



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 11

Elenice dos Santos Curvelo

Laélia Campos

PRODUTO EDUCACIONAL

A FÍSICA PRESENTE NA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

São Cristóvão – SE
Outubro/2024
Elenice dos Santos Curvelo/Laélia Campos

A FÍSICA PRESENTE NA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Este produto educacional é parte integrante da dissertação: ENSINO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA USANDO A TEMÁTICA DE IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS, desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 11 – UFS-SE, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Laélia Pumilla Botelho Campos dos Santos

AGRADECIMENTOS

Deus, que permitiu que eu pudesse realizar mais um objetivo de vida, pela saúde e determinação na superação dos obstáculos encontrados.

A minha família, em especial meu esposo José Santana Curvelo, meus filhos Ian e Ícaro, e minha mãe Judite, por todo apoio e contribuição no decorrer do processo.

Aos colegas de curso pela troca de experiências e momentos de descontração que aliviaram a carga.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a minha colega e amiga Hulda. Durante todo o processo deste curso, sua companhia foi inestimável. Agradeço por todas as conversas, risadas e momentos de desespero compartilhados. Sua presença tornou os desafios mais leves e os momentos de vitória ainda mais especiais. Sem você, esta jornada teria sido muito mais difícil e solitária. Obrigada pela parceria incrível.

Aos professores, em especial Tiago Nery e Jhon Fredy, pelos ensinamentos e sugestões, ajudando a me guiar neste trabalho, bem como os professores Edvaldo Alves e Sérgio Scarano Jr. por aproximarem a universidade da escola por meio de seus projetos Física na Escola e Carvana Luar do Sertão, respectivamente.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à professora e orientadora Laélia Campos por sua dedicação e apoio ao longo deste trabalho. Sua orientação acadêmica foi fundamental para o desenvolvimento deste projeto, e sua compreensão e incentivo emocional foram igualmente valiosos.

Durante nossas reuniões de orientação, pude aprender não apenas sobre o conteúdo específico do trabalho, mas também sobre como abordar desafios, manter a motivação e superar obstáculos. A professora Laélia sempre esteve disponível para esclarecer minhas dúvidas, fornecer feedback construtivo e compartilhar sua vasta experiência.

Além disso, quero destacar a empatia e o apoio emocional que recebi. Em momentos de incerteza ou pressão, a professora Laélia sempre soube oferecer palavras de encorajamento e confiança. Sua capacidade de entender não apenas as questões acadêmicas, mas também as pessoais, fez toda a diferença.

Portanto, é com imensa gratidão que dedico este trabalho à professora Laélia Campos, como forma de reconhecer sua influência positiva em minha jornada acadêmica e pessoal.

A Universidade Federal de Sergipe (UFS) e ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) por nos oportunizar um avanço considerável em nossa carreira através deste programa de ensino, fazendo com que melhoremos em nossa profissão por meio de uma autoavaliação crítica e nos instigando a desenvolver melhores e novas práticas de ensino.

A CAPES pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de estudos. Esse suporte foi fundamental para a realização deste trabalho, bem como para o meu desenvolvimento acadêmico e profissional. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento. Este trabalho é fruto de um esforço coletivo e de muitas mãos que se uniram para tornar este sonho uma realidade.

APRESENTAÇÃO

Caro(a) professora(a),

Este Produto Educacional é resultado de nossa dissertação, desenvolvida sob a orientação da Profa. Laélia Campos, no Programa de Pós-Graduação Profissional em Ensino de Física (PPGPF) da Universidade Federal de Sergipe. O objetivo deste material é apresentar, de forma clara e prática, a sequência didática elaborada a partir da dissertação intitulada "Ensino de Tópicos de Física Moderna Usando a Temática de Irradiação de Alimentos", bem como os materiais disponibilizados para alunos e professores, que podem ser um grande apoio na aplicação desse conteúdo.

O Produto Educacional aborda conceitos de Radiações Eletromagnéticas voltados para o 2º ano do Ensino Médio, utilizando a metodologia ativa de Instrução por Pares (IpP). A sequência didática foi planejada para promover o aprendizado de Física Moderna por meio de discussões sobre a irradiação de alimentos, sugerindo uma aplicação de, no mínimo, 6 aulas de 50 minutos cada. A ideia é oferecer aos estudantes um entendimento sobre as aplicações pacíficas das radiações ionizantes, como na conservação de alimentos e na produção de raios X, incentivando a reflexão sobre o uso da radiação na sustentabilidade do agronegócio e na redução do desperdício de alimentos.

A escolha do tema surgiu da necessidade de tornar os conteúdos de Física Moderna mais acessíveis e atraentes. Muitas vezes, esses tópicos são deixados para o final do livro do terceiro ano, dificultando seu estudo devido à falta de tempo. Nosso objetivo é proporcionar uma abordagem mais integrada e relevante desde o início do currículo.

Elenice Santana Curvelo

Laélia Campos

Sumário

1.	Etapas da Sequência Didática.....	66
1.1.	Encontro 1	67
1.2.	Encontro 2	78
1.3.	Encontro 3	80
2.	Conceitos de Física na Temática Irradiação de Alimentos.....	82
2.1.1.	Ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético.....	83
2.1.2.	Radiação ionizante e não ionizante	87
2.2.	O Irradiador de Alimentos.....	89
3.	Metodologias Ativas no Ensino de Radiação	92
4.	Considerações Finais	97
	Referências Bibliográficas.....	99
	ANEXO 1 – JOGO: QUAL FAIXA?	100

1. Etapas da Sequência Didática

A sequência didática foi planejada para ser aplicada em 6 aulas de 50 minutos. Este material inclui a aplicação de uma avaliação investigativa, testes conceituais utilizando a metodologia de Instrução por Pares (IpP) e o jogo de cartas “Qual Faixa” (Anexo 1). Durante este período, foram abordados temas e conteúdos conceituais como ondas eletromagnéticas, frequência, comprimento de onda, tipos de radiação, radiação ionizante, produção e emissão de raios X, e raios gama, que estão sintetizados no quadro abaixo.

ENCONTROS	OBJETIVOS	Nº AULAS
ENCONTRO 1 Ondas eletromagnéticas Espectro eletromagnético	✓ Apresentar a Sequência Didática, a temática Irradiação de alimentos e a metodologia Instrução por Pares; ✓ Aplicar uma Avaliação Investigativa. ✓ Retomar de forma sucinta o conceito de ondas e suas classificações; ✓ Fazer uma breve exposição sobre os modelos atômicos; ✓ Conceituar ondas eletromagnéticas e os principais tipos; ✓ Apresentar os elementos que compõem uma onda eletromagnética; ✓ Apresentar o Espectro eletromagnético, mostrando a classificação das ondas eletromagnéticas de acordo com seus comprimentos de onda e frequências; ✓ Mostrar um espectroscópio caseiro; ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP.	2
ENCONTRO 2 Radiação Raios X Raios Gama	✓ Explorar o conceito de radiação; ✓ Diferenciar as radiações ionizantes das não ionizantes; ✓ Apresentar conceitos e aplicações de raios X; ✓ Mostrar o funcionamento de uma ampola de raios X; ✓ Apresentar conceitos e aplicações dos raios gama; ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP.	2
ENCONTRO 3 Raios X e Raios Gama Irradiação de Alimentos	✓ Expor as diferenças entre raios X e raios gama; ✓ Expor sobre a Irradiação de alimentos: vantagens e desvantagens; ✓ Aplicar o jogo “Qual a Faixa?” com a finalidade de recordar o que aprendeu. ✓ Aplicar testes conceituais usando a metodologia IpP.	2

Fonte: Elaborada pela autora.

1.1. Encontro 1

Neste encontro, o professor deve apresentar aos alunos as etapas do trabalho que será desenvolvido, os objetivos, a avaliação e a metodologia que será utilizada para ensinar os conceitos de Física Moderna relacionados ao tema da irradiação de alimentos.

Os objetivos deste encontro são: apresentar a sequência didática (SD), identificar os conhecimentos prévios dos alunos, retomar o conceito de ondas e sua classificação, destacar o conceito de ondas eletromagnéticas, apresentar o espectro eletromagnético relacionando comprimento de onda, frequência e energia, e demonstrar um espectroscópio caseiro, explicando como ocorre a separação das cores na luz branca.

Para revisar alguns conceitos, aplicamos uma Avaliação Investigativa, que está apresentada a seguir. A identificação dos conhecimentos prévios dos alunos é fundamental para a implementação e o desenvolvimento da SD.

Avaliação Investigativa

Questão 1: *Alimentos irradiados são radioativos, por isso apresentam riscos aos consumidores.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Questão 2: *A radiação presente nos exames de raios X odontológico podem gerar severas dores de cabeça.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Questão 3: *Morar em áreas próximas a usinas nucleares não traz riscos à saúde, pois a emissão de radiação externa é muito baixa.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Questão 4: *A exposição à radiação causa morte instantânea à pessoa.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Questão 5: *A radiação pode ser natural ou artificial.*

- () Verdadeiro
- () Falso

Respostas: 1F, 2F, 3V, 4F, 5V

Após a resolução da Avaliação Investigativa, sugerimos uma explanação sobre o conceito de ondas e suas classificações, para que os alunos possam relembrar o tema. Em seguida, é recomendável apresentar de forma mais detalhada as ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético, utilizando um espectroscópio caseiro (Figura 1).

Figura 1. Espectroscópio caseiro.



Fonte: A autora

Roteiro para a construção do espectroscópio caseiro

Materiais:

- ✚ 1 cape
- ✚ 1 luva
- ✚ Aproximadamente 20cm de cano de pvc
- ✚ Lâmina de CD (sem a película)

Modo de fazer:

- ✚ Corte a lâmina de CD em um formato que caiba dentro da luva;
- ✚ Faça uma fresta no cape com o uso de uma serra;
- ✚ Prenda o cape em um dos lados e a luva com a lâmina do CD no outro;
- ✚ Agora, basta mirar a lanterna do celular na fresta e observar a separação das cores na lâmina no CD

Ainda neste encontro, os estudantes receberam da professora uma Apostila sobre Radiações abordando o conteúdo teórico, para que pudessem acompanhar a aula e fazer observações durante a explicação. Esse material foi produzido porque o tema é tratado de forma muito superficial no livro adotado pela escola. A Apostila será apresentada a seguir.

Ao final do encontro, aplicamos a metodologia de Instrução por Pares (IpP) com algumas questões conceituais sobre o assunto estudado em sala de aula. A seguir, mostraremos o Teste Conceitual 1.

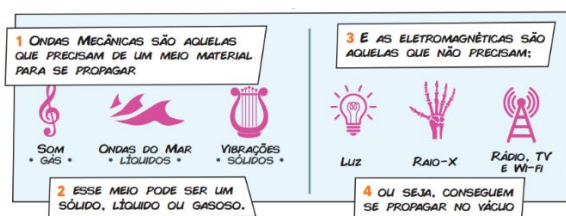
Apostila sobre Radiações

ONDAS

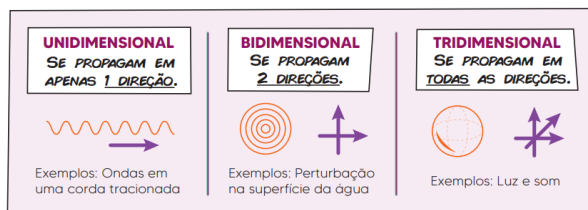
As **ondas** são perturbações que se propagam pelo espaço sem transporte de matéria, apenas de energia.

Classificação das ondas:

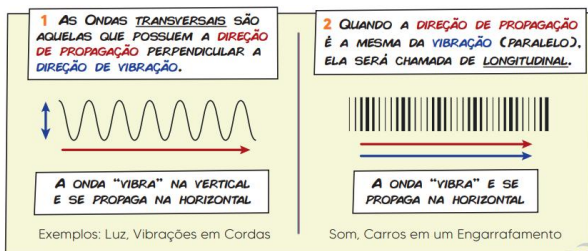
✚ **Quanto à natureza:** mecânicas e eletromagnéticas.



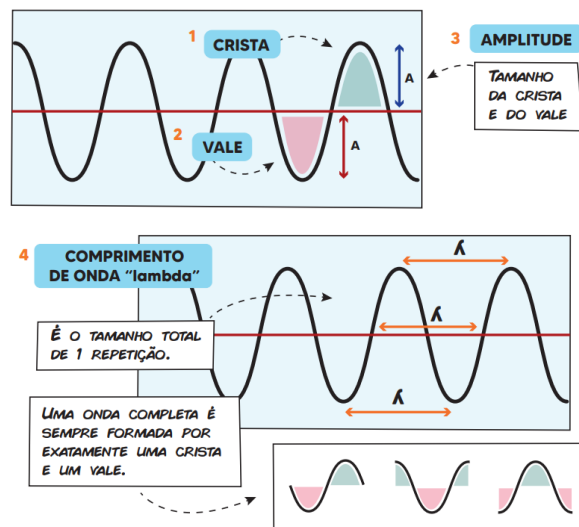
✚ **Quanto à direção de propagação:** uni, bi e tridimensional.



✚ **Quanto à direção de vibração:** transversal e longitudinal.

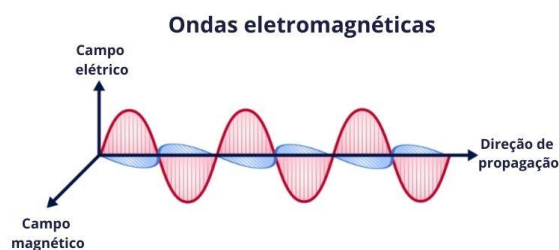


Elementos da onda:



ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

Uma onda eletromagnética é o resultado da oscilação de uma carga elétrica, que faz com que o campo elétrico a ele associado também varie gerando um campo magnético, também oscilante, e vice-versa. Ou seja, As ondas eletromagnéticas são ondas formadas pela oscilação de um campo elétrico e magnético perpendiculares entre si.



Existem sete tipos de ondas eletromagnéticas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama. Juntas elas formam um espectro de onda eletromagnética que varia com a frequência e o comprimento de cada onda.

Assim como uma onda mecânica, as ondas eletromagnéticas são definidas pelas seguintes grandezas:

✚ **Período** de oscilação da onda (T): representa o tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa. No SI, a unidade de período é o segundo (s).

✚ **Frequência** (f): corresponde ao número de oscilações da onda por unidade de tempo. A onda eletromagnética produzida se propaga com a mesma frequência de oscilação das cargas elétricas que a gerou. No SI, a unidade de frequência é denominada hertz (Hz). O período e a frequência são inversos um do outro.

$$T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

✚ **Comprimento** de Onda (λ): é a distância entre valores repetidos sucessivos num padrão de onda. Pode ser representada também pela distância entre picos (máximos), vales (mínimos).

✚ **Amplitude** (A): é a distância de uma crista ou um vale ao nível de equilíbrio, ou seja, é a “altura da onda”.

✚ **Velocidade** de propagação da onda (v): corresponde à velocidade com que o pulso da onda se propaga no meio. Como a onda se propaga com velocidade constante, podemos definir a velocidade da onda usando a equação do movimento uniforme da cinemática.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), teremos:

$$v = \lambda \cdot f \quad (3)$$

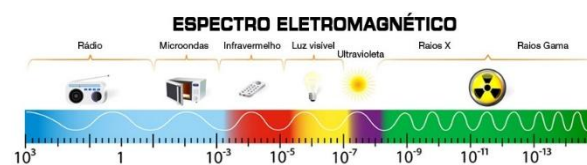
No século XIX, usando as propriedades dos campos elétrico e magnético, conhecidas na época, Maxwell calculou a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo o valor de 3×10^8 m/s, que reconheceu como sendo o valor da velocidade da luz. Tomando como referência essa descoberta, ele propôs que a luz visível deveria ser uma onda eletromagnética. Alguns anos depois essa descoberta teórica de Maxwell foi

comprovada experimentalmente por Heinrich R. Hertz. Assim, para uma onda eletromagnética, temos a relação:

$$c = \lambda \cdot f \quad (4)$$

O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

As ondas eletromagnéticas podem ser classificadas e organizadas de acordo com seus diversos comprimentos de onda/frequências. Esta classificação é conhecida como o espectro eletromagnético. A tabela a seguir nos mostra este espectro, que é formado por todos os tipos de radiação eletromagnética que existem no nosso universo.



O espectro visível, que é a luz que nossos olhos podem detectar, representa apenas uma pequena parte dos diferentes tipos de radiação existentes. À esquerda do espectro visível, encontramos tipos de energia com frequências mais baixas (e, portanto, comprimentos de onda maiores) do que a luz visível. Esses tipos de energia incluem os raios infravermelhos, que são ondas de calor emitidas por corpos térmicos, micro-ondas e ondas de rádio. Esses tipos de radiação estão sempre presentes ao nosso redor e não são prejudiciais, pois suas frequências são muito baixas. Ondas com frequências mais baixas têm menos energia e, portanto, não representam um perigo para nossa saúde.

À direita do espectro visível, encontramos os raios ultravioleta (UV), raios X e raios gama. Esses tipos de radiação são prejudiciais para os seres vivos devido às suas frequências extremamente altas (e, conseqüentemente, altas energias). É por isso que usamos protetor solar na praia (para bloquear os raios UV do Sol) e é por isso que o radiologista coloca protetores de chumbo em nós durante exames de raio X, para evitar que os raios X atinjam áreas do nosso corpo que não estão sendo

examinadas. Os raios gama, com a maior frequência e energia, são os mais prejudiciais. Felizmente, nossa atmosfera absorve os raios gama vindos do espaço, nos protegendo dos possíveis danos.

Existem sete tipos diferentes de ondas eletromagnéticas, cada uma com suas próprias características. Elas são classificadas de acordo com suas faixas de frequência, comprimento e oscilação das ondas. Quanto menor o comprimento da onda, maior será sua frequência.

✚ **Ondas de rádio:** Essas ondas estão localizadas na extremidade do espectro eletromagnético e têm frequências baixas e comprimentos longos. Elas são produzidas pela aceleração de elétrons em uma antena de emissão e têm frequências de até 10^8 Hertz (Hz).

✚ **Micro-ondas:** Essas ondas têm frequências mais baixas do que as ondas de rádio, mas mais altas do que as micro-ondas (entre 10^8 e 10^{12} Hz). Elas são usadas principalmente nas áreas de telecomunicações.

✚ **Infravermelho:** Essas ondas estão próximas à luz visível, mas não podem ser vistas a olho nu. Elas são emitidas por átomos em corpos aquecidos e têm frequências entre 10^{11} e 10^{14} Hz.

✚ **Luz visível:** Essa é a luz que nossos olhos podem ver. Ela está localizada no centro do espectro eletromagnético e tem frequências entre $4,6 \times 10^{14}$ e $6,7 \times 10^{14}$ Hz. As frequências menores produzem luz vermelha, enquanto as mais altas produzem luz violeta.

✚ **Raios ultravioleta:** Esses raios têm comprimentos menores do que a luz visível e maiores do que os raios X. Eles têm frequências entre 10^{16} Hz e 10^{18} Hz e são emitidos por átomos excitados. O contato direto com esses raios pode prejudicar os olhos e causar câncer de pele.

✚ **Raios X:** Esses raios têm comprimentos menores do que os raios ultravioleta e maiores do que os raios gama. Eles foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen e são produzidos pelo choque de elétrons em alta velocidade em um material metálico. Sua frequência está entre 10^{18} e 10^{20} Hz.

✚ **Raios gama:** Esses raios estão localizados na extremidade do espectro eletromagnético. Eles têm a maior frequência (de 10^{20} a 10^{22} Hertz) e o menor comprimento. São formados pela

desintegração do núcleo de elementos radioativos e são responsáveis pela produção de bombas atômicas.

RADIAÇÃO

A radiação é a emissão de energia por uma fonte, que pode ser transmitida através do vácuo, do ar ou de meios materiais. Existem dois tipos principais de radiação: a radiação corpuscular, que inclui partículas como partículas alfa e elétrons, e a radiação ondulatória, que inclui ondas eletromagnéticas como raios X e raios gama.

A radiação pode ser tanto natural quanto artificial. Por exemplo, o corpo humano está exposto à radiação natural todos os dias, desde o solo e seus gases subterrâneos até a radiação cósmica do Sol e do espaço sideral. Além disso, procedimentos médicos, televisores, telefones celulares e fornos de micro-ondas também emitem algum tipo de radiação.

No entanto, é importante notar que a radiação não é necessariamente perigosa. Isso depende de sua intensidade, tipo e tempo de exposição. Essas características são fundamentais para entender os riscos e potencialidades da radiação para o ser humano.

A radiação pode ser classificada como radiação de partículas ou radiação eletromagnética. A radiação de partículas ocorre quando um átomo instável (ou radioativo) se desintegra. Já a radiação eletromagnética não tem massa e viaja em ondas. Ela pode variar de energia muito baixa para energia muito alta, e esse espaço é chamado de espectro eletromagnético.

A energia de uma onda eletromagnética é quantizada, ou seja, é emitida e propagada em pequenos pulsos de energia chamados fótons. Essas partículas não têm carga nem massa em repouso e se propagam com a velocidade da luz. Na interação da radiação eletromagnética com a matéria, a absorção e emissão de energia são determinadas pela energia de um fóton, dada pela equação:

$$E = h \cdot f \quad \text{ou} \quad E = h \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

Onde: h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} \cong 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}$, e c é a velocidade da luz, igual a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Fazendo a equivalência, teremos: $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

RADIAÇÃO IONIZANTE E NÃO IONIZANTE

A radiação pode ser dividida em dois tipos: não ionizante e ionizante. Isso depende do comprimento e da frequência da onda eletromagnética. A radiação ionizante tem energia suficiente para remover um elétron de um átomo e produzir íons. Por ter maior energia, ela pode separar elétrons de outros átomos ou ionizá-los à medida que penetra na matéria. Já a radiação não ionizante apenas eleva a temperatura e causa agitação das moléculas, mas não altera a estrutura do material.

RAIOS X

Os raios X são ondas eletromagnéticas que têm a capacidade de atravessar corpos de baixa densidade e são absorvidos por materiais mais densos. Eles são um tipo de radiação eletromagnética com frequências superiores à radiação ultravioleta (maiores que 10^{18} Hz). Os raios X foram descobertos em 1895 pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen durante o estudo da luminescência por raios catódicos em um tubo de Crookes. Ele recebeu o prêmio Nobel de Física em 1901 por sua descoberta.

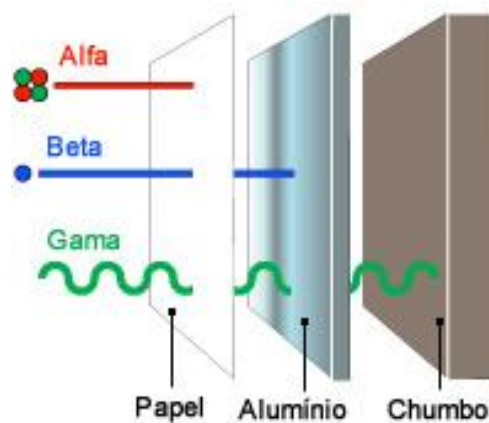
Os raios X são produzidos por meio de um aparelho chamado Tubo de Coolidge. Esse tubo contém um cátodo em seu interior que é aquecido por uma corrente elétrica fornecida por um gerador. Quando aquecido, o cátodo emite grande quantidade de elétrons que são fortemente atraídos pelo ânodo. Quando eles se chocam com o ânodo, transferem energia para os elétrons dos átomos do ânodo. Os elétrons acelerados então emitem ondas eletromagnéticas.

Através de seus estudos sobre raios X, Roentgen descobriu que eles têm a capacidade

de atravessar materiais de baixa densidade, como os músculos do corpo humano, e são absorvidos por materiais mais densos, como os ossos. Devido a essa descoberta, os raios X passaram a ser amplamente utilizados para a realização de radiografias. Hoje, os raios X têm um amplo campo de aplicação, sendo utilizados, por exemplo, no tratamento do câncer, na pesquisa sobre a estrutura cristalina dos sólidos, na indústria e em muitas outras áreas da ciência e tecnologia.

RAIOS GAMA

A radiação gama é um tipo de radiação nuclear ionizante, o que significa que pode interagir e danificar estruturas de átomos e moléculas. Também conhecida como raios gama, são ondas eletromagnéticas com carga e massa nulas. Os raios gama emitem calor continuamente e têm a capacidade de ionizar até mesmo o ar ao se propagar, tornando-o um condutor de corrente elétrica. A radiação gama é mais perigosa do que as partículas alfa e beta. Se emitidas por um longo período de tempo, podem levar à má formação nas células dos seres vivos. Eles têm alto poder de penetração e podem atravessar chapas de aço com até 15 cm de espessura.



A radiação alfa é facilmente bloqueada por uma folha de papel; a beta por uma chapa de alumínio; e a gama por uma chapa grossa de chumbo. Essa radiação pode afetar completamente as estruturas e moléculas presentes na composição dos seres vivos. Exemplos disso são as mutações genéticas e a quebra de moléculas. Nas mutações genéticas, a radiação entra em contato com os genes e

modifica o DNA das células. Quando modificadas, as células perdem ou mudam suas funções. A radiação também pode levar à formação de novos tecidos ou até mesmo ao aparecimento de tumores malignos. Na quebra de moléculas, a radiação quebra a estrutura do DNA das moléculas, prejudicando totalmente os processos de multiplicação e divisão celular. Quando prejudicadas em suas fases de multiplicação e divisão celular, as células não conseguem mais repassar seu DNA.

Ao longo do tempo, a radiação pode causar danos letais aos seres vivos, como o câncer. Outro dano causado pela radiação é sua presença na cadeia alimentar dos seres vivos, afetando todos os níveis da mesma. A curto prazo, a radiação pode causar dores de cabeça, náuseas, diarreia, febre etc.

Apesar dos pontos negativos e malefícios causados pela radiação, quando usada em doses corretas e específicas ela pode ser benéfica no tratamento de doenças, realização de diagnósticos, indústrias entre outros. O processo de irradiação com raios gama tem crescido significativamente no mundo todo. Devido à sua alta energia, eles podem causar danos ao núcleo das células e são usados para esterilizar equipamentos médicos, alimentos e diversos outros produtos.

Com relação aos produtos alimentícios, a irradiação com raios gama permite descontaminar alimentos através da eliminação de microrganismos patogênicos como *Salmonella Typhimurium*. Além disso, aumenta a vida útil do produto nas prateleiras.

IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

Existem três tipos de radiação ionizante que podem ser usadas na irradiação de alimentos: raios gama, raios X e feixe de elétrons. Os raios gama são produzidos por fontes radioativas, como Cobalto-60 e Césio-137. Os raios X são produzidos por máquinas de raios X, enquanto o feixe de elétrons é produzido por aceleradores lineares. Cada tipo de radiação tem suas vantagens e desvantagens, e a escolha do tipo de radiação a ser usado

depende do tipo de alimento a ser irradiado e do objetivo da irradiação.

Os raios X com energias variáveis (formando um espectro contínuo) são produzidos artificialmente por equipamentos. A radiação gama, com energia específica (formando um espectro discreto), provém do decaimento espontâneo de radionuclídeos, como por exemplo, do Níquel-60 originado pelo decaimento do Cobalto-60 por emissão beta.

A irradiação de alimentos é uma técnica que submete os alimentos a uma dose controlada de radiação ionizante. O objetivo é aumentar a vida útil dos alimentos, inibindo ou retardando alguns processos fisiológicos (como o brotamento e o amadurecimento), além de inativar larvas e parasitas e reduzir a carga de fungos e bactérias.

A irradiação de alimentos é segura, pois não deixa resíduos no alimento nem libera material radioativo no meio ambiente. Todo o processo é monitorado para garantir a qualidade do alimento e preservação de suas qualidades sensoriais e nutricionais.

É uma técnica útil para preservação e desinfestação de alimentos, mas ainda não é amplamente utilizada pela indústria brasileira. Isso pode ser devido à falta de investimentos em irradiadores para a irradiação de alimentos em escala comercial, falta de informação aos produtores, indústria e comércio, e falta de informação à população.

Essa técnica consiste na exposição do alimento a quantidades intermediárias de radiação (entre 1 e 10 kGy). A radiação promove a redução da carga microbiana de fungos e bactérias, melhorando a qualidade higiênico-sanitária do alimento e promovendo, por consequência, a extensão da vida útil em algumas semanas. Normalmente, é utilizada em produtos como peixes, carnes, amendoim e alimentos crus prontos para o consumo.

A irradiação de alimentos apresenta algumas vantagens e desvantagens. Algumas das vantagens incluem:

- ✚ Inibição de brotamentos e retardo na maturação: A irradiação aumenta a vida útil de frutas e vegetais frescos. Isso é feito pela inativação ou destruição de enzimas responsáveis pelo processo de maturação e das estruturas de emissão de brotos, o que facilita o processo de distribuição desses produtos;
- ✚ Eliminação de micro-organismos patogênicos: O processo também elimina bactérias potencialmente prejudiciais à saúde (como, por exemplo, a *Salmonella* sp. e a *Campylobacter* sp. – presentes principalmente em carnes), vírus, parasitas (como nematóides e protozoários) e fungos produtores de micotoxinas;
- ✚ Redução da carga microbiana geral: A irradiação elimina certos micro-organismos, sendo útil para substituir tratamentos químicos que poderiam deixar resíduos nos alimentos;
- ✚ Desinfestação: Destrói ovos e larvas de insetos (como o caruncho) presentes em grãos, cereais, frutas e especiarias, sem trazer prejuízo para os alimentos;
- ✚ Redução de recontaminações: A radiação ionizante tem alto poder de penetração, tornando possível tratar grande quantidade e variedades de alimentos sem nenhuma manipulação durante o processo;
- ✚ Esterilização a frio: A irradiação de alimentos não aumenta a temperatura do alimento e nem da embalagem, sendo assim, permite o tratamento de produtos resfriados, congelados ou em embalagens termossensíveis;
- ✚ Tempo de preparo: A irradiação provoca a diminuição do tempo de cozimento de alguns alimentos, principalmente os desidratados.



No entanto, a irradiação também apresenta algumas desvantagens. Primeiramente, a irradiação não pode ser utilizada em todos os tipos de alimentos. Em produtos com alto teor de gordura, por exemplo, ocorre o

aparecimento de um sabor desagradável devido ao ranço.

Além disso, com a irradiação, ocorre a perda de alguns nutrientes, como as vitaminas. Entretanto, essa perda é similar à causada por outros métodos de conservação, como a pasteurização e o congelamento. De fato, todas as formas de processamento de alimentos diminuem a disponibilidade de alguns nutrientes.

Outra desvantagem é o custo dos equipamentos usados na irradiação, que são caros e demandam infraestrutura específica. Também existem problemas ambientais associados à radiação ionizante, pois é necessário fazer a destinação adequada dos equipamentos e dos rejeitos radioativos decorrentes do processo.

Por fim, geralmente a primeira reação do consumidor em relação ao processo de irradiação de alimentos é de desconfiança, principalmente devido à desinformação e aos preconceitos associados indevidamente à tecnologia nuclear.

Comparada a outros tratamentos, a tecnologia de irradiação no Brasil ainda é pouco usada e pouco divulgada. Contudo, seu uso é seguro e eficaz e apresenta-se como uma opção muito promissora para reduzir o desperdício e melhorar a saúde pública, pois aumenta a vida de prateleira dos produtos e ajuda no controle de surtos de doenças causadas por alimentos contaminados.

A irradiação de alimentos também favorece a expansão do comércio internacional ao viabilizar a exportação de mais produtos agropecuários, já que apresentam maior durabilidade durante o transporte. Dessa maneira, para que esta tecnologia possa ser aplicada em maior escala no nosso país, será necessário realizar campanhas de informação ao consumidor, enfatizando que o alimento tratado por irradiação não fica radioativo e que seu consumo é seguro. Além disso, em comparação ao alimento similar não irradiado, ele apresenta uma melhor qualidade sanitária e suas características organolépticas são

preservadas. Devido à tecnologia, o alimento permanece adequado para o consumo por um período mais longo.

Nesse sentido, o uso da irradiação na indústria também pode e deve ser estimulado, já que apresenta mais vantagens do que desvantagens no processamento de alimentos.

Teste Conceitual 1 (Instrução por Pares)

Questão 1: O que são ondas?

- A. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando energia e matéria.
- B. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando apenas matéria.
- C. Perturbações que se deslocam no espaço, transportando exclusivamente energia de um ponto a outro, sem realizar transporte de matéria.
- D. Perturbações no espaço que se deslocam sem transportar matéria ou energia.

Resposta: C

A primeira questão deste estudo foi elaborada para introduzir a temática central, que é a irradiação de alimentos. Seu objetivo é abordar o conceito geral de ondas, para familiarizar os alunos com os princípios básicos que regem a propagação de energia através de meios físicos. Esse conhecimento é fundamental para entender como a irradiação funciona para preservar e proteger os alimentos.

Questão 2: A luz visível tem um comprimento de onda entre 400-700 nanômetros (nm). Sabendo-se que uma luz tem um comprimento de onda de 500 nm, qual é a sua frequência? Use a equação da velocidade da luz ($c = \lambda v$), onde c é a velocidade da luz ($3,0 \times 10^8$ m/s), λ é o comprimento de onda e v é a frequência?

- A. $1,5 \times 10^{15}$
- B. 6×10^{14}
- C. 8×10^{15}
- D. $1,7 \times 10^{15}$

Resposta: B

Esta questão foi preparada para avaliar o conhecimento dos alunos sobre o cálculo da frequência de ondas, um conceito fundamental na física. A frequência mede quantas oscilações completas ocorrem em um determinado intervalo de tempo, sendo crucial para entender as propriedades das ondas.

Questão 3: Qual destas tem maior energia: luz vermelha com um comprimento de onda de aproximadamente 700 nm ou luz violeta com um comprimento de onda de aproximadamente 400 nm? Use a relação entre energia e comprimento de onda ($E = hv = hc/\lambda$), onde h é a constante de Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ J.s?

- A. a luz violeta
- B. a luz vermelha
- C. ambas têm a mesma energia, pois estão dentro do espectro da luz visível

Resposta: A

Esta questão foi elaborada para avaliar a capacidade dos alunos de discernir e comparar as propriedades energéticas da luz vermelha e da luz violeta, considerando o comprimento de onda. A luz vermelha, com comprimento de onda mais longo, tem menor energia, enquanto a luz violeta, com comprimento de onda mais curto, tem maior energia. Esta relação inversa é fundamental na física quântica e essencial para entender a dualidade da luz como partícula e onda. Além disso, a questão visa aplicar os conceitos para comparar diferentes tipos de luz e obter uma visão valiosa sobre o nível de percepção dos alunos e sua capacidade de aplicar conceitos teóricos a exemplos práticos.

Questão 4: Qual das seguintes alternativas é uma diferença entre ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas?

- A. As ondas mecânicas podem se propagar no vácuo, enquanto as ondas eletromagnéticas não podem.
- B. As ondas eletromagnéticas podem se propagar no vácuo, enquanto as ondas mecânicas não podem.
- C. Ambas requerem um meio para se propagar.
- D. Ambas podem se propagar no vácuo.

Resposta: B

A questão em análise tem como objetivo avaliar a habilidade dos estudantes em discernir corretamente ondas mecânicas de ondas eletromagnéticas

Questão 5: Qual das seguintes alternativas é uma aplicação das ondas eletromagnéticas?

- A. Produção de som em alto-falante
- B. Detecção de objetos submersos (sonar)
- C. Transmissão de sinais de rádio e televisão
- D. Produção de ondas sísmicas.

Resposta: C

Esta questão visa avaliar se os estudantes têm conhecimento suficiente sobre a aplicação de algumas ondas eletromagnéticas em seu cotidiano.

1.2. Encontro 2

O Encontro 2 tem como objetivo conceituar radiação e diferenciar radiações ionizantes de não ionizantes. Além disso, busca apresentar os conceitos e as aplicações dos raios X e dos raios gama.

Para isso, utilizamos uma maquete de uma ampola de raios X (Figura 2) (SANTOS, 2023), com o intuito de explicar a formação dos raios X e suas aplicações em diferentes áreas, como a médica diagnóstica e a industrial, exemplificando com o caso do irradiador de alimentos.

Figura 2. Maquete da ampola de raios X e suas partes.



Fonte: Santos (2023).

Para verificar a aprendizagem dos alunos acerca dos conteúdos apresentados, aplicamos a metodologia Instrução por Pares, por meio de um Teste Conceitual.

Teste Conceitual 2 (Instrução por Pares)

Questão 1: O que é radiação?

- A. A transferência de energia através do espaço na forma de ondas ou partículas.
- B. A emissão de luz por uma lâmpada.
- C. O processo de aquecimento de um objeto ao sol.
- D. A propagação do som através do ar.

Resposta: A

Esta questão visa elucidar o conceito de "radiação" e tem como objetivo principal avaliar o nível de compreensão dos estudantes em relação à definição ampla desse fenômeno.

Questão 2: Qual das seguintes afirmações sobre a radiação ionizante é verdadeira?

- A. A radiação ionizante não pode causar danos aos tecidos vivos.
- B. A radiação ionizante pode remover elétrons dos átomos.
- C. A radiação ionizante não pode penetrar na matéria.
- D. A radiação ionizante não é usada em aplicações médicas.

Resposta: B

A questão proposta teve como objetivo avaliar principalmente a habilidade dos estudantes em identificar corretamente uma afirmação verdadeira sobre a radiação ionizante. Essa avaliação é fundamental para compreender o nível de entendimento dos alunos sobre este conceito específico no contexto mais amplo da física nuclear.

Questão 3: Marque a alternativa que corresponde a uma fonte de radiação natural.

- A. Raios-X
- B. Radônio
- C. Televisores
- D. Micro-ondas

Resposta: B

A questão proposta visa se estudante consegue distinguir a radiação natural da artificial.

Questão 4: Qual das seguintes afirmações sobre a radiação não ionizante é verdadeira?

- A. A radiação não ionizante tem energia suficiente para ionizar átomos.
- B. A radiação não ionizante inclui raios-X e raios gama.
- C. A radiação não ionizante é sempre prejudicial aos seres humanos.
- D. A radiação não ionizante inclui luz visível e ondas de rádio.

Resposta: D

A questão acima visa avaliar a habilidade dos estudantes em identificar corretamente uma afirmação verdadeira sobre radiação não ionizante.

Questão 5: Das alternativas abaixo, qual se refere aos perigos da exposição à radiação ionizante?

- A. Pode causar queimaduras na pele.
- B. Pode danificar o DNA das células, levando a mutações e possivelmente ao câncer.
- C. Pode causar cegueira.
- D. Todas as opções acima.

Resposta: B

Esta questão visa avaliar se os estudantes têm conhecimento suficiente sobre os perigos da exposição à radiação ionizante. Esta avaliação é importante para medir o entendimento dos alunos sobre este conceito específico, que abrange a física nuclear e a saúde ocupacional.

1.3. Encontro 3

O objetivo do Encontro 3 é apresentar as diferenças entre raios X e raios gama e explicar a irradiação de alimentos, destacando suas vantagens e desvantagens para uma vida sustentável com menos desperdício de alimentos.

Em seguida, sugerimos a aplicação do jogo “Qual Faixa?” com a finalidade de revisar o conteúdo aprendido. Este jogo de cartas pode ser encontrado no Anexo 1. As regras são as seguintes: um dos jogadores lança o dado e, com base na face que fica para cima (que define o tipo de carta a ser descartada), todos jogam suas cartas. Se alguém descartar a carta errada, deve pegar 3 cartas do monte. Caso não tenha uma carta adequada, o jogador deverá buscar no monte até encontrar uma. Vence quem descartar todas as cartas primeiro.

Por fim, a sequência didática é encerrada com a aplicação de testes conceituais utilizando a metodologia de Instrução por Pares (IpP).

Teste Conceitual 3 (Instrução por Pares)

Questão 1: *Como a radiação ionizante é usada na irradiação de alimentos?*

- A. A radiação ionizante é usada para matar bactérias e outros microrganismos nos alimentos.
- B. A radiação ionizante é usada para cozinhar os alimentos.
- C. A radiação ionizante é usada para alterar o sabor dos alimentos.
- D. A radiação ionizante é usada para tornar os alimentos radioativos.

Resposta: A

A questão proposta teve como objetivo avaliar o entendimento dos alunos sobre o uso da radiação ionizante na irradiação de alimentos, um tema de grande relevância que abrange conceitos fundamentais de física nuclear e suas aplicações práticas na preservação e segurança alimentar. Para responder adequadamente, os alunos precisam compreender os princípios da radiação ionizante e como ela pode ser empregada para impedir o crescimento de microrganismos nos alimentos, prolongando assim sua vida útil. Além disso, é crucial que os alunos estejam cientes das implicações de segurança e dos benefícios associados a este método de conservação alimentar.

Questão 2: *Qual das seguintes afirmações sobre a segurança da irradiação de alimentos é verdadeira?*

- A. A irradiação de alimentos torna os alimentos radioativos.
- B. A irradiação de alimentos é uma prática segura e aprovada pela Organização Mundial de Saúde.
- C. A irradiação de alimentos é prejudicial e deve ser evitada.
- D. A irradiação de alimentos remove todos os nutrientes dos alimentos.

Resposta: B

A questão formulada teve como propósito avaliar a profundidade do conhecimento dos alunos sobre a segurança relacionada à irradiação de alimentos. Este tema é de suma importância, pois aborda um aspecto central na preservação e segurança alimentar.

Questão 3: *Quais são as principais fontes de radiação utilizadas na irradiação de alimentos?*

- A. Raios X e raios gama
- B. Luz ultravioleta e luz infravermelha
- C. Micro-ondas e ondas de rádio
- D. Luz visível e luz ultravioleta

Resposta: A

A questão proposta foi formulada com o objetivo de avaliar a compreensão dos alunos sobre as diferentes fontes de radiação ionizante empregadas no processo de irradiação de alimentos.

Questão 4: *Qual a principal razão para irradiar carnes de boi e de aves?*

- A. Para melhorar a cor e a textura.
- B. Para aumentar a vida útil.
- C. Para matar bactérias e outros micro-organismos.
- D. Para torná-las mais macias.

Resposta: C

A questão proposta visa avaliar a compreensão dos alunos sobre a irradiação de carnes e aves, um tema crucial na preservação de alimentos e na garantia da segurança alimentar.

Questão 5: *A irradiação de alimentos é utilizada em quais tipos de produtos alimentícios?*

- A. Carnes e aves
- B. Frutas e vegetais
- C. Especiarias e grãos
- D. Todos os itens acima

Resposta: D

A pergunta proposta foi elaborada para avaliar o entendimento dos alunos sobre a diversidade de alimentos que podem ser submetidos ao processo de irradiação.

2. Conceitos de Física na Temática Irradiação de Alimentos

A irradiação de alimentos é uma técnica amplamente empregada para diversas finalidades, tais como desinfecção, prolongamento da vida útil e garantia da segurança alimentar. Trata-se de um método de conservação física, semelhante a outros métodos, como congelamento, refrigeração e pasteurização, no qual os alimentos são submetidos a uma exposição controlada a radiação ionizante.

O procedimento envolve a exposição de alimentos, que podem estar embalados ou a granel, a radiações ionizantes, como raios gama, raios X ou feixe de elétrons. Um exemplo comum de fonte de raios gama para o processamento de alimentos é o radioisótopo Cobalto-60 (^{60}Co).

De acordo com Levy e colaboradores (2020), uma grande vantagem da irradiação de alimentos é que a técnica ocorre em temperatura ambiente e pode ser realizada após o alimento já estar embalado, reduzindo bastante o risco de recontaminação durante as etapas de transporte, armazenamento e comercialização dos produtos alimentícios irradiados. Além disso, a irradiação não deixa resíduos no alimento, não torna o alimento radioativo e não deixa material radioativo no meio ambiente. A técnica é conduzida de forma a garantir a qualidade nutricional dos alimentos.

No Brasil, a técnica da irradiação de alimentos foi introduzida na década de 60 pelos Ministérios da Marinha de Guerra, do Exército e da Aeronáutica Militar, com o objetivo de proteger a saúde das pessoas em relação aos alimentos, desde a sua obtenção até o seu consumo, em todo o território nacional (Levy et al., 2020). Desde 1974, o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) possui equipamentos para irradiação de alimentos, tanto o ^{60}Co quanto aceleradores de elétrons. Atualmente, existe um irradiador multipropósito com diversos fins, incluindo a irradiação de alimentos (Figura 1).

Figura 3. Irradiador de cobalto-60 multipropósito, localizado no IPEN.



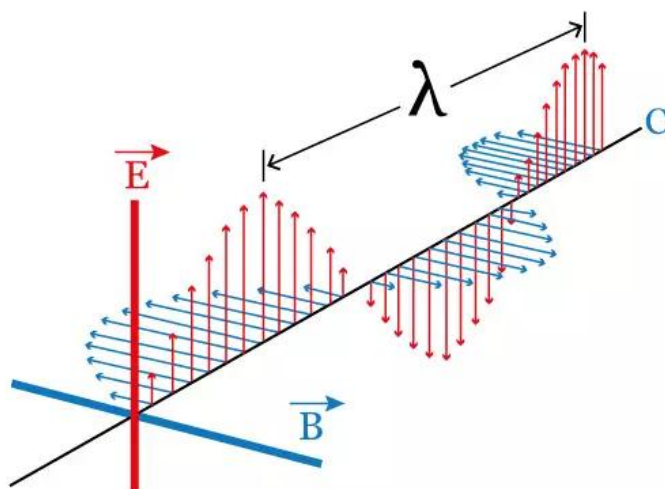
Fonte: <https://abrafrutas.org/2022/01/uma-nova-aliada-da-preservacao-de-alimentos/>.

Para uma melhor compreensão do processo de irradiar alimentos, é fundamental ter conhecimento na área da física de alguns conceitos tais como: ondas eletromagnéticas, espectro eletromagnético, diversos tipos de radiação, incluindo radiação não ionizante, radiação ionizante como os raios X, raios gama, e também compreender a natureza da radioatividade.

2.1.1. Ondas eletromagnéticas e o espectro eletromagnético

Uma onda eletromagnética é o resultado da oscilação de uma carga elétrica, que faz com que o campo elétrico associado a ela também varie, gerando um campo magnético oscilante, e vice-versa. Ou seja, as ondas eletromagnéticas são formadas pela oscilação de campos elétrico e magnético perpendiculares entre si (Figura 2). Essas ondas podem ser classificadas levando em consideração seus comprimentos de onda e frequência, em um espectro eletromagnético.

Figura 4. Onda eletromagnética, com campo magnético (B) e elétrico (E).



Fonte: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>.

Existem vários tipos diferentes de ondas eletromagnéticas compondo o espectro, sendo representadas pelas faixas de frequência, comprimento e oscilação das ondas. Desta forma, quanto menor for o comprimento da onda, maior será a sua frequência. A seguir, temos as classificações dos tipos de ondas no espectro, de acordo com suas características (Halliday, Resnick & Walker, 2016).

Assim como uma onda mecânica, as ondas eletromagnéticas são definidas pelas seguintes grandezas:

Período de oscilação da onda (T): representa o tempo necessário para uma onda realizar uma oscilação completa. No SI, a unidade de período é o segundo (s).

Frequência (f): corresponde ao número de oscilações da onda por unidade de tempo. A onda eletromagnética produzida se propaga com a mesma frequência de oscilação das cargas elétricas que a gerou. No SI, a unidade de frequência é denominada hertz (Hz). O período e a frequência são inversos um do outro.

$$T = \frac{1}{f} \text{ ou } f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Comprimento de Onda (λ): é a distância entre valores repetidos sucessivos num padrão de onda. Pode ser representada também pela distância entre picos (máximos), vales (mínimos).

Amplitude (A): é a distância de uma crista ou um vale ao nível de equilíbrio, ou seja, é a “altura da onda”.

Velocidade de propagação da onda (v): corresponde à velocidade com que o pulso da onda se propaga no meio. Como a onda se propaga com velocidade constante, podemos definir a velocidade da onda usando a equação do movimento uniforme da cinemática.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), teremos:

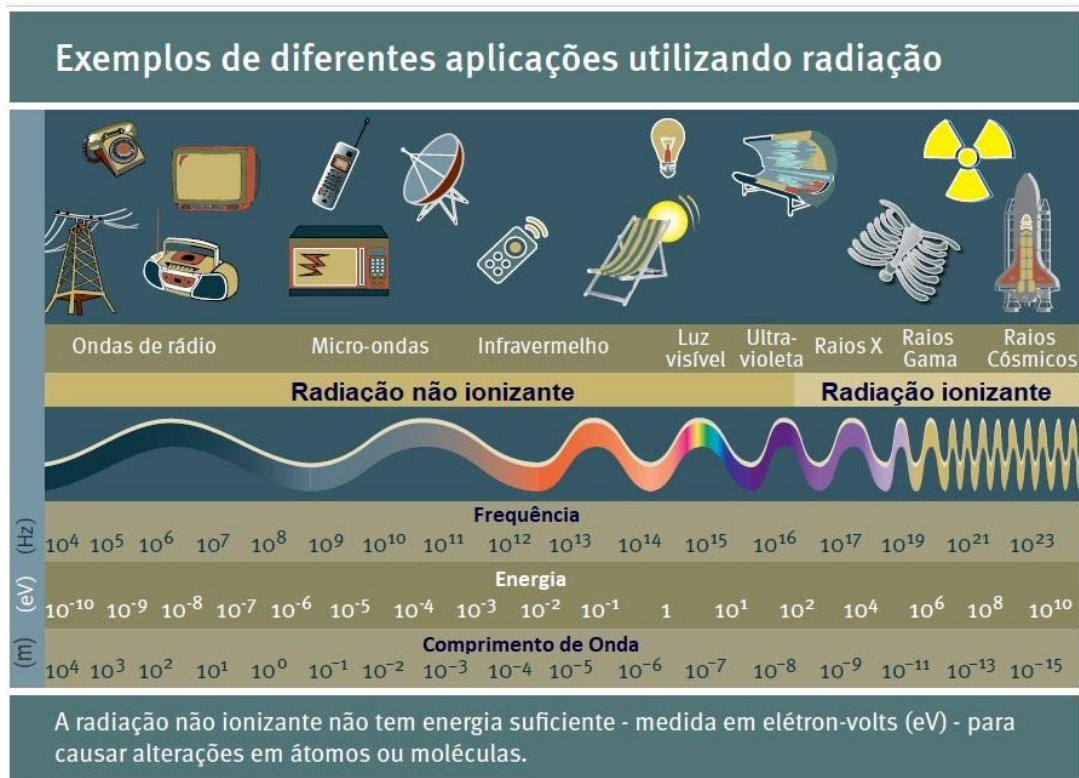
$$v = \lambda \cdot f \quad (3)$$

No século XIX, usando as propriedades dos campos elétrico e magnético conhecidas na época, Maxwell calculou a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo o valor de 3×10^8 m/s, que ele reconheceu como sendo a velocidade da luz. Com base nessa descoberta, ele propôs que a luz visível deveria ser uma onda eletromagnética. Alguns anos depois, essa descoberta teórica de Maxwell foi comprovada experimentalmente por Heinrich R. Hertz. Assim, para uma onda eletromagnética, temos a relação:

$$c = \lambda \cdot f \quad (4)$$

O espectro eletromagnético é composto por todas as variedades de radiações existentes no universo (Figura 3). Nos extremos do espectro estão as ondas de rádio, que possuem a frequência mais baixa, e os raios gama (um dos objetos de nosso estudo). Entre essas estão: micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta e raios X (este último, também objeto de nosso estudo). Além disso, podemos citar os raios cósmicos, que são partículas altamente energéticas que podem se originar dentro e fora de nossa galáxia (Okuno, 2010).

Figura 5. Organização das ondas no espectro eletromagnético.



Fonte: Adaptado de <http://www.unscear.org/unscear/en/publications/booklet.html>.

- ✚ Ondas de rádio: Essas ondas estão localizadas na extremidade do espectro eletromagnético e têm frequências baixas e comprimentos longos. Elas são produzidas pela aceleração de elétrons em uma antena de emissão e têm frequências de até 10^8 hertz (Hz).
- ✚ Micro-ondas: Essas ondas têm frequências mais altas do que as ondas de rádio, mas mais baixas do que o infravermelho (entre 10^8 e 10^{12} Hz). Elas são usadas principalmente nas áreas de telecomunicações.
- ✚ Infravermelho: Essas ondas estão próximas à luz visível, mas não podem ser vistas a olho nu. Elas são emitidas por átomos em corpos aquecidos e têm frequências entre 10^{11} e 10^{14} Hz.
- ✚ Luz visível: Essa é a luz que nossos olhos podem ver. Está localizada no centro do espectro eletromagnético e tem frequências entre $4,6 \times 10^{14}$ e $6,7 \times 10^{14}$ Hz. As frequências menores produzem luz vermelha, enquanto as mais altas produzem luz violeta.
- ✚ Raios ultravioleta: Esses raios têm comprimentos menores do que a luz visível e maiores do que os raios X. Eles têm frequências entre 10^{16} e 10^{18} Hz e são emitidos por átomos excitados. O contato direto com esses raios pode prejudicar os olhos e causar câncer de pele.

- ✚ Raios X: Esses raios têm comprimentos menores do que os raios ultravioleta e maiores do que os raios gama. Eles foram descobertos pelo físico alemão Wilhelm Conrad Roentgen e são produzidos pelo choque de elétrons em alta velocidade em um material metálico. Sua frequência está entre 10^{18} e 10^{20} Hz.
- ✚ Raios gama: Esses raios estão localizados na extremidade do espectro eletromagnético. Eles têm a maior frequência (de 10^{20} e 10^{22} Hz) e o menor comprimento de onda. São formados pela desintegração do núcleo de elementos radioativos e são responsáveis pela produção de bombas atômicas.
- ✚ Raios cósmicos: Esses raios são partículas subatômicas altamente energéticas que se originam no espaço interestelar, fora do nosso sistema solar, e que constantemente bombardeiam a Terra e outros corpos celestes. Essas partículas carregadas podem ser prótons, nêutrons, elétrons, núcleos atômicos pesados e até mesmo partículas exóticas, como antiprótons e neutrinos.

De acordo com a Figura 3, o espectro eletromagnético pode ser dividido entre radiação não ionizante e ionizante, compreendendo os raios X, raios gama e raios cósmicos.

2.1.2. Radiação ionizante e não ionizante

A radiação é a emissão de energia por uma fonte, que pode ser transmitida através do vácuo, do ar ou de meios materiais. Existem dois tipos principais de radiação: radiação corpuscular, que inclui partículas como partículas alfa e elétrons, e radiação ondulatória, que abrange ondas eletromagnéticas, como raios X e raios gama. A radiação de partículas ocorre quando um átomo instável (ou radioativo) se desintegra. Por outro lado, a radiação eletromagnética não possui massa e se propaga em forma de ondas. Ela pode variar de energia muito baixa a muito alta, abrangendo o que é conhecido como o espectro eletromagnético.

A radiação pode ser de origem natural ou artificial. Por exemplo, o corpo humano está exposto diariamente à radiação natural, proveniente do solo, gases subterrâneos e da radiação cósmica emitida pelo Sol e pelo espaço sideral. Além disso, fontes artificiais, como procedimentos médicos, televisores, telefones celulares e fornos de micro-ondas, também emitem algum tipo de radiação (Young & Freedman, 2016).

É importante ressaltar, contudo, que a radiação não é necessariamente perigosa. Seu impacto depende de fatores como intensidade, tipo e tempo de exposição. Essas características são fundamentais para compreender os riscos e as potenciais aplicações da radiação para o ser humano.

A energia de uma onda eletromagnética é quantizada, ou seja, é emitida e propagada em pequenos pacotes de energia chamados fótons. Essas partículas não possuem carga elétrica nem massa em repouso e se deslocam à velocidade da luz. Durante a interação da radiação eletromagnética com a matéria, a absorção e emissão de energia são determinadas pela energia de cada fóton, que pode ser calculada por meio da equação:

$$E = h \cdot f \quad \text{ou} \quad E = h \frac{c}{\lambda} \quad (5)$$

Onde:

h é a constante de Planck e vale $6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s} \cong 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}$, c é a velocidade da luz, igual a $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. Fazendo a equivalência, teremos: $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$.

Radiação ionizante é qualquer tipo de radiação capaz de remover um elétron de um átomo ao interagir com ele, um processo descrito como ionização, conforme apontado por Bushong (2010). Dessa forma, qualquer forma de energia que tenha a capacidade de interagir com a matéria e causar ionização é classificada como radiação ionizante.

Entre os principais tipos de radiação ionizante, destacam-se os raios X e os raios gama. Os raios gama são ondas eletromagnéticas de alta frequência e grande capacidade de penetração, geradas por processos subatômicos durante o decaimento radiativo de núcleos atômicos. Por sua vez, os raios X, também caracterizados por alta penetração, são produzidos quando elétrons acelerados colidem com um alvo metálico, resultando na emissão de radiação. Existem diferenças significativas entre raios X e raios gama:

- ✚ Origem: Os raios X são gerados fora do núcleo atômico, a partir de choques de elétrons acelerados com alvos metálicos. Em contraste, os raios gama são emitidos durante o decaimento radioativo de núcleos atômicos instáveis.
- ✚ Energia: Geralmente, os raios gama possuem energias mais altas, frequentemente superiores a 100 keV, enquanto os raios X apresentam energias que variam de aproximadamente 100 eV a 100 keV.
- ✚ Penetração: Devido à sua maior energia, os raios gama têm maior capacidade de atravessar materiais sem serem absorvidos, quando comparados aos raios X.

- 🌈 Utilização: Os raios X são amplamente utilizados na medicina para a obtenção de imagens diagnósticas, como radiografias e tomografias. Já os raios gama têm aplicações diversificadas, incluindo radioterapia, esterilização de equipamentos médicos e irradiação de alimentos.

Wilhelm Conrad Roentgen descobriu os raios X em 1895, durante estudos sobre a luminescência causada por raios catódicos em um tubo de Crookes. Por essa descoberta, ele recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1901 (Lima, Afonso & Pimentel, 2009). Os raios X são gerados no Tubo de Coolidge, onde elétrons emitidos pelo cátodo são acelerados e colidem com o ânodo, produzindo ondas eletromagnéticas.

Os raios X possuem uma ampla gama de aplicações, incluindo radiografias médicas, tratamentos contra o câncer e pesquisas científicas. Por outro lado, os raios gama são emitidos por núcleos instáveis durante processos de decaimento radioativo. Eles têm a capacidade de ionizar moléculas e átomos ao se propagarem, apresentando alto poder de penetração. Contudo, seu uso inadequado pode representar riscos significativos à saúde.

Em resumo, os raios X e os raios gama são formas de radiação ionizante, com origens e propriedades distintas, que exigem cuidados específicos para garantir sua utilização segura.

2.2. O Irradiador de Alimentos

Segundo Santana (2014), as empresas de alimentos investem em sistemas de inspeção por raios X por diversos motivos. Para certas empresas, essa tecnologia é uma ferramenta indispensável para a gestão de riscos; para outras, é uma maneira de aprimorar a qualidade dos produtos. Há também aquelas que veem nesses sistemas uma estratégia de marketing para gerenciar sua reputação.

O sistema de inspeção por raios X tem a capacidade de identificar inconsistências em uma variedade de materiais. Seja em um pacote individual ou em um fluxo contínuo de produtos, ele consegue detectar a presença de ossos, pedras, vidro e metais como ferro, aço, aço inoxidável e alumínio. Além disso, o sistema é capaz de identificar diversos tipos de plásticos, incluindo nylon, PVC e Teflon.

A capacidade de detectar partículas minúsculas varia conforme o material e a sensibilidade do sistema de inspeção por raios X. Além de corpos estranhos, o sistema também pode identificar itens quebrados ou ausentes. Ao contrário dos detectores de

metais, o sistema de inspeção por raios X pode ser utilizado para detectar uma ampla gama de inconsistências em produtos embalados em latas ou envoltos em película metalizada.

É importante destacar que o sistema de inspeção por raios X não se limita à detecção de inconsistências. Ele também pode desempenhar diversas outras funções, como estimar o peso das peças e medir o teor de gordura da carne.

Como funciona a irradiação de alimentos por raios X? Um feixe de raios X é projetado através do produto sendo inspecionado. Do lado oposto do produto, um conjunto de fotodiodos capta a radiação que atravessa o produto. Esses fotodiodos geram um sinal de tensão ou corrente, que é correlacionado com a quantidade de raios X detectada. Esse sinal é então convertido em uma imagem (Figura 4).

Se o produto analisado contiver itens mais densos do que a sua composição geral, eles aparecerão como áreas escuras na imagem, indicando que menos radiação de raios X conseguiu atravessá-los. Por outro lado, vazios na composição do produto, que são menos densos que a composição geral, aparecerão como áreas mais claras, pois mais radiação conseguiu penetrar. Além disso, o sistema pode ser ajustado para rejeitar automaticamente os itens que apresentem defeitos.

De acordo com Santana (2014), a inspeção por raios X é capaz de identificar uma série de imperfeições, indo além da simples detecção de contaminação. Entre as inconsistências que podem ser detectadas estão:

- ✚ Presença de vazios ou bolhas de gás;
- ✚ Componentes fora do tamanho padrão ou ausentes no produto;
- ✚ Ausência total do produto;
- ✚ Rachaduras ou fissuras no produto ou na embalagem;
- ✚ Aglomerações em produtos em pó.

Além disso, o sistema é capaz de calcular o peso dos itens individuais, desde que estejam devidamente separados, permitindo a rejeição de embalagens que estejam abaixo do peso. Portanto, o sistema de inspeção por raios X possibilita a verificação de diversos parâmetros de qualidade, garantindo uma inspeção rápida e eficiente.

Figura 6. Equipamento de irradiação de alimentos por raios X.



Fonte: Food Safety Brazil Org, 2023.

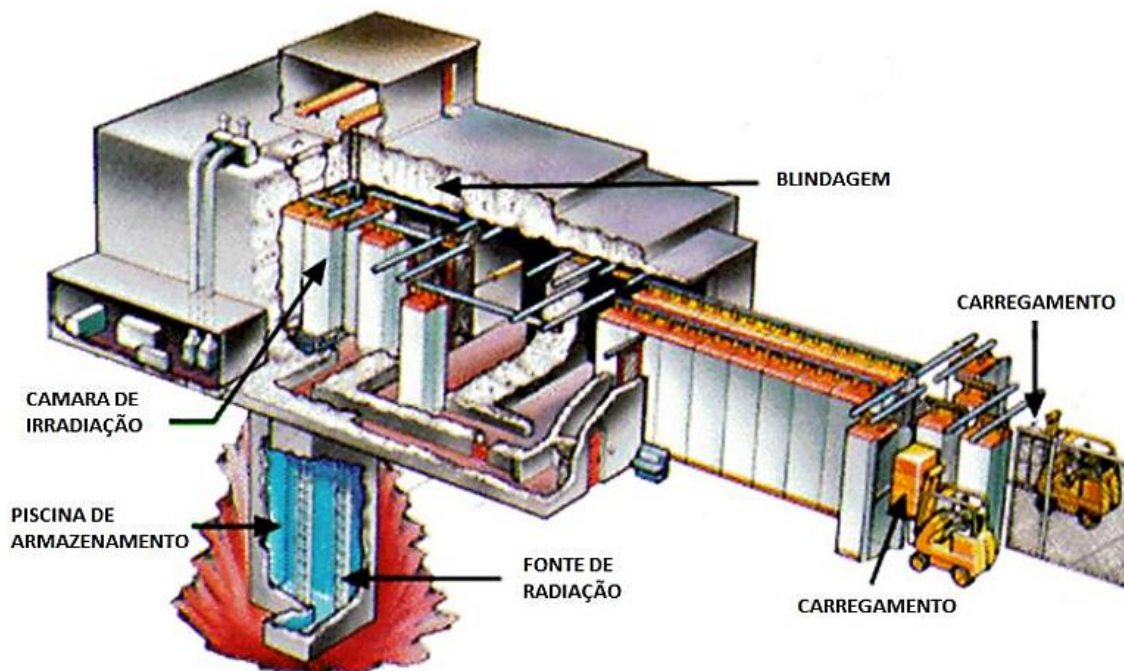
Para o irradiador com raios gama, os alimentos são colocados em um recipiente de metal hermeticamente fechado contendo elementos radioativos como cobalto-60 ou cério-137, que emitem raios gama. Os raios são direcionados para o alimento que está sendo irradiado, mas o próprio alimento nunca entra em contato direto com a fonte de cobalto ou cério (Figura 5).

O processo de irradiação de alimentos segue os seguintes passos:

1. Preparação do alimento: O alimento é limpo e embalado em recipientes resistentes à radiação antes do processo de irradiação.
2. Exposição à radiação: O alimento embalado é então exposto à fonte de raios gama, geralmente cobalto-60 ou cério-137. A radiação penetra no alimento, matando ou inativando os organismos prejudiciais presentes.
3. Tempo de exposição: O tempo de exposição varia conforme o tipo de alimento e o objetivo da irradiação. Por exemplo, a irradiação pode ser utilizada para retardar o amadurecimento, prevenir a brotação ou eliminar patógenos.
4. Pós-processamento: Após a irradiação, o alimento não retém radioatividade e pode ser manuseado sem riscos. É então armazenado e transportado nas mesmas condições que os alimentos não irradiados.

A irradiação de alimentos é uma técnica segura e eficaz, respaldada por diversas organizações internacionais de saúde e segurança alimentar.

Figura 7. Irradiador de alimentos com radiação gama.



Fonte: <https://www.ifsudestemg.edu.br/>

3. Metodologias Ativas no Ensino de Radiação

As metodologias ativas de aprendizagem são estratégias pedagógicas que buscam envolver os estudantes de forma ativa e participativa no processo de construção do conhecimento. Em contraste com as abordagens tradicionais, que se baseiam na transmissão passiva de informações pelo professor, as metodologias ativas incentivam a autonomia dos alunos e os colocam como protagonistas da própria aprendizagem (Studart, 2019).

Dentre as características essenciais das metodologias ativas, destacamos aqui:

- ✚ **Envolvimento Ativo:** As metodologias ativas promovem a participação ativa dos estudantes por meio de atividades práticas, debates, resolução de problemas e colaboração em grupo.
- ✚ **Feedback Imediato:** Os alunos recebem feedback imediato durante o processo de aprendizagem, o que ajuda a consolidar o conhecimento.

- ✚ Professor como Mediador: O papel do professor muda de transmissor de informações para mediador, orientando os alunos e estimulando o pensamento crítico.
- ✚ Foco em Habilidades: Além de transmitir conteúdo, as metodologias ativas desenvolvem habilidades como pensamento crítico, comunicação e trabalho em equipe.

Dentre os vários tipos de metodologias ativas, podemos citar:

- ✚ Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): Os alunos trabalham em grupos para resolver problemas do mundo real, aplicando conceitos aprendidos.
- ✚ Flipped Classroom (Sala de Aula Invertida): Os alunos estudam o conteúdo em casa e usam o tempo em sala de aula para discussões, atividades práticas e esclarecimento de dúvidas.
- ✚ Peer Instruction (Instrução entre Pares): Os alunos discutem conceitos com seus colegas e respondem a perguntas durante a aula.
- ✚ Design Thinking: Abordagem que incentiva a criatividade e a resolução de problemas por meio de etapas como empatia, definição, ideação, prototipagem e teste.

Essas metodologias têm o potencial de transformar a experiência educacional, tornando-a mais dinâmica, relevante e alinhada com as necessidades dos alunos e da sociedade.

De acordo com Araujo & Mazur (2013), o ensino de física eficaz vai além da simples exposição de conteúdos e requer métodos de ensino ativos que envolvam os estudantes como agentes corresponsáveis pelo processo de aprendizagem. Dois desses métodos são o Ensino sob Medida (EsM) e a Instrução por Pares (IpP), aplicados desde a década de 90 e reconhecidos por melhorar a aprendizagem conceitual e o desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais.

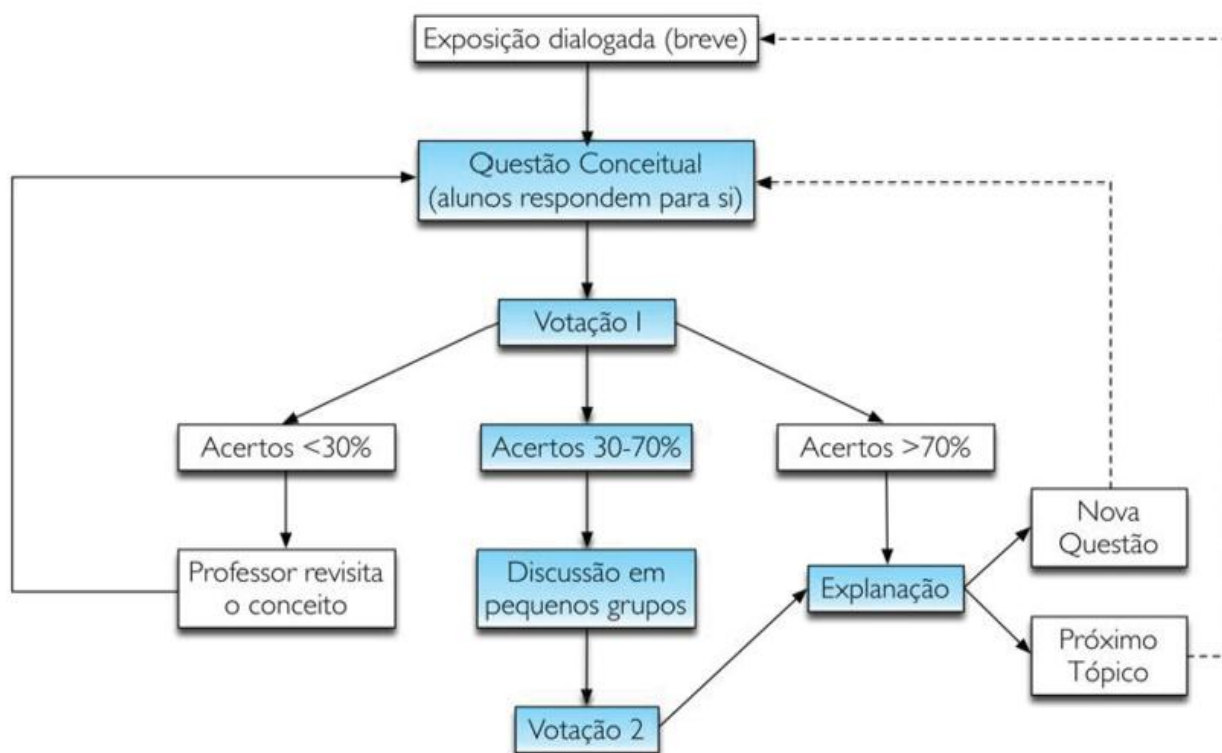
A Instrução por Pares envolve a colaboração entre os estudantes, incentivando-os a discutir ideias, trabalhar em grupo e ensinar uns aos outros. Esse método promove o diálogo entre os alunos, facilitando a troca de conhecimentos e experiências, o que pode aumentar a compreensão dos conceitos e o engajamento na aprendizagem (Mörschbacher & Padilha, 2017).

Desenvolvido pelo físico Eric Mazur (2015), a IpP é uma estratégia educacional amplamente aplicada, especialmente nas ciências e engenharias. Seu princípio básico é promover a interação entre os alunos para que aprendam uns com os outros. A estratégia geralmente envolve os seguintes passos:

- ✚ Introdução ao tópico: O professor apresenta o conceito ou tópico a ser estudado.
- ✚ Pergunta conceitual: O professor formula uma pergunta relacionada ao tópico, que requer raciocínio e não apenas uma resposta direta.
- ✚ Votação individual: Cada aluno responde à pergunta individualmente, estimulando-os a pensar sobre o conceito antes da discussão em grupo.
- ✚ Análise dos resultados: Os resultados são analisados em termos percentuais. Se menos de 30% acertaram, o professor revisita o conteúdo; se mais de 70%, é feita uma breve explanação e segue-se para a próxima questão; entre 30% e 70%, ocorre a discussão em pares.
- ✚ Discussão em pares: Os alunos são divididos em duplas ou pequenos grupos para discutir suas respostas e argumentar seus pontos de vista.
- ✚ Votação novamente: Após a discussão, os alunos votam novamente na mesma pergunta.
- ✚ Discussão em sala de aula: O professor facilita uma discussão em sala de aula, onde os alunos compartilham suas respostas, raciocínios e justificativas.

Esse método não apenas engaja os alunos ativamente no processo de aprendizagem, mas também promove o desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, comunicação e colaboração. O diagrama a seguir auxilia na compreensão das etapas na aplicação da metodologia (Figura 6).

Figura 8. Diagrama sobre a aplicação do método Instrução por Pares (IpP).



Fonte: Araujo & Mazur (2013).

A Instrução por Pares (IpP) promove a participação ativa dos alunos e a construção conjunta do conhecimento. Segundo Valente et al. (2017), há benefícios significativos associados a essa metodologia:

- ✚ Melhora o engajamento dos alunos, tornando as aulas mais dinâmicas e interessantes.
- ✚ Reforça a compreensão dos tópicos por meio da discussão entre os colegas.
- ✚ Identifica conceitos mal compreendidos, oferecendo oportunidades para esclarecimentos.
- ✚ Desenvolve habilidades de comunicação e argumentação.
- ✚ Promove a aprendizagem colaborativa, incentivando a cooperação e o trabalho em equipe.

Para maximizar esses benefícios, é crucial que o professor crie um ambiente seguro e encorajador para os alunos expressarem suas ideias e dúvidas. Além disso, a formulação de perguntas conceituais desafiadoras é fundamental para estimular o pensamento crítico e facilitar discussões significativas (Araujo & Mazur, 2013).

A escolha adequada de questões conceituais pode aumentar a eficiência na promoção de debates enriquecedores entre os alunos, especialmente quando envolvem

raciocínios relacionados a concepções alternativas e dificuldades sobre o conteúdo estudado. Além disso, a atribuição de notas com base no desempenho nos testes conceituais durante as atividades de IpP motiva os alunos a se engajarem mais ativamente nas discussões e na compreensão dos conceitos abordados.

Em resumo, ao integrar questões e atribuir notas com base no desempenho nos testes conceituais em sala de aula, a Instrução por Pares pode se tornar uma estratégia mais eficaz na promoção do aprendizado ativo e na construção colaborativa do conhecimento.

4. Considerações Finais

A implementação comercial da tecnologia de irradiação de alimentos no Brasil tem apresentado um crescimento gradual e lento, em grande parte devido a concepções errôneas de uma ampla parcela dos consumidores brasileiros. Muitos têm uma visão preconcebida, originada da imagem negativa associada à energia nuclear. Assim, podemos afirmar que a educação desempenha um papel crucial na aceitação de novas tecnologias pelos consumidores, especialmente no caso dos alimentos irradiados.

Nesse sentido, a abordagem desses conceitos em sala de aula não só atende a uma das recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) sobre Física Moderna, que enfatiza a necessidade de discutir as diversas aplicações da energia nuclear, incluindo seu uso na agricultura e, por consequência, a irradiação de alimentos, como também funciona como uma porta de entrada para a compreensão de conceitos da Física que muitas vezes são alvo de preconceito. No entanto, o tema específico da irradiação de alimentos não é explicitamente mencionado, cabendo ao docente decidir como abordar essa área.

Portanto, a relevância da participação ativa do estudante destaca a importância de contextualizar os saberes científicos, permitindo que o aluno compreenda as finalidades do conhecimento. Consequentemente, acreditamos que uma abordagem pedagógica das ciências, orientada para a realidade cotidiana, é um meio eficaz de transformar o aluno em um agente ativo no processo educacional, bem como um multiplicador de informações científicas.

Com este trabalho, esperamos que os alunos compreendam que a utilização da radiação ionizante visa assegurar a segurança dos alimentos, sendo uma alternativa eficiente e segura ao uso de pesticidas agrícolas, além de se mostrar promissora para prolongar a vida útil dos alimentos e minimizar as perdas nas colheitas. Dessa forma, o estudante se tornará um agente multiplicador da importância da Física Moderna em nosso cotidiano, além de ajudar a desmistificar a ideia de que essa área da Física seja responsável apenas por grandes danos à humanidade.

Além disso, as metodologias ativas, que promovem o envolvimento ativo dos estudantes por meio de atividades práticas, debates, resolução de problemas e colaboração em grupo, desempenham um papel fundamental nesse processo educativo. Essas metodologias permitem que os alunos recebam feedback imediato durante o processo de aprendizagem, o que ajuda a consolidar o conhecimento de forma mais eficaz.

Pudemos confirmar na prática todos esses benefícios, observando que a aplicação dessas metodologias realmente melhora o engajamento dos alunos, tornando as aulas mais dinâmicas e interessantes. Ao promover discussões entre os colegas, a compreensão dos tópicos foi reforçada, e conceitos mal compreendidos foram prontamente identificados e esclarecidos. Além disso, essas práticas efetivamente desenvolveram habilidades de comunicação e argumentação, promovendo a aprendizagem colaborativa e incentivando a cooperação e o trabalho em equipe.

Referências Bibliográficas

- ARAUJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 30, n. 2, p. 362-384, 2013.
- BUSHONG, S. C. *Ciência radiológica para tecnólogos: física, biologia e proteção*. [tradução Sandro Martins Dolghi et al.] Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica*. 10 ed. Rio de Janeiro: Ed. LTC-GEN, 2016.
- LEVY, D. et al. Irradiação de alimentos no Brasil: revisão histórica, situação atual e desafios futuros. *Brazilian Journal of Radiation Sciences*, p. 1-16, 2020.
- LIMA, R. D. S.; AFONSO, J. C.; PIMENTEL, L. C. F. Raios-X: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, v. 32, p. 263-270, 2009.
- MAZUR, E. *Peer instruction: a revolução da aprendizagem ativa*. Trad. Anatólio Laschuk. Porto Alegre: Penso, 2015.
- MÖRSCHBÄCHER, J. L.; PADILHA, T. A. F. Contribuições e desafios da metodologia instrução entre pares: um estudo de caso no ensino técnico, 2017. Disponível em: <<https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/20dee545-55dd-4e4f-bb41-19fbc768b488/content>>. Acesso em: 15 de março de 2024.
- OKUNO, E. *Física das radiações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- SANTANA, A. Sistema de inspeção por raio X no controle de qualidade de alimentos. *Food Safety Brazil*, 2014. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/sistema-de-inspecao-por-raio-x-no-controle-de-qualidade-de-alimentos/>. Acesso em: 24 novembro de 2024.
- SANTOS, A. A. Desenvolvimento de uma maquete da ampola de raios X para ensino e aprendizagem de seus componentes. Trabalho de Conclusão de Curso de Física Médica. Universidade Federal de Sergipe, 2023.
- STUDART, N. Inovando a ensinagem de física com metodologias ativas. *Revista do Professor de Física*, v. 3, n.3, p. 1-24, 2019.
- VALENTE, J. A., ALMEIDA, M. E. B., & GERALDINI, A. F. S. Metodologias ativas: das concepções às práticas em distintos níveis de ensino. *Revista Diálogo Educacional*, v. 17, n. 52, p. 455-478. DOI: 10.7213/1981-416x.17.052.ds07, 2017.
- YOUNG, H. D., FREEDMAN, R. A. *Física II – Termodinâmica e Ondas*. 14 ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

ANEXO 1 – JOGO: QUAL FAIXA?

Fonte: SANTOS, B. M. et al, Jogo de cartas sobre o espectro eletromagnético. UFAC, 2022.

Público alvo

Destina-se a alunos do ensino médio que estejam estudando o tema de radiações eletromagnéticas. E para professores de física/ciências em formação inicial ou continuada, como exemplo de jogos para o ensino de física/ciências.

Estrutura do jogo

Trata-se de um baralho de cartas sobre o espectro eletromagnético (Figura 1) e exemplos de suas aplicações no cotidiano, com a possibilidade de execução de vários jogos com o baralho construído.

Figura 1: Espectro eletromagnético.



Fonte: <https://static.mundoeducacao.uol.com.br/mundoeducacao/2020/05/espectro-eletromagnetico.jpg>

O baralho completo soma um total de 85 cartas e está apresentado no Apêndice A. São 7 naipes/categorias com 11 cartas cada, no qual cada naipe/categoria é composta por:

- 1 carta que nomeia a faixa de radiação (por ordem crescente com a frequência da onda e energia, temos: “Ondas de rádio”; “Micro-Ondas”; “Infravermelho”; “Luz visível – Cotidiano”; “Ultravioleta”; “Raios-X”; “Raios Gamas”) e

- 10 cartas com os respectivos exemplos, observações ou aplicações no cotidiano ou na atualidade de radiações de cada faixa do espectro eletromagnético (listadas anteriormente).

Complementa o baralho um naipe/categoria com 8 cartas:

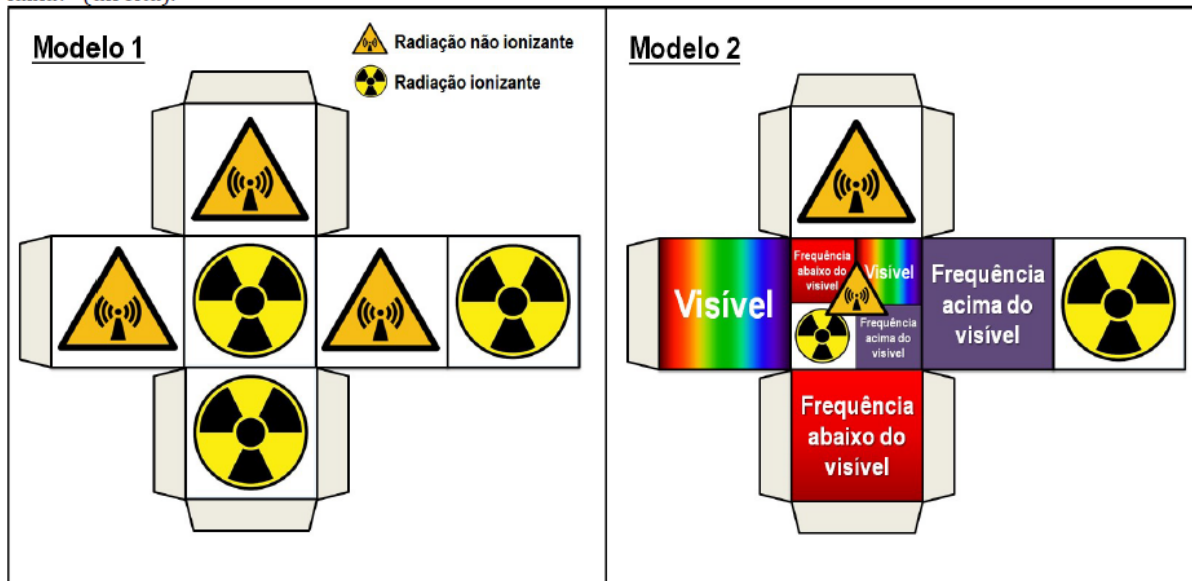
- 1 carta chamada “Luz visível – Espectro” e
- 7 cartas, uma para cada cor do espectro visível.

A Figura 2 mostra todas as categorias adotadas no baralho, mostrando um exemplo de duas cartas de cada faixa do espectro eletromagnético adotado no baralho: a carta que nomeia a faixa do espectro, a qual indica o naipe, e uma carta exemplo/aplicação da respectiva faixa. A maioria das cartas é algum exemplo ou aplicação da faixa do espectro eletromagnético no cotidiano ou na atualidade.

Figura 2: Exemplo de cartas do baralho.



Figura 3: Modelo 1 de dado para o jogo “Resta uma radiação” (esquerda) e Modelo 2 de dado para o jogo “Qual faixa?” (direita).



Durante a elaboração do jogo foi considerado alguns conceitos importantes que devem ser observados pelos usuários do baralho. A saber, observaram-se as grandezas: comprimento de onda (λ), frequência da onda (f), velocidade da luz no vácuo (c), energia da onda (E) e constante de Planck (h). Descrevem-se as relações entre estas grandezas da seguinte forma:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{ou} \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

Eq. 1

$$E = hf$$

Eq. 2

“Qual faixa?” também inspirado no jogo UNO, mas incluindo uma dinâmica diferente de um jogador em cada rodada ter a opção de escolher qual tipo de carta deverá ser lançada na mesa, tirado no dado de Modelo 2 (Figura 3 - direita);

Jogo 3 – Qual faixa?

O objetivo do jogo é eliminar primeiro as cartas à mão, segundo as classificações: “Ionizante”, “Não Ionizante”, “Visível”, “Frequência abaixo do visível”, “Frequência acima do visível”, ou segundo a escolha no dado de quem jogar o dado, dentre as cinco opções listadas acima. Para este jogo são utilizadas todas as cartas do espectro eletromagnético. Entre os objetivos do jogo, também descreve: impedir que outro competidor finalize o jogo. Este jogo pode ser disputado por dois ou até oito competidores.

Em sentido horário ou anti-horário da disposição dos jogadores na mesa, definido pelos participantes antes do início da partida, em cada rodada um novo competidor jogará o dado que determinará qual classificação de radiação deve ser jogada na mesa. E caso o dado caia na face que contém as 5 classificações listadas no dado, quem jogou o dado escolhe qual tipo de radiação vai querer: “Qual faixa?”. Antes de começar a partida, deve ser determinado quem será o primeiro a lançar o dado e o sentido em que irá ocorrer a troca dos competidores que lançarão o dado.

Ressalta-se que para o jogo, as cartas de: “Ondas de rádio”; “Micro-ondas”; “Infravermelho”; e “Luz visível” são consideradas não ionizantes; e que as cartas com as radiações: “Ultravioleta”; “Raios-X”; e “Raios Gama” são considerados ionizantes.

A seguir é descrita a dinâmica inicial do jogo.

1) Distribui-se 7 cartas para cada competidor, e as cartas que sobrarem formam o monte de compra.

2) Deve ser escolhido o sentido das jogadas, como vai alternar a pessoa que lança o dado em cada rodada, e quem será o primeiro a lançar o dado.

3) Em seguida é lançado o dado de Modelo 2 (Figura 3 - direita) e tirada a classificação da radiação da rodada, entre: “Ionizante”, “Não ionizante”, “Visível”, “Frequência abaixo do visível”, “Frequência acima do visível”, e “Todas as opções”. E se o dado cair na face que contém “Todas as opções” com as 5 classificações listadas, quem lançou o dado escolhe qual faixa de radiação vai querer.

4) Dentro da rodada, segundo a ordem determinada antes do início da partida (horária ou anti-horária), cada competidor deve lançar na mesa uma carta, se tiver na mão, do tipo de radiação solicitada.

5) Aqueles que colocarem cartas erradas na mesa, que não correspondem à radiação solicitada, devem recolher para si a carta lançada de forma errada e comprar três cartas do monte de descarte.

6) Aquele que não tiver a carta solicitada para jogar, deve comprar cartas do monte de descarte até puxar uma que possa ser lançada.

7) Finalizada a rodada, joga-se o dado novamente e repete-se esses procedimentos até que algum jogador fique sem cartas na mão.

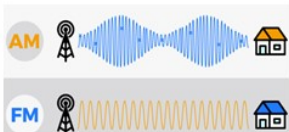
Para manter a continuidade do jogo, à medida que as cartas forem sendo descartadas na mesa, elas devem compor o monte de compra. Sugere-se que para aplicação do jogo em sala de aula, a turma seja dividida em grupos de 8. Para vencer o jogo, é importante o estudante estar atento às informações que aparecem: no dado, nas cartas que possuem a mão e nas que são lançadas na mesa. É importante verificar se todas as cartas lançadas na mesa representam a radiação solicitada, e caso alguém tenha lançado a carta errada, os jogadores devem fazer quem errou comprar 3 cartas.

Cartas do jogo

Ondas de Rádio

1

Frequência AM e FM



2

Antenas de telecomunicações



3

Rádio



4

Antena de TV digital



5

Radiocomunicadores



6

Microfone sem fio



7

Rede telefonia celular



8

Fisioterapia com ondas curtas



9

Telégrafo



10

Radioteles cópio



Micro-ondas

1

Forno micro-ondas



2

Internet Wi-Fi



3

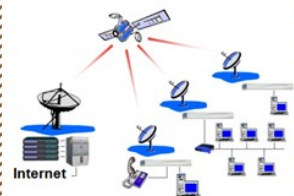
Bluetooth



4 TV a cabo



5 Internet banda larga via satélite



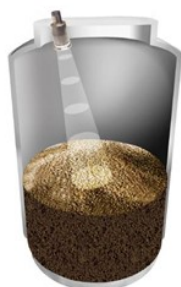
6 Babá eletrônica



7 Radar de velocidade



8 Radar de nível



9 GPS portátil



10 Satélite



**Infraver
melho**

1 Termômetro



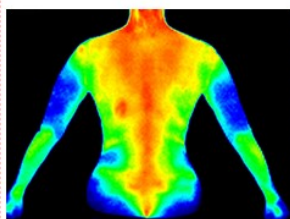
2 Controle remoto de TV



3 Porta com sensor de presença



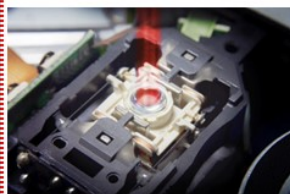
4 Fotografia térmica



5 Câmera infravermelha



6 Lasers de leitores de CD e DVD



7 Leitor de preço de supermercado





Luz Visível - Cotidiano

1 Lâmpada de filamento



2 Arco-iris



3 Iluminação de Palco



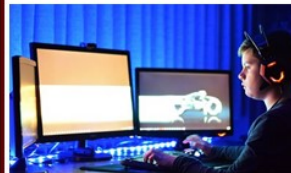
4 Semáforo



5 Laser



6 Luminosidade de telas



7 Farol de carro



8 Terapia com luz vermelha



9 Fototerapia capilar com luz verde



10 Luz Interna Pulsada



Ultravioleta

1 Sol UV-A e UV-B



2 Lâmpada fluorescente



3 Luz negra



4

Fototerapia



5

Câmara de
estetização UV



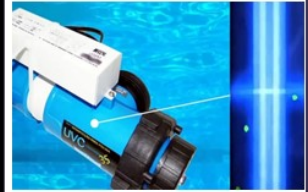
6

Lanterna UV



7

UV-C para
tratamento
de piscinas



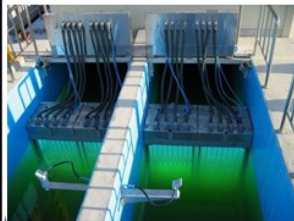
8

Rodo UV-C



9

Desinfecção de
água e efluente
com UV-C



10

Visão
ultravioleta
das abelhas



Raios-X

1

Exame de
Raios-X



2

Raios-X em
aeroporto



3

Tomografia
computadorizada



4

Mamografia



5

Raios-X de
corpo em
presídio



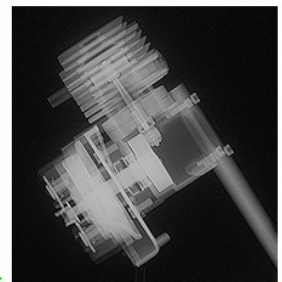
6

Radiografia
panorâmica



7

Radiologia
industrial



8

Raios-X de alimentos



9

Fluorescência de Raios-X



10

Difração de Raios-X



Raios Gama

1

Radioterapia com Gama



2

Cintilografia ou gamagrafia



3

Tomografia por emissão de pósitrons PET



4

Observações astronômicas



5

Esterilização de equipamentos cirúrgicos



6

Irradiação de alimentos com gama



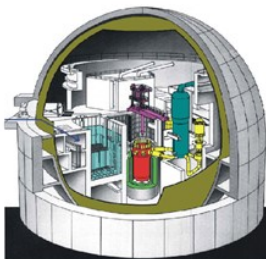
7

Gamagrafia industrial



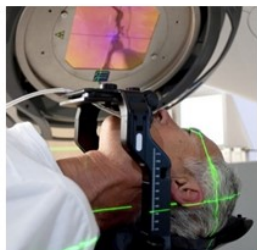
8

Núcleo do reator nuclear



9

Radiocirurgia Gamma Knife



10

Detector de radiação



