento foi autorizado, em muitos países, depois de testes toxicológicos e nutricionais que confirmaram a segurança de alimentos irradiados com doses de até 10 kGy [16] e por possuírem benefícios que incluem: melhora na higiene do alimento, redução de desperdícios e extensão da vida de prateleira [17]. Este processo elimina micróbios causadores de doenças por meio das mudanças microbiológicas associadas à irradiação. A irradiação de frutas e vegetais é usada por tratamento de quarentena que tem a vantagem de excluir pesticidas e insetos. Um número sempre crescente de países tem aprovado a irradiação de uma longa e também crescente lista de diferentes tipos de alimentos, alcançando desde especiarias e grãos até frutas, vegetais, carnes, frangos e mariscos.

A interação das radiações ionizantes com a matéria é um processo que se passa em nível atômico. Ao atravessarem um material, estas radiações transferem energia para as partículas que se encontram em sua trajetória. Esta energia transferida é denominada dose absorvida e é definida como a quantidade de energia cedida à matéria pelos fótons ou partículas ionizantes. Na tabela 1, apresentamos um resumo da dose máxima permitida para cada alimento e o principal objetivo a ser atingido com a irradiação.

É interessante observar que o processo de irradiação é realizado a frio, o que o torna viável e vantajoso, principalmente para materiais termossensíveis. Além disso, a alta confiabilidade do processo, o fácil monitoramento (uma vez que a única variável a ser controlada é o tempo), a possibilidade de validação de processo segundo normas internacionais ISO 11137 e EN 552, e o fato de não haver resíduos (não necessita de quarentena), são fatores importantes do ponto de vista da competitividade. A radiação

penetra em qualquer tipo de material, não há manuseio dos produtos no processo, o volume de produto não interfere no processo e ainda não há necessidade de testes microbiológicos pós-esterilização. Estes fatores têm contribuído positivamente para a difusão da tecnologia de irradiação. No Brasil já existem empresas que possuem irradiador próprio para esterilizar seus produtos, como a Jhonson & Jhonson, e outras que prestam serviços, como a Empresa Brasileira de Radiação - Embrarad.

Tabela 1. Alguns produtos autorizados para tratamentos por irradiação no Brasil e doses máximas permitidas em kGy [18].

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

3.2 Fontes de irradiação

De acordo com o padrão geral para alimentos irradiados [19], as fontes de radiação ionizante, previstas para o processamento de alimentos, são limitadas aos fótons de energia mais elevada, provenientes de isótopos radioativos emissores de radiação gama (como o cobalto-60 e céσιο-137), os raios X com energias de até 5 MeV ou elétrons acelerados com energias de até 10 MeV [20].

A fonte mais utilizada para a irradiação de alimentos por raios gama é o cobalto-60. Ele é produzido pelo bombardeamento, com nêutrons, do metal cobalto-59 em um reator nuclear. O céσιο-137 é outro que emite raios gama adequados para o trata-

mento industrial de materiais. Ele pode ser obtido por meio do re-processamento de elementos combustíveis queimados. Pelo fato de não existirem muitas instalações de re-processamento no mundo e de possuir rápida solubilidade, existe uma incerteza na oferta de quantidades comerciais deste rádio-nuclídeo para o mercado, o que justifica a sua pequena escala de utilização em instalações de irradiação. Segundo Esteves [1], os principais critérios de seleção dos rádio-nuclídeos utilizados como fontes de radiação gama são: as suas características físicas, as características da radiação emitida, disponibilidade, segurança e preço. Por outro lado, raios X de energias variadas são obtidos a partir da emissão de elétrons de um dispositivo que os acelera por uma diferença de potencial. Estes elétrons são então, freados bruscamente por meio de um anteparo, chamado alvo. Quando os elétrons são freados bruscamente, os raios X são emitidos. Isto é realizado por exemplo, no Laboratório Nacional de Luz Síncrotron – LNLS, em Campinas, SP.

3.3 Classificação das irradiações

A irradiação de alimentos pode ser subdividida em três categorias, classificadas pela quantidade de radiação aplicada. Originalmente, em 1964, as subdivisões propostas foram: Radurização, Radiciação e Radapertização, mas os limites de dose não são bem estabelecidos. Na verdade, segundo Molins [21], esta classificação caiu em desuso e encontra-se obsoleta, sendo mais conveniente citar-se a dose e o objetivo da irradiação. Apesar disto, pelo fato de alguns autores se referirem a estes termos, e por completeza, vamos reproduzi-las abaixo, lembrando ao leitor que os limites de dose para esta classificação variam de autor para autor, e portanto, ela é apenas esquemática.

A radurização é um processo pelo qual o alimento é submetido a doses baixas de radiação (<1 kGy). Suas principais aplicações são: - Inibir brotamentos e retardar o processo de amadurecimento e deterioração em frutas e hortaliças, além de agir contra insetos. As figuras 5, 6 e 7 ilustram os efeitos da radurização em oposição ao respectivo controle.

Radiciação é o tratamento do alimento com uma dose média de radiação (1kGy-

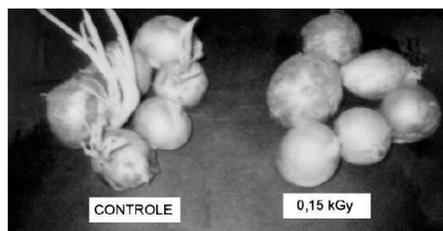


Figura 5. Inibição de brotamento na cebola

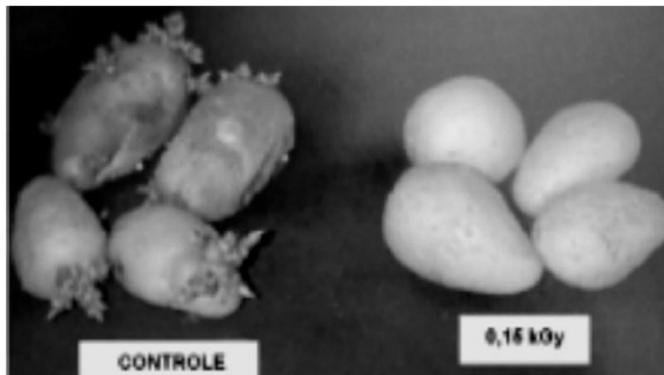


Figura 6. Inibição de brotamento na batata

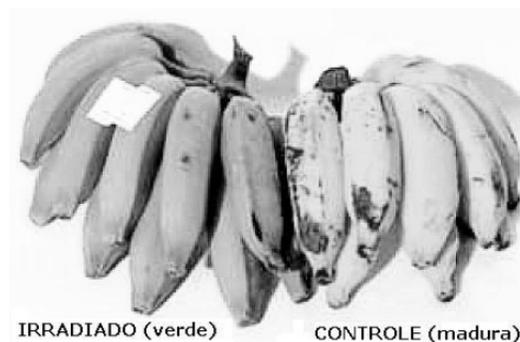


Figura 7. Retardamento do processo de amadurecimento da banana

10kGy) suficiente para que ocorra a redução de bactérias e fungos presentes na superfície ou no interior dos alimentos. Por ocorrer uma redução apenas parcial dos microorganismos, os produtos radiados ainda precisam ser mantidos sob refrigeração. A figura 8 ilustra este processo.

O terceiro processo, a radapertização, produz um efeito semelhante ao da esterilização. Consiste na aplicação de uma dose mais alta de radiação (10kGy – 45 kGy)



Figura 8. Carne que recebeu uma dose média de radiação - radiciação

que permite a eliminação de populações de microrganismos que promovem estragos nos alimentos.

Esse processo é utilizado na conservação de carnes, dietas e outros produtos. A irradiação deve ser feita na embalagem final e o alimento tem de estar pronto para o consumo. O alimento, com este tratamento, não tem prazo de validade, mesmo em temperatura ambiente, desde que a embalagem seja mantida intacta (Figura 9).



Figura 9. Produtos como filés de frango e de peito de peru produzidos pela NASA(USA) que foram irradiados - radapertização

3.4 Vantagens e desvantagens do uso da irradiação

Embora o processamento de radiação tenha sido primeiramente usado para a esterilização de dispositivos médicos, esta tecnologia também está sendo usada como uma medida de intervenção em saúde pública, para evitar casos de infecção hospitalar, devido aos microrganismos presentes nestes locais [22]. O tratamento do

alimento com radiação ionizante está sendo cada vez mais reconhecido como um meio de reduzir enfermidades e os custos médicos associados. Isto porque, através da irradiação, é possível a inativação de protozoários causadores de doenças em peixes, aves domésticas, mariscos e carne vermelha que acabam sendo transferidos para o homem [23, 24]. Outra vantagem do método é reduzir perdas pós-colheita de frutas, grãos e especiarias e estender sua “vida de prateleira”. Porém, da mesma forma que os outros métodos, este não pode inverter o processo de decomposição e fazer com que o alimento deteriorado se torne próprio para o consumo.

Portanto, através da irradiação de alimentos é possível:

- inibir o brotamento de raízes;
- retardar o amadurecimento de frutas e vegetais;
- reduzir microorganismos patogênicos;
- aumentar a vida de prateleira do alimento;
- suprir o abastecimento nos períodos de entressafra[25].

Por outro lado, a irradiação de alimentos pode causar algumas alterações nos mesmos, cujas principais são:

- a mudança de sabor em decorrência dos radicais livres;
- mudança de cor;
- por ação das radiações, tanto as proteínas, como o amido e a celulose podem ser quebrados ocasionando o amolecimento de carnes;
- pode haver perda de nutriente;
- as vitaminas C e as vitaminas K podem sofrer ação dos radicais livres produzidos e pode-se provocar a oxidação das gorduras do alimento, que dá um sabor de ranço aos produtos gordurosos.

3.5 Segurança e método de detecção

O processo de irradiação não pode aumentar o nível de radioatividade natural dos alimentos e deve impedir a multiplicação de microorganismos que causam a sua decomposição. A irradiação, em condições controladas, não faz com que os alimentos se tornem radioativos. Tudo em nosso ambiente contém quantidades típicas (cerca de 150 a 200 Bq) de radioatividade natural que são inevitáveis em nossa dieta diária. Mesmo se os alimentos fossem expostos a doses muito elevadas, o nível máximo de radioatividade induzida seria tão somente um milésimo de Bequerel por quilograma de alimento. Este valor é duzentos mil vezes menor que o nível de radioatividade natural existente nos alimentos[26], o que mostra que o consumo de alimento irradiado é absolutamente seguro no que diz respeito à radioatividade.

Todos os métodos de conservação de alimento, acarretam algum tipo de alteração química. O processo de irradiação, contudo, em geral, acarreta poucas alterações químicas nos alimentos, tais como a formação de radicais livres. Nenhuma das alterações conhecidas são nocivas ou perigosas. A inocuidade tem sido investigada exaustivamente, e não se tem encontrado nenhuma prova de que essas poucas alterações sejam nocivas ou apresentem qualquer risco para o consumo.

Por outro lado, a necessidade de métodos confiáveis e de rotina para determinar se o alimento foi irradiado ou não e, em caso afirmativo, qual foi a dose absorvida, surgiu como resultado das exigências do mercado consumidor, no correto cumprimento da lei e da rotulagem dos alimentos tratados. As disponibilidades de tais métodos contribuíram para fortalecer os regulamentos nacionais de irradiação de alimentos e aumentar a confiança do consumidor [27]. Segundo Bögl [28], o desenvolvimento de métodos de identificação de alimentos irradiados permite evitar a re-irradiação, controlar a dose absorvida, verificar o cumprimento dos níveis mínimos de exigência microbiológica, além de contribuir para o controle do mercado internacional de alimentos irradiados.

Desde meados dos anos 80, várias pesquisas resultaram no desenvolvimento de métodos que podem ser usados para detectar o alimento irradiado. Métodos como a termoluminescência, eletroforese de células isoladas em microgel ou ensaio do co-

meta [29], análise de espécies voláteis e espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (RPE) [28, 30], têm sido empregados satisfatoriamente na detecção de alimentos irradiados.

É importante enfatizar a diferença entre contaminação radioativa e irradiação [31]. A contaminação radioativa, caracteriza-se pela presença indesejável e acidental de material radiativo em determinado local, onde não deveria estar. Enquanto que, a irradiação é a exposição de um objeto ou corpo à radiação, o que pode ocorrer a alguma distância, sem necessidade de um contato direto com a fonte radioativa. A figura 10, adaptada da referência [32] procura ilustrar esta situação.

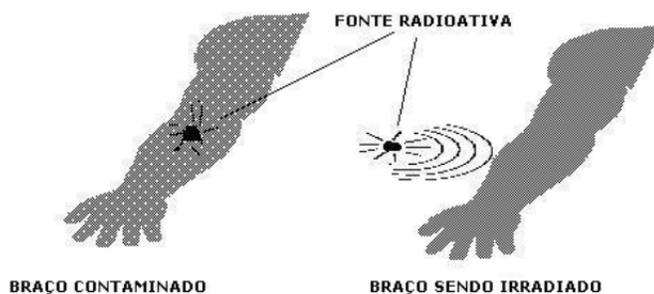


Figura 10. Ilustração de Contaminação e Irradiação

Pode-se observar que, no braço contaminado, está a fonte de radiação, e portanto, ele emite radiação, ao passo que, o braço que está sendo irradiado, apenas recebe a radiação, ele não está contaminado e não tem radioatividade. Irradiar, portanto, não significa contaminar. Desta forma, a irradiação ocorre quando o indivíduo ou objeto recebe dose de radiação, e enquanto permanece em um campo de radiação. A fonte de radiação é externa e, quando ele sai ou o objeto é retirado desse campo, a radiação cessa para ele. Quando, para o tratamento de um tumor, irradia-se um indivíduo, por exemplo, por uma bomba de cobalto, ele não fica radioativo. Da mesma maneira, alimentos irradiados e produtos esterilizados por radiação também não ficam radioativos.

Por outro lado, contaminar com material radioativo, implica a presença da fonte no local e, conseqüentemente, na irradiação do local, onde esse material estiver. Na contaminação, o material radioativo fica em contato com o indivíduo ou objeto. A

contaminação podendo ser externa, quando o material se deposita sobre a pele ou superfície, e passa a irradiar o indivíduo ou objeto; ou interna, quando o emissor entra no corpo via pulmão, boca, poros, ou no caso de objetos, por processos de fabricação, deposição, absorção. Nesse caso, enquanto houver material radioativo, ele estará irradiando, e o indivíduo/objeto sendo irradiado, até que a descontaminação ocorra. A descontaminação consiste em retirar o contaminante (material radiativo) da região onde se localizou. A partir do momento da remoção do contaminante, não há mais irradiação sobre o indivíduo ou objeto.

4 Discussão e conclusão

Além do preconceito generalizado e da terminologia confusa, tanto que, na França, inclusive, a irradiação é chamada de ionização, para não ser confundida com radioatividade, existem outros fatores que atrapalham a aceitação dos alimentos irradiados. Um deles é a ausência de informações sobre a tecnologia nuclear no ensino básico e médio, ou mesmo no superior. Nos cursos universitários em que se pressupõe certo conhecimento do assunto (como os que usam técnicas de raio-X, por exemplo), esses conceitos não são discutidos a fundo, e a diferenciação entre os termos técnicos não é enfatizada. A não aceitação por parte das pessoas decorre, entre outros fatores, da relação que se faz entre irradiação e radioatividade. A contaminação radioativa pressupõe o contato físico comum com a fonte radioativa, enquanto a irradiação é a energia emitida de uma fonte de radiação. Desta forma, os alimentos irradiados não se tornam radioativos, pois não contêm a fonte de radiação (apenas recebem a energia).

A radioatividade se caracteriza pela presença de um material que emite radiação em determinado local. A irradiação é a exposição de um objeto ou de um corpo à radiação. Portanto, pode haver irradiação sem existir contaminação, ou seja, sem contato direto entre a fonte radioativa e o objeto ou corpo irradiado. No entanto, havendo contaminação radioativa, isto é, presença de material radioativo, é claro que haverá irradiação do meio contaminado. Não se deve confundir o efeito (construtivo ou destrutivo) da radiação com o fato de tornar radioativo um material.

Uma fonte de problema é a mídia que, quando trata o assunto, o faz em cima de

tragédias como Hiroshima, Chernobyl e Goiânia, sem considerar que a energia nuclear ajuda cientistas a desenvolver novas tecnologias aplicáveis não apenas na indústria ou medicina, mas também na agricultura, há pelo menos trinta anos. A energia nuclear pode ajudar o Brasil a agregar valor à produção e ganhar espaço no mercado internacional. Devemos lembrar que um alimento contaminado por microorganismos patogênicos, pode causar danos, não somente a um ser humano como a toda a sociedade, pois tem a possibilidade de se alastrar para toneladas de alimentos. O prejuízo é de todos, desde aquele que plantou até o consumidor final. Ao meio acadêmico cumpre a tarefa de não apenas produzir, mas também transmitir, divulgar e disseminar adequadamente a “cultura atômica”. Esperamos que este trabalho contribua para este intento.

Em suma, com este trabalho ilustra-se que o processo de irradiação consiste em submeter os alimentos, já embalados ou a granel, a uma quantidade controlada de radiações ionizantes (alfa, beta, gama, raios X e nêutrons) por um tempo prefixado, que são característicos de cada tipo de alimento, segundo a dose apropriada, que também varia de acordo com o tipo de alimento. Tal procedimento, quando realizado de acordo com as normas estipuladas pela autoridade competente, não traz riscos ao consumidor. Consegue-se, desta forma, retardar a maturação de frutas e legumes, inibir o brotamento de bulbos e tubérculos, eliminar ou reduzir a presença de parasitas, fungos, bactérias e leveduras, aumentando a vida útil dos alimentos e auxiliando na sua distribuição e comercialização. Deve-se notar contudo, que a irradiação não substitui as boas práticas de produção ou de fabricação, normas estas sob as quais devem se pautar os processos produtivos.

Além do custo que, para os produtos in natura, o processamento representaria um alto percentual no Brasil, o principal entrave à difusão da irradiação de alimentos tem sido apontado como a dificuldade de aceitação de produtos irradiados pela população em geral [8]. Isto é consequência da falta de informação sobre as tecnologias nucleares, ou da percepção negativa que o público, em geral, apresenta com relação aos temas nucleares e a radiação em particular. É de fundamental importância que todos estejamos bem informados e, em particular, o professor, para que possa transmitir esse conhecimento adequadamente a seus alunos. Neste trabalho, apresenta-se

uma maneira bastante simples de como o assunto radioatividade pode ser transmitido ao aluno de ensino médio e discute-se uma das aplicações da radioatividade que é ainda pouco conhecida do público em geral - a irradiação de alimentos.

5 Referências

- [1] ESTEVES, M. P. G. C. S. 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.
- [2] KUNSTADT, P.; COLYN, S.; BEAULIEU, D. Economics of food irradiation. *Radiat Phys Chem*, v. 42, p. 259–268, 1993.
- [3] OMAYE, S. T. Food and Nutritional Toxicology. New York , CRC Press LLC, 1ª ed., 2004.
- [4] CERCONI, C.; MELQUIADES, F.; TOMINAGA, T. Energia nuclear, o que é necessário saber? *R Ci Exat Nat*, v.11, n. 1, p. 9–34, 2009. Disponível em: <http://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/view/119/887>.
- [5] OKUNO, E. Radiação: Efeitos, Riscos e Benefícios. Editora Harbra, 1ª ed., 2009.
- [6] CHUNG, K. C. Introdução à Física Nuclear. Ed. UERJ, 2001.
- [7] TAUHATA, L.; SALATI, I. P. A.; DiPRINZIO, R.; DiPRINZIO, A. R. Radioproteção e Dosimetria: Fundamentos. IRD/CNEN, 5ª Rev., 2003.
- [8] ORNELLAS, C. B. D.; GONÇALVES, M. P. J.; SILVA, P. R.; MARTINS, R. T. Atitude do consumidor frente à irradiação de alimentos. *Ciencia Tecnol Alime*, v.26, p. 211–213, 2006.
- [9] LEAL, A. S.; KRAMBROCK, K.; GUEDES, K.; RODRIGUES, R. R. Ressonância paramagnética eletrônica - RPE aplicada à análise de especiarias irradiadas (com radiação gama). *Ciencia Tecnol Alime*, v.24, p. 427–430, 2004.

- [10] BRASIL. Resolução RDC n. 21, de 26 de Janeiro de 2001. Seção 1, p.35. [Agência Nacional de Vigilância Sanitária Aprova o Regulamento Técnico para Irradiação de Alimentos], 2001.
- [11] MOURA, N. C.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; SPOTO, M. H. F.; ARTHUR, V. Avaliação sensorial do feijão preto submetido à radiação de cobalto-60. *Ciencia Tecnol Alime*, v. 25, p. 370–374, 2005.
- [12] CODEX-STAN -1. Labelling of Prepacked Food, disponível em http://www.codexalimentarius.net/download/standards/32/CXS_001e.pdf, 2005.
- [13] NOUAILHETAS, Y. Apostila educativa: Radiações ionizantes e a vida. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 42 p. Rio de Janeiro. Disponível em www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp.
- [14] YOSHIMURA, E.; OKUNO, E. Física das Radiações. Ed. Oficina de Textos, 1ª ed., 2010.
- [15] SILVA, R. C. Qualidade tecnológica e estabilidade oxidativa de farinha de trigo e fubá irradiados. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba, São Paulo, Brasil, 2003.
- [16] BENDINI, A.; TOSCHI, T. G.; LERCKER, G. Influence of irradiation and microwaves on the linear unsaturated hydrocarbon fraction in spices. *Z Lebensm Unters Forsch A.*, v.207, p. 214–218, 1998.
- [17] OH, K. N.; LEE, S. Y.; LEE, H. J.; KIM, K. E.; YANG, J. S. Screening of gamma irradiated spices in korea by using a microbiological method (DEFT/APC). *Food Control*, v.14, p. 489–494, 2003.
- [18] Portaria DINAL/MS de 08/Março/1985 e 25/Setembro/1989. Disponível em www.anvisa.gov.br/legis/portarias/index97.htm.
- [19] CAC (Codex Alimentarius Commission). Codex general standard for irradiated foods. *CODEX STAN*, p. 106–1983, 2003.

- [20] SANTOS, A. F.; VIZEU, D. M.; DESTRO, M. T.; FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAF, M. Determinação da dose de radiação gama para reduzir a população de salmonella spp em carne de frango. *Ciencia Tecnol Alime*, v.23, p. 200–205, 2003.
- [21] MOLINS, R. Food Irradiation Principles and Applications. John Wiley & Sons Inc., p. 142, 2001.
- [22] RODRIGUES, A. A. J. Vidro comercial como detector e mediador de radiação num irradiador de grande porte. Dissertação de Mestrado, IPEN, São Paulo, SP, Brasil, 2000.
- [23] DIEHL, J. F. Food irradiation past, present and future. *Radiat Phys Chem*, v. 63, p. 211–215, 2002.
- [24] MASTRO, N. L. D. Development of food irradiation in Brazil. *Prog Nucl Energ*, v.35, p. 229–248, 1999.
- [25] CRAWFORD, L. M.; RUFF, E. H. A review of the safety of cold pasteurization through irradiation. *Food Control*, v. 7, p. 87–97, 1996.
- [26] ICGFI, 1997, A Irradiação de Alimentos: Ficção e Realidade. Disponível em <http://www.iaea.org/icgfi/>. ICGFI, 1999 Facts about Food Irradiation. Disponível em <http://www.iaea.org/icgfi/>.
- [27] DELINCÉE, H. Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends Food Sci Tech*, v.9, p. 73–82, 1998.
- [28] BÖGL, K. W. Identification of irradiated foods - methods, development and concepts. *Appl Radiat Isot*, v.40, p. 1203–1210, 1989.
- [29] FAIRBAIRN, D. W.; OLIVE, P. L.; O'NEILL, K. L. The comet assay: a comprehensive review. *Mutat Res*, v. 339, p. 37–59, 1994.
- [30] DODD, N. J. F.; LEA, J. S.; SWALLOW, J. The ESR detection of irradiated food. *Appl Radiat Isot*, v. 40, n. 10-12, p. 1211–1214, 1989.

- [31] RODRIGUES JR., A. A. O que é irradiação? E contaminação radioativa? *Física na Escola*. v. 8, n. 2, 2007.
- [32] CARDOSO, E. M. Apostila Educativa: Radioatividade. Comissão Nacional de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 19 p. Disponível em www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp.

