

# O uso das Radiações no cotidiano

Alessandra Fabiana Aguiar Marques Fontolan  
Profa Dra Carla Daruich de Souza

**Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares**  
**São Paulo/SP - Brasil**  
**2022**



O desenvolvimento teórico da cartilha foi estudado, desenvolvido e trabalhado pela aluna de Mestrado **Alessandra Marques Fortolan** e sua orientadora **Dra. Carla Daruich de Souza** pelo **IPEN** – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares no curso de Mestrado Profissional de Tecnologia das Radiações e Ciências da Saúde.



O designer gráfico da cartilha foi feito no MS Powerpoint e todas as imagens ilustrativas foram retiradas de sites como o freepik e possuem copyright livre. Não há intenção de ganho monetário com esse material.

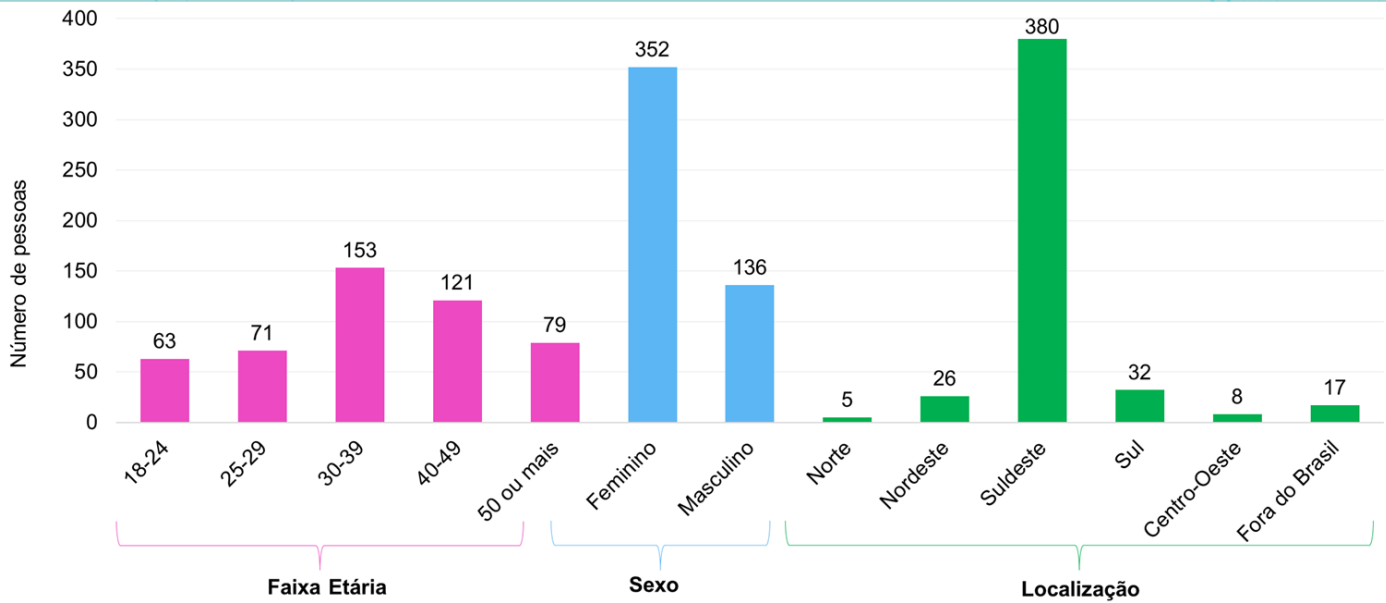
Essa cartilha se encontra gratuitamente para **download** no site <https://61a7139be421d.site123.me/> para acesso gratuito de informações e o nosso contato.

# Resultados da pesquisa de opinião

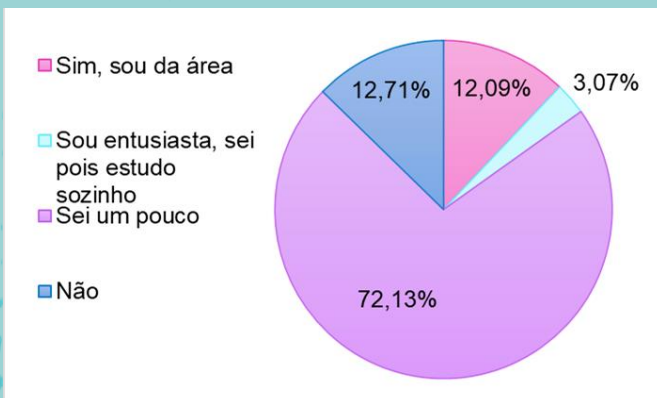
Fizemos uma pesquisa de opinião para fundamentar essa cartilha



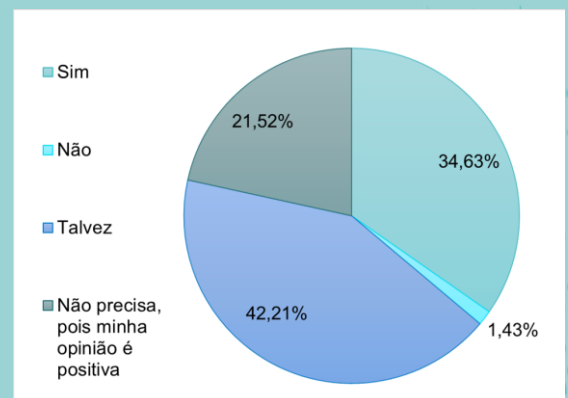
## Participantes



Você sabe o que é energia nuclear?



Uma aula ou folder contendo material informativo sobre energia nuclear/radiações poderia fazer você mudar suas opiniões?

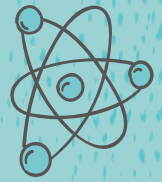
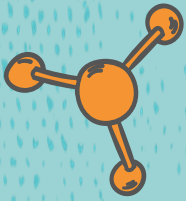


Nossos sinceros agradecimentos à todos que participaram da pesquisa

Nosso material serve para você que quer saber um pouco mais sobre a energia nuclear e seus usos. Trazemos uma linguagem simples e esperamos que você se divirta aprendendo!



# Tópicos escolhidos



01



02

Radioisótopos  
e Medicina  
Nuclear

O átomo e a  
radioatividade

03

Tipos de  
Radiações

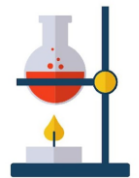
04

Radiologia



05

Bombas  
Nucleares



06

Acidentes  
Nucleares

07

Usinas  
Nucleares



08

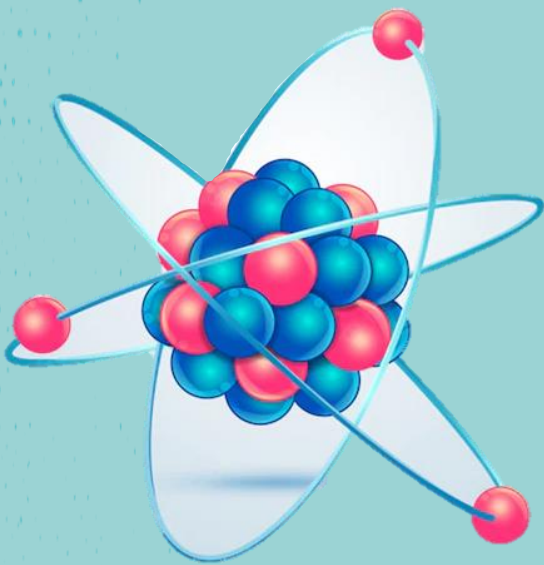
Usos  
Inusitados  
da Energia  
Nuclear

09

O Futuro

Referências





01

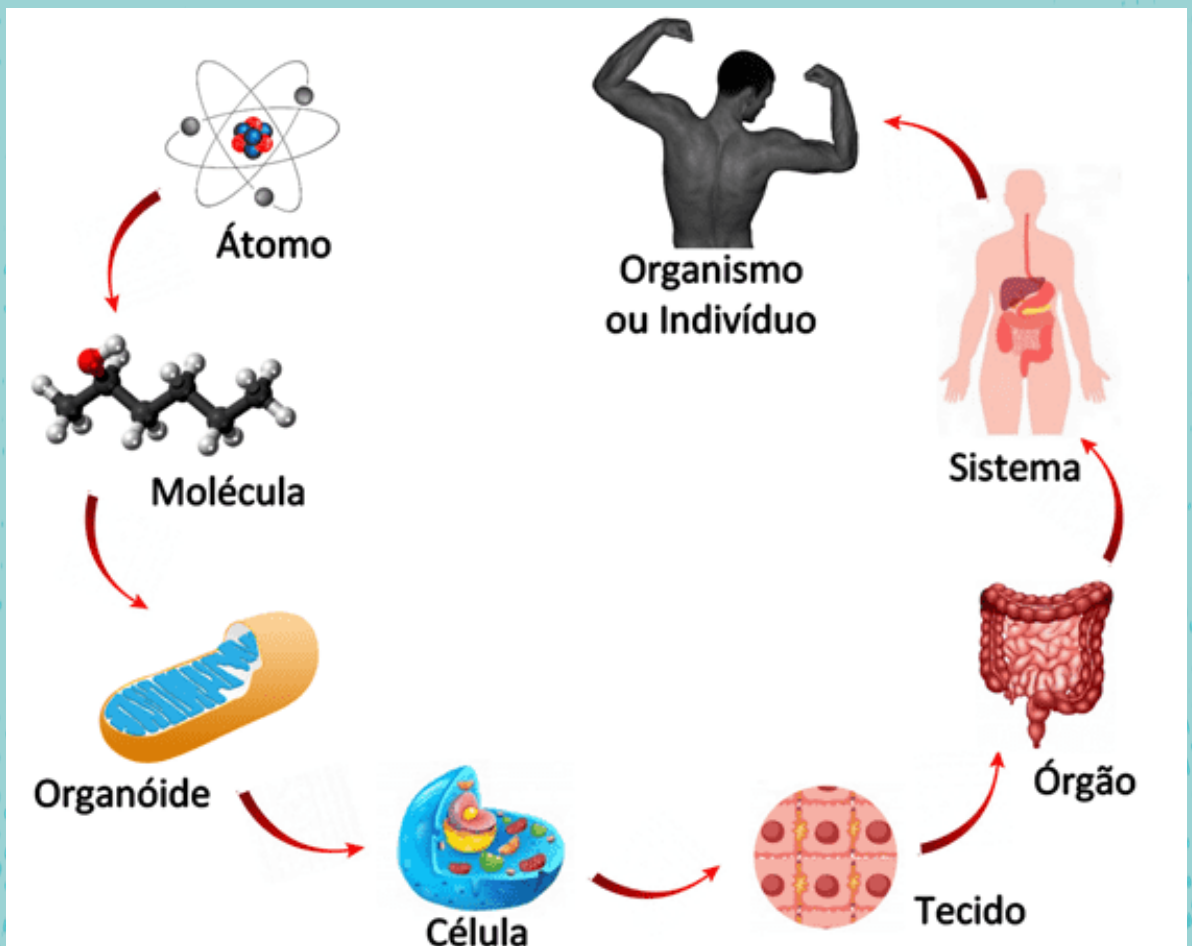
# O átomo e a Radioatividade

# O que é radioatividade?

É um fenômeno natural ou artificial no qual átomos radioativos emitem sua energia extra (radiação) para se estabilizar.



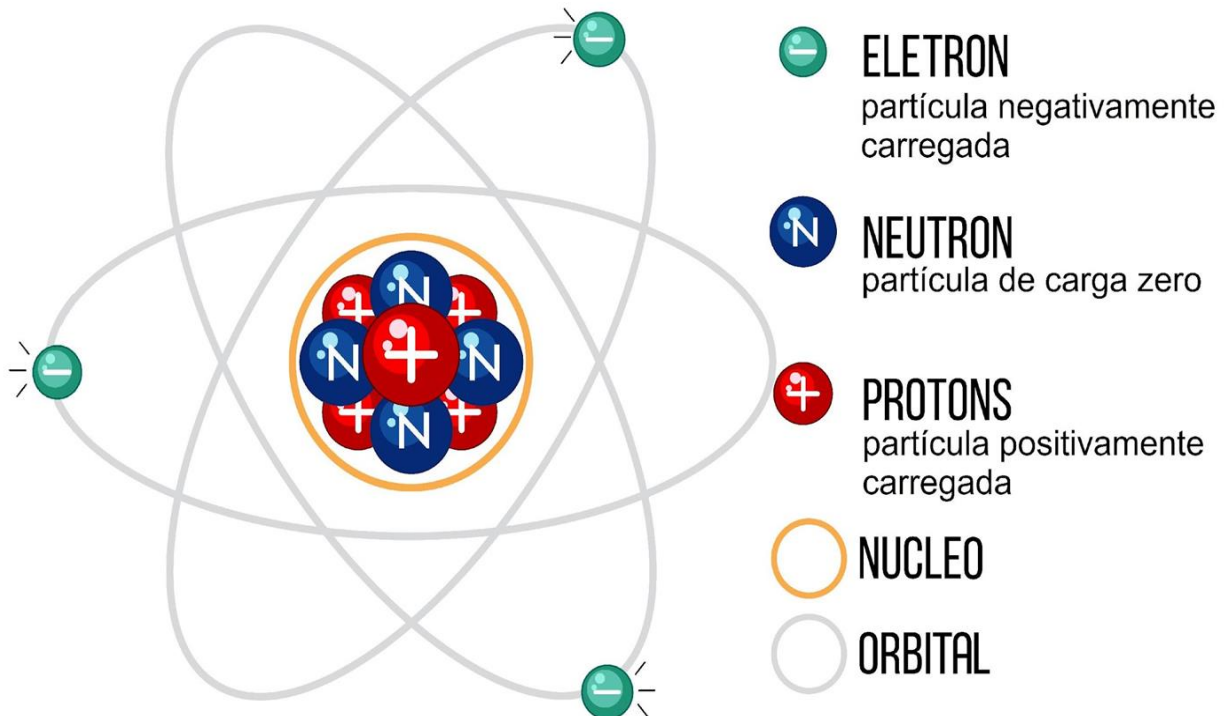
Vamos explicar começando pelo átomo, que forma toda a matéria.



O átomo é a menor unidade em que a matéria pode ser dividida sem a liberação de partículas eletricamente carregadas.

É formado por elétrons e núcleo, O núcleo é subdividido em prótons e nêutrons.

Os elétrons no átomo se movimentam ao redor do núcleo, assim como os planetas giram ao redor do sol.

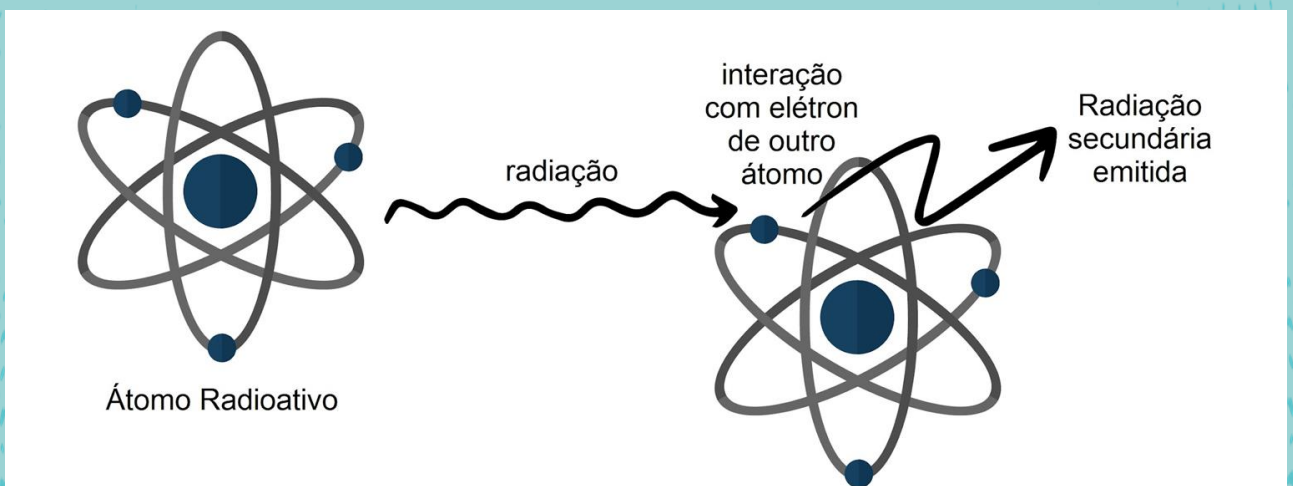


Quando os átomos são instáveis, ou seja, tem energia demais, essa energia precisa ser emitida para ele se estabilizar. Essa energia é chamada de **RADIAÇÃO**



Essa energia vem primariamente do núcleo do átomo, mas ela pode também ter sido gerada por uma interação secundária

*Por exemplo ....*



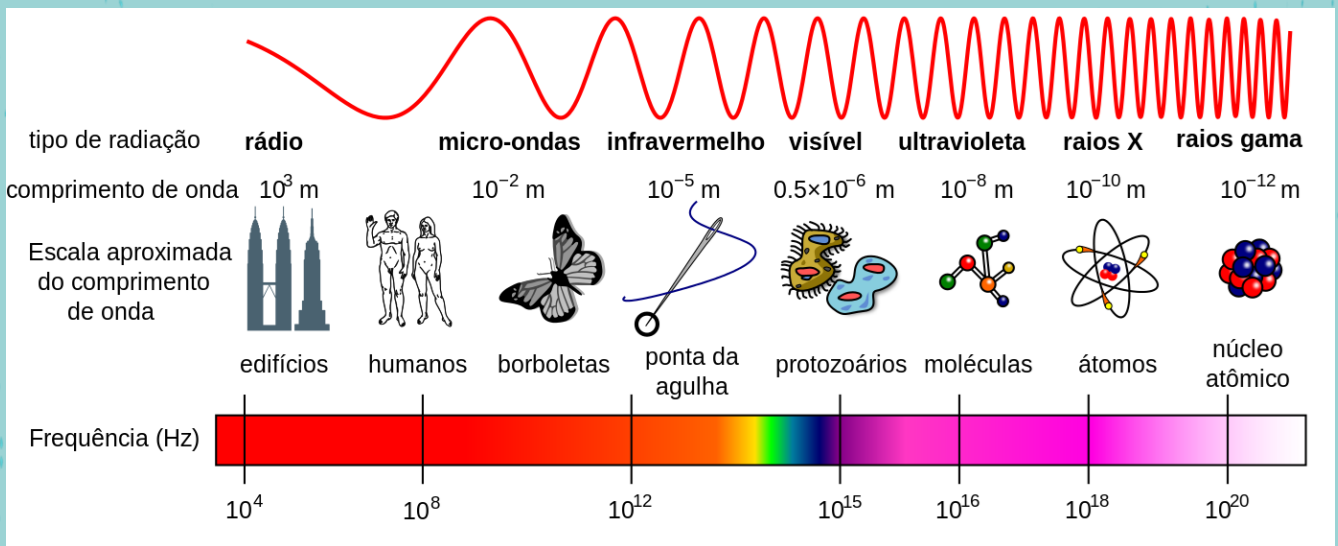


02

Tipos de  
Radiações

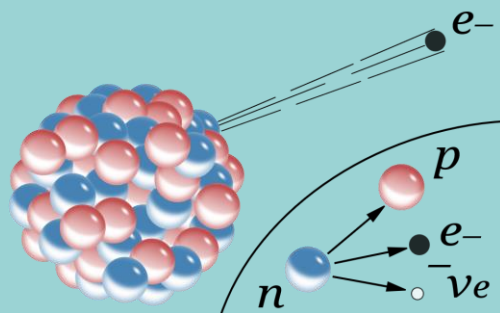
As radiações geradas na hora da quebra do núcleo podem ser de caráter eletromagnético (ondas) ou partículas. Podem gerar ainda mais radiação quando interagem com a eletrosfera do átomo, ou pela interação com outros núcleos.

## Espectro eletromagnético



Dependendo do comprimento de onda envolvido, uma radiação pode ser classificada em ionizante ou não ionizante.

## Radiação particulada - exemplo elétrons



Podem ser vários tipos como um elétron, um próton ou uma radiação alfa (2 prótons e 2 nêutrons juntos), entre outros.

# Radiação não ionizante

É uma radiação de baixa energia, mas de alcance longo que vai até a ultravioleta no espectro magnético.

Por exemplo:

- Óptico que é a energia associada a luz como o laser, o infravermelho e ultravioleta
- Radiofrequência que incluem as ondas de rádio e micro-ondas



Símbolo internacional de advertência de radiação óptica

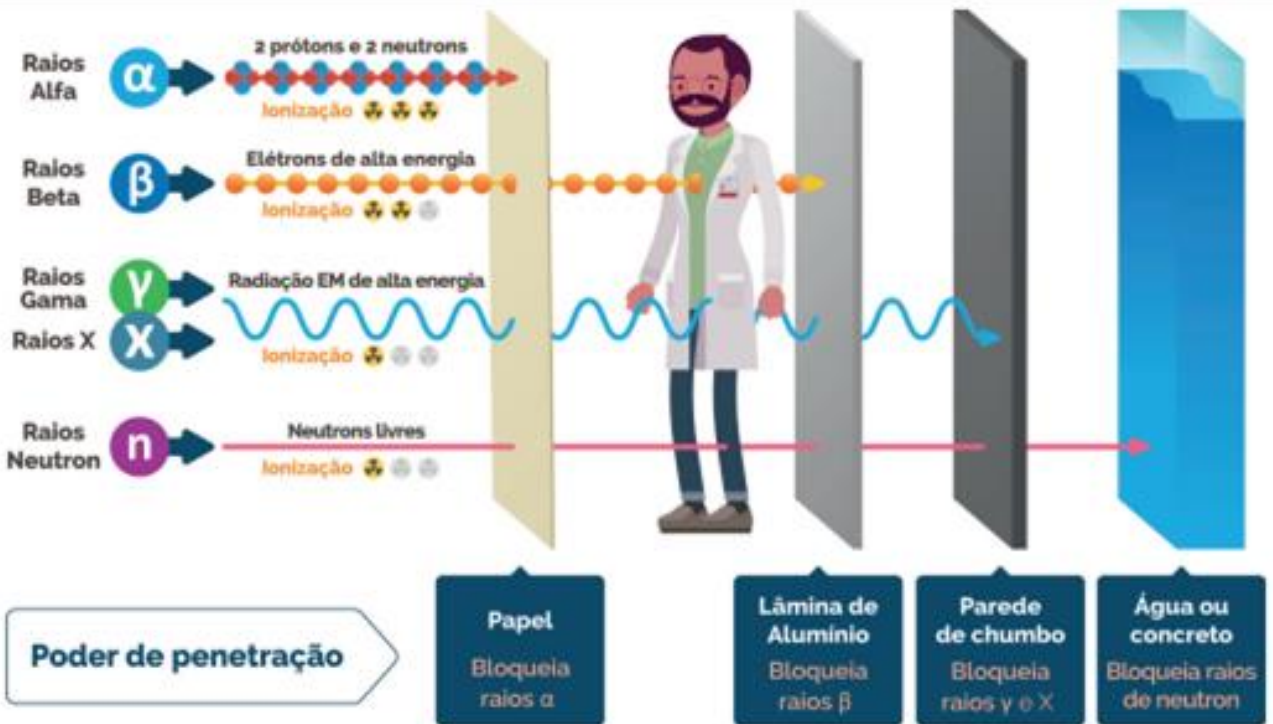
Também temos que tomar cuidado com essas radiações, usando filtro solar para nos proteger dos raios ultravioletas que podem causar câncer, óculos de proteção para o Laser, muito aplicado hoje a procedimentos estéticos, mas que podem prejudicar os olhos.

Por ser não ionizante, o microondas não causa câncer



# Radiação ionizante

Radiação com os maiores níveis de energia tem alcance mais "curto", mas alto poder de penetração, interagindo com a matéria podendo arrancar elétrons dos átomos. Podemos necessitar de proteção quando perto dela. Geradas por fontes naturais ou dispositivos são as partículas  $\alpha$ , partículas  $\beta$ , raios X, radiação  $\gamma$  e nêutrons.



Materiais radioativos são aqueles que emitem radiação ionizante

# Radiação natural

São materiais ou regiões que são naturalmente radioativos. Estão à nossa volta no solo, rochas, alimentos e raios cósmicos que atingem a terra.

- Raios cósmicos são partículas que caem na terra do espaço sideral com alta energia, mas felizmente a atmosfera terrestre brinda a maior parte dessas radiações. Ainda bem!!!!
- Elementos radioativos formados por fusões nucleares são encontrados no solo, em rochas e na água.



Por isso a tripulação de um submarino nuclear está menos sujeita a radiação do que alguém em solo, pois o combustível está em um compartimento blindado, e que quem está em terra seca se sujeita à radiação natural.

# Areia radioativa? ?

Praia de Meaípe



Praia Preta



Nas praias de Areia Preta e Meaípe em Guarapari, no Espírito Santo, as areias são radioativas. Essa areia contém monazita, um mineral raro que contém urânio e tório radioativo, emitindo 175 mSv por ano, o que é muito mais do que o normal em uma cidade brasileira.

Dose efetiva anual devido a radiação natural	
Fonte	média mundial
Radiação cósmica	0,4mSv
Radiação terrestre	0,5mSv
inalação	1,2mSv
ingestão	0,3mSv

Mas qual é o limite de exposição à radiação?



A Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) estabeleceu a Norma Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica com limites de exposição à radiação para os Indivíduos Ocupacionalmente Expostos (IOE) e para os Indivíduos do Público, que são as pessoas que não trabalham em áreas de radiação.

# Efeito das radiações ionizantes no homem

Qualquer dose absorvida, inclusive as provenientes da radiação natural, pode induzir câncer ou matar células. Então o efeito no nosso organismo depende da dose absorvida, da taxa de exposição crônica ou aguda e da forma da exposição se é localizada ou no corpo inteiro. Quanto maiores as taxas de doses absorvidas, maiores as probabilidades de danos, de mutações precursoras de câncer e de morte celular.

## *Efeitos da exposição aguda em adulto*

FORMA	DOSE ABSORVIDA	SINTOMATOLOGIA
Infra-clínica	Inferior a 1 Gy	Ausência de sintomatologia na maioria dos indivíduos.
Reações gerais leves	1-2 Gy	Astenia, náuseas, vômitos (3 a 6 hs. Após a exposição; sedação em 24 hs.)
Hematopoiética leve	2-4 Gy	Função medular atingida: linfopenia, leucopenia trombopenia, anemia; recuperação em 6 meses.
Hematopoiética grave	4-6 Gy	Função medular gravemente atingida.
DL <sub>50</sub>	4-4,5 Gy	Morte de 50% dos indivíduos irradiados
Gastro-intestinal	6-7 Gy	Diarréia, vômitos, hemorragias, morte 5 ou 6 dias.
Pulmonar	8-9 Gy	Insuficiência respiratória aguda, coma e morte entre 14 e 36 h.
Cerebral	superior a 10 Gy	Morte em poucas horas por colapso

A unidade de dose absorvida é o Gray (Gy ou Joule/kg).

Já a quantidade de energia depositada pela radiação recebida por uma pessoa é chamada de Dose e sua medida é realizada na unidade de milisievert (mSv).

Limite de dose anuais			
Grandeza	Órgão	IOE	Público
Dose efetiva	Corpo inteiro	20mSv *	1mSv
Dose equivalente	Cristalino	20mSv **	15mSv
	Pele	500mSv	50mSv
	Mãos e pés	500mSv	-

\* Limite de Dose Efetiva de 100 mSv em 5 anos consecutivos e 50 mSv em um único ano  
 \*\* Limite de Dose Equivalente de 100 mSv em 5 anos consecutivos e 50 mSv em único ano.

O processo de exposição médica que considera o uso de baixas doses de radiação ionizante deve enquadrar-se dentro de critérios apropriados, avaliando sempre a relação risco/ benefício para o paciente, otimizando o benefício em relação ao malefício da utilização das radiações ionizantes.



Usa-se o princípio ALARA (*As Low Reasonably Achievable*) traduzindo “Tão baixo quanto razoavelmente exequível”.

Dose média de radiação em exames de imagens	
Exames de imagens	Dose média de radiação efetiva
Radiografia de tórax	0,1mSv
Radiografia de abdomem	1mSv
Mamografia	0,7mSv
Tomografia de crânio	2mSv
Tomografia de abdômem	10mSv
Tomografia de tórax	7mSv
Angiografia	12mSv
Pet scan	7mSv

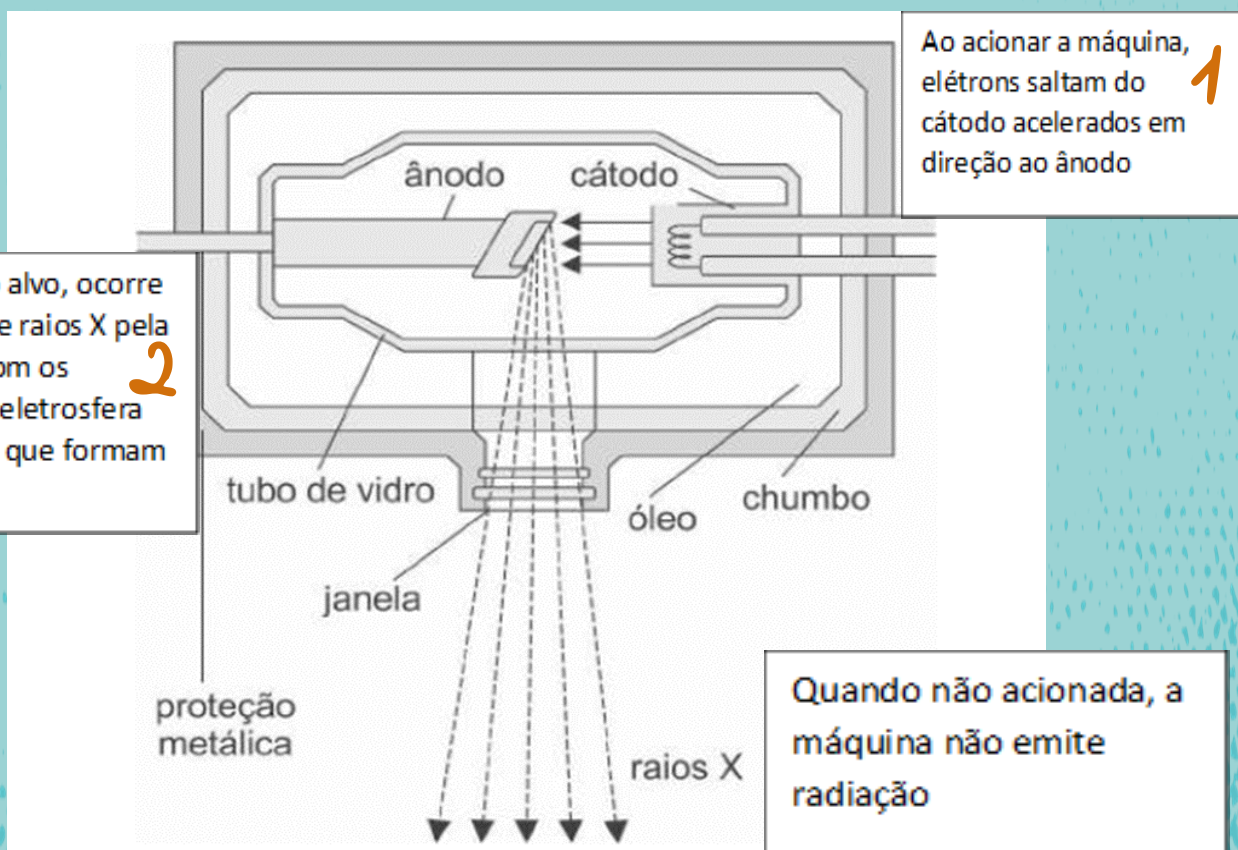
# Geradores de radiação artificiais

Dentre os mais importantes tipos de geradores de radiação artificial destacam-se os tubos de raio-X e os aceleradores de partículas. Os dispositivos de raio-X e aceleradores de partículas utilizam a energia elétrica para acelerar partículas e gerar radiação.

Irradiadores utilizam radioisótopos como fonte de radiação que ficam blindados por materiais capazes de barrar a radiação, permitindo uma exposição controlada.

Fontes de nêutrons utilizam reações nucleares produzidas por partículas alfa emitidas por um material radioativo em um determinado alvo.

## Tubo de Raios X

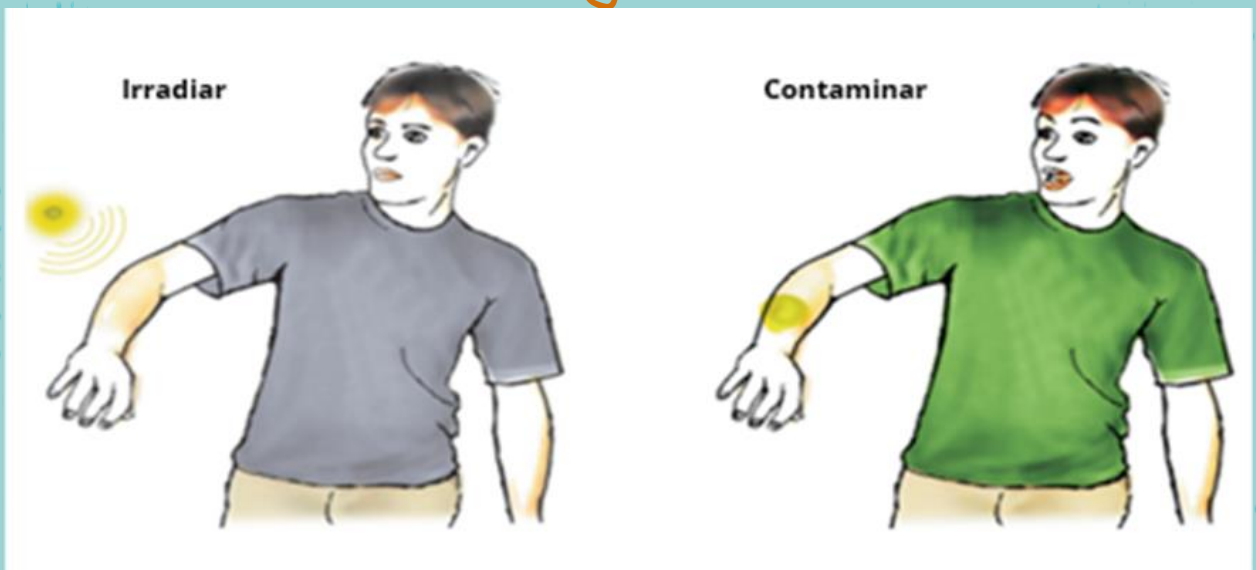


# Irradiação e Contaminação

A irradiação ocorre quando algo é exposto à radiação emitida por um elemento radioativo, mas sem entrar em contato direto com o material radioativo, não se tornando uma fonte de radioatividade e nenhum perigo para as pessoas.

Já a contaminação radioativa acontece quando um material radioativo entra em contato com um objeto e até por pessoas e é absorvido, tornando o material radioativo. A descontaminação radioativa consiste em retirar o contaminante da área afetada.

Irradiar não significa contaminar



O Contador Geiger é o detector mais utilizado para medir a intensidade da radiação.



**Lembre-se: por que um material foi irradiado, ele não se torna radioativo. Materiais só se tornam radioativos mediante a fontes de nêutrons (reator nuclear) ou em aceleradores de partículas (cíclotron).**

03

# Radioisótopos e Medicina Nuclear



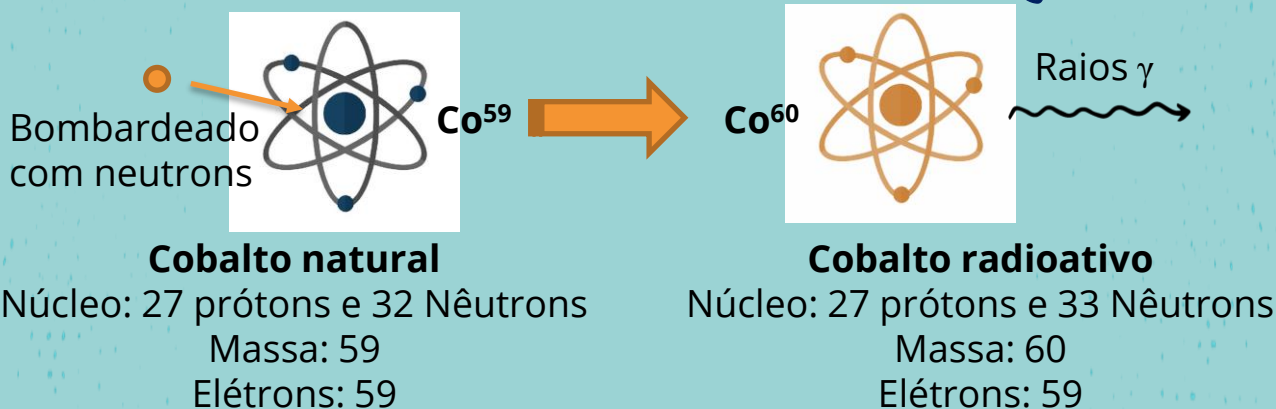
# Radioisótopos

Os Radioisótopos são formados por átomos com o mesmo número atômico e diferentes números de massas (isótopos) que emitem radiação.



São produzidos em reatores nucleares de produção ou pesquisa, aceleradores, concentrados da natureza por processos químicos, ou obtidos pelo reprocessamento do combustível nuclear.

Na natureza temos o exemplo do cobalto que tem 59 de massa, sendo totalmente estável, mas quando um nêutron colide com seu núcleo o átomo é modificado, passando a adquirir propriedade radioativa com a massa de 60 e emitindo raios gama.



Todo elemento radioativo vai se desintegrando com o tempo, esse é o decaimento radioativo.

O tempo necessário para que metade dos núcleos radioativos reduza-se a metade é chamado de meia vida.

Radioisótopo	Meia-Vida
Carbono 15	2,4 s
Xenônio-135	9 h
Fósforo 32	32 dias
Enxofre 35	87 dias
Cobalto 60	5,26 anos
Estrôncio 90	28,1 anos
Césio 137	30,17 anos
Carbono 14	5.730 anos
Plutônio 239	24.110 anos
Urânio 235	713 milhões de anos

Os irradiadores utilizam radioisótopos como fonte de radiação, que ficam blindados por materiais capazes de barrar a radiação, permitindo uma exposição controlada.



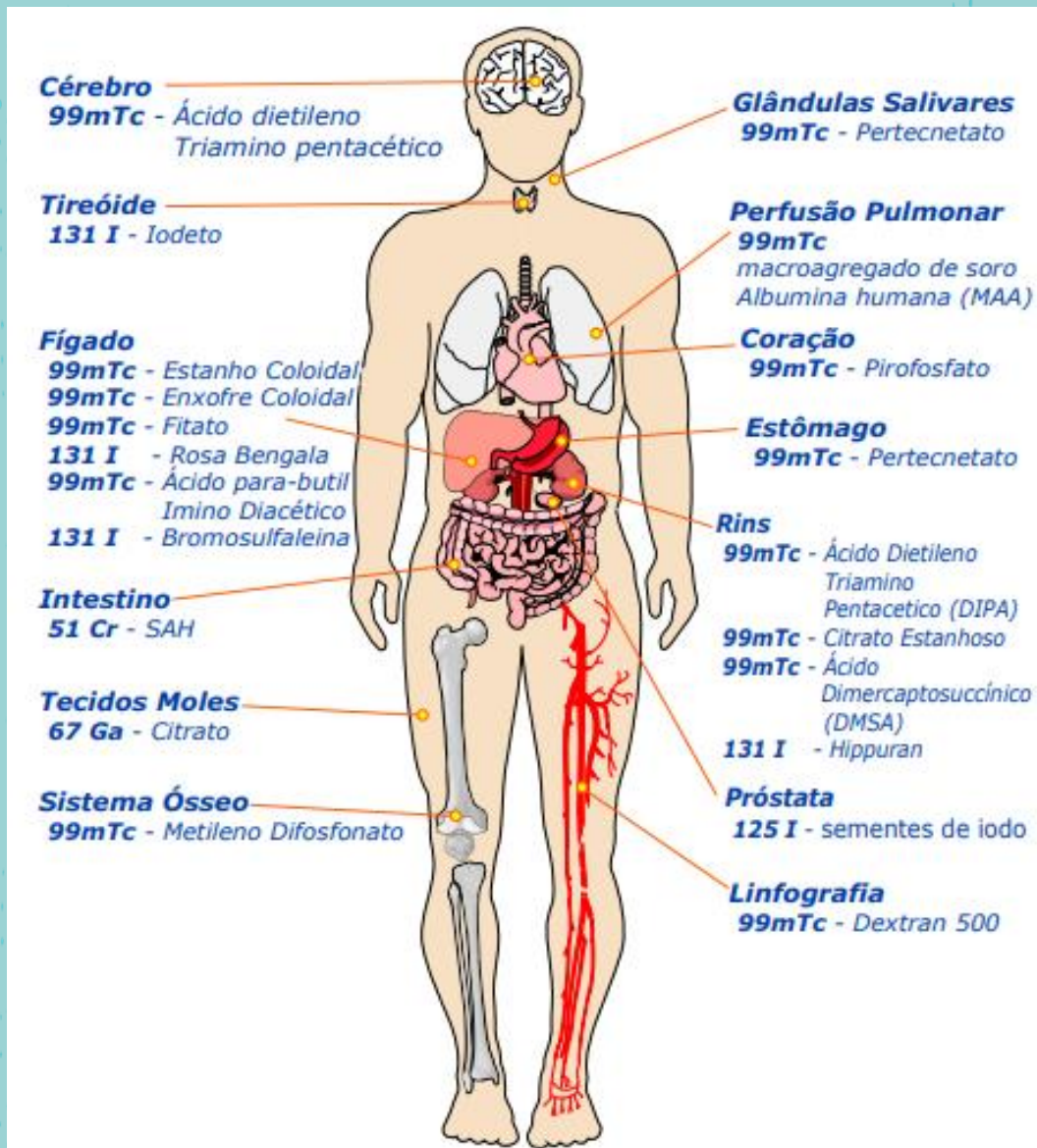
Irradiator do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
Localizado na USP em São Paulo

No irradiador do IPEN, as fontes de Cobalto-60 ficam protegidas por blindagem pesada de chumbo. Enquanto não estão sendo utilizadas, ficam embaixo de uma piscina de água. Aqui a água é utilizada como barreira de proteção.



# Medicina Nuclear

Usa fontes radioativas não seladas, ou seja, os próprios radioisótopos que ligados a moléculas de interesse biológico formam um radiofármaco emissor de radiação. Este é mapeado dentro do corpo do paciente usando um detector externo, como uma câmara de cintilação (cintilografia) ou um tomógrafo por emissão de pósitrons (PET).



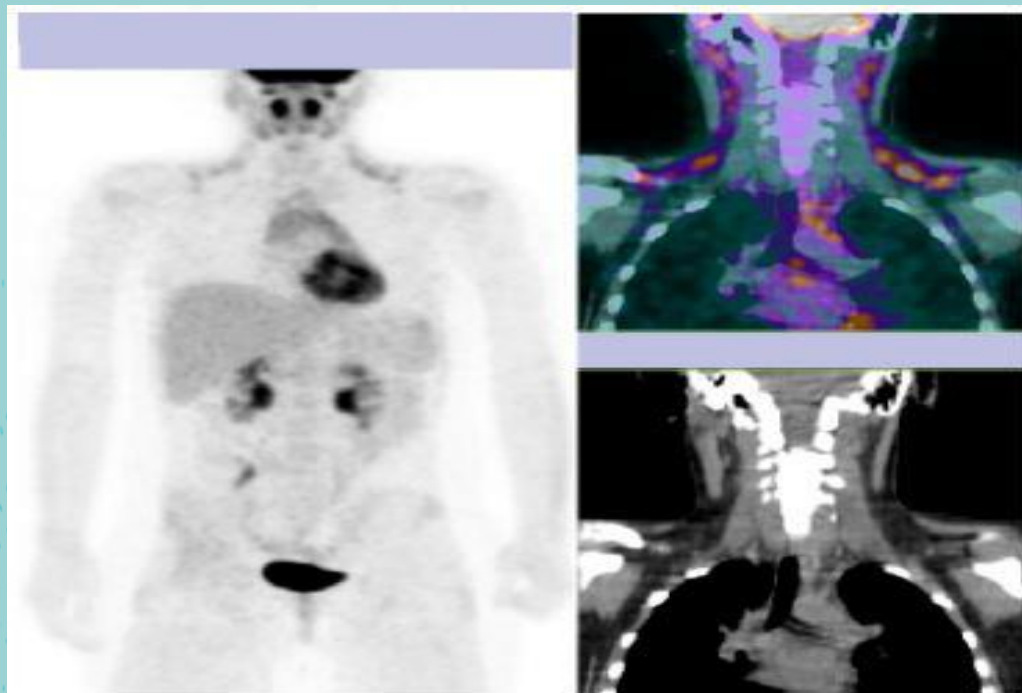
Ela é aplicada no tratamento de várias doenças como hipertireoidismo, dores ósseas, diversos tipos de câncer e tumores específicos e no diagnóstico de doenças como a embolia pulmonar, infecções agudas, infarto do miocárdio, câncer, obstruções renais, demências entre outros. O material tem meia-vida curta, passando rapidamente pelo corpo do paciente.

# Tomografia por Emissão de Póstrons (PET CT)

É um exame capaz de avaliar alterações metabólicas e funcionais junto com a anatomia para diagnosticar precocemente tumores e cânceres em fase bem inicial.

Para realizar esse exame o paciente recebe na veia uma pequena quantidade controlada e segura de material radioativo (geralmente o radiofármaco  $^{18}\text{F}$ -FDG), necessário para a captação das imagens do exame. Esse material vai se espalhar pelo corpo do paciente e concentrar-se em maior quantidade em locais com metabolismo mais intenso e maior consumo de glicose, como o tumor.

A gravidade do câncer é avaliada com base na luminosidade de algumas partes, quanto mais intenso o brilho nos resultados, maior a atividade metabólica.



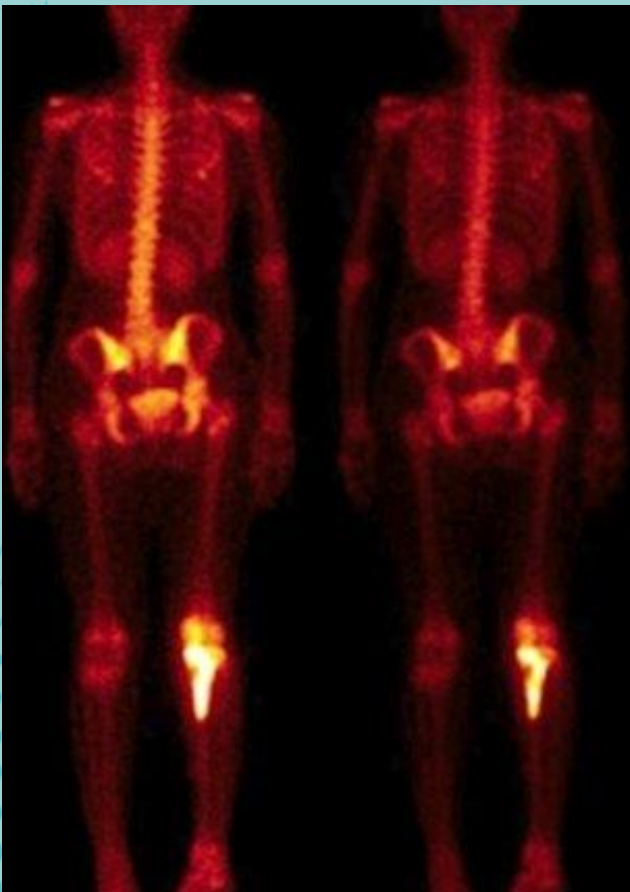
Exame de PET/CT utilizando a radiação emitida pelo  $^{18}\text{F}$ -FDG. O FDG é fluorodesoxiglicose marcada com Flúor-18, radiofármaco análogo da glicose

# Cintilografia

A cintilografia é utilizada para investigar localização e progressão de tumores e metástases, usando radiofármacos, como o iodo-131 e o gálio-67.

Eles são administrados e absorvidos pelos órgãos, emitindo uma radiação que é detectada pelo equipamento tornando possível verificar como o radiofármaco se distribui no organismo.

O normal é que a substância se distribua uniformemente no corpo, mas quando ocorre uma grande concentração de radiofármaco em um órgão ou região do corpo é indicativo de doença.



**Cintilografia de corpo inteiro**

**Iodo-131:** avaliação de tireoide ou metástases em quem já realizou a retirada da tireoide;

**Gálio-67:** utilizado para verificar a evolução dos linfomas, pesquisar metástase e investigar infecções;

**Octreotide (Índio-111 ou Iodo-123):** para processos tumorais de origem neuroendócrina, como os tumores de tireóide, pâncreas e o feocromocitoma;



Você sabia que tem um reator nuclear dentro da cidade de São Paulo?



No campus da USP temos o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, o **IPEN**, onde foi construído em 1956 o IEA-R1 um reator de pesquisa tipo piscina. Os reatores de produção ou pesquisa são diferentes dos que geram energia, pois são menos potentes e possuem canais de irradiação que levam o material a ser ativado diretamente para o núcleo.



Você pode visitar o reator do IPEN! É só entrar em contato!

No reator nuclear a fissão nuclear é controlada, com mecanismos que impedem uma reação descontrolada e permitem que os produtos da reação sejam aproveitados para gerar energia elétrica, produzir radiofármacos utilizados na medicina nuclear e pesquisas que utilizam a energia nuclear. É nesse reator que radioisótopos para a medicina nuclear são fabricados e nprvos são desenvolvidos.

O IPEN também tem a Radiofarmácia que processa os radioisótopos e os prepara para distribuição para os hospitais



Hot-Cell de manipulação



Processamento de materiais



Radiofármacos

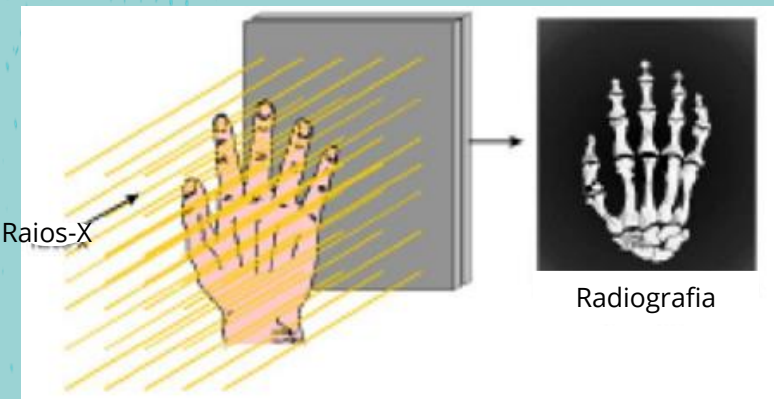


04

Radiologia

# Radiografia

O mais antigo e conhecido uso da radiação ionizante é a radiografia, que através da emissão de raios X produz imagens internas do corpo. Já vimos como é produzido o raio X !!!!!



Esses raios atravessam o corpo, sendo mais absorvidos pelas partes mais densas como os ossos e dentes, e menos em tecidos moles e órgãos, permitindo a formação de uma imagem onde é possível distinguir essas estruturas.

# Fluoroscopia

É um exame que fornece imagens em movimento e em tempo real do interior do corpo, a partir da emissão de raios X de um Fluoroscópio. Permite compreender movimentações orgânicas internas, mediante o uso de contrastes, seguindo o direcionamento de um instrumento no interior do corpo ou de um cateter que esteja sendo introduzido nos vasos sanguíneos.



Ingestão do contraste de bário no exame de fluoroscopia

# Tomografia Computadorizada

Exame que permite a obtenção de uma série de radiografias em múltiplos ângulos por uma fonte e um tubo detector de raios X dentro do equipamento.

Com as informações, é possível realizar uma reconstituição tridimensional da imagem por computação, possibilitando a visualização da imagem num monitor de vídeo em fatias sem sobreposição de órgãos, com a reconstituição em três dimensões oferecendo uma diferenciação melhor entre as várias densidades de tecidos moles.



**Paciente realizando exame de Tomografia Computadorizada**

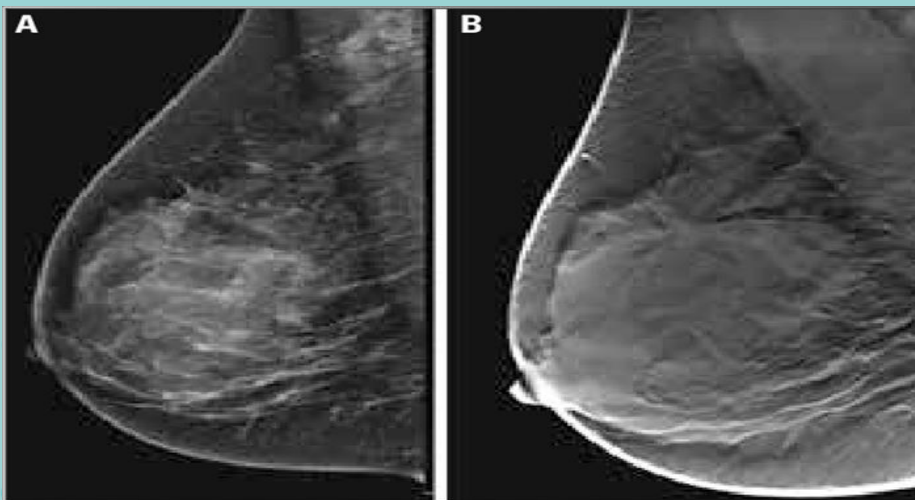
# Mamografia e Tomossíntese

A **mamografia** é realizada por um equipamento específico, o mamógrafo, onde são utilizados raios X com uma energia baixa, capaz de uma absorção diferencial que possibilita a visualização dos músculos e estruturas adiposas que formam a mama.

Já na **Tomossíntese ou Mamografia 3D** utiliza-se um mamógrafo digital em que o tubo de raios-X faz uma trajetória em forma de arco sobre a mama comprimida, em ângulos variáveis, obtendo-se projeções mamográficas com baixa dose de radiação, que são reconstruídas utilizando a tecnologia digital similar à tomografia.



É super importante, tanto no rastreamento quanto no diagnóstico do câncer de mama, que todas as mulheres acima de 40 anos façam a mamografia!



A: mamografia (2D) e B: Tomossíntese (3D).

# Radioterapia

Muito usada no tratamento de câncer, a radioterapia usa a radiação ionizante para diminuição ou destruição de tumores, usando o princípio de maximizar o dano no tumor e minimizar o dano nos tecidos saudáveis. As células tumorais são mais sensíveis à radiação por se dividirem com muita frequência e possuir alto acúmulo de água e oxigênio.

Ela é dividida em duas modalidades: a Teleterapia e a Braquiterapia.

## Teleterapia

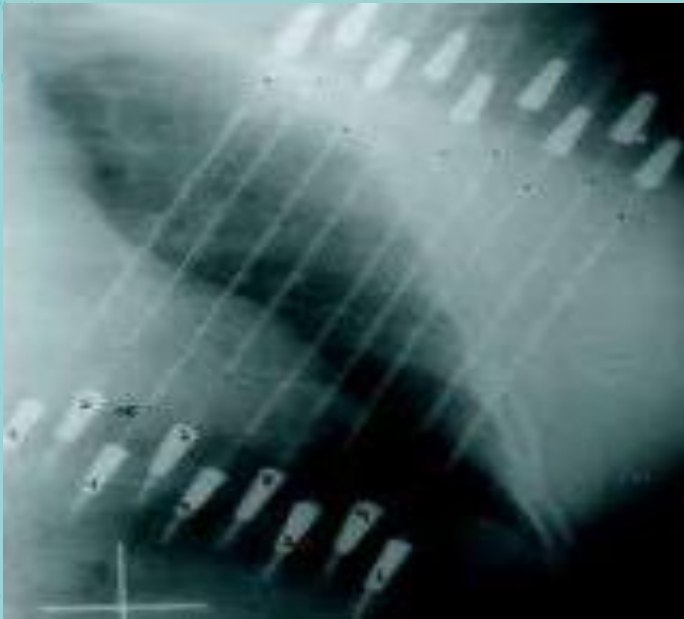
A fonte de radiação fica longe do tumor. No início do desenvolvimento desse tratamento, eram utilizados equipamentos com uma fonte radioativa, como o Cesapan F-3000, que causou o acidente de Goiânia, que utilizava césio-137. A partir da década 70 começaram a ser utilizados aceleradores lineares, os Linacs, para a teleterapia. Eles produzem raios X de alta energia e elétrons acelerados a partir da energia elétrica.



**Acelerador Linear Elekta Versa HD**

# Braquiterapia

A fonte da radiação é colocada perto ou em contato com o tumor e tem a vantagem de focar ainda mais nos efeitos das radiações no alvo. É muito utilizada no tratamento de Câncer de Cabeça e pescoço, mamas, próstata e colo de útero. Com esse método a maior dose de radiação atinge os tecidos tumorais, poupando os tecidos saudáveis.



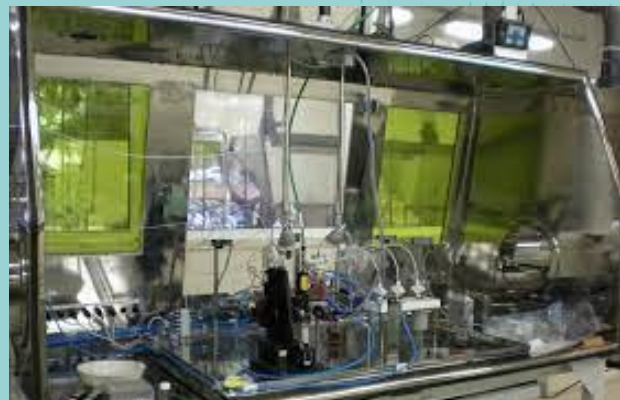
Radiografia de mama com agulhas de irídio-192

Radiografia de sementes de iodo-125 na próstata

Como exemplo, pode-se citar as sementes de iodo-125, fios e pellets de irídio-192, placas de fósforo-32, entre outros. A dose de radiação pode ser liberada por um curto período, com implantes temporários, ou até o decaimento da fonte, implantes permanentes. Recentemente, criou-se outro ramo da braquiterapia, chamado de nanobraquiterapia. Os estudos são promissores e principalmente realizados com ouro-198.



Você sabia? O Brasil tem projeto para produzir as sementes de iodo-125 com tecnologia nacional. O laboratório de produção está 80% pronto.





05

Bombas  
Nucleares

# Bombas Nucleares

A bomba nuclear é feita para explodir através de uma reação em cadeia rápida formada por uma quantidade material radioativo como o urânio enriquecido acima de 90%.

Por comparação, um Reator Nuclear é construído com uma concentração de Urânio muito baixa,  $\approx 3\%$ , e com materiais absorvedores de nêutrons que controlam e até acabam com a reação em cadeia, de forma que não possa explodir como uma bomba atômica. Temos como exemplo as bombas atômicas que devastaram Hiroshima e Nagasaki no Japão no fim da Segunda Guerra Mundial.



A temperatura da Bomba atômica jamais foi vista na terra!!!!



**Modelo pós-guerra de "Little Boy", a bomba atômica que explodiu sobre Hiroshima**



**Explosão causada pela bomba nuclear lançada sobre a cidade de Hiroshima**

Graças ao Tratado de Não Proliferação Nuclear (TNP), esse futuro sombrio nunca aconteceu. O número de países com armas nucleares permanece muito pequeno e o número de armas nucleares em todo o mundo caiu drasticamente.





06

Accidentes  
nucleares

# Acidentes Nucleares

A Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES) estabelece uma escala de gravidade para acidentes e incidentes nucleares, com a função de comunicar ao público a gravidade de eventos relacionados ao transporte, armazenamento e uso de material radioativo e fontes de radiação, inclusive com usinas nucleares.



Como em qualquer outra atividade humana, não é possível evitar totalmente a ocorrência de incidentes e acidentes e é necessário um extremo cuidado. Apesar disso, a energia nuclear e as radiações estão próxima de nossa vida de muitas maneiras positivas.

# Escala Internacional de Acidentes Nucleares (INES)

- Nível 1 – Anomalia: Incidentes que não afetam a população ou o meio ambiente
- Nível 2 – Incidente: Casos em que trabalhadores se expõem além do limite legal anual de radiação acima de 50 mSv por hora em área operacional.
- Nível 3 – Incidente grave: Exposição 10 vezes acima do limite anual pré-fixado para trabalhadores com consequências não letais e agravamento de poluição em área não coberta.
- Nível 4 – Acidente com consequências locais: Liberação em pequena quantidade de materiais radioativos ao ambiente com pelo menos 1 morte ou em grande quantidade dentro de uma instalação e fusão de combustível nuclear.
- Nível 5 – Acidentes com consequências de longo alcance: Liberação de quantidade limitada de materiais radioativos com mortes ou grande quantidade dentro de uma instalação.
- Nível 6 – Acidente Grave: Liberação em quantidade importante de materiais radioativos para o ambiente externo, passível de exigir aplicação de medidas remediadoras..
- Nível 7 - Acidente mais grave ou superior: Liberação extensa de material radioativo com efeitos amplos sobre a saúde da população e do meio ambiente, com exigência de ações remediadoras planejadas pelas autoridades.

No Brasil ocorreu um dos piores acidentes radiológicos do mundo, o acidente de Goiânia, um evento classificado como 5 na escala INES !!!!!



# Acidente de Goiânia

Em 1987 na cidade de Goiânia dois catadores de papel acharam um equipamento de radioterapia abandonado e o venderam a um ferro velho como sucata. Violaram a blindagem de chumbo contendo uma pastilha de césio-137, e pedacinhos dessa fonte que emite uma luz azulada foram distribuídos, espalhando uma contaminação que causou quatro mortes, evacuação de 41 casas contaminadas e um volume total de 3.500 m<sup>3</sup> rejeitos radioativos.



Esses rejeitos radioativos foram enterrados na cidade de Abadia de Goiás, onde foi criado o Parque Estadual Telma Ortega.

# Resposta da CNEN

A CNEN foi notificada na tarde de 29 de setembro de 1987 e enviou imediatamente uma equipe ao local. Concluiu-se que a situação era grave. A CNEN enviou então equipes de proteção radiológica, controle ambiental, rejeitos radioativos e assistência médica. Além disso, foi deixado de sobreaviso o Hospital Naval Marcílio Dias – HNMD no Rio de Janeiro, único no país com uma enfermaria especializada em contaminados por material radioativo.



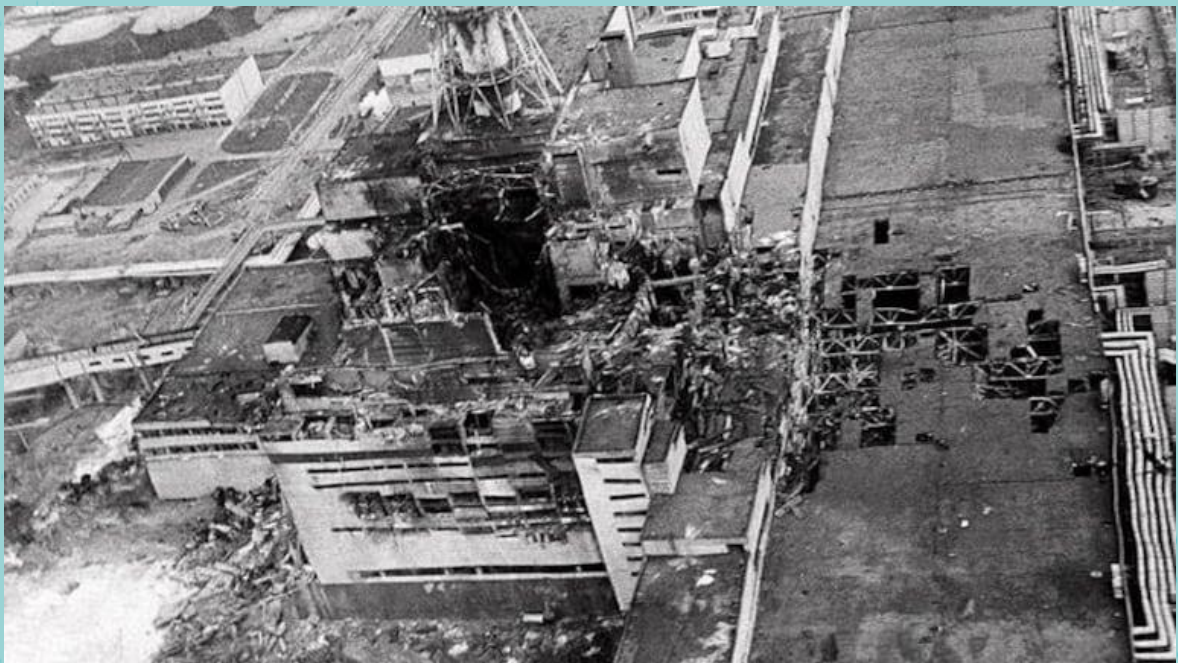
## Área do depósito de rejeitos radioativos



Hoje em dia a Comissão Nacional de Energia Nuclear mantém padrões internacionais de gestão e controla devidamente as fontes radioativas em território nacional.

# Explosão no Reator Nuclear de Chernobyl

A explosão do reator nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, em 1986 foi um acidente de nível 7. Um teste de segurança causou uma queda repentina da potência do reator com aumento na pressão do núcleo do reator até a sua explosão. Essa explosão liberou uma quantidade de material radioativo por duas semanas que contaminou uma grande área da antiga União Soviética e Europa.



**Reator Nuclear de Chernobyl após a explosão**

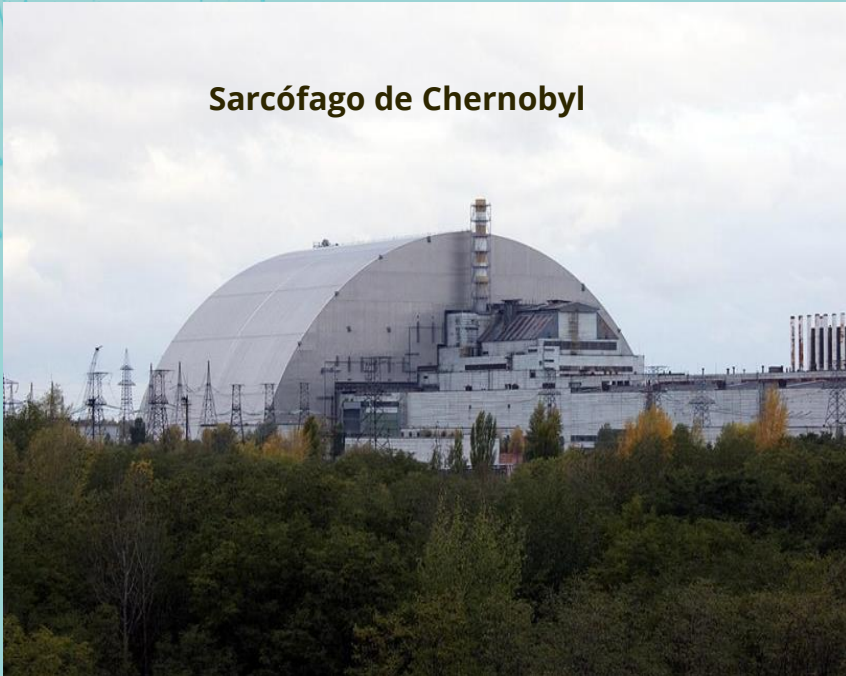
Os níveis de radiação foram alarmantes porque o prédio do reator não tinha um vaso de contenção. Essa estrutura, hoje presente em TODOS os reatores nucleares do mundo, consegue se manter estruturalmente intacta mesmo com o impacto de um avião comercial.



vale ressaltar que esse acidente foi causado por erro humano e falha de comunicação. Não foi uma falha mecânica ou de tecnologia.

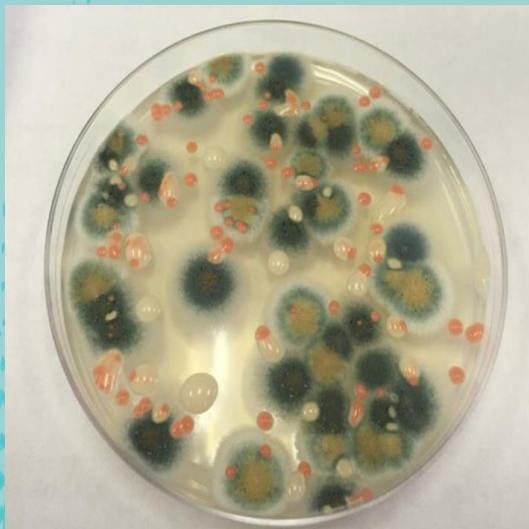
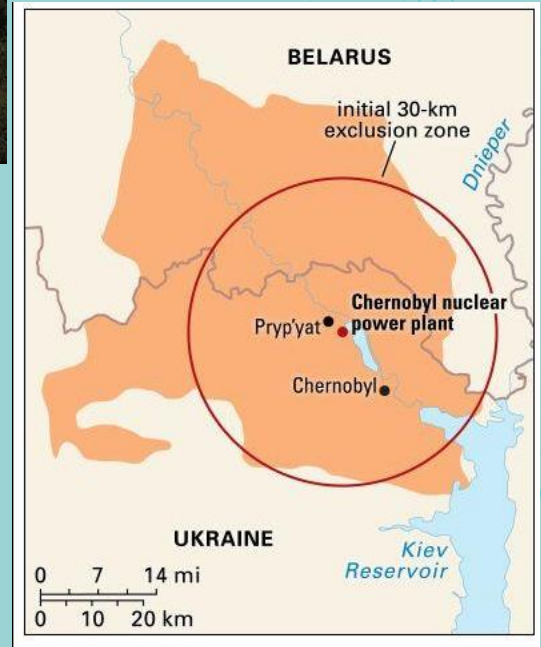
# Confinamento sobre o reator de Chernobyl

Sarcófago de Chernobyl



O reator da usina recebeu um novo sarcófago de aço, concreto e chumbo, que deve durar pelos próximos 100 anos.

Uma área de 30 km em volta do reator acidentado foi evacuada e continua radioativa até hoje e só será segura para a vida humana daqui a 20 mil anos. Incrivelmente, foi achado um fungo, o *Cryptococcus neoformans* vivendo no interior e em torno do reator.



*Cryptococcus neoformans*

Esses fungos são capazes de utilizar o pigmento melanina para converter radiação gama em energia para o seu crescimento. Por essa capacidade incomum ele foi enviado para pesquisa no espaço!!!

# Acidente na Usina Nuclear de Fukushima-Daiichi

O último grande acidente nuclear ocorreu no Japão, em 2011 na Usina Nuclear de Fukushima-Daiichi. Foi iniciado por um tsunami causado pelo terremoto de Tohoku, que deixou a usina sem energia e desativou os sistemas de resfriamento dos reatores, resultando em três colapsos nucleares e a liberação de material radioativo.

A maioria da radiação acabou sendo direcionada para o Oceano Pacífico e os materiais contaminados permanecem radioativos por 100.000 anos

Explosão no reator nuclear de Fukushima-Daiichi



O tsunami causou uma falha na infraestrutura da usina, mas não houve ações corretivas de segurança antes do desastre. A agência japonesa de energia, a Tepco, tinha conhecimento sobre essas falhas de instalação desde 2008!!!!



# Comparação entre Fukushima e Chernobyl

Em entrevista à AFP, Albert Vasiliyev, diretor do Rosatom (centro de segurança ecológica da agência nuclear russa) disse que: “Em Chernobyl, o reator foi levado a uma situação de emergência por falha humana. Mas em Fukushima não houve e nem deve haver uma explosão do reator. Não tem nada a ver com Chernobyl, e em termos de escala também é incomparável”, disse.

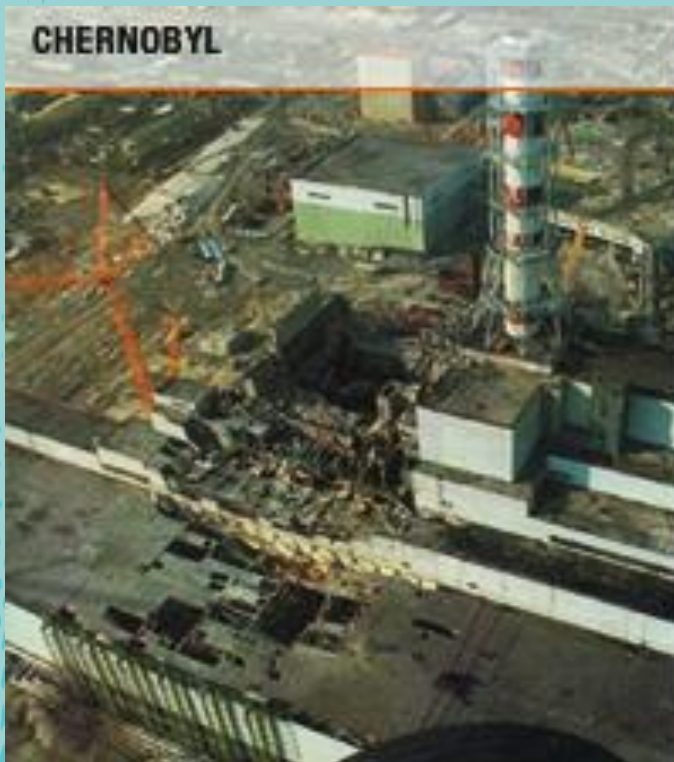
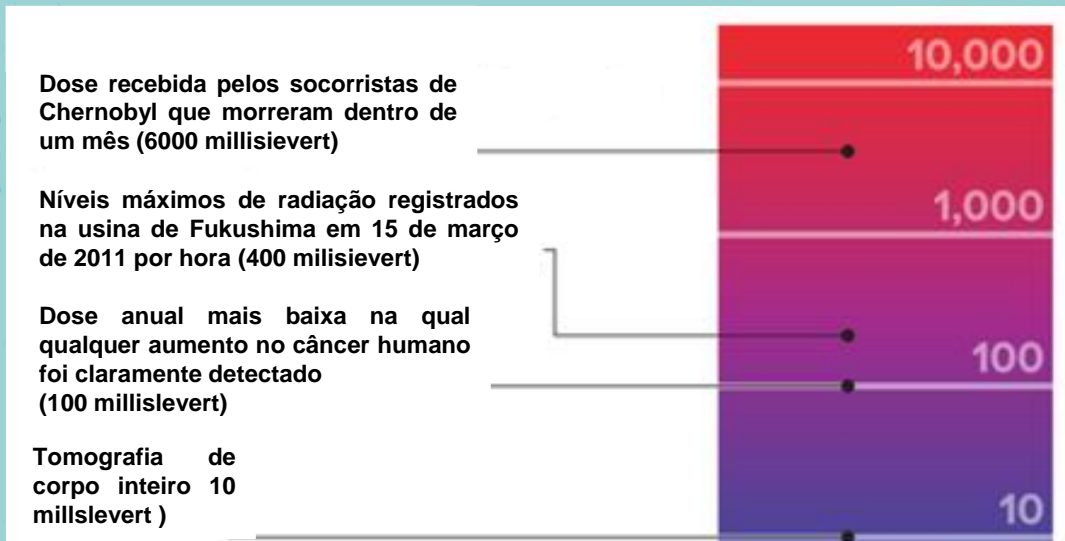


PHOTO CREDIT: WIKIPEDIA

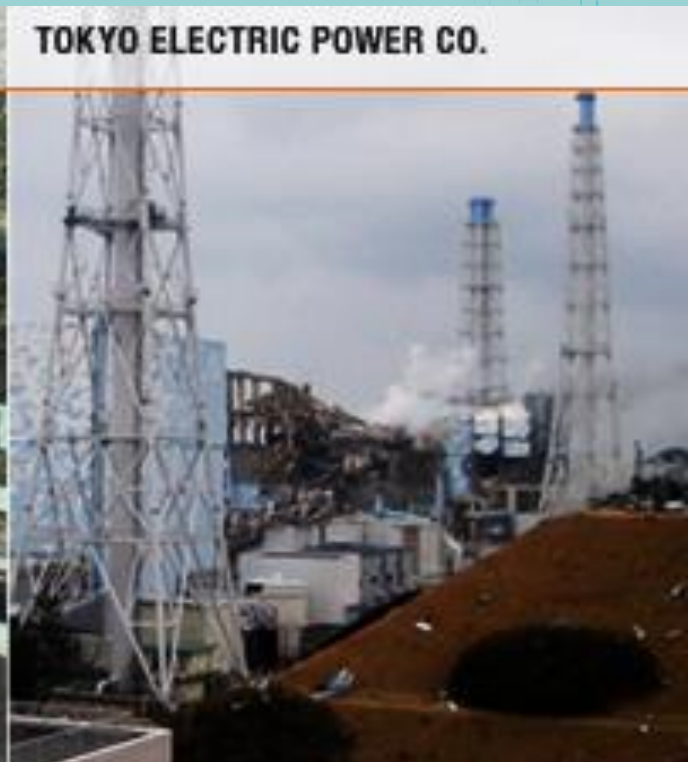
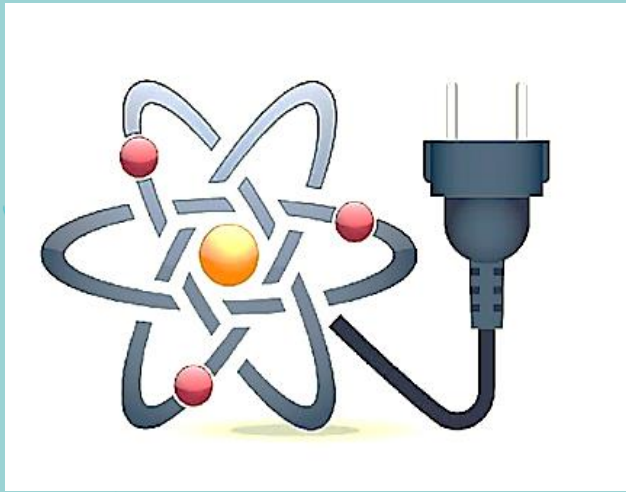


PHOTO CREDIT: ASSOCIATED PRESS

Em Chernobyl, a liberação começou com um acidente de criticidade nuclear que desencadeou uma explosão de vapor no núcleo, causando uma ejeção intensiva do material do núcleo superaquecido e queima extensiva de grafite e materiais do reator por um longo período de tempo. A liberação não foi confinada porque esse tipo de reator não possuía uma estrutura de contenção. Como resultado, a radioatividade teve um caminho aberto direto para o meio ambiente, aprimorado pelo arrastamento na fumaça da queima de grafite.

Em Fukushima, não houve explosões dentro dos núcleos. Em vez disso, aquecimento progressivo, oxidação e fusão dos núcleos ocorreram durante um período de tempo muito mais longo. Os produtos radioativos foram assim liberados do núcleo muito mais gradualmente, com parte do material radioativo confinado por estruturas de contenção que retiveram parcialmente a radioatividade. Além disso, a água da piscina de supressão da usina forneceu a depuração (ou "limpeza") de produtos radioativos que reduziram a liberação atmosférica em Fukushima.





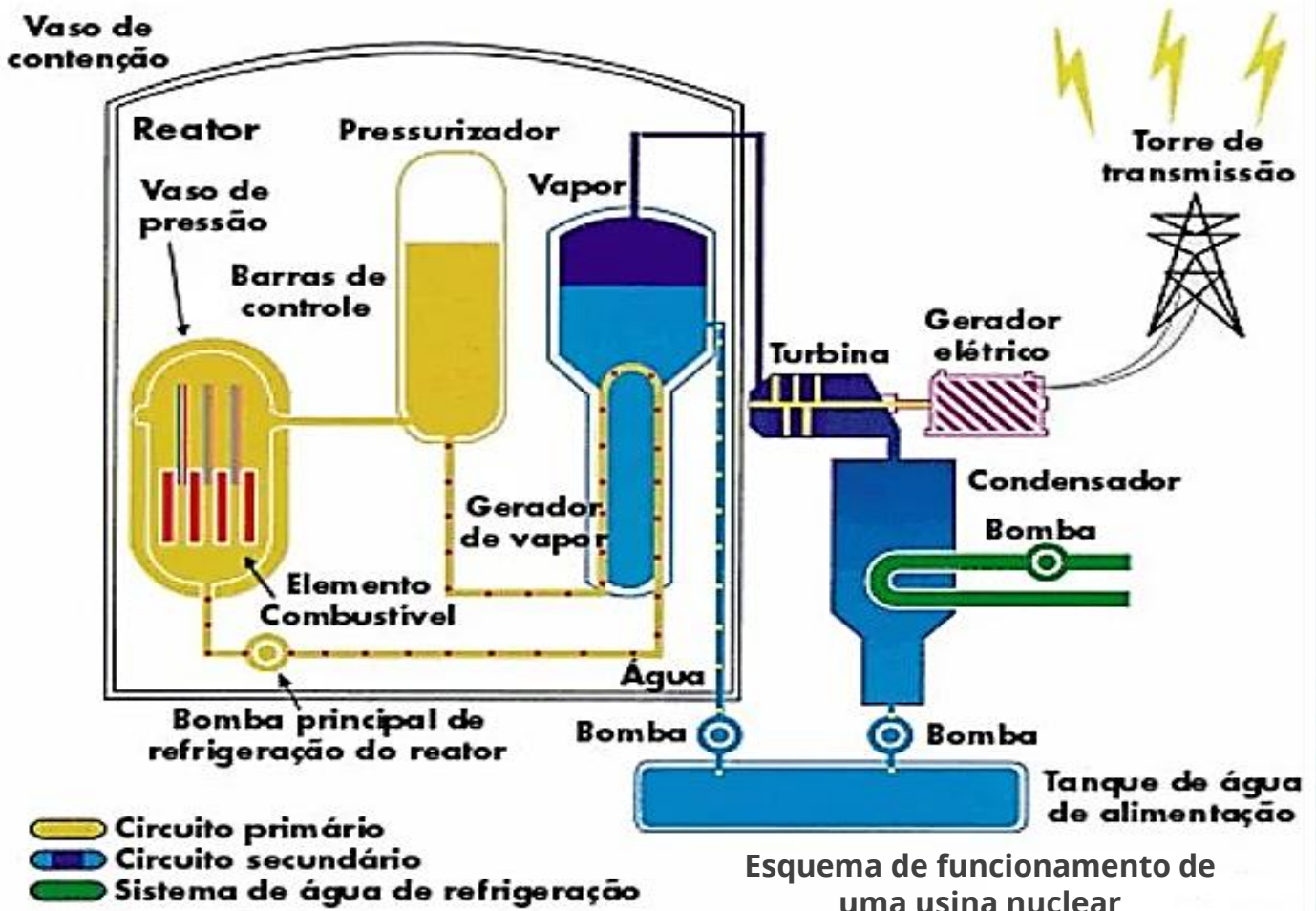
07

Usinas  
Nucleares

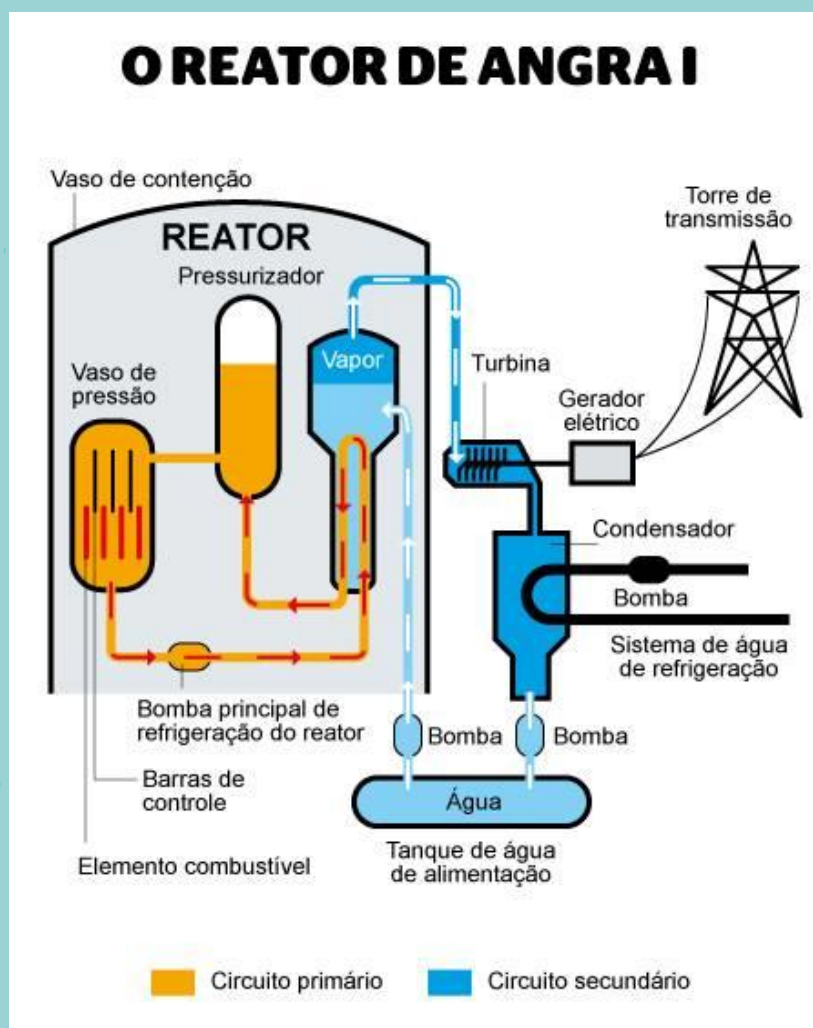
# Usinas Nucleares

A Usina Nuclear produz energia elétrica a partir de materiais radioativos, e é uma alternativa às limitações de fontes naturais, como rios, carvão, gás e petróleo. Tem um custo final menor que a maioria das tecnologias empregadas atualmente. Através da fissão (divisão) do núcleo de um átomo é produzida uma energia que é liberada lentamente, em um processo controlado nas usinas nucleares. Essa energia é convertida e transformada em energia elétrica.

O Brasil apresenta uma das maiores reservas mundiais do urânio que é o elemento químico mais utilizado para a geração da energia nuclear.



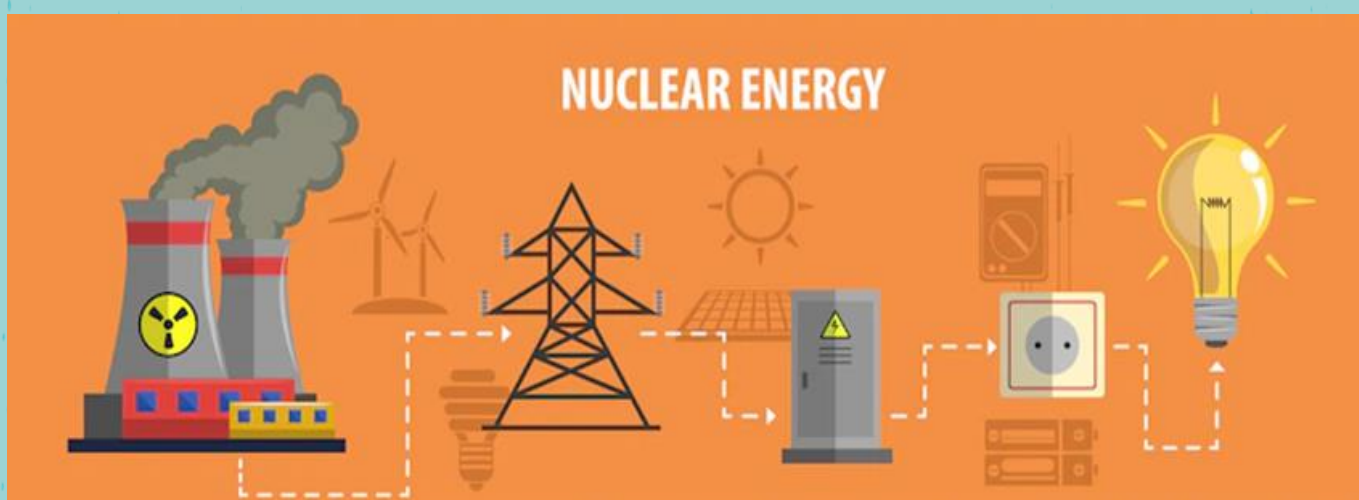
Num reator à água, o vaso de pressão contém água usada para refrigerar o núcleo do reator, onde está o combustível nuclear. Essa água circula no gerador de vapor em uma estrutura chamada de circuito primário. Como a reação nuclear libera calor, essa água aquece transmitindo o calor para a corrente de água que passa por dentro do gerador, o circuito secundário. Lá a água é transformada em vapor e a alta pressão do fluido faz com que as turbinas se movimentam e gerem a energia elétrica. Após passar pela turbina o vapor é direcionado para um condensador, onde a troca de calor faz com que a água se torne líquida novamente e possa retornar ao processo.



# Vantagens e Desvantagens da Energia Nuclear

## Vantagens

- O urânio que é o elemento essencial do combustível nuclear está em abundância no nosso planeta, então elimina o risco de escassez evidente e torna seu custo de produção baixo.
- Não utiliza combustíveis fósseis, principal vilão na emissão dos gases poluentes causadores do aquecimento global.
- Diferente das usinas eólicas e hidrelétricas, as usinas nucleares não dependem de condições climáticas para seu funcionamento.



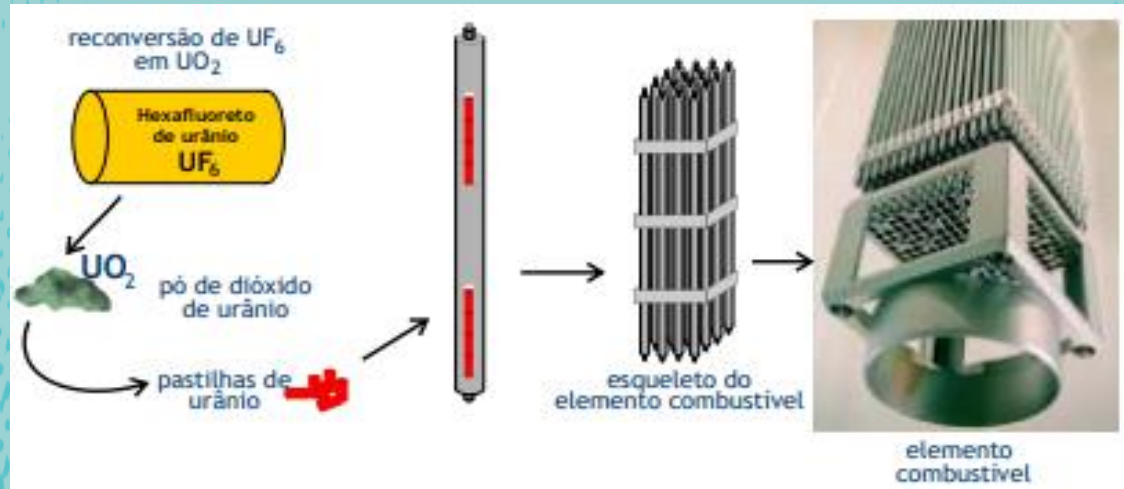
## Desvantagens

- O investimento inicial de uma usina nuclear é muito alto.
- Deve haver um plano para o lixo nuclear.
- Os sistemas de segurança das usinas nucleares são de alto nível tecnológico, mas acidentes tem sérias consequências e diante de um evento imprevisto, as decisões humanas nem sempre são as melhores.

# Ciclo do Combustível Nuclear

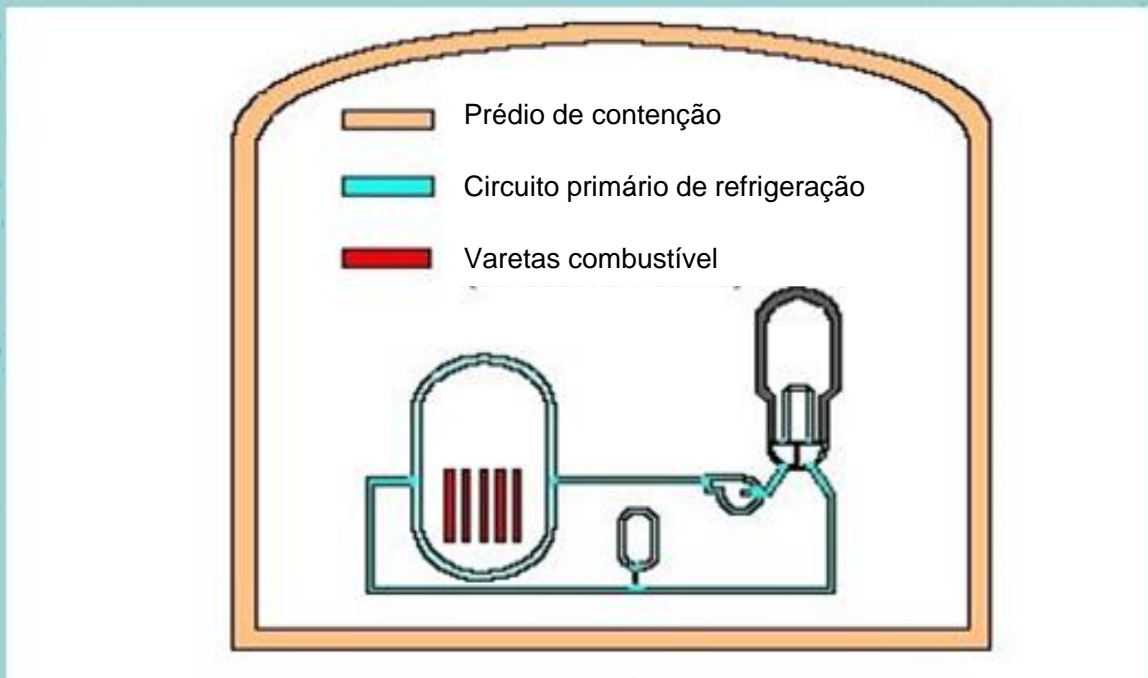


O urânio enriquecido é colocado em forma de pastilhas de 1 cm de diâmetro, dentro de varetas de 4m de comprimento, feitos de uma liga especial de zircônio, denominada "zircalloy". Essa vareta é a primeira barreira para impedir que a radiação vaze para o meio ambiente.



# Barreiras de proteção de uma central nuclear

As barreiras de proteção asseguram a retenção das substâncias radioativas que são produzidas no reator, evitando o vazamento para o ambiente exterior.



O combustível nuclear está em uma matriz que retém a maioria dos produtos de fissão e é envolvido por uma bainha estanque e resistente à corrosão. Outra barreira é formada pelas paredes do circuito primário de refrigeração do reator nuclear e com última barreira os reatores estão encerrados em contentores resistentes à pressão e/ou em edifícios que podem ser tornados estanques automaticamente.

O reator de Chernobyl foi construído SEM o prédio de contenção

# Uso Mundial da Energia Nuclear

Atualmente 10% da energia elétrica global é gerada através de fonte nuclear. Os Estados Unidos é o país que possui a maior quantidade de reatores, 99 com 61 usinas em operação, mas a energia nuclear fornece somente 23% do seu consumo elétrico. Em segundo lugar está a França, com 58 reatores e 78% de sua geração elétrica sendo nuclear, com o planejamento da construção de mais 14 novos reatores até 2050. A França tenta influenciar o bloco europeu a rotular a energia nuclear como verde, para facilitar as linhas de investimentos que se voltam cada vez mais para um mundo com menos carbono. Temos em sequência o Japão com 50 reatores, a Rússia com 33 e a Coreia do Sul com 21.



- Países que usam muita Energia Nuclear.
- Países que usam Energia Nuclear, em média quantidade.
- Países que usam pouca ou nenhuma Energia Nuclear ( o Brasil está aqui ).

O Brasil, apesar de ter uma matriz energética bastante limpa, baseada principalmente na geração hidrelétrica, deve decidir pela expansão nuclear, para que possa enfrentar futuras crises hídricas com uma fonte de energia não intermitente.

# Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto

É um complexo formado pela Angra 1, Angra 2 e a usina em construção de Angra 3, na cidade de Angra dos Reis, litoral do Rio de Janeiro. Angra 1 foi a primeira usina nuclear brasileira e entrou em operação comercial em 1985. Ela opera com um reator de água pressurizada (PWR), o mais utilizado no mundo e tem 640 megawatts de potência.

Angra 2 tornou-se operacional em 2001 e alcançou a potência de 1360 megawatts. As obras de Angra 3 estão paradas, estão com mais de 60% do projeto executado. Ela vai ser uma réplica de Angra 2, mas com a incorporação dos avanços tecnológicos atuais e está prevista para gerar 1405 megawatts.



As usinas de Angra são responsáveis por 20% da geração de energia do Estado do Rio de Janeiro.

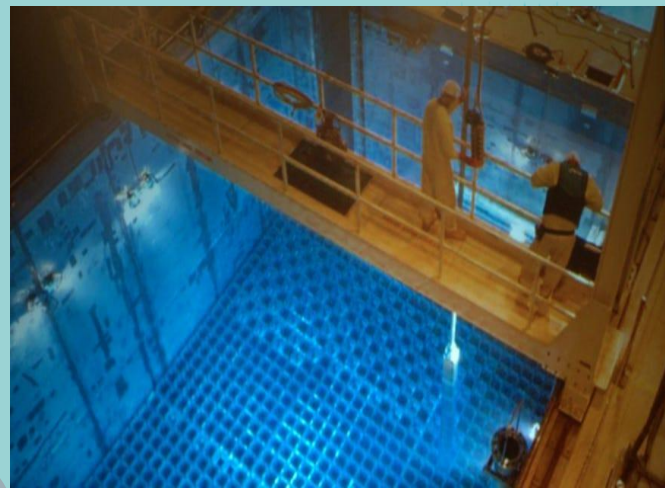
# Lixo Nuclear

O lixo nuclear é todo resíduo formado por compostos radioativos produzidos e gerados por usinas nucleares, laboratórios de exames clínicos e de pesquisa médica e científica que não tem mais utilidade. São muito perigosos para os seres vivos e ao meio ambiente e por isso não podem ser descartados. Ele tem que ser classificado quanto a quantidade de radiação emitida e ao tempo que levará para deixar de emitir radiação em níveis nocivos.



Resíduos de Radiação Baixa ou Intermediária podem ser armazenados em depósitos provisórios ou permanentes. Estes depósitos são revestidos de aço e chumbo, para impedir que a radiação seja emitida para o meio.

Já os resíduos de Radiação Alta são armazenados em piscinas contendo água para resfriamento completamente revestidas e cobertas por camadas de aço, concreto e chumbo.



Diversos países, com matrizes energéticas nucleares, realizaram durante anos o descarte ilegal deste material no fundo do oceano, em barris!!!!



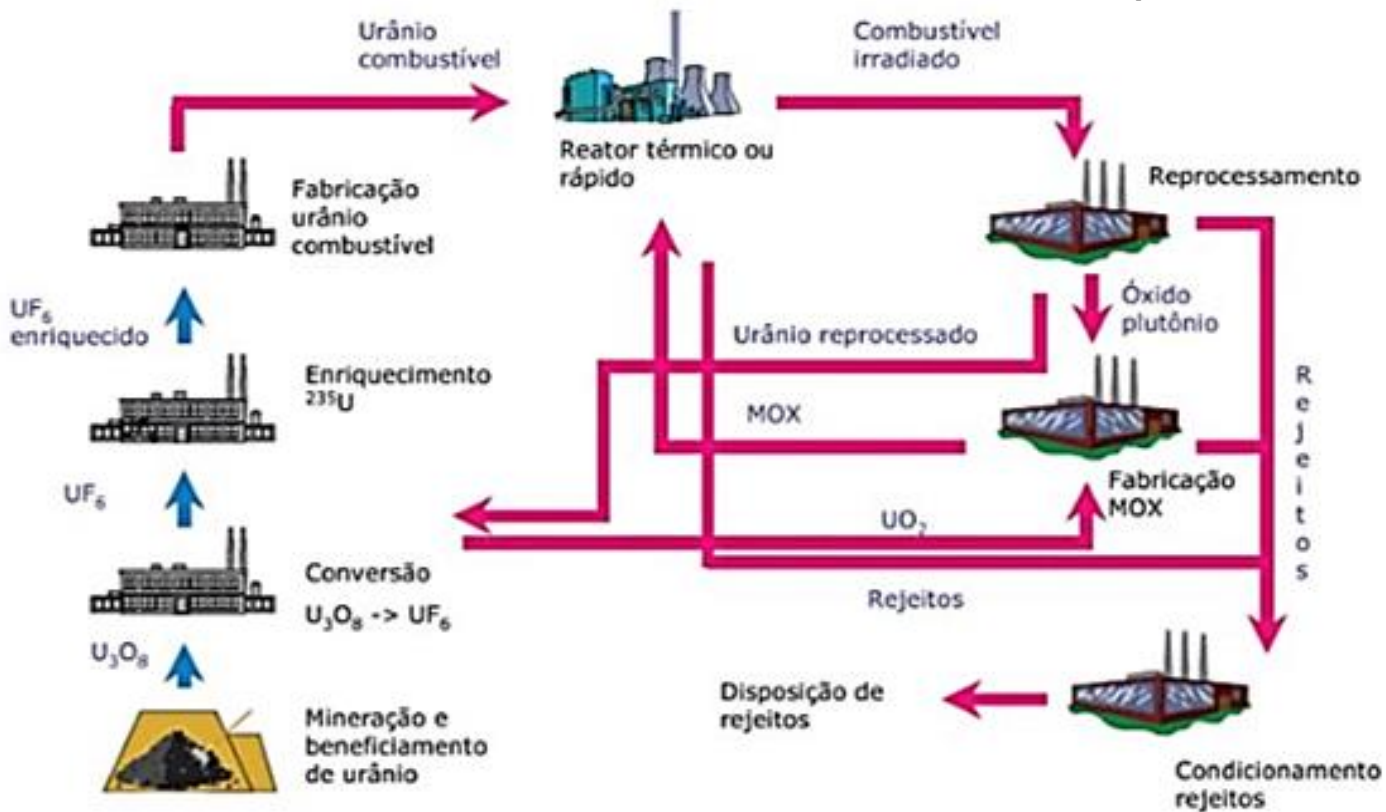
# Reprocessamento nuclear

Processo que separa o urânio e o plutônio, dos produtos de fissão e outros resíduos nucleares presentes nos combustíveis gastos dos reatores nucleares. Este processo ocorre por meio de várias operações químicas envolvendo componentes que também são radioativos, adicionando os elementos utilizáveis a um novo combustível de óxido mesclado (MOX).

Com esse processo há um ganho de aproximadamente 25% mais energia se comparado ao urânio do processo original e reduz o volume de material a ser eliminado como resíduo de alto risco.

Além do plutônio e do urânio, outros elementos podem ser reaproveitados como os actinídeos.

Ciclo do combustível nuclear e seu reprocessamento



Esta técnica permite a reutilização do plutônio tanto em reatores como em armas nucleares, então é importante garantir que seja utilizado para fins pacíficos, como nas usinas produtoras de energia elétrica. Muitos isótopos de interesse médico e industrial só conseguem ser produzidos por essa via. Atualmente os russos detêm a maior instalação de reprocessamento do mundo.

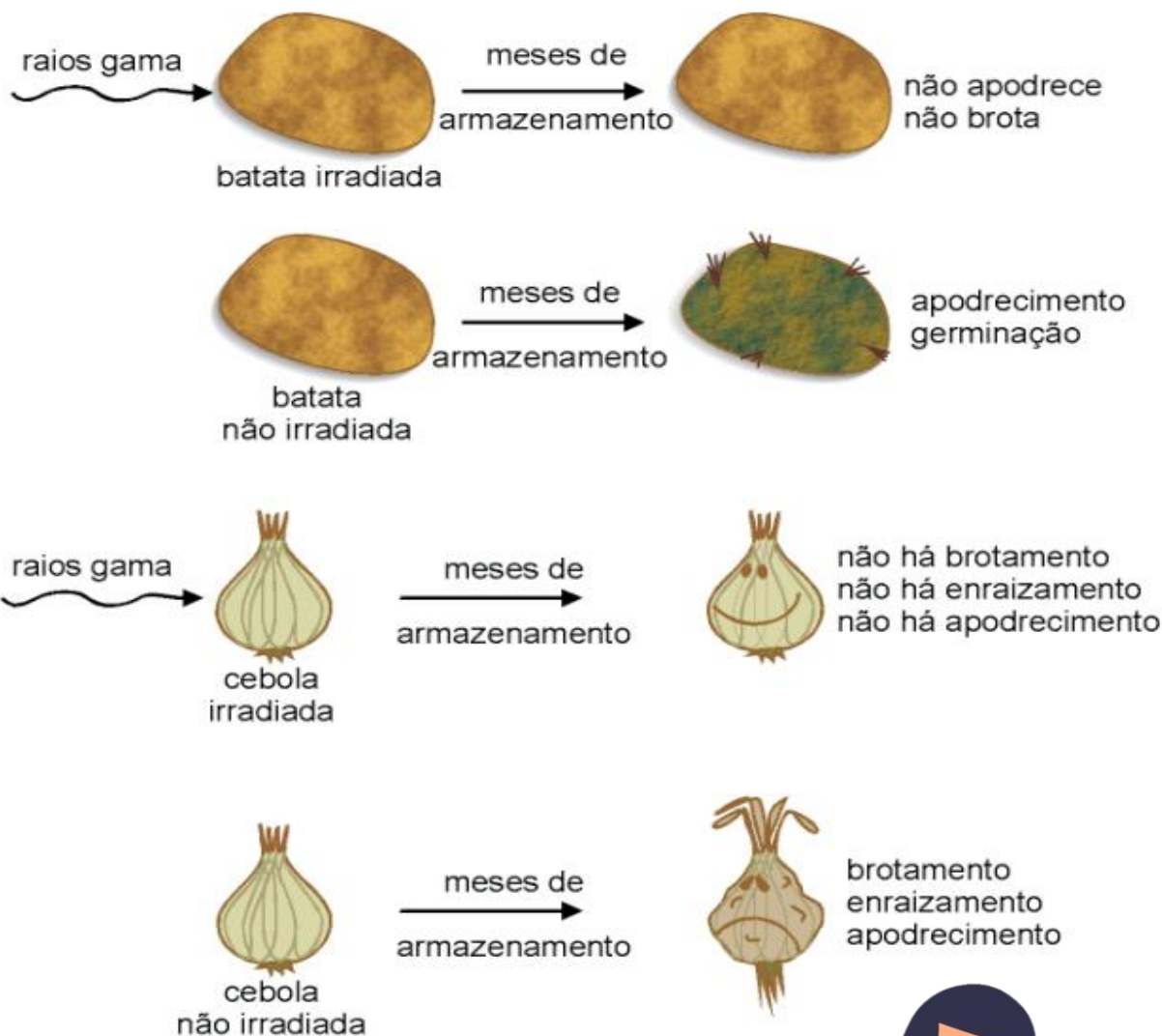


08

# Usos Inusitados da Energia Nuclear

# Uso da radiação em alimentos

A irradiação de alimentos permite a sua conservação por mais tempo, diminuindo a quantidade de fungos principais causadores do apodrecimento. Os alimentos irradiados por lei vêm com o símbolo da Radura com a frase "Alimento tratado por irradiação".



Não precisamos ficar preocupados em comer esses alimentos pois são seguros! Lembrem-se que eles não se tornam radioativos!!



# Esterilização de insetos

- A esterilização de insetos machos por radiação gama
- para depois soltá-los no meio ambiente, é suficiente para o controle da reprodução sem qualquer poluição com produtos químicos. Esse processo iniciou como controle para a mosca-das-frutas e está em pesquisa para ações contra o *Aedes aegypti*.



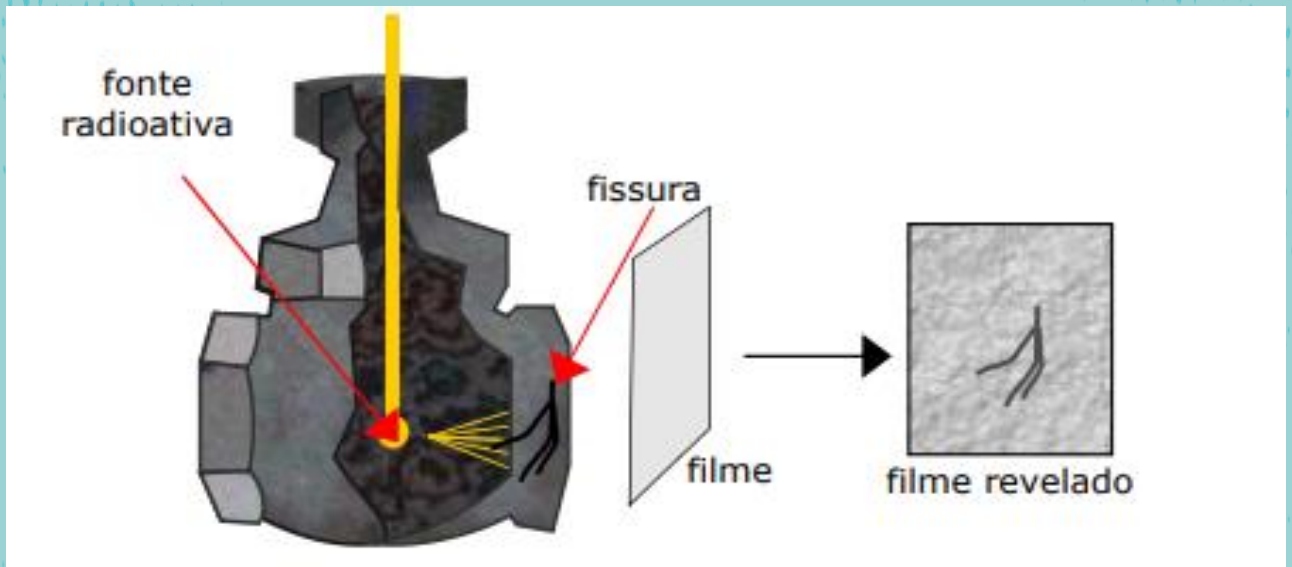
A mosca-das-frutas é considerada uma das maiores pragas da fruticultura e é combatida em escala global.

O *Aedes Aegypti* é o responsável pela transmissão da Febre Amarela, Dengue, Chikungunya e Zika Vírus.



# Gamagrafia

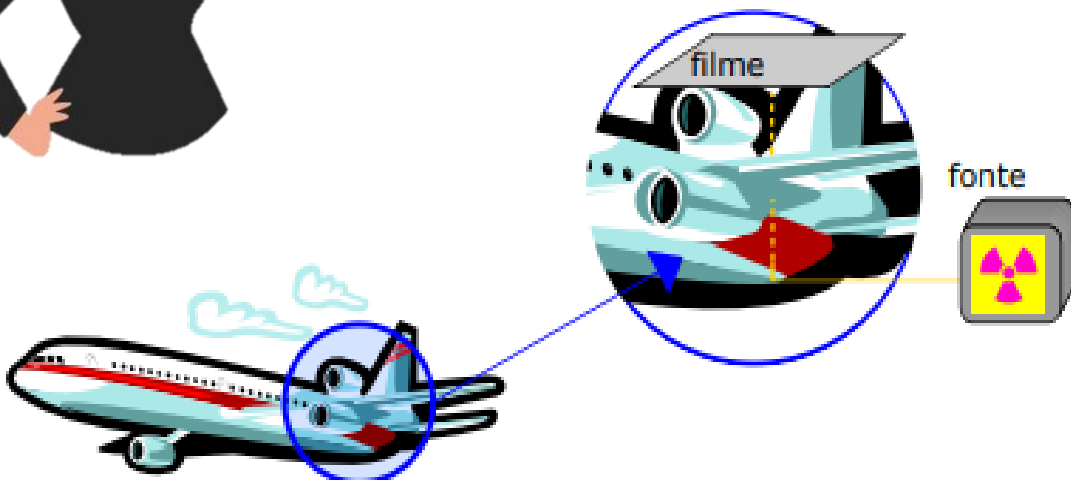
A gamagrafia é a radiografia de peças metálicas.



Na indústria é utilizada no controle de qualidade de peças, como válvulas, para verificar se há defeito ou rachaduras.



Na aviação é utilizada para checar a integridade das partes metálicas e soldas do avião sujeitas a maior esforço, como nas asas e turbinas.



# Esterilização de materiais

É utilizado fontes radioativas, como o Cobalto-60, para esterilizar materiais descartáveis termossensíveis como seringas, luvas cirúrgicas, gaze e fios de sutura. O seu alto poder de penetração que atravessa papelão, papel ou plástico possibilita a esterilização desses produtos na sua embalagem final.

Seu mecanismo de eliminação microbiana é conseguido por meio alterações químicas no DNA celular através de radicais livres formados pela radiação ionizante.

A esterilização pelos métodos convencionais necessitam de altas temperaturas deformariam ou danificariam esses materiais.



Exemplos de materiais irradiados



Materiais que foram irradiados no irradiador do IPEN

# Inspeção de segurança

Equipamentos modernos de raios X são bastante utilizados em locais onde há grande circulação de pessoas e mercadorias.



- **Aeroportos:** para checar o que os usuários levam no corpo e identificar itens proibidos na mala em aviões para a nossa segurança, como objetos pontiagudos, inflamáveis, armas de fogo e explosivos.

- **Alfândega:** Para avaliar tudo que entra e sai do país o raio-X, é imprescindível a inspeção de pequenos, médios e grandes volumes e identificando o envio e recebimento de drogas, armas e outros produtos ilícitos, além de aumentar a velocidade com que os processos são executados.



- **Armazéns e centros de distribuição:** o raio-X é aplicado na checagem de lotes de mercadorias, pequenos volumes e até mesmo cargas fechadas, alojadas em contêineres e caminhões
- **Prédios empresariais e centros comerciais:** a instalação de equipamento de raios X nos acessos desses prédios permite uma inspeção mais minuciosa das pessoas, objetos e demais itens que entram no ambiente, evitando riscos à segurança, como acesso não permitido, roubos e furtos.
- **Presídios:** Otimiza a entrada das pessoas substituindo as revistas corporais e reprimi a entrada de drogas e objetos proibidos, como celulares.

# Baterias Nucleares

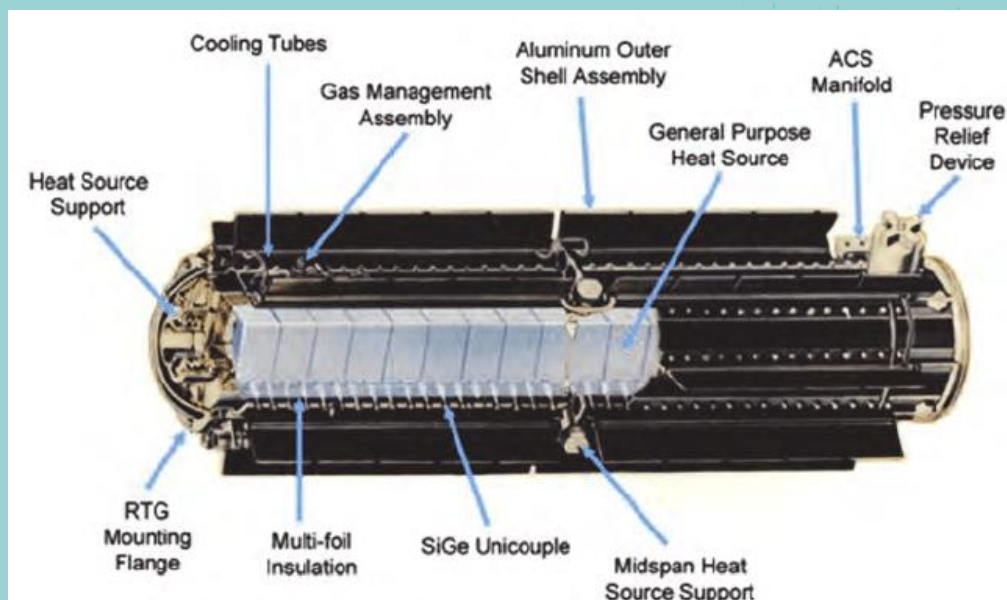
São dispositivos que utilizam o decaimento radioativo para gerar eletricidade. A primeira bateria nuclear lançada no espaço foi o SNAP 3B (US Navy, Transit 4A) em 1961, alimentada por 96 gramas de plutônio-238, fornecendo energia por mais de 15 anos. Desde então, baterias nucleares têm sido usadas com sucesso em missões espaciais, com tempos de operação muito superiores aos inicialmente concebidos e usados pelas principais agências espaciais do mundo.

## Laboratório Científico de Marte

Elas foram mostradas no filme "O Marciano" e são essenciais para a exploração espacial.

O Laboratório Científico de Marte é uma espécie de jipe-robô, fabricado para fazer diversas pesquisas na superfície do planeta vermelho. Mas como em Marte faz um frio de até  $-60^{\circ}\text{C}$ , uma bateria nuclear que usa Plutônio-238 foi instalada no módulo, que irá decair e gerar energia para manter a sonda aquecida.

Bateria nuclear da NASA





09

O Futuro

# Propulsão Nuclear



A NASA está desenvolvendo a propulsão nuclear com foguetes movidos por sistema termonuclear (NTP). Esses foguetes seriam mais potentes e mais eficientes que os motores químicos usados hoje, proporcionando viagens para lugares mais distantes, como Marte de maneira mais rápida enquanto queimam menos combustível.

O grande desafio é encontrar um combustível que resista a altas temperaturas dentro desse motor térmico e um sistema que evite que o material nuclear escape atingindo os astronautas.



Uma projeção dos sistemas USNC-Tech NTP



A USNC-Tech vem desenvolvendo um combustível que pode operar em temperaturas de até 2.400 graus Celsius, contendo um carboneto de silício, que forma uma barreira hermética que impede o escape de produtos radioativos do reator nuclear para proteger os astronautas.

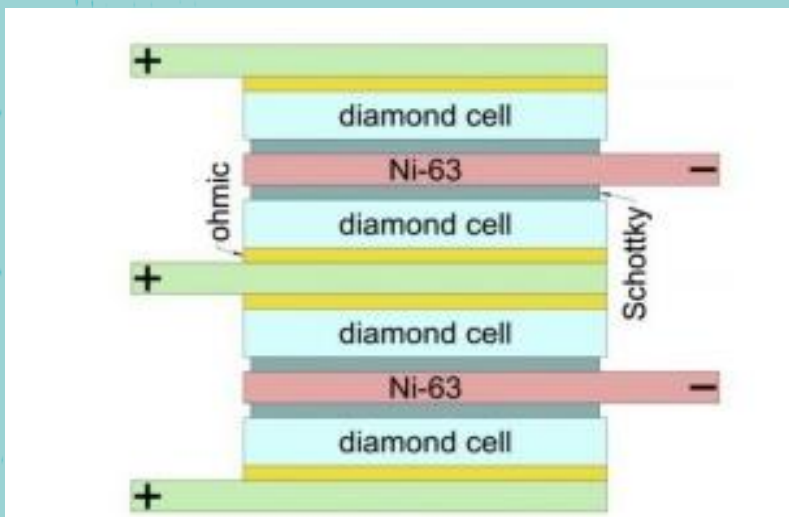
A construção desses motores nucleares poderá tornar possível a exploração do sistema solar!!!!



# Bateria Betavoltaica

Seu próximo telefone celular poderá ser alimentado por uma bateria nuclear! Mas não é preciso se preocupar, porque a radiação é de baixa energia, podendo ser bloqueada por uma folha de papel, então o invólucro da bateria é mais do que suficiente para torná-la segura.

Essa bateria nuclear funciona a partir do decaimento beta de um isótopo radioativo, como o níquel-63. Hoje está sendo empregada em sensores mas a tecnologia continua avançando para que mais energia seja gerada.



Esquema da bateria nuclear de níquel-63 e semicondutores de diamante.



Bateria nuclear de Trítio da CityLabs



A principal vantagem dessas baterias é que os isótopos radioativos usados têm uma meia-vida que varia de dezenas a centenas de anos, de modo que sua potência permanece constante por muito tempo, se tornando uma bateria para a vida toda, ou mesmo para várias vidas.



Muito  
obrigado por  
ter lido nossa  
cartilha

Antes de formar uma opinião sobre qualquer assunto é importante estudar e procurar se informar.

***Só a Educação  
liberta.***



Epicteto

# Figuras

- 1-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 2-Freepik <a href='https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/tecnologia'>Tecnologia vetor criado por freepik - br.freepik.com</a>
- 3- [https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 4-<https://dspace.uniceplac.edu.br/bitstream/123456789/1159/1/pH%20e%20tamp%C3%A3o.pdf>
- 5-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 6-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/diagrama-mostrando-a-estrutura-do-atomo\\_26353679.htm#query=eletrons&position=6&from\\_view=keyword](https://br.freepik.com/vetores-gratis/diagrama-mostrando-a-estrutura-do-atomo_26353679.htm#query=eletrons&position=6&from_view=keyword)
- 7-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 8-<a href='https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/seta-rabisco'>Seta rabisco vetor criado por alicia\_mb - br.freepik.com</a>
- 9-energia\_2004.pmd (cnen.gov.br)
- 10-[https://www.wikiwand.com/pt/Espectro\\_eletromagn%C3%A9tico](https://www.wikiwand.com/pt/Espectro_eletromagn%C3%A9tico)
- 11-[https://pt.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula\\_beta#/media/Ficheiro:Beta-minus\\_Decay.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_beta#/media/Ficheiro:Beta-minus_Decay.svg)
- 12- [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geiger\\_counter.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Geiger_counter.jpg)
- 13-01\_revistasocesp\_v27\_02.pdf (bvsalud.org)
- 14-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-designdemovimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-designdemovimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 15-radiofarmacia.pdf (crfsp.org.br)
- 16-<a href='https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/natureza-desenho'>Natureza desenho vetor criado por brgfx - br.freepik.com</a>
- 17-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-designdemovimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-designdemovimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 18-<https://www.melhoresdestinos.com.br/guarapari.html>
- 19-RADIOLOGIA IN FOCO: Supervisores de proteção radiológica terão de se submeter a exame de certificação
- 20-radiacoes ionizantes.p65 (www.gov.br)

- 21-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 22-<https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=58992>
- 23-[https://www.saude.gov.br/images/imagens\\_migradas/upload/arquivos/2017-02/orientacoes-sobre-radiacao-ionizante.pdf](https://www.saude.gov.br/images/imagens_migradas/upload/arquivos/2017-02/orientacoes-sobre-radiacao-ionizante.pdf)
- 24-<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/diferenca-entre-contaminacao-radioativa-irradiacao.htm>
- 25-[https://br.freepik.com/fotos-premium/molecula-atomo-em-fundo-branco\\_3057385.htm#query=medicina%20nuclear&position=20&from\\_view=search](https://br.freepik.com/fotos-premium/molecula-atomo-em-fundo-branco_3057385.htm#query=medicina%20nuclear&position=20&from_view=search)
- 26-<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/radioisotopos.htm>
- 27-energia\_2004.pmd (cnen.gov.br)
- 28-<https://pedipedia.org/artigo/estudo-petct-com-18f-fdg>
- 29-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas\\_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 30-<https://www.tuasaude.com/cintilografia-de-corpo-inteiro/>
- 31-Segurança do Trabalho e Biossegurança – Aula 7 Radioisótopos (usp.br)
- 32-Fonte: Autora
- 33-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 34-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/imagens-de-raios-x-realistas-de-ossos-humanos\\_6883253.htm#query=radiologia&position=32&from\\_view=search](https://br.freepik.com/vetores-gratis/imagens-de-raios-x-realistas-de-ossos-humanos_6883253.htm#query=radiologia&position=32&from_view=search)
- 35-[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4474584/mod\\_resource/content/1/Biosseguran%C3%A7a%20%E2%80%93%Aula%205\\_.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4474584/mod_resource/content/1/Biosseguran%C3%A7a%20%E2%80%93%Aula%205_.pdf)
- 36-<https://corporisfabrica.tumblr.com/post/90913536901/the-ingestion-of-barium-a-contrast-medium-as>
- 37-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas\\_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 38-[https://star.med.br/o-que-e-tomografia-computadorizada/#iLightbox\[gallery9448\]/0](https://star.med.br/o-que-e-tomografia-computadorizada/#iLightbox[gallery9448]/0)
- 39-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas\\_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 40-Fonte:[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-A-mamografia-2D-e-B-tomossintese-3D-Padrao-denso-com-uma-lesao\\_fig1\\_344516195](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-A-mamografia-2D-e-B-tomossintese-3D-Padrao-denso-com-uma-lesao_fig1_344516195)
- 41-<https://medicinasa.com.br/accamargo-radioterapia-cancer/>
- 42-Prado, A. al. Radiofármacos. 2015. 12 p. Pós-graduação (Engenharia Biomédica) – INATEL, São Paulo.

- 43-LIMA, C. F. Modelo de Braquiterapia com balão de pertecnetato de sódio  $^{99m}\text{Tc}$  ( $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4^-$ ) para câncer de mama: avaliação da dosimetria e resposta celular. 2016. 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação, Ciências e Técnicas Nucleares da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.
- 44-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas\\_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 45-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/colecao-de-estilo-de-cartoon-de-efeitos-de-explosao\\_4971281.htm#page=2&query=bomba%20nuclear&position=2&from\\_view=search](https://br.freepik.com/vetores-gratis/colecao-de-estilo-de-cartoon-de-efeitos-de-explosao_4971281.htm#page=2&query=bomba%20nuclear&position=2&from_view=search)
- 46-Bomba atômica: como funciona e efeitos - Mundo Educação (uol.com.br)
- 47-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento\\_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/personagem-de-desenho-animado-para-design-de-movimento_4221359.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 48-Bomba atômica: como funciona e efeitos - Mundo Educação (uol.com.br)
- 49-Freepik <a href='https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/tecnologia'>Tecnologia vetor criado por freepik - br.freepik.com</a>
- 50-[https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala\\_Internacional\\_de\\_Acidentes\\_Nucleares](https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_Internacional_de_Acidentes_Nucleares)
- 51-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas\\_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 52-Fonte: Autora
- 53-Cartilha\_Ionizantes\_FinalMEXIDO.indd (goias.gov.br)
- 54-<https://www.indiatoday.in/education-today/gk-current-affairs/story/chernobyl-6-worst-nuclear-explosions-history-319939-2016-04-26>
- 55-[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Chernobyl\\_New\\_Safe\\_Confinement](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_New_Safe_Confinement)
- 56-Business Insider/NASA/JPL/Caltech
- 57-Japão estima que desastre em Fukushima custará US\$ 200 bilhões ao todo - Metrôpoles (metrópoles.com)
- 58-Freepik <a href='https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/tecnologia'>Tecnologia vetor criado por freepik - br.freepik.com</a>
- 59-<https://www.todamateria.com.br/usina-nuclear/> Fonte Eletronuclear
- 60-Freepik <a href='https://br.freepik.com/fotos-vetores-gratis/tecnologia'>Tecnologia vetor criado por freepik - br.freepik.com</a>
- 61-<http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>
- 62-energia\_2004.pmd (cnen.gov.br)
- 63-ENERGIA NUCLEAR - Bases: Barreiras de segurança
- 64-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas\\_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses](https://br.freepik.com/vetores-gratis/executiva-jogo-com-diferente-posturas_2881078.htm?query=mulher%20desenho%20diferente%20poses)
- 65-/cpeusinanuclear.blogspot.com/2011/04/usina-nuclear.html
- 66-<https://usinanuclearnp.blogspot.com/>
- 67-We Still Don't Know Where to Bury Our

## Nuclear Waste - Schwartzreport

68-MIT recommends interim storage for nuclear waste - CNET

69-(PDF) Análise comparativa entre fontes de geração elétrica segundo critérios socioambientais e econômicos (researchgate.net)

70-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/ilustracao-quantica-de-design-plano-desenhado-a-mao\\_22112076.htm#query=radia%C3%A7%C3%A3o%20desenhos&position=45&from\\_view=search](https://br.freepik.com/vetores-gratis/ilustracao-quantica-de-design-plano-desenhado-a-mao_22112076.htm#query=radia%C3%A7%C3%A3o%20desenhos&position=45&from_view=search)

71-apostilas\_cnen\_1n.pmd

72- [https://pt.wikipedia.org/wiki/Irradia%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_alimentos](https://pt.wikipedia.org/wiki/Irradia%C3%A7%C3%A3o_de_alimentos)

73-<https://www.canalrural.com.br/ihara/mosca-das-frutas-como-controlar-essa-praga-na-fruticultura/>

74-Pixabay/Divulgação

75-energia\_2004.pmd (cnen.gov.br)

76-energia\_2004.pmd (cnen.gov.br)

77-Entrevista com a Receita Federal sobre os procedimentos da alfândega nos aeroportos - Falando de Viagem

78-Fonte:<https://www.airway.com.br/como-o-raio-x-dos-aeroportos-enxergam-por-dentro-das-malas/>

79-Bateria nuclear aquecerá o novo veículo marciano da NASA | Notícias | TechTudo

80-Bateria nuclear: Não precisa ser recarregada e dura para sempre (inovacaotecnologica.com.br)

81-[https://br.freepik.com/fotos-gratis/energia-nuclear-ia-inovacao-futura-de-tecnologia-disruptiva\\_17850508.htm#query=futuro%20da%20energia%20nuclear&position=2&from\\_view=search](https://br.freepik.com/fotos-gratis/energia-nuclear-ia-inovacao-futura-de-tecnologia-disruptiva_17850508.htm#query=futuro%20da%20energia%20nuclear&position=2&from_view=search)

82-[https://br.freepik.com/vetores-gratis/astronauta-desenhar-com-foguetes-e-planetas\\_4740044.htm#query=foguetes&position=13&from\\_view=search](https://br.freepik.com/vetores-gratis/astronauta-desenhar-com-foguetes-e-planetas_4740044.htm#query=foguetes&position=13&from_view=search)

83-Foguete movido a energia nuclear pode levar astronautas a Marte mais rápido | CNN Brasil

84-Molten Salt Reactor - Reator a sal fundido - Wikipédia, a enciclopédia livre (wikipedia.org)

85-Bateria nuclear: Não precisa ser recarregada e dura para sempre (inovacaotecnologica.com.br)

86-Só a Educação Liberta - Epicleto — Frases Só Escola (soescola.com)

87-<https://www.gov.br/inpe/pt-br/area-conhecimento/biblioteca/noticias-da-biblioteca/processo-de-irradiacao-do-ipen-descontamina-mais-de-400-obras-do-acervo-do-inpe>

88-[https://www.ipen.br/portal\\_por/portal/interna.php?secao\\_id=2500&campo=1798](https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=2500&campo=1798)

89-<https://docplayer.com.br/10025761-Controle-da-qualidade-de-radiofarmacos.html>

- 90-<https://www.youtube.com/watch?v=Q7O3lh7buHQ>
- 91-<https://agencia.fapesp.br/ipen-se-equipa-para-produzir-nanorradiofarmacos/34571/>
- 92-<https://share.america.gov/pt-br/o-tratado-de-nao-proliferao-nuclear-aos-50/>
- 93-<https://www.plurale.com.br/site/noticias-detalhes.php?cod=18931&codSecao=3>
- 94-<http://www.nuclear.ufrj.br/semana2019/apresentacoes/18acidentes/Magno.pdf>
- 95-<https://kids.britannica.com/students/assembly/view/241163>
- 96-<https://www.nei.org/resources/fact-sheets/comparing-fukushima-and-chernobyl>
- 97-<https://www.thefiscaltimes.com/Blogs/Business-Buzz/2011/03/17/Chernobyl-and-Fukushima-Ukraines-Lessons-for-Japan>
- 98-<https://extra.globo.com/economia-e-financas/angra-3-veja-os-riscos-as-vantagens-da-energia-nuclear-bandeiras-tarifarias-poderiam-acabar-23814625.html>
- 99-[https://www.researchgate.net/figure/Radioisotope-Thermoelectric-generator-RTG-Source-NASA-DOE-JPL\\_fig2\\_221918329](https://www.researchgate.net/figure/Radioisotope-Thermoelectric-generator-RTG-Source-NASA-DOE-JPL_fig2_221918329)
- 100-<https://www.nasa.gov/press-release/nasa-announces-nuclear-thermal-propulsion-reactor-concept-awards>

# Referências

OKUNO, E. (2018). Radiação: efeitos, riscos e benefícios. São Paulo: Oficina de textos. Encarando Chernobyl sem obscurantismos – Revolução Brasileira (revolucaobrasileira.org)

<https://acrobat.adobe.com/link/track?uri=urn%3Aaaid%3Ascds%3AUS%3A8c0c0eb4-adc5-444e-85e9-d826410089b2#pageNum=1> acessado em 26/01/2022

OKUNO, E., & YOSHIMURA, E. (2010). Física das Radiações. Oficina de Textos.

DARUICH DE SOUZA, C. Betavoltaic Nuclear Batteries. KAERI report: 2021-468. Korean Atomic Energy Research Institute (2021).

<https://cienciaemacao.com.br/20-curiosidades-bizarras-sobre-radiacao>. Acesado em 30/08/2021

Radiação não ionizante – Wikipédia, a enciclopédia livre (wikipedia.org)

<https://dspace.uniceplac.edu.br/handle/123456789/1159>

tempo de recordar: A radioactividade e as radiações são factos da vida (tempoderecordar-edmartinho.blogspot.com)

[https://www.wikiwand.com/pt/Espectro\\_eletromagn%C3%A9tico](https://www.wikiwand.com/pt/Espectro_eletromagn%C3%A9tico)

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula\\_beta#/media/Ficheiro:Beta-minus\\_Decay.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Part%C3%ADcula_beta#/media/Ficheiro:Beta-minus_Decay.svg)

01\_revistasocesp\_v27\_02.pdf (bvsaud.org)

radiacoes ionizantes.p65 ([www.gov.br](http://www.gov.br))

<http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2017-02/orientacoes-sobre-radiacao-ionizante.pdf>

<https://www.tutorbrasil.com.br/forum/viewtopic.php?t=58992>

[https://www.saude.go.gov.br/images/imagens\\_migradas/upload/arquivos/2017-02/orientacoes-sobre-radiacao-ionizante.pdf](https://www.saude.go.gov.br/images/imagens_migradas/upload/arquivos/2017-02/orientacoes-sobre-radiacao-ionizante.pdf)

<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/diferenca-entre-contaminacao-radioativa-irradiacao.htm>

radiofarmacia.pdf (crfsp.org.br)

<https://www.melhoresdestinos.com.br/guarapari.html>

RADIOLOGIA IN FOCO: Supervisores de proteção radiológica terão de se submeter a exame de certificação

<https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/radioisotopos.htm>

energia\_2004.pmd (cnen.gov.br)

<https://pedipedia.org/artigo/estudo-petct-com-18f-fdg>

<https://www.tuasaude.com/cintilografia-de-corpo-inteiro/>

Segurança do Trabalho e Biossegurança – Aula 7 Radioisótopos (usp.br)

[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4474584/mod\\_resource/content/1/Biosseguran%C3%A7a%20E2%80%93Aula%205\\_.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4474584/mod_resource/content/1/Biosseguran%C3%A7a%20E2%80%93Aula%205_.pdf)

<http://fisicamed-bio.blogspot.com/2012/04/aplicacoes-das-radiacoes.html?m=1>

Aplicacoes da energia nuclear na saude\_VIRTUAL.indd (sbfisica.org.br)

Aplicacoes da energia nuclear na saude\_VIRTUAL.indd (sbfisica.org.br)

PRADO, A. et al. Radiofármacos. 2015. 12 p. Pós-graduação (Engenharia Biomédica) – INATEL, São Paulo.

LIMA, C. F. Modelo de Braquiterapia com balão de pertecnetato de sódio  $^{99m}\text{Tc}$  ( $\text{Na}^{99m}\text{TcO}_4^-$ ) para câncer de mama: avaliação da dosimetria e resposta celular. 2016. 89 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação, Ciências e Técnicas Nucleares da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/go10anosdep/Cnen/doc/manu41.PDF>

<https://operamundi.uol.com.br/politica-e-economia/10623/especialistas-ressaltam-diferencas-entre-os-casos-de-fukushima-daiichi-e-chernobyl#:~:text=%E2%80%9CEm%20Chernobyl%2C%20o%20reator%20foi,tamb%C3%A9m%20%C3%A9%20incompar%C3%A1vel%E2%80%9D%2C%20disse.>

Bomba atômica: como funciona e efeitos - Mundo Educação (uol.com.br)

http Exposição à radiação: qual o limite tolerável? - Radioproteção na Prática (radioprotecaonapratica.com.br)

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala\\_Internacional\\_de\\_Acidentes\\_Nucleares](https://pt.wikipedia.org/wiki/Escala_Internacional_de_Acidentes_Nucleares)

<https://www.infoescola.com/radioatividade/escala-internacional-de-acidentes-nucleares/>

Cartilha\_Ionizantes\_Final MEXIDO.indd (goias.gov.br)

<https://resources.wfsahq.org/atotw/radiacao-ionizante-e-o-anestesista/>

USP 2019: A tabela 1 apresenta os limites primários anuais de dose efetiva e dose equivalente no cristalino - INDAGAÇÃO (indagacao.com.br)

Cerutti F. L. S., Radiodiagnóstico e procedimentos Radiológicos 2 editora Atena 2019

<https://news.usc.edu/86362/fukushima-disaster-was-preventable-new-study-finds/>

<https://www.indiatoday.in/education-today/gk-current-affairs/story/chernobyl-6-worst-nuclear-explosions-history-319939-2016-04-26>

[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Chernobyl\\_New\\_Safe\\_Confinement](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Chernobyl_New_Safe_Confinement)

Business Insider/NASA/JPL/Caltech

Japão estima que desastre em Fukushima custará US\$ 200 bilhões ao todo - Metrôpoles (metrópoles.com)

<https://www.todamateria.com.br/usina-nuclear/> FonteEletronuclear

<https://cpeusinanuclear.blogspot.com/2011/04/usina-nuclear.html>

01\_revistasocesp\_v27\_02.pdf (bvsalud.org)

<http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>

DefesaNet - Nuclear - Serviço de Proteção Radiológica na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto - CNAAB: uma perspectiva histórica

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Central\\_Nuclear\\_Almirante\\_%C3%81lvaro\\_Alberto](https://pt.wikipedia.org/wiki/Central_Nuclear_Almirante_%C3%81lvaro_Alberto)

ENERGIA NUCLEAR - Bases: Barreiras de segurança

<https://sistema.atenaeditora.com.br/index.php/admin/api/artigoPDF/33736>

<https://maximgroup.com.br/quais-as-vantagens-e-desvantagens-da-energia-nuclear>

<https://www.edfenergy.com/for-home/energywise/what-are-advantages-nuclear-energy>

</cpeusinanuclear.blogspot.com/2011/04/usina-nuclear.html>

<https://usinanuclearnp.blogspot.com/>

(PDF) Análise comparativa entre fontes de geração elétrica segundo critérios socioambientais e econômicos (researchgate.net)

apostilas\_cnen\_1n.pmd

[https://pt.wikipedia.org/wiki/Irradia%C3%A7%C3%A3o\\_de\\_alimentos](https://pt.wikipedia.org/wiki/Irradia%C3%A7%C3%A3o_de_alimentos)

<https://www.canalrural.com.br/ihara/mosca-das-frutas-como-controlar-essa-praga-na-fruticultura/>

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/pesquisa-e-inovacao/noticia/2016-02/pesquisadores-usam-radiacao-para-impedir-reproducao-do-aedes>

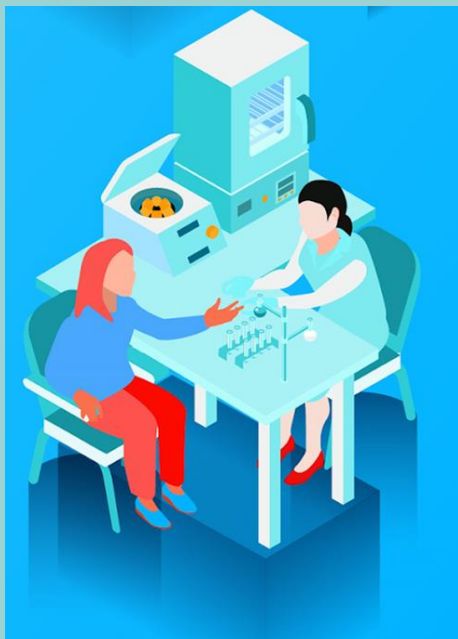
Entrevista com a Receita Federal sobre os procedimentos da alfândega nos aeroportos - Falando de Viagem

Bateria nuclear aquecerá o novo veículo marciano da NASA | Notícias | TechTudo

Foguete movido a energia nuclear pode levar astronautas a Marte mais rápido | CNN Brasil

Molten Salt Reactor - Reator a sal fundido – Wikipédia, a enciclopédia livre (wikipedia.org)

Bateria nuclear: Não precisa ser recarregada e dura para sempre (inovacaotecnologica.com.br)



\*\*\*O desenvolvimento teórico da cartilha foi estudado, desenvolvido e trabalhado pela aluna de Mestrado Alessandra Fabiana Aguiar Marques Fontolan e sua orientadora Dra. Carla de Souza Daruich pelo IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares no curso de Mestrado Profissional de Tecnologia das Radiações e Ciências da Saúde.

A cartilha foi feita utilizando o software PowerPoint e todas as imagens ilustrativas foram retiradas de sites de copyright livre. Os artistas foram atribuídos nas referências.

Essa cartilha se encontra gratuitamente para download no site [61a7139be421d.site123.me](https://61a7139be421d.site123.me).