

Energia Nuclear e Contaminação Radioativa

Prof. Dr. Fábio Luiz Melquiades

Departamento de Física - Unicentro



Motivação

Em todas as áreas da atividade humana ocorrem acidentes; batidas de veículos, descarrilamentos de trens, vazamentos de produtos químicos, queda de aviões, incêndios, etc., aos quais dispensamos maior ou menor atenção dependendo da gravidade. Mas os que ocorrem com materiais radioativos, independente do grau (desde o vazamento de uma usina nuclear até o extravio de um radiofármaco de vida curta) tem o poder de provocar um alto nível de preocupação na população. Isto ocorre por causa dos mitos sobre a radiação que permeiam o imaginário popular e são amplificados pela mídia.

Fonte: Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007

Objetivo: discutir o tema e tentar elucidar algumas questões relacionadas a energia nuclear e contaminação radioativa em contrapartida ao catastrofismo anunciado pela mídia.

Sumário



- **Parte 1 – Fundamentos**

Energia Nuclear

Irradiação

Contaminação Radioativa

Exposição e doses de radiação

- **Parte 2 – Usina nuclear**

Combustível nuclear

Funcionamento da Usina

- **Parte 3 – Acidente de Fukushima**

Usina BWR

Doses de radiação

- **Comentários Finais**

ELÉTRON

Parte 1 – Fundamentos

Energia Nuclear e Contaminação Radioativa









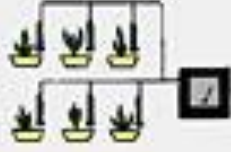

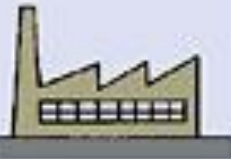
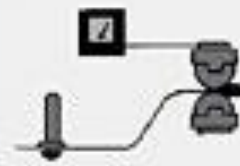






Energia Nuclear

A Energia nuclear consiste **no uso controlado** das **reações nucleares** para a obtenção de energia.

Tem inúmeras aplicações nos mais diferentes ramos do conhecimento, inclusive na geração de eletricidade em usinas que abastecem centenas de cidades em diversos países .

Energia Nuclear

Aplicações dos radioisótopos

Medicina		 Auxílio nas diagnoses	 Tratamento de doenças	 Terapêutica radioativa
Agricultura		 Conhecimento da ação de fertilizantes	 Estudo do crescimento da planta	 Ensaio sobre a alimentação do gado
Indústria		 Medida de pequenas espessuras	 Localização das fendas nos canos	 Descoberta de falhas nas partes metálicas
Pesquisas Educacionais		 Investigação dos princípios fundamentais	 Experiências e testes	 Comunicação e troca de conhecimentos

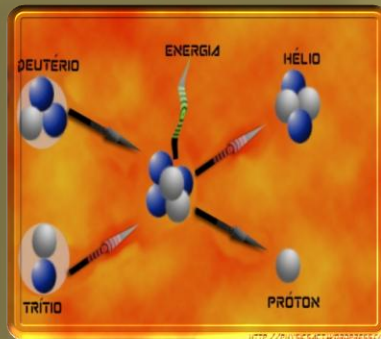
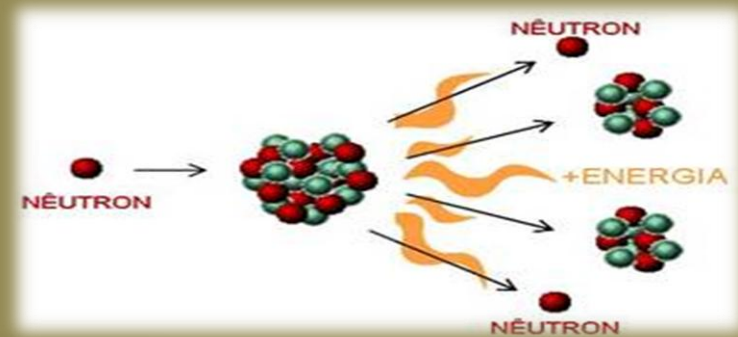
APLICAÇÕES

- Industrial (irradiação de alimentos, esterilização, gamagrafia, etc)
- Ambiental (identificação de rochas, distribuição de recursos hídricos, identificar a trajetória de poluentes no ar e na água, **geração de energia**, etc)
- Militar (bomba atômica, armas biológicas)

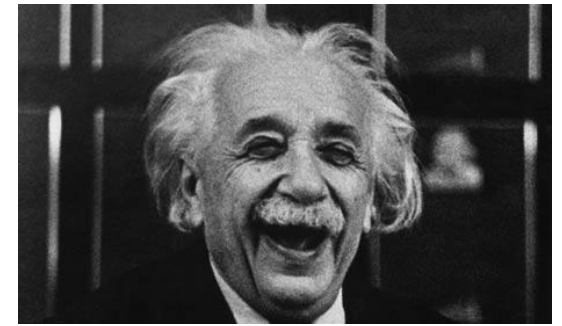
Reações Nucleares

A obtenção de energia nuclear se dá devido a dois processos Físicos:

- Fissão Nuclear
- Fusão Nuclear



Como Tudo começou!!!



$$E = m \cdot c^2$$

$$E = (m_0 \cdot c)^2 + (p \cdot c)^2$$



Massa

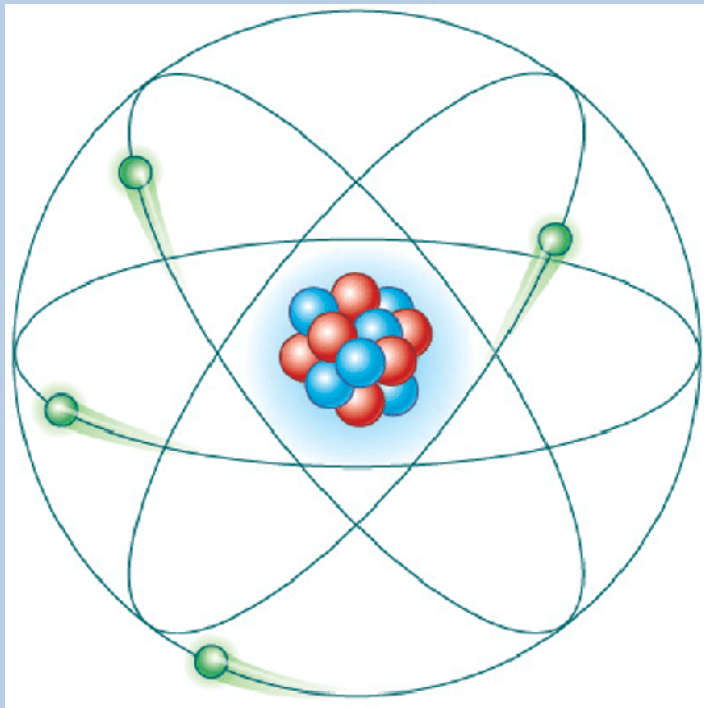


Energia

Reações Nucleares - Fissão

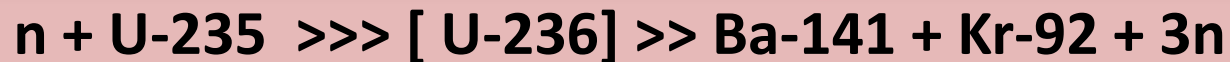
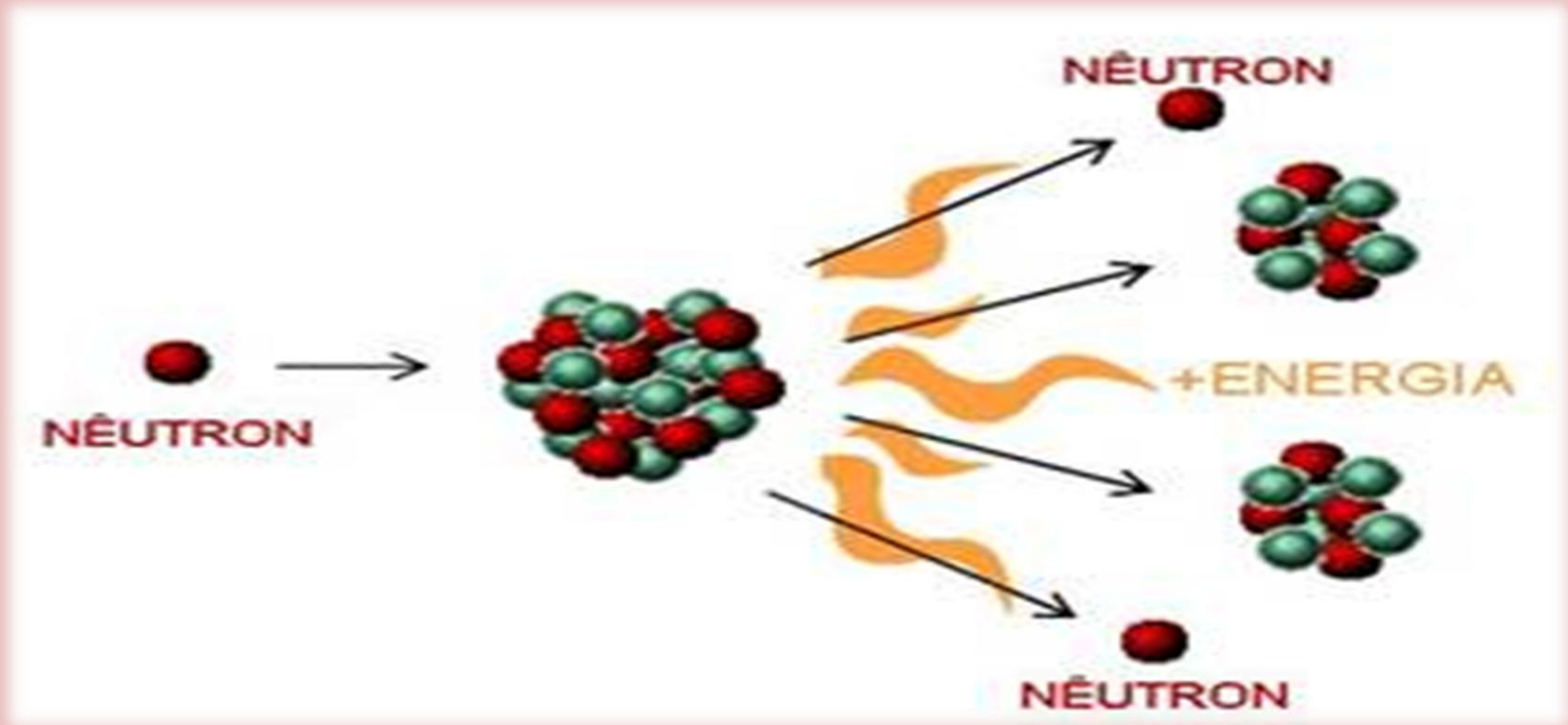
A energia proveniente da fissão nuclear é resultado da conversão de massa nuclear em energia.

Essa massa nuclear é resultado da Força Nuclear Forte, uma das 4 forças fundamentais, que mantém os nêutrons e prótons ligados no núcleo do átomo.



Reações Nucleares - Fissão

Fissão nuclear é o processo físico onde se divide o núcleo de um átomo pesado em dois núcleos atômicos menores, havendo nesse processo uma liberação de energia.



Ba = Bário

Kr = Criptônio

Reações Nucleares - Fissão

Energia gerada em um processo de fissão do U-235

Energia cinética de produtos nucleares = 165 MeV

Energia cinética de nêutrons = 5 MeV

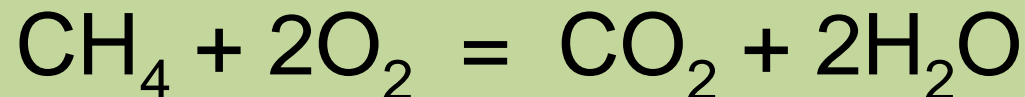
Energia de Raios Gama = 7 MeV

Energia de decaimentos Beta = 17 MeV

Energia de decaimentos Gama sec, = 6 MeV

Energia Total da Fissão Nuclear = **200 MeV**

A combustão do metano (gás natural) é representada pela seguinte reação:



Neste exemplo, a energia produzida é de **8 elétrons-volt (eV)**.

Reações Nucleares - Fissão

A large, bright orange and yellow mushroom cloud from a nuclear explosion, with a thick column of smoke and debris rising from the ground. The background is dark, making the fireball stand out.

- ENERGIA GERADA

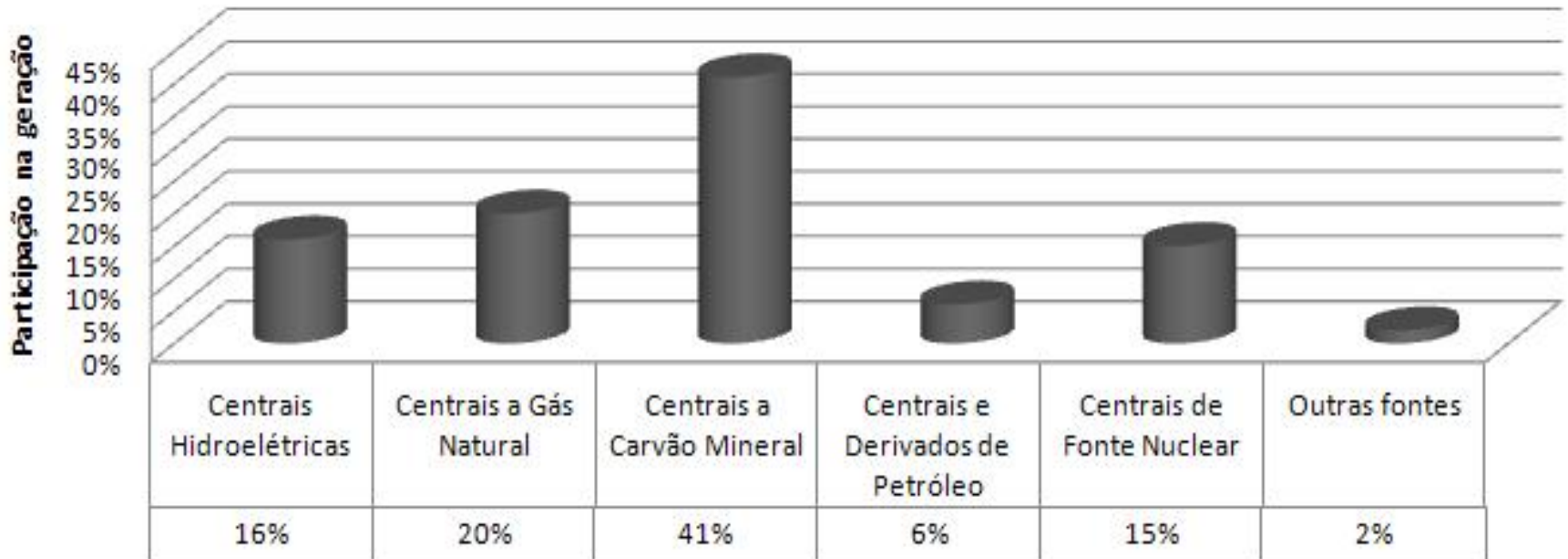
6 g de urânio, elemento mais usado na fissão, rendem $0,520 \times 10^{23}$ MeV, equivalente ao abastecimento de uma casa com quatro pessoas durante um dia.

1Kg de Urânio-235 equivale cerca de 30t de TNT

Energia Nuclear

A energia nuclear, em cerca de quatro décadas, tornou-se a terceira fonte mais utilizada para a produção de energia elétrica a nível mundial, **com cerca de 30% atualmente.**

MUNDO



Radiação - Características

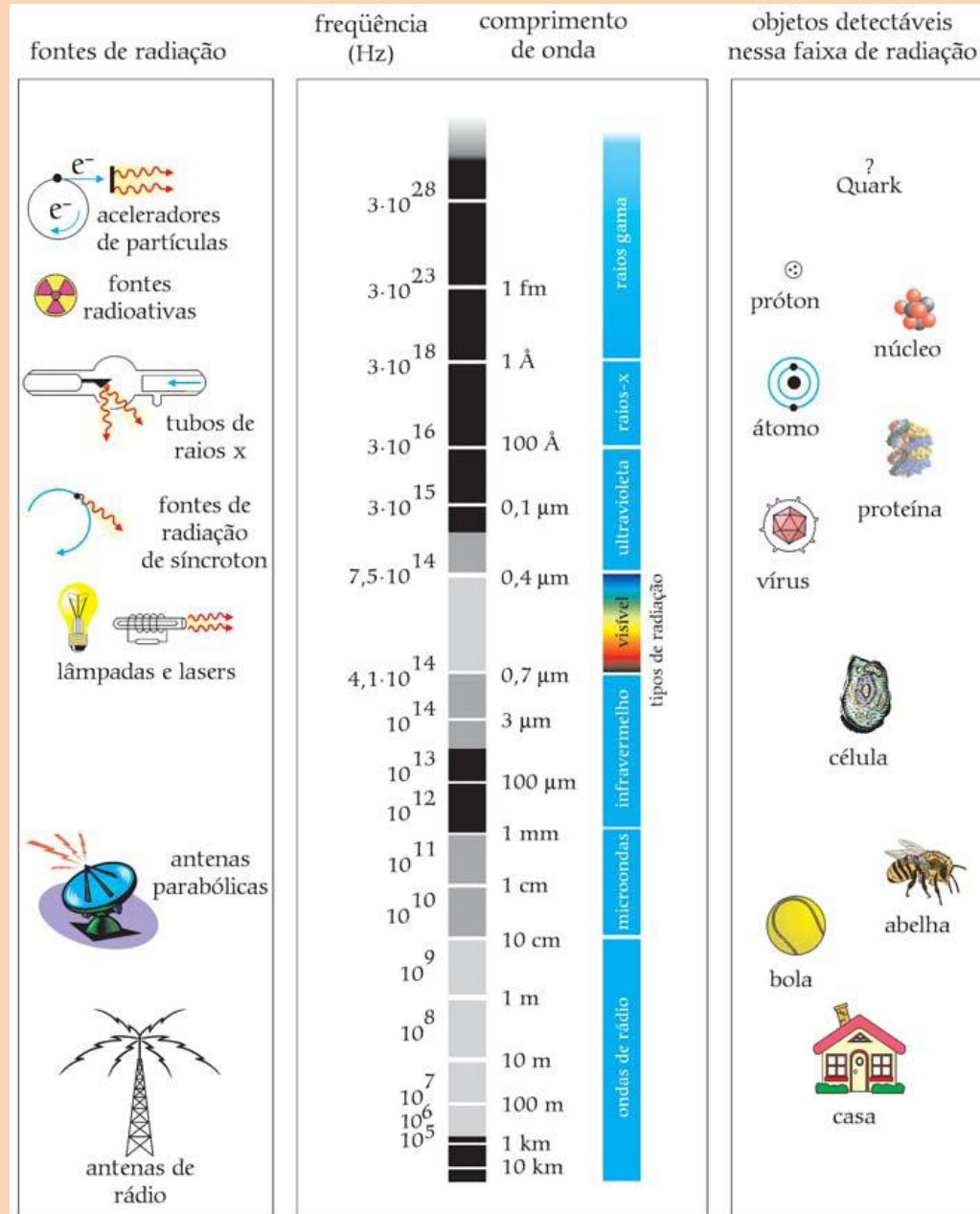
Dois grande grupos:

RADIAÇÃO IONIZANTE

X

RADIAÇÃO NÃO IONIZANTE

DIFERENÇA: ENEGIA



Radiação - Características

Radiações Ionizantes

**Tem energia suficiente para arrancar elétrons de um átomo.
Produz pares de íons.**

- **Partículas carregadas: Alfa, Beta, Prótons, Elétrons**
- **Partículas não carregadas: Nêutrons**
- **Ondas eletromagnéticas: Gama, Raios X.**



Radiação Não Ionizante

Não possui energia suficiente para arrancar elétrons de um átomo

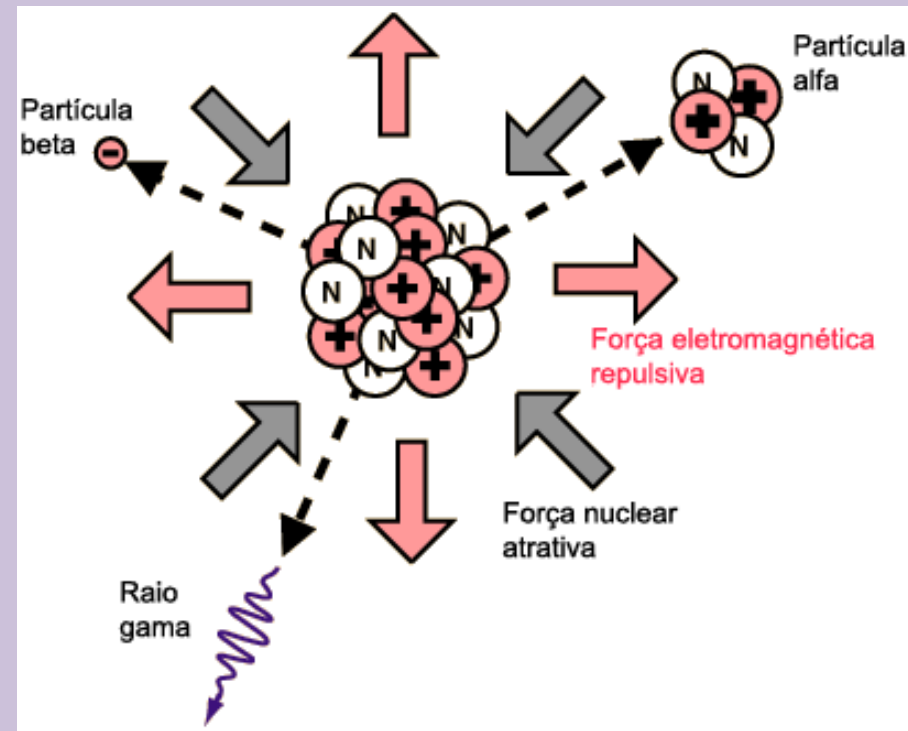
- **Pode quebrar moléculas e ligações químicas**
- **Ultravioleta, Infravermelho, Radiofrequência, Laser, Microondas, Luz visível.**



Estrutura Atômica e Nuclear da Matéria

Instabilidade Nuclear

- Número “inadequado” de nêutrons
- Desbalanço de energia interna do núcleo
- Busca do estado de menor energia
- Emissão de energia – radiação



Irradiação e Contaminação Radioativa

Quando há um acidente com material radioativo ouvimos do apresentador do noticiário expressões do seguinte tipo:

“a área está extremamente radioativa” ou
“a região está com altos níveis de radiação”

e outras expressões que nem o público nem o locutor têm a mínima noção do que significam.



Irradiação e Contaminação Radioativa

O que realmente ocorre quando há um acidente com material radioativo?

Apenas dois eventos:

O material radioativo irradiará ou

Contaminará o meio ambiente

Irradiação e Contaminação Radioativa

Irradiação: é a energia característica emitida por uma fonte radioativa.

O objeto ou ser vivo que recebe esta energia está sendo irradiado.

Contaminação Radioativa: ocorre quando um objeto ou um ser vivo se impregna com o material radioativo que vazou para o meio ambiente devido à ocorrência de um acidente.

Deste modo, ele contém material radioativo em sua estrutura e carregará este material para onde quer que vá. Ou seja, ele conterà uma fonte radioativa, que o estará irradiando assim como tudo e todos por onde quer que ele passe.

Irradiação

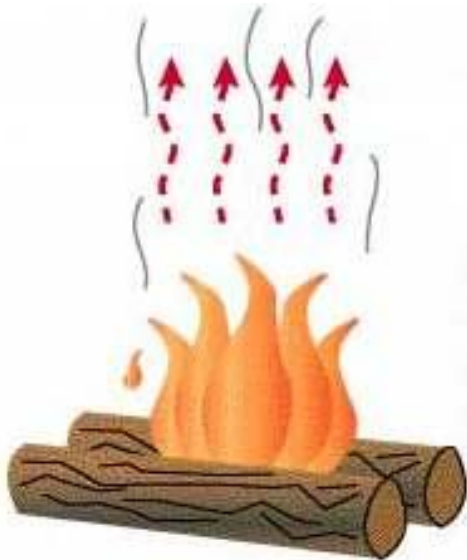
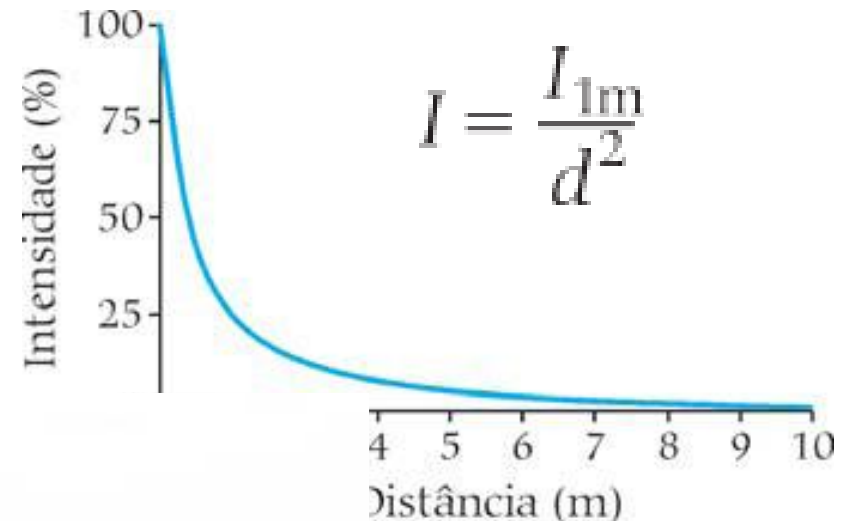
Irradiação: é a energia característica emitida por uma fonte radioativa.

No nosso cotidiano há vários exemplos de outras situações de emissão de radiação:

o calor de uma fogueira,

a luz de um poste

uma fonte sonora (a buzina de um carro)



ato ou ser vivo,

fonte.

Irradiação

Isto significa que no caso de um acidente com material radioativo, onde há apenas irradiação, a forma adotada de proteção da população local pelas autoridades competentes é **isolar uma área** em torno do material radioativo a uma distância cujo raio seja grande o suficiente para garantir que fora dessa área o nível de irradiação seja insignificante.



Este comportamento aplica-se a fontes que emitem radiação eletromagnética, como a radiação gama

Irradiação

- Mas será que um objeto ou um ser vivo que esteve próximo ao material radioativo e foi irradiado fica com um pouco de radiação dentro dele e vai liberando essa radiação aos poucos?

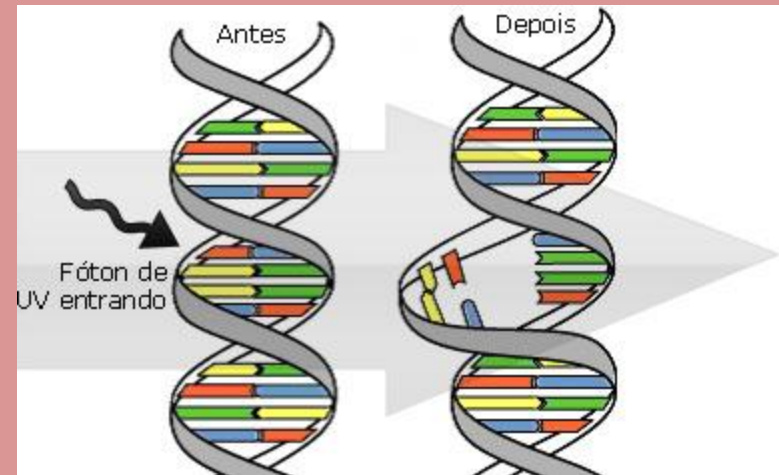
A resposta é **não**, pois não há como estocar qualquer tipo de radiação, seja ela proveniente de materiais radioativos ou não.

Exemplo: luz de uma sala

Irradiação

O que a radiação com alta energia faz é expurgar os elétrons das coroas eletrosféricas e deste modo inviabilizar a ligação entre os átomos (ionização).

As células nos seres vivos tem mecanismos de reparo para os danos causados por radiação ionizante.



Contudo, se os danos forem muito extensos, a célula pode não ser capaz de se reparar adequadamente, o que pode levá-la à morte ou a mudar as suas funções e ser o início de uma doença degenerativa como o câncer, caso o organismo como um todo não consiga eliminá-la.

Irradiação

- Um corpo está sendo irradiado e sofrendo os efeitos causados pela radiação enquanto ele estiver exposto a uma fonte. Ao se afastar dessa fonte ele estará recebendo cada vez menos radiação
- **Concluindo: a irradiação não torna objetos ou seres vivos radioativos ou portadores de radiação; portanto, depois da exposição, podemos tocá-los ou manuseá-los sem receio.**

Contaminação Radioativa

Contaminação Radioativa: ocorre quando um objeto ou um ser vivo contém material radioativo em sua estrutura.

Ou seja ele conterá uma fonte radioativa que o estará irradiando e tudo e todos que estiverem ao seu redor, dentro do raio de alcance da fonte radioativa.



Contaminação Radioativa

No caso da contaminação radioativa, um objeto ou ser vivo impregnado com material radioativo, não fica todo ele radioativo depois de algum tempo?

Os materiais radioativos não são seres vivos e, portanto, não têm como se reproduzir e causar uma epidemia.

O importante a notar é que a contaminação tende a diminuir, contanto que não se volte a ter contato direto com o material radioativo.

Contaminação Radioativa

O mecanismo de transmissão da contaminação radioativa é o contato direto, isto é o mesmo da que costumamos chamar, genericamente, **de sujeira!** E que conforme a contaminação vai se espalhando ela também e vai se diluindo no ambiente, e não aumentando como no caso de uma epidemia causada por microorganismos.

Concluindo: a contaminação radioativa não se multiplica com o tempo, ao contrário a atividade do elemento radioativo vai decaindo com o tempo.

Exposição a Radioatividade

A radioatividade não descoberta pelo homem

Essa radiação natural

- ela vem do espaço (radiação cósmica)

- está presente na forma de radionuclídeos,

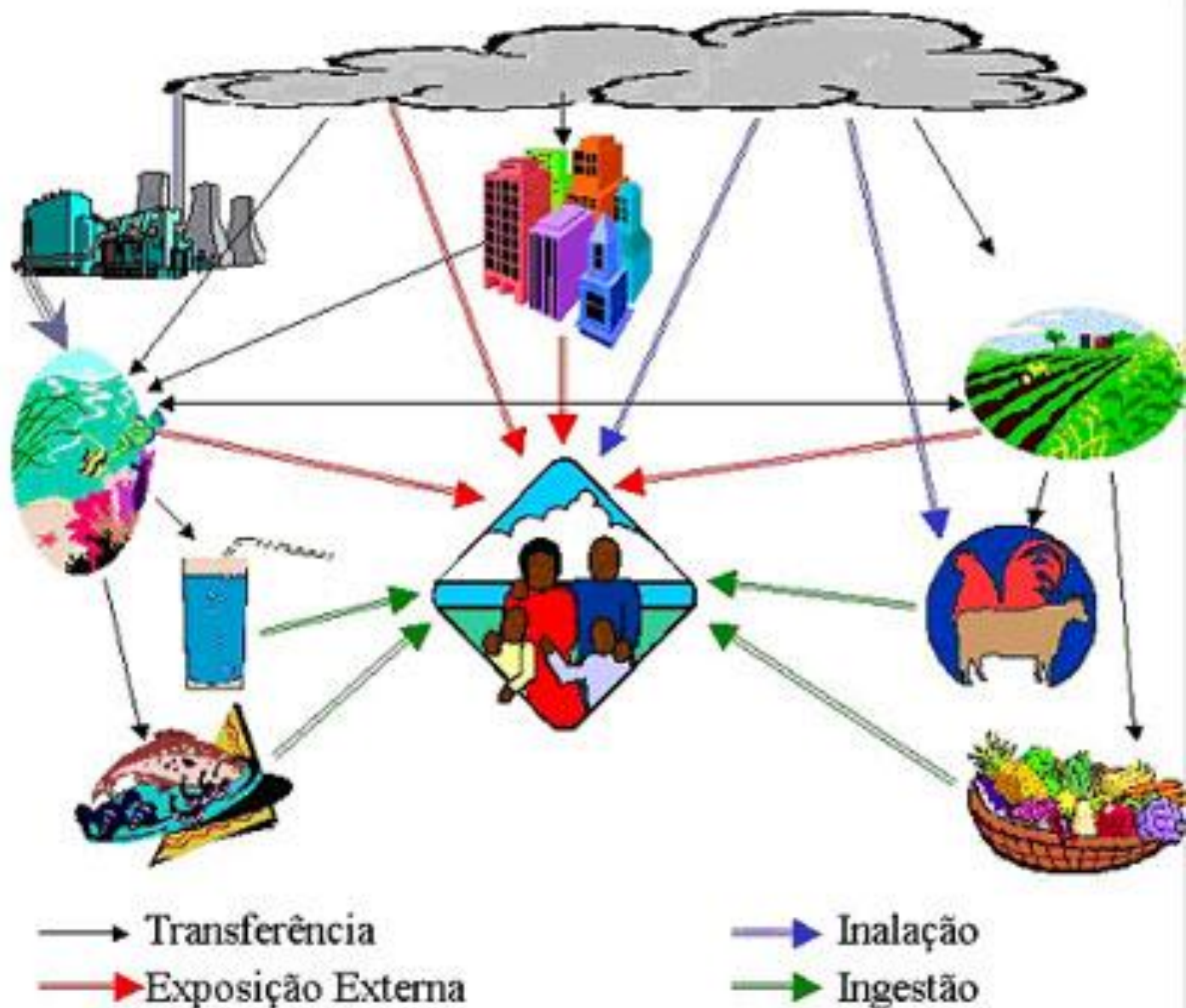
- no ar que respiramos

- na nossa comida como o leite, o feijão e o potássio-40, que

- na água (gás radônio)

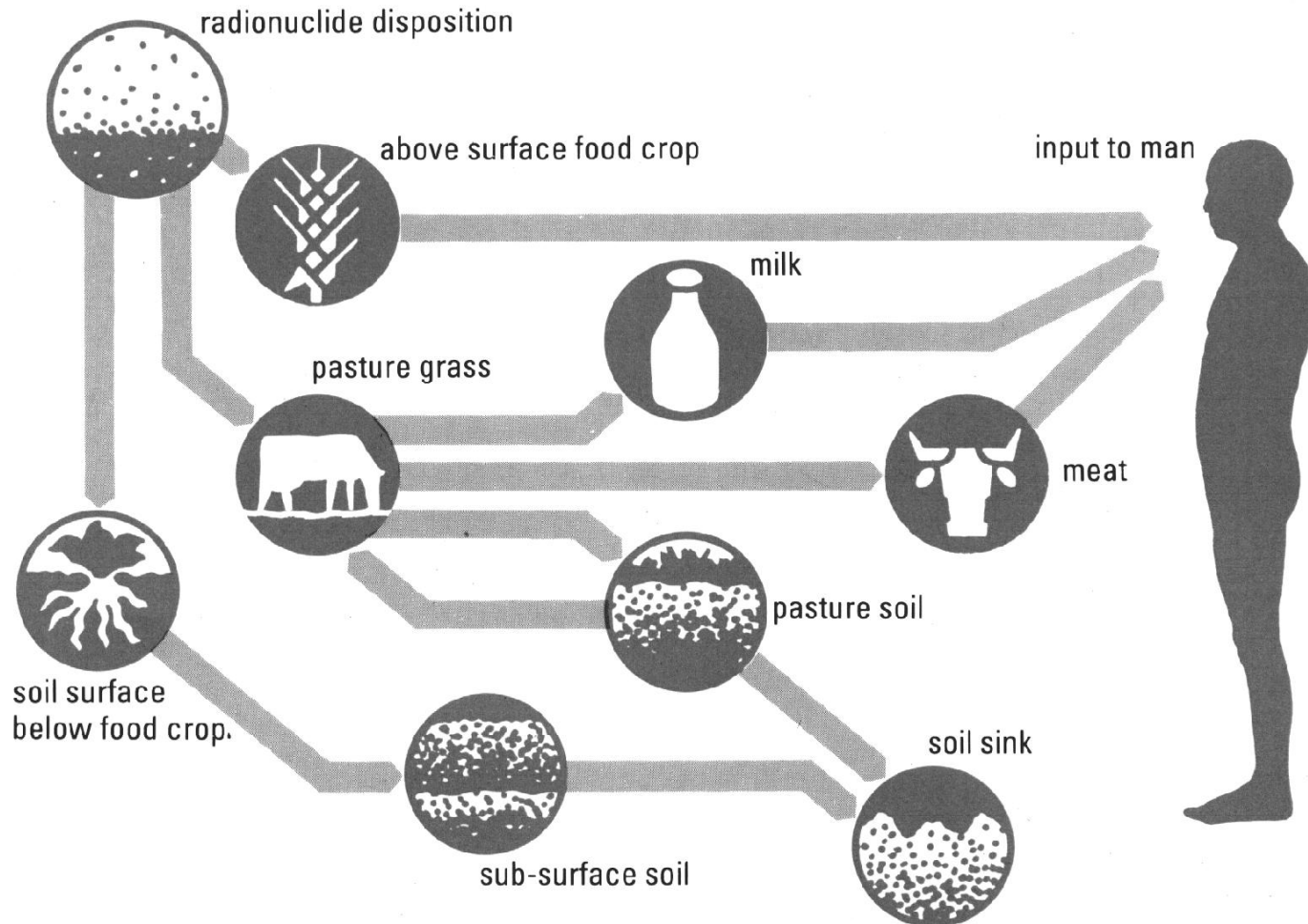
- na crosta terrestre

- nos materiais que usamos (urânio, tório e seus produtos)



Exposição a Radioatividade

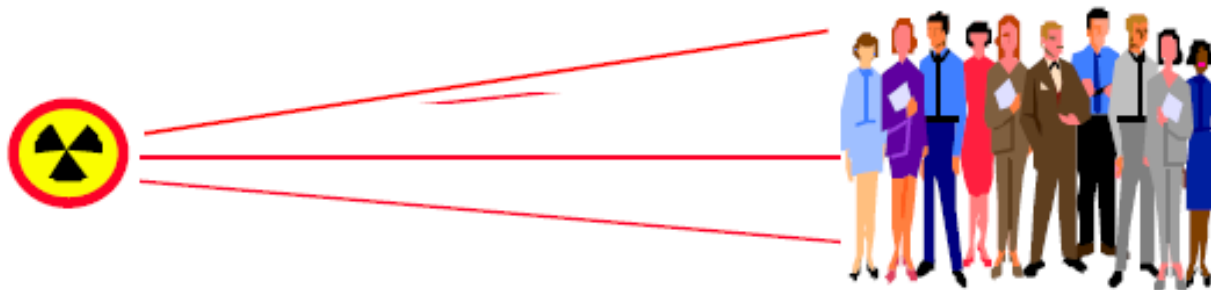
A radioatividade não foi inventada, logo ela sempre existiu na natureza e foi descoberta pelo homem.



Exposição a Radioatividade

Portanto, independente da profissão ou da localização onde vive, todo ser humano recebe uma certa quantidade de radiação, tanto interna quanto externamente, que é chamada “radiação de fundo” e esta varia de acordo com a localização geográfica e com a altitude.

$$E = I \times t$$



Controle do Tempo de Exposição

Exposição a Radioatividade

Doses máximas permitidas



As doses equivalentes especificadas na norma CNEN NE-3.01 e IAEA Safety Series Nr.9 , para o corpo todo , são:

Para adultos profissionais , trabalhadores 50 mSv por ano
Para membros do público 1 mSv por ano

- 25 $\mu\text{Sv/h}$ ou
- 0,2 mSv / dia ou
- 1 mSv / semana ou
- 4 mSv / mês

Quadro de Doses de Radiação

Este é um quadro da dose de radiação ionizante que uma pessoa pode absorver a partir de diversas fontes. A unidade para a dose absorvida é "sievert" (Sv), e mede o efeito que uma dose de radiação terá nas células do corpo. Um sievert (absorvido de uma só vez) o deixará doente, e muitos mais irão matá-lo, no entanto nós absorvemos com segurança pequenas quantidades de radiação natural diariamente. Nota: Uma certa quantidade de sieverts absorvidos em um curto espaço de tempo irá geralmente causar mais dano, embora a sua dose acumulada no longo prazo tem importante papel em coisas como o risco de câncer.

- Dormir ao lado de alguém (0,05 μ Sv)
- Morar a até 50 milhas (80 km) de uma usina nuclear por um ano (0,09 μ Sv)
- Comer uma banana (0.1 μ Sv)
- Morar a até 50 milhas (80 km) de uma usina a carvão por um ano (0,3 μ Sv)
- Raio-X de um braço (1 μ Sv)
- Usar um monitor de computador de tubo (CRT) por um ano (1 μ Sv)
- Dose extra ao passar um dia em área com radiação natural ou de fundo maior que a média, Ex. planalto do Colorado, EUA (1 μ Sv)
- Raio-X da mão ou dos dentes (3 μ Sv)
- Dose extra ao passar um dia em uma cidade típica próxima à usina de Fukushima (~3,4 μ Sv em 17 de março de 2011, há grande variação nesta medida)
- Dose natural de fundo recebida por um indivíduo médio ao longo de um dia típico (10 μ Sv)
- Voo de Nova Iorque a Los Angeles, EUA (40 μ Sv)

Usar um telefone celular (0 μ Sv). O transmissor de telefone celular não produz radiação ionizante* e não causa câncer.

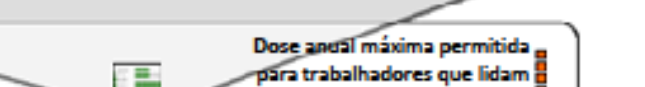
* a não ser que feito de bananas.

(0,05 μ Sv)



- Raio-X de tórax (20 μ Sv)
- Todas as doses do quadro azul combinadas (~60 μ Sv)
- Morar em um prédio de pedra, tijolo, ou concreto por um ano (70 μ Sv)
- Dose total média do acidente de Three Mile Island para alguém morando a 10 milhas (16km) da usina (80 μ Sv)
- Limite anual de emissões para uma usina nuclear estabelecido pela EPA (Agência de Proteção Ambiental), EUA (390 μ Sv)
- Dose anual emitida pelo potássio natural presente no corpo (390 μ Sv)
- Limite anual de exposição à radiação para um único indivíduo estabelecido pela EPA (Agência de Proteção Ambiental), EUA (1 mSv = 1.000 μ Sv)
- Dose externa máxima do acidente de Three Mile Island (1 mSv)
- Mamografia (3 mSv)
- Dose diária (~3,6 mSv) em dois locais a 50km a NO da usina de Fukushima em 16/3, e também em 17/3. No entanto, em outras áreas próximas a Fukushima foram observadas doses ligeiramente superiores.
- Dose normal anual de fundo. Aproximadamente 85% provém de fontes naturais. Quase todo o resto provém de exames médicos (~3,65 mSv)

- Objetivo anual de emissões para uma usina nuclear estabelecido pela EPA (Agência de Proteção Ambiental), EUA (30 μ Sv)
- Tomografia computadorizada de tórax (5,8 mSv)
- Dose ao passar uma hora próximo à usina de Chernobyl em 2010 (6 mSv em um ponto, porém com grande variação)
- Dose anual máxima permitida para trabalhadores que lidam com radiação, EUA (50 mSv)

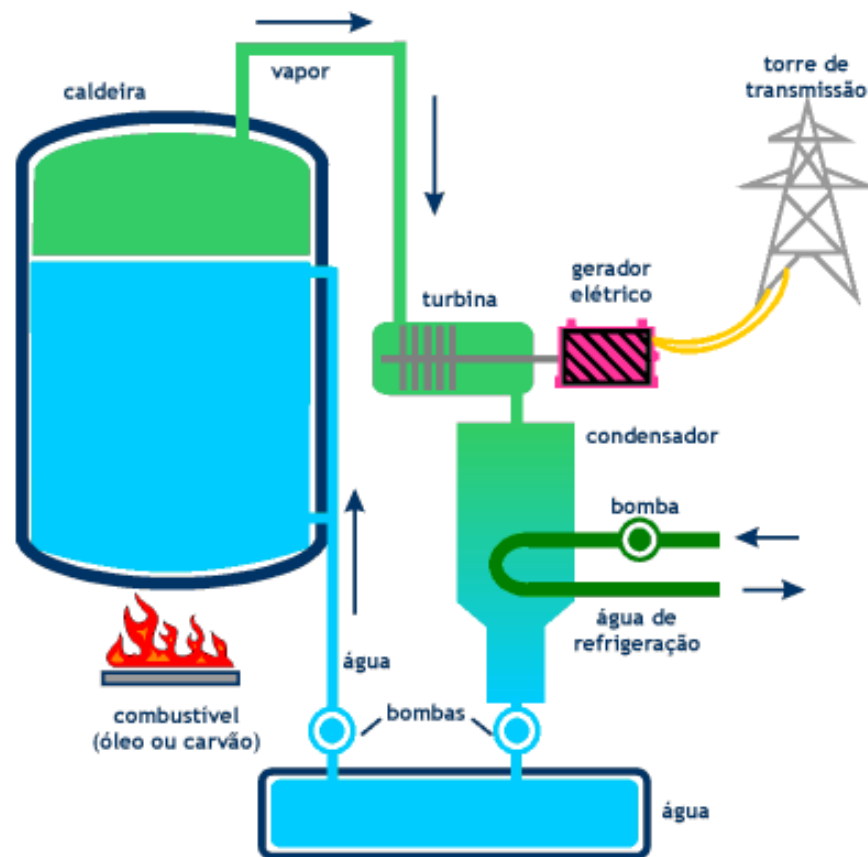


Parte 2 - Usinas Nucleares



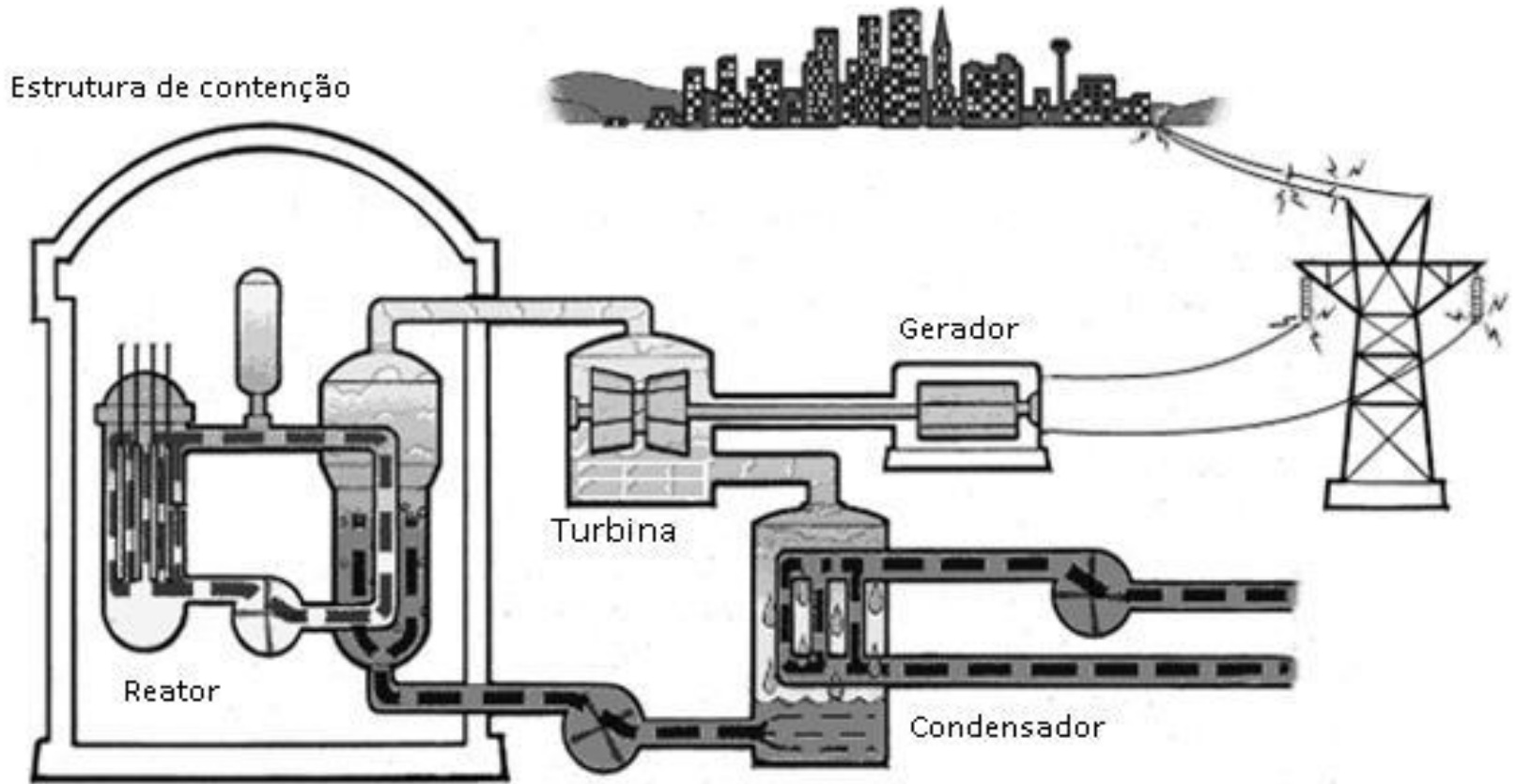
Usinas Nucleares

Uma usina nuclear é uma usina terméletrica, onde o combustível utilizado é uma fonte radioativa.



A energia elétrica é obtida a partir da energia liberada pela reação de fissão do Urânio, que é usada para aquecer a água de uma caldeira

Usinas Nucleares



A queima do combustível produz calor que ferve a água de uma caldeira transformando-a em vapor. O vapor movimenta uma turbina que dá partida a um gerador que produz a eletricidade.

Combustível Nuclear

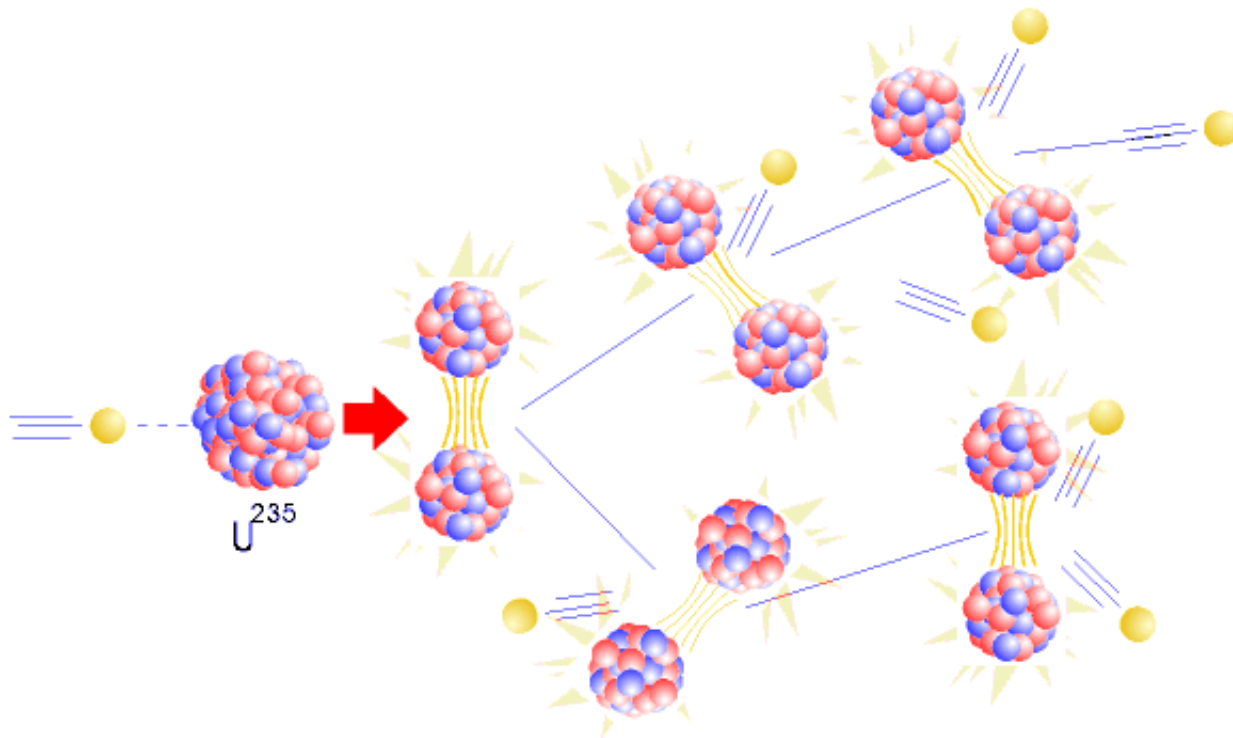


É o U-235 que pode ser fissionado com neutrons de baixa energia (neutrons térmicos)

O urânio natural contém apenas 0,71% de ^{235}U , enquanto o restante dos 99,29% do urânio é ^{238}U , o qual não é fissionável, exceto com nêutrons altamente energizados, que são indisponíveis para o processo de fissão

Reação em Cadeia do U-235

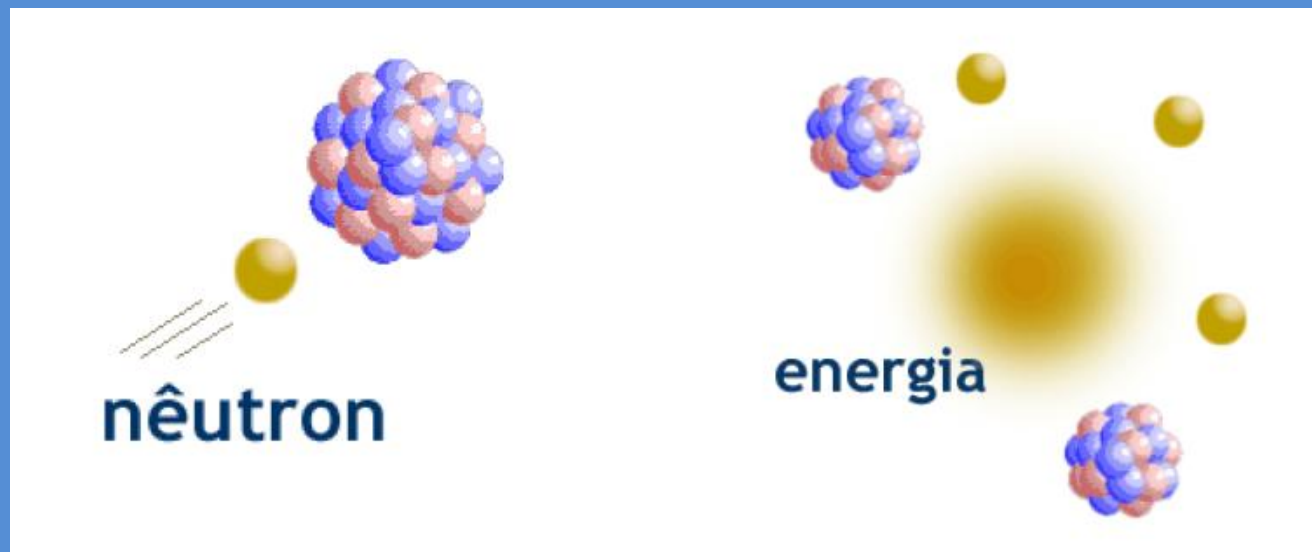
Na realidade, em cada reação de fissão nuclear resultam, além dos núcleos menores, dois a três nêutrons, como consequência da absorção do nêutron que causou a fissão. Torna-se, então, possível que esses nêutrons atinjam outros núcleos de urânio-235, sucessivamente, liberando muito calor. Tal processo é denominado **reação de fissão ou reação em cadeia**



Controle da Reação de Fissão Nuclear em Cadeia

A reação em cadeia não pára até consumir quase todo o material físsil (= que sofre fissão nuclear), no caso o urânio-235.

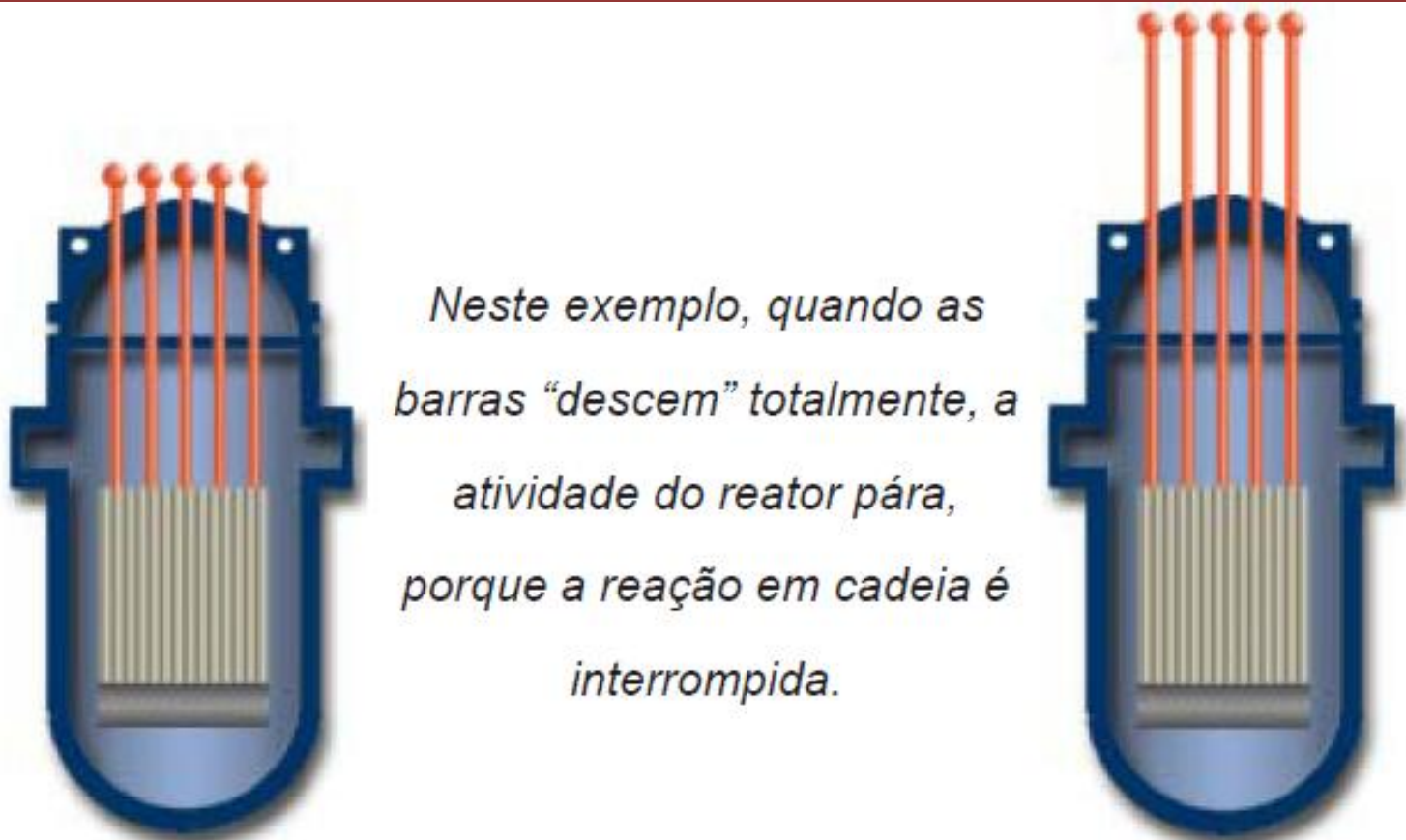
Como já foi visto, a fissão de cada átomo de urânio-235 resulta em 2 átomos menores e 2 a 3 nêutrons, que irão fissionar outros tantos núcleos de urânio-235.



A forma de controlar a reação em cadeia consiste na eliminação do agente causador da fissão: o nêutron. Não havendo nêutrons disponíveis, não pode haver reação de fissão em cadeia.

Controle da Reação de Fissão Nuclear em Cadeia

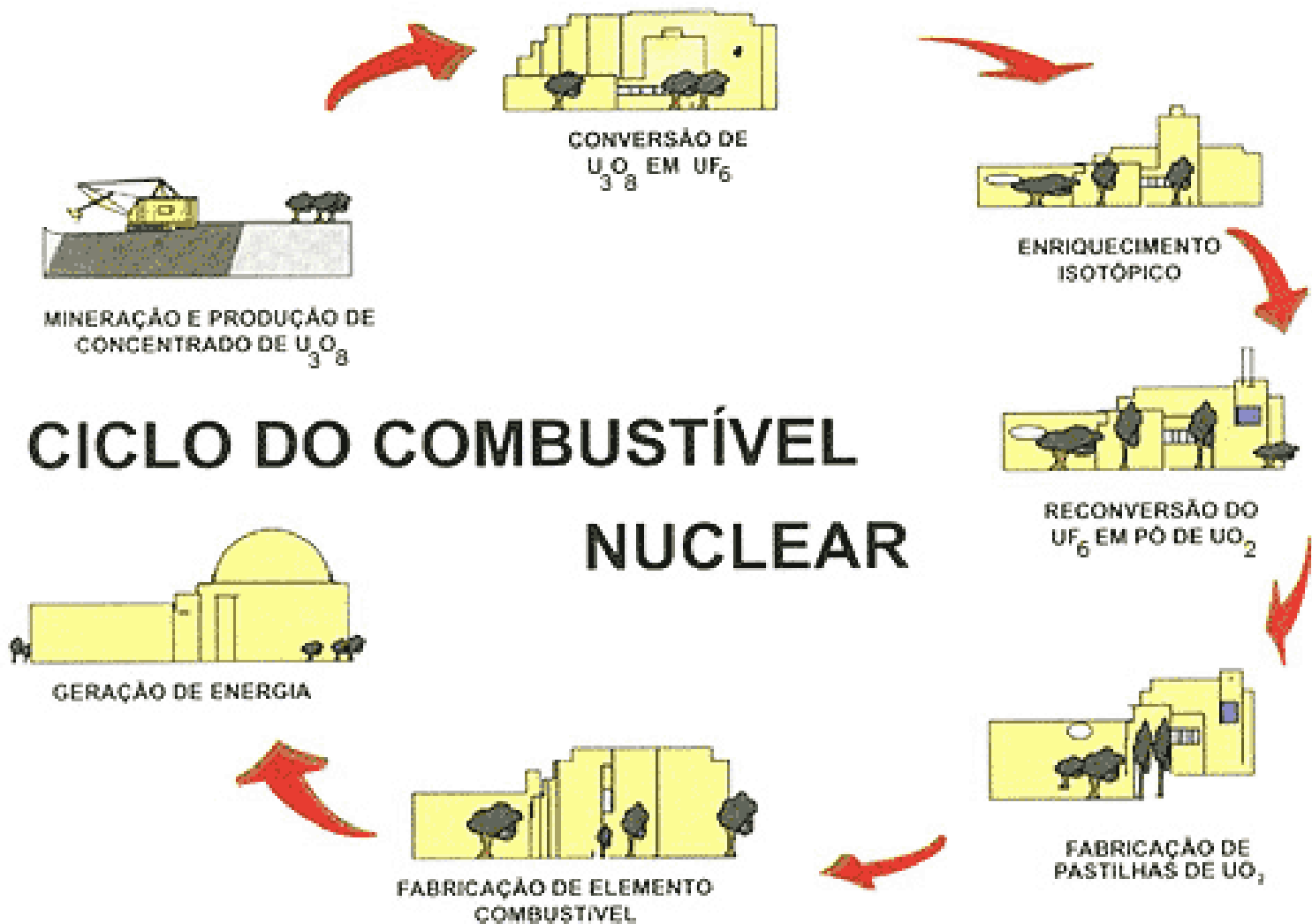
Alguns elementos químicos, como o boro, na forma de ácido bórico ou de metal, e o cádmio, em barras metálicas, têm a propriedade de absorver nêutrons, porque seus núcleos podem conter ainda um número de nêutrons superior ao existente em seu estado natural, resultando na formação de isótopos de boro e de cádmio.



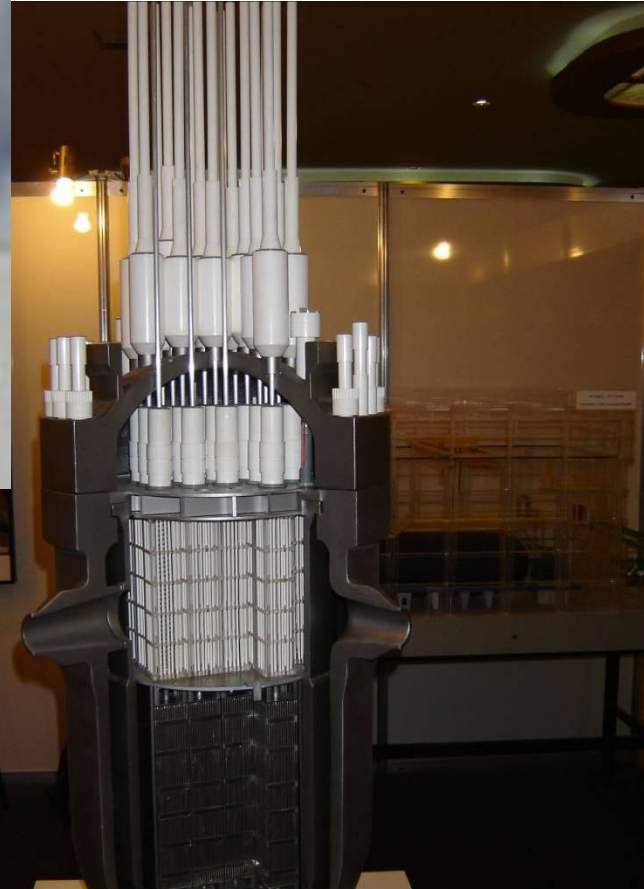
Enriquecimento de Urânio

- O processo físico de retirada de urânio-238 do urânio natural, aumentando, em consequência, a concentração de urânio-235, é conhecido como **Enriquecimento de Urânio**.

Enriquecimento de Urânio

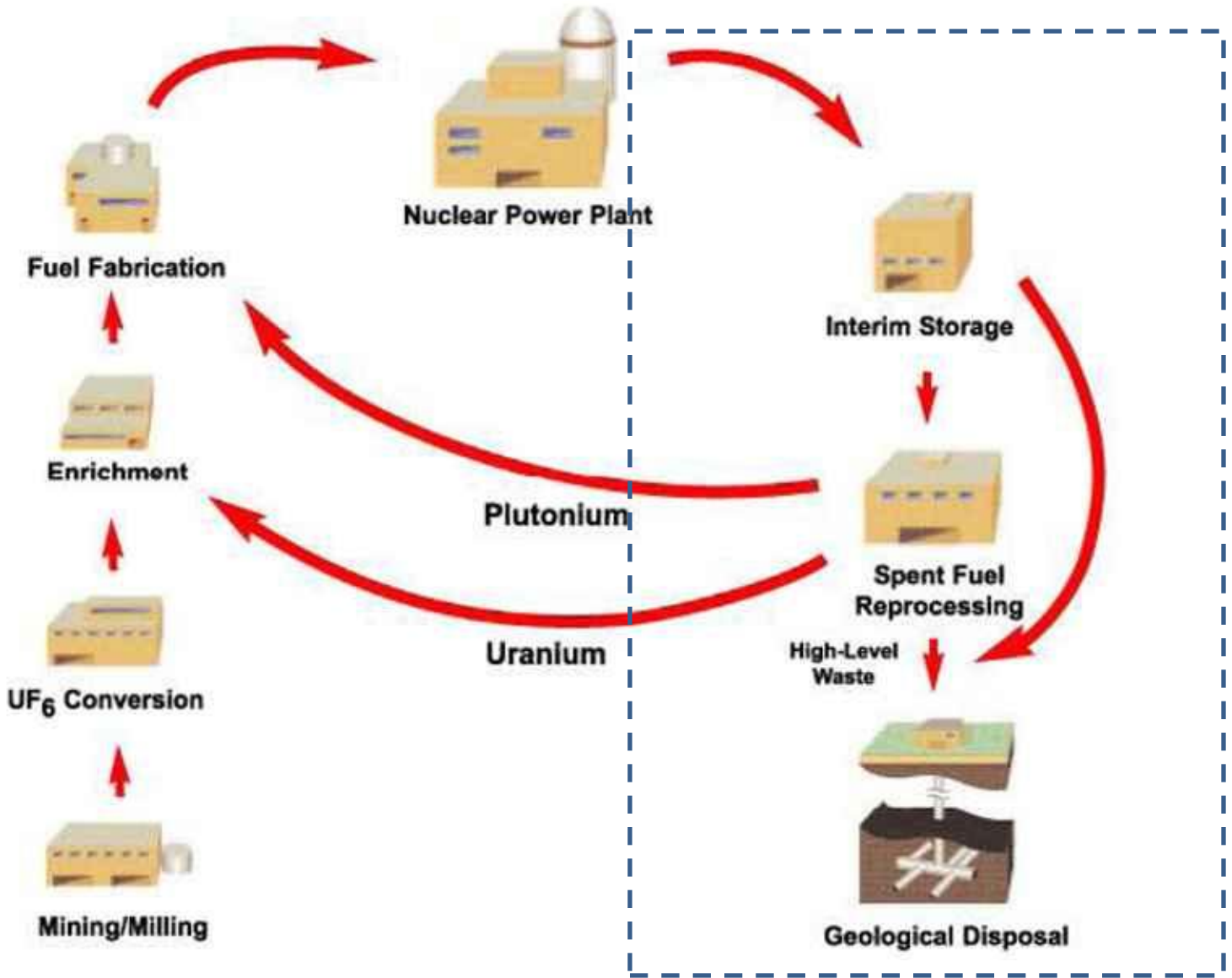


Enriquecimento de Urânio elemento combustível



A Vareta de Combustível é a primeira barreira que serve para impedir a saída de material radioativo para o meio ambiente.

Combustível nuclear - Rejeitos



Combustível nuclear - Rejeitos

Os rejeitos gerados por uma usina nuclear são organizados em três classes, segundo o nível de radioatividade que apresentam: os de baixa, média e alta atividades. São classificados também em **função da meia-vida** dos elementos radioativos nos mesmos, como rejeitos de longa e de baixa duração



O combustível nuclear irradiado na Usina se constitui na única fonte de material radioativo de alta atividade e longa duração, quando visto sob a ótica de rejeitos

Combustível nuclear - Rejeitos

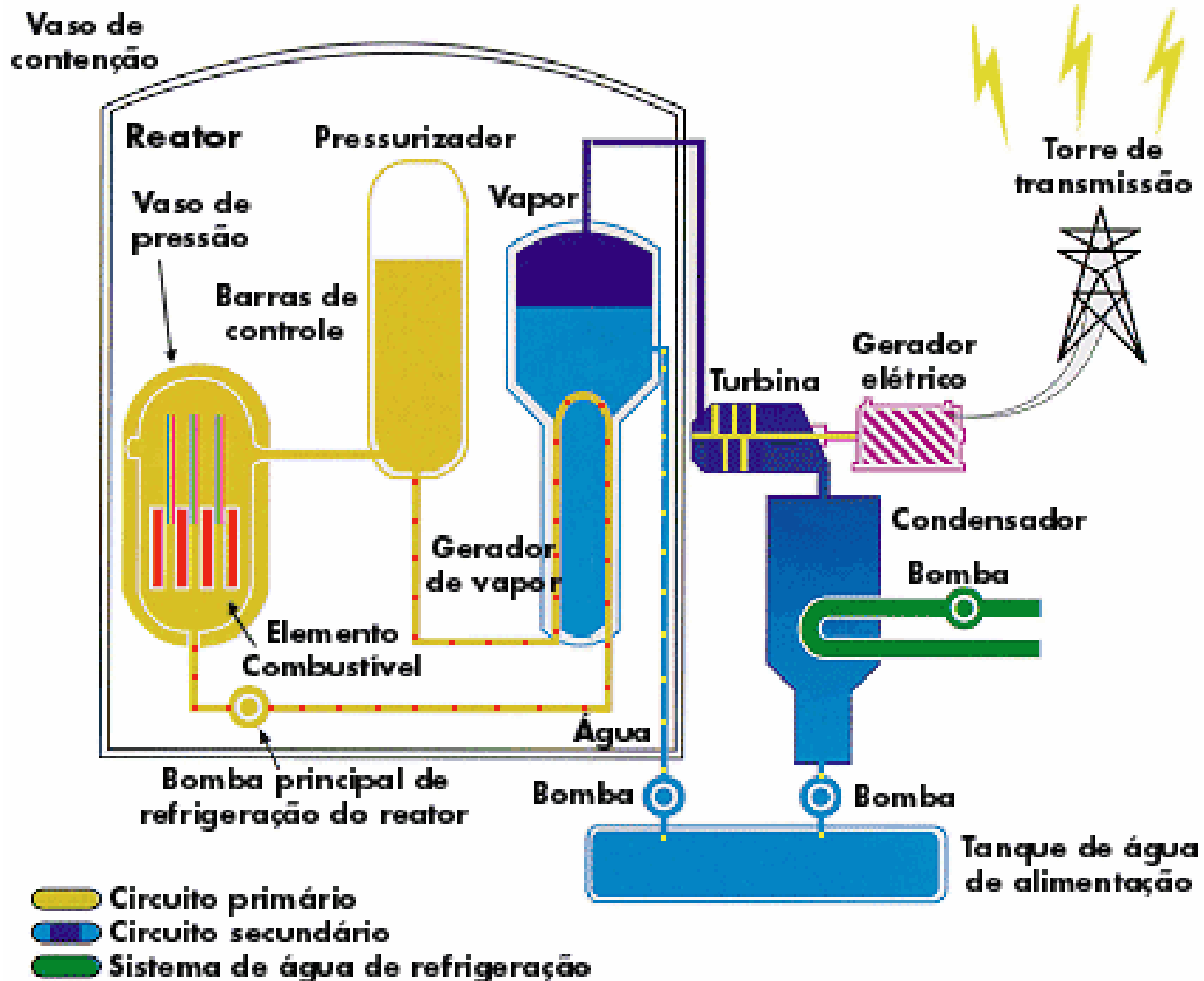
Onde são armazenados os rejeitos de Angra 1 e Angra 2?

A Central Nuclear de Angra possui quatro depósitos iniciais de rejeitos de baixa e média atividades (Depósitos 1, 2A, 2B e 3), devidamente licenciados pelo IBAMA e pela CNEN, que compõem seu Centro de Gerenciamento de Rejeitos – CGR, localizado no próprio sítio da Central Nuclear



Usina Nuclear – Funcionamento

Tipo PWR (Pressurized Water Reactor = Reator a Água Pressurizada)



Usina Nuclear – Funcionamento

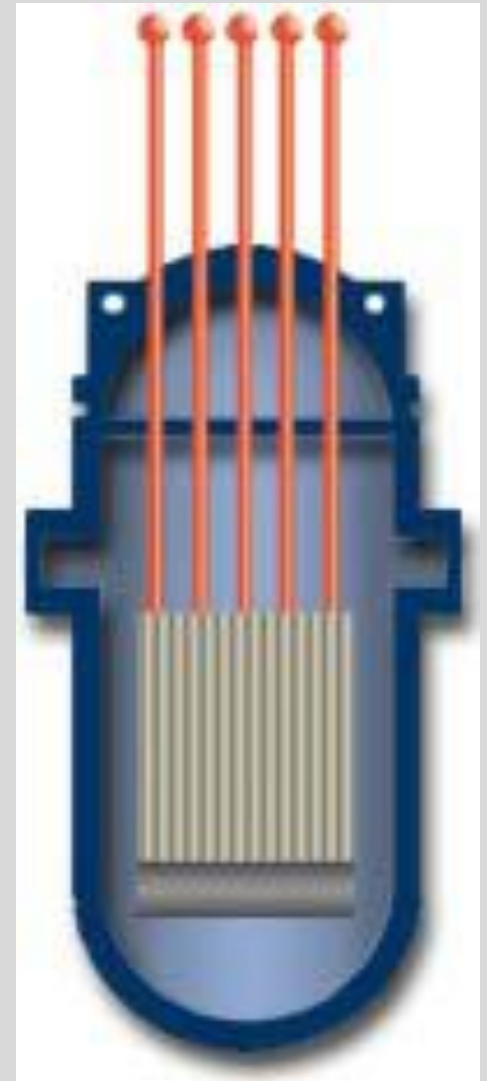
Tipo PWR (Pressurized Water Reactor = Reator a Água Pressurizada)

Vaso de Pressão

Os Elementos Combustíveis são colocados dentro de um grande vaso de aço, com “paredes”, no caso de Angra 1, de cerca de 33 cm e, no caso de Angra 2, de 23,5 cm.

Esse enorme recipiente, denominado Vaso de Pressão do Reator, é montado sobre uma estrutura de concreto, com cerca de 5 m de espessura na base.

O Vaso de Pressão do Reator é a segunda barreira física que serve para impedir a saída de material radioativo para o meio ambiente.



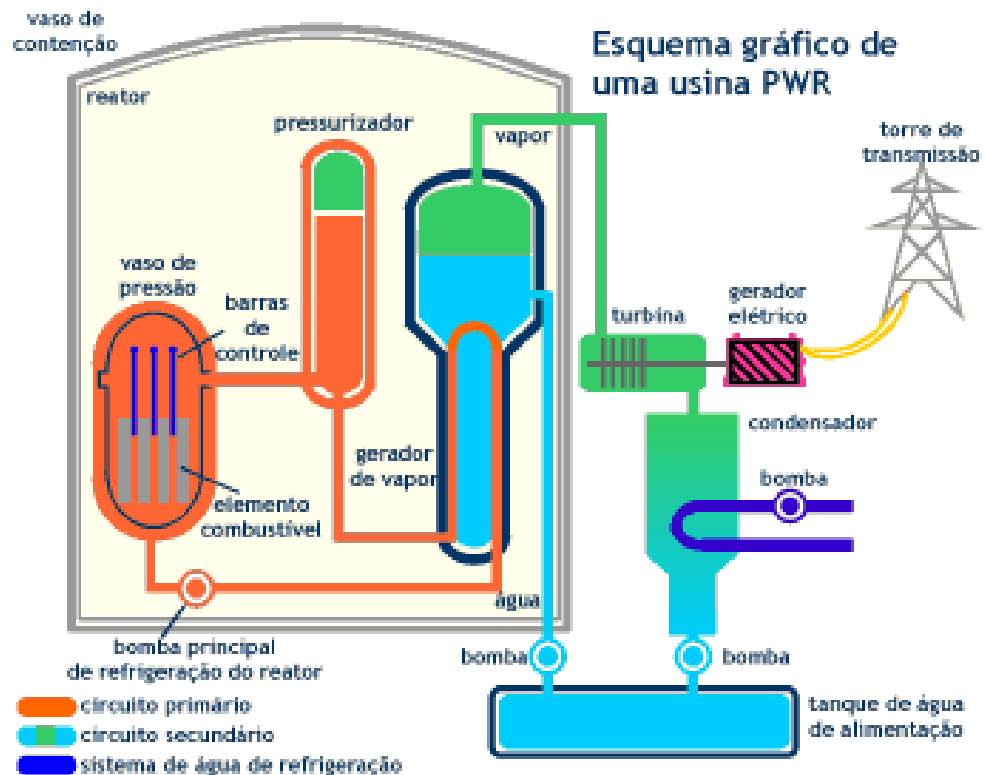
Usina Nuclear – Funcionamento

Tipo PWR (Pressurized Water Reactor = Reator a Água Pressurizada)

Circuito Primário

O Vaso de Pressão contém a água de refrigeração do núcleo do reator (os elementos combustíveis).

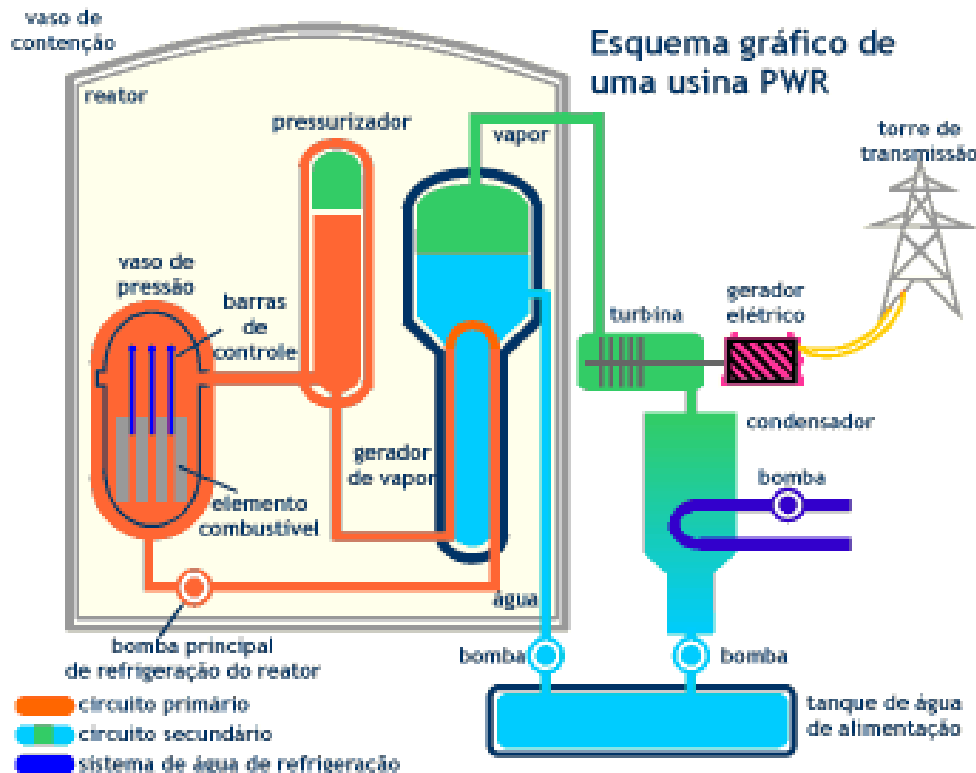
Essa água fica circulando quente pelo Gerador de Vapor, em circuito, isto é, não sai desse Sistema, chamado de Circuito Primário.



A água que circula no Circuito Primário é usada para aquecer uma outra corrente de água, que passa pelo Gerador de Vapor.

Usina Nuclear – Funcionamento

Tipo PWR (Pressurized Water Reactor = Reator a Água Pressurizada)



Circuito Secundário

Existe outra corrente de água, que passa pelo Gerador de Vapor para ser aquecida e transformada em vapor. Ela passa pela turbina, em forma de vapor, acionando-a.

É, a seguir, condensada e bombeada de volta para o Gerador de Vapor, constituindo um outro Sistema de Refrigeração, independente do primeiro

Usina Nuclear – Funcionamento

Tipo PWR (**P**ressurized **W**ater **R**eactor = Reator a Água Pressurizada)

Independência entre os sistemas de refrigeração

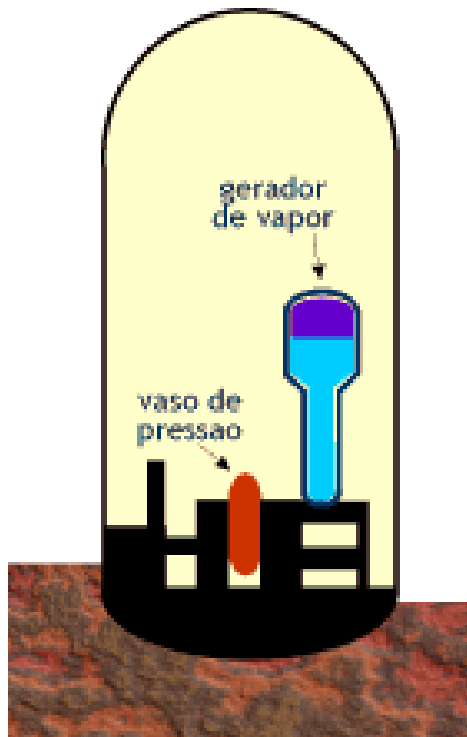
A independência entre o Circuito Primário e o Circuito Secundário tem o objetivo de evitar que, danificando-se uma ou mais varetas, o material radioativo (urânio e produtos de fissão) passe para o Circuito Secundário.

É interessante mencionar que a própria água do Circuito Primário é radioativa.

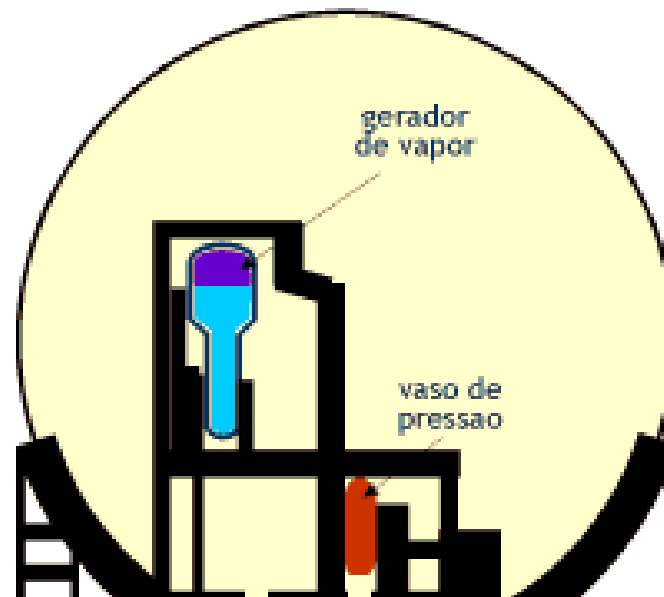
Usina Nuclear – Segurança

Contenção

O Vaso de Pressão do Reator e o Gerador de Vapor são instalados em uma grande “carcaça” de aço, com 3,8 cm de espessura em Angra 1. Esse envoltório, construído para manter contidos os gases ou vapores possíveis de serem liberados durante a operação do Reator, é denominado Contenção.



contenção - Angra I



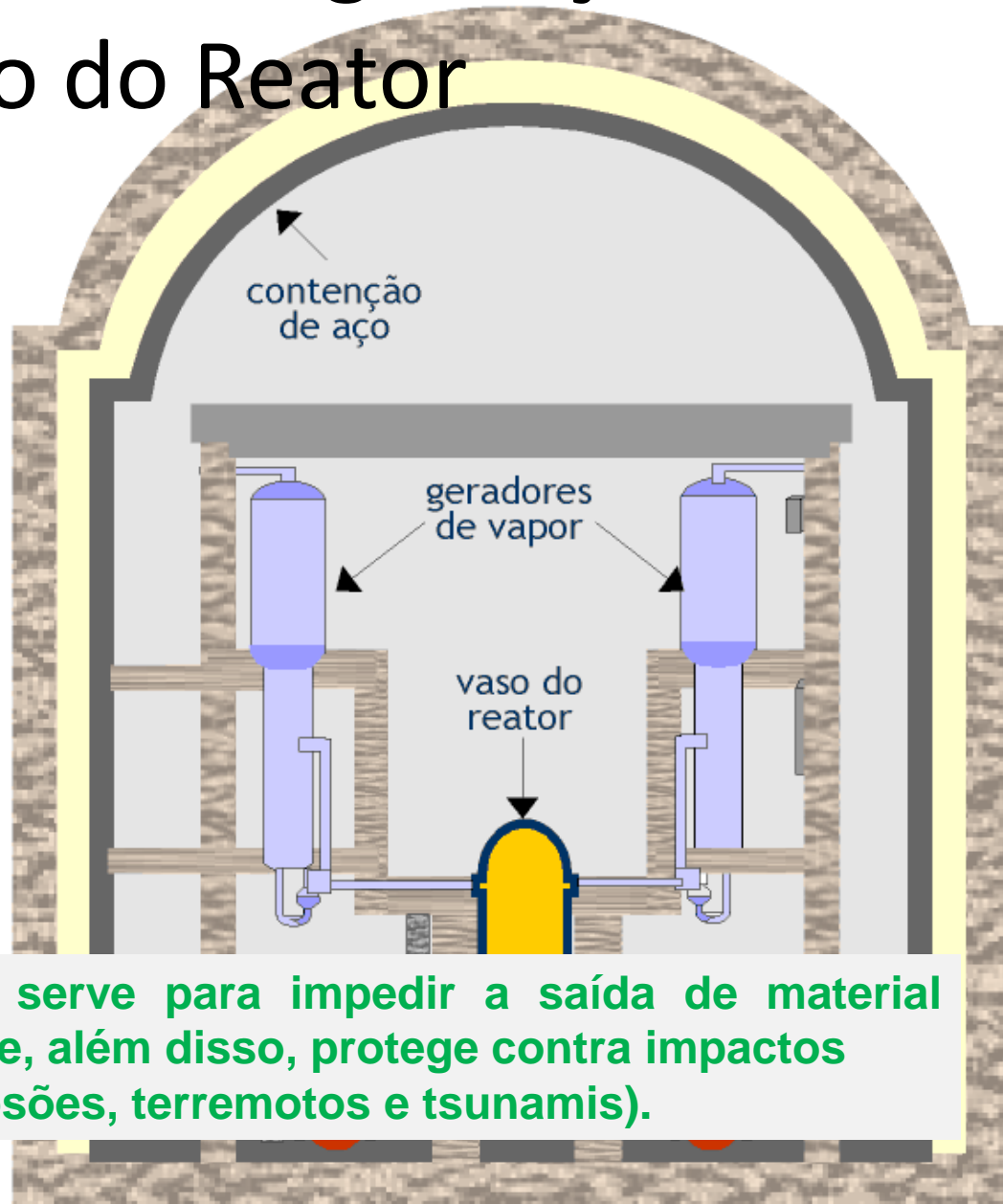
A Contenção é a terceira barreira que serve para impedir a saída de material radioativo para o meio ambiente.

Usina Nuclear – Segurança

Edifício do Reator

Um último envoltório, de concreto, revestindo a Contenção, é o próprio Edifício do Reator.

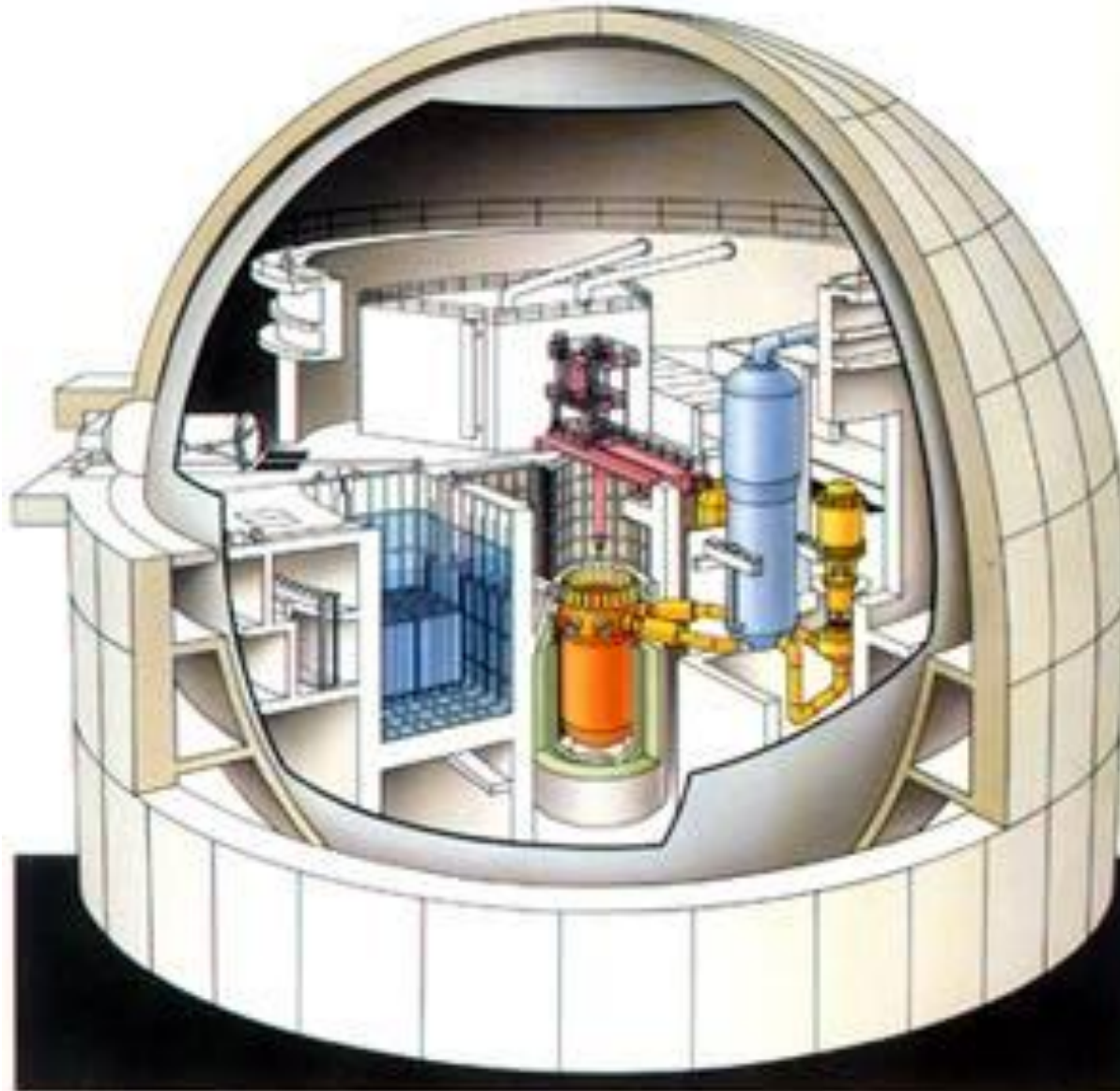
Tem cerca de 1 m de espessura em Angra 1



É a quarta barreira física que serve para impedir a saída de material radioativo para o meio ambiente e, além disso, protege contra impactos externos (queda de aviões, explosões, terremotos e tsunamis).

Usina Nuclear – Segurança

Edifício do Reator



Usina Nuclear – Segurança

Filosofia de Segurança

O perigo potencial na operação dos Reatores Nucleares é representado pela alta radioatividade dos produtos da fissão do urânio e sua liberação para o meio ambiente.

A filosofia de segurança dos Reatores Nucleares é dirigida no sentido de que as Usinas Nucleares sejam projetadas, construídas e operadas com os mais elevados padrões de qualidade e que tenham condições de alta confiabilidade

Sistemas Ativos de Segurança

Para a operação do Reator, Sistemas de Segurança são projetados para atuar, inclusive de forma redundante: na falha de algum deles, outro sistema, no mínimo, atuará, comandando, se for o caso, a parada do Reator.

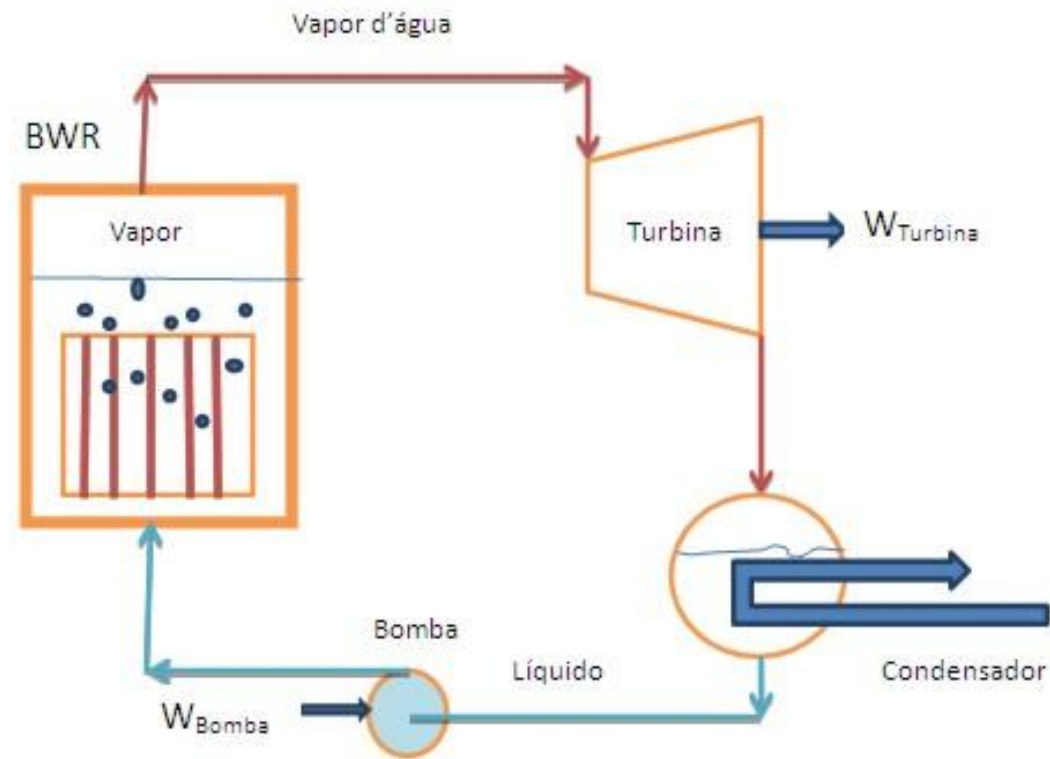
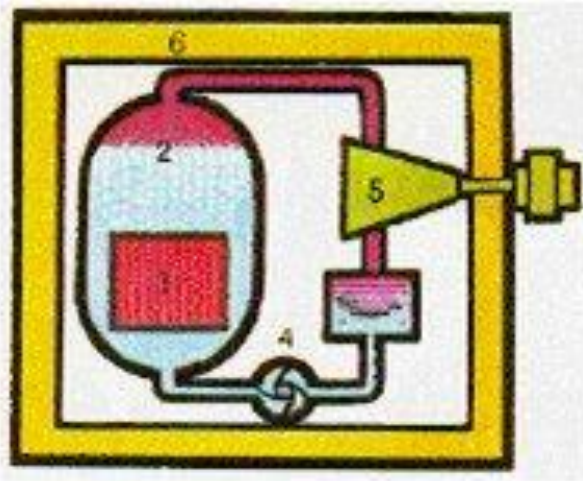
Usina Nuclear - Acidente de Fukushima

Parte 3

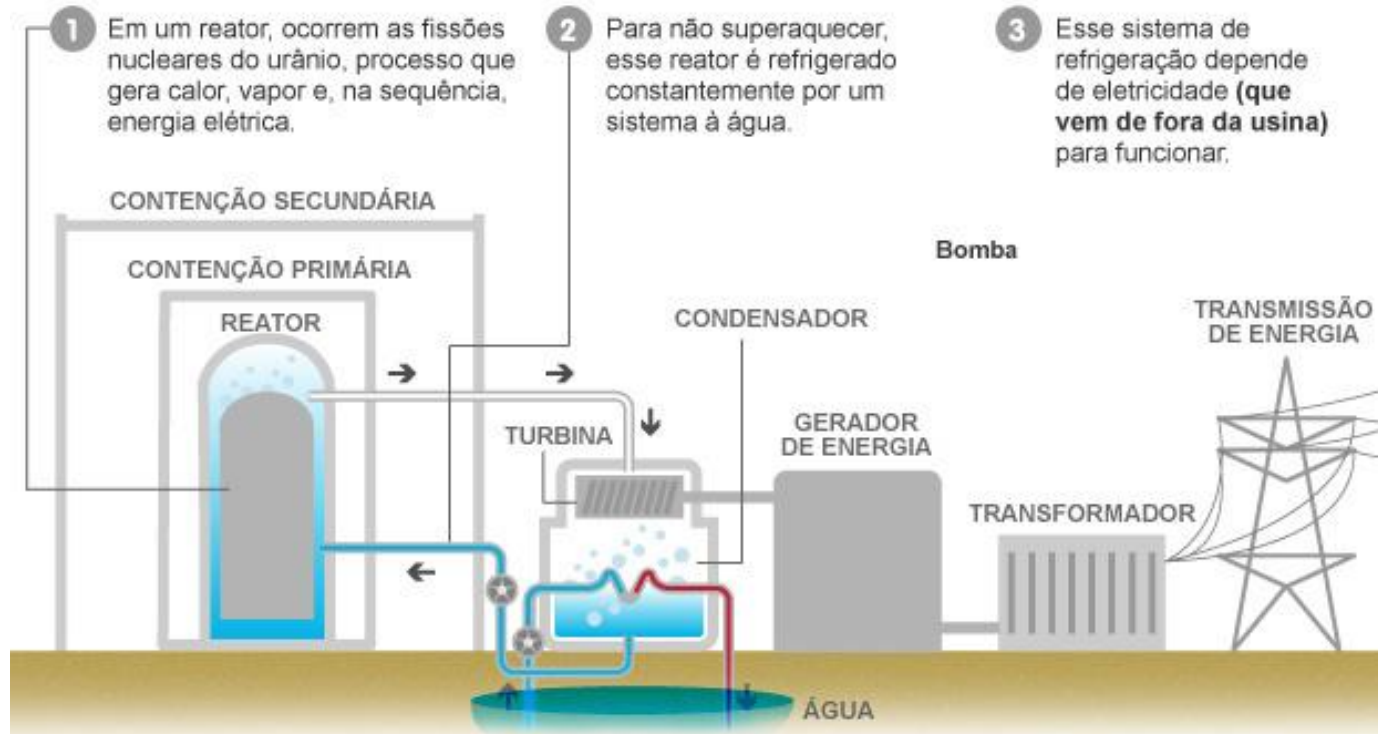


Usina Nuclear - Acidente de Fukushima

Usina Tipo BWR (Boiling water reactor = rator de água fervente)



Usina Nuclear - Acidente de Fukushima



LEGENDA

== Vapor

— Água quente

— Água fria

⊛ Bombas

4 Se a energia é cortada por algum motivo (**como o blecaute provocado por terremoto**), o resfriamento para de acontecer, a pressão e a temperatura dentro do reator sobem, e o núcleo do reator pode derreter. As barras de urânio também podem derreter, gerando gás e líquido radioativos.



5 Se o núcleo do reator derreter, o líquido e o gás radioativos vazam dentro de um contêiner maior. Se esse contêiner é danificado, há contaminação do meio ambiente.

CONTENÇÃO EXTERIOR



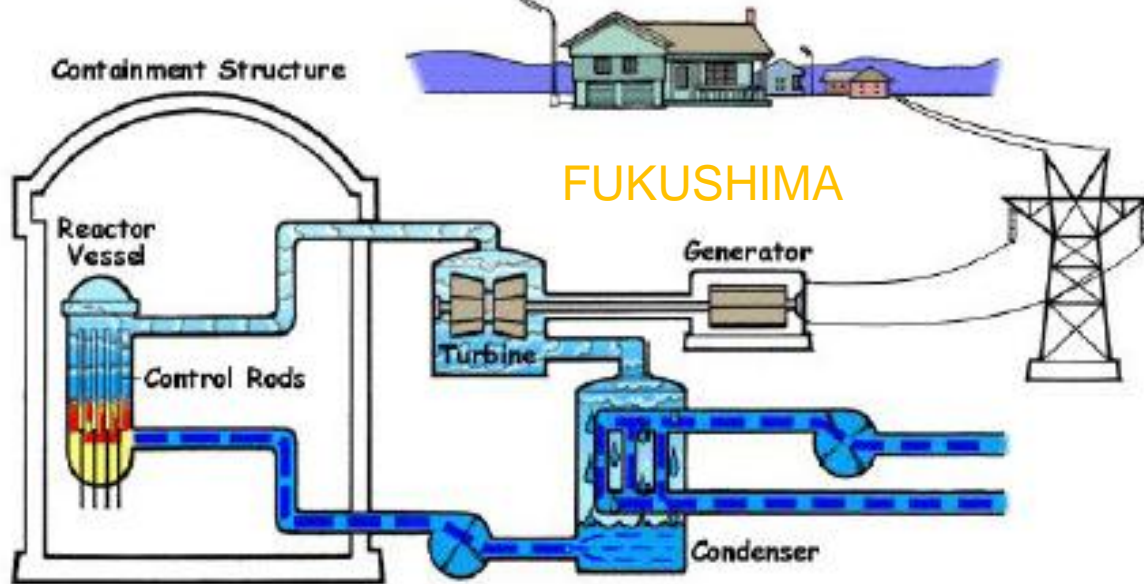


Figura 1 - Reator a água fervente (BWR).

Usina Nuclear Acidente de Fukushima

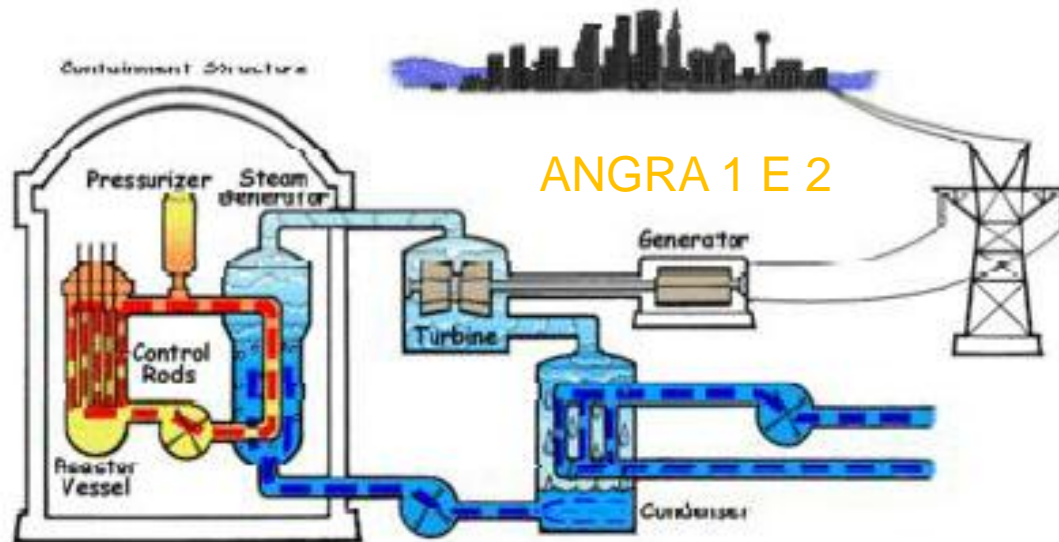


Figura 2 - Reator a água pressurizada (PWR).

Usina Nuclear - Acidente de Fukushima

Resumo Genérico para comparação de usinas em Fukushima, Japão (reator a água fervente - BWR) e Angra, Brasil (reator a água pressurizada - PWR)

Item	FUKUSHIMA (BWR)	Angra 1 (PWR)	Angra 2 (PWR)	Comentário
1. Sistema de refrigeração do reator nuclear	Único.	Independentes, separado em sistemas primário e secundário.	Independentes, separados em sistemas primário e secundário.	Ver ilustração abaixo.
2. Resfriamento para a atmosfera	Ocorre através de válvulas de alívio e segurança, diretamente do núcleo do reator para o meio ambiente.	Ocorre através de válvulas de alívio e segurança, pelo sistema secundário, sem contato com o núcleo do reator.	Através de válvulas de alívio e segurança, pelo sistema secundário, sem contato com o núcleo do reator.	Nas usinas brasileiras, o sistema primário fica restrito na mesma estrutura de contenção do reator.
3. Projeto para terremoto	Em razão do histórico de terremotos na região, estão entre as usinas mais resistentes a este tipo de abalo.	Projetado para terremotos de até 7 pontos na escala de Richter.	Projetado para terremotos de até 7 pontos na escala de Richter.	O pior terremoto já registrado na região das usinas brasileiras ocorreu na cidade de Cunha, no século passado, e atingiu 5 pontos na escala Richter.
4. Nível da planta em relação ao mar	Cerca de 7 metros acima do nível do mar.	Cerca de 5 metros acima do nível do mar.	Cerca de 5 metros acima do nível do mar.	No Brasil, a usina é projetada considerando as piores condições do oceano Atlântico, sendo usada como referência uma onda de 6 metros de altura.
5. Barras de controle para desligamento do reator	Barras de controle sobem. Necessita de energia para esta operação.	Barras de controle caem por gravidade.	Barras de controle caem por gravidade.	No Brasil, o tempo de queda das barras é monitorado em testes periódicos
6. Fonte de água usada para resfriamento do reator.	Água do mar.	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de água de alimentação auxiliar de emergência. Sistema de proteção contra incêndio. Água do mar. 	<ul style="list-style-type: none"> Sistema de água de alimentação de emergência. Bombas de partida e parada. Tanque de água de alimentação . Sistema de proteção contra incêndio. Água do mar. 	Sistemas auxiliares.
7. Alimentação elétrica	<ul style="list-style-type: none"> Externa. Geradores diesel de emergência. 	<ul style="list-style-type: none"> Externa – redes de 138 e 500 kV independentes. Alimentação independente da rede externa. 3 Geradores diesel de emergência e mais um atualmente em manutenção. 	<ul style="list-style-type: none"> Externa – redes de 138 e 500 kV independentes. Alimentação independente da rede externa. Oito geradores diesel, divididos em dois grupo de 4 equipamentos. 	Sistemas auxiliares.
8. Tanque com água borada (com boro), elemento absorvedor de nêutrons.	Possui tanque com água borada sobre a estrutura de contenção do reator nuclear.	O tanque de água borada fica fora da estrutura de contenção do reator.	Os tanques de água borada ficam fora da estrutura de contenção do reator.	A água borada é injetada no sistema primário em caso de acidente com perda de líquido refrigerante do núcleo do reator.

Usina Nuclear - Acidente de Fukushima

Das Informações que foram publicadas na internet, em função de um terremoto de escala 9:

- Houve aquecimento do núcleo do reator devido a falhas no sistema de resfriamento (bombeamento de água);
- Houve liberação de gases (que contém materiais radioativos) para evitar explosão do vaso de contenção do reator;
- Houve vazamento de água do sistema de refrigeração que possui materiais radioativos;
- Até onde se sabe, o vaso dos reatores está intacto.

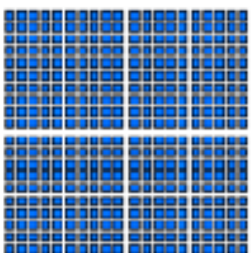
Usina Nuclear - Acidente de Fukushima Doses de radiação

Quão a Radioatividade

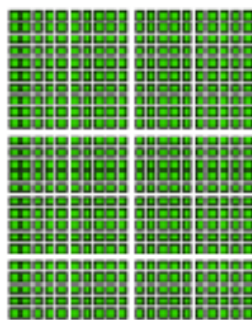
Usar um telefone celular (0 μSv). O transmissor de telefone celular não produz radiação ionizante* e não causa câncer.

* a não ser que feito de bananas.

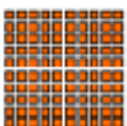
■ (0,05 μSv)



■ (20 μSv)



■ (10 mSv)



■ (1 Sv)

Dez minutos ao lado do núcleo do reator de Chernobyl após a explosão e derretimento do mesmo (50 Sv)



Fundo natural (3,65 mSv)

Dose diária (~3,6 mSv) em dois locais a 50km a NO da usina de Fukushima em 16/3, e também em 17/3. No entanto, em outras áreas próximas a Fukushima foram observadas dose ligeiramente superiores.

Dose normal anual de fundo. Aproximadamente 85% provém de fontes naturais. Quase todo o resto provém de exames médicos (~3,65 mSv)

Todas as doses do quadro verde combinadas (~75 mSv)

Recomendações da EPA, EUA para situações de emergência, fornecidas para garantir tomadas rápidas de decisão:

- Dose máxima para pessoal de emergência protegendo propriedades valiosas (100 mSv)
- Dose máxima para pessoal de emergência em operações de proteção à vida (250 mSv)

Dose fatal, mesmo com tratamento (8 Sv)

Dose anual máxima permitida para trabalhadores que lidam com radiação, EUA (50 mSv)

Menor dose anual com evidências de maior risco de câncer (100 mSv)

Dose que causa sintomas de envenenamento por radiação se recebida em um curto período de tempo (400 mSv , com variações)

Envenenamento por radiação severo, em alguns casos, fatal (2.000 mSv , 2 Sv)

Envenenamento por radiação bastante severo. Sobrevivência algumas vezes possível com tratamento imediato (4 Sv)

Fontes:

- <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/ctr/part020/>
- <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/tritium-radiation-fs.html>
- <http://www.nema.ne.gov/technological/dose-limits.html>
- http://www.deq.idaho.gov/fin_oversight/radiation/dose_calculator.cfm
- http://www.deq.idaho.gov/fin_oversight/radiation/radiation_guide.cfm
- <http://mitnse.com/>
- http://www.mext.go.jp/component/s_menu/other/detail/_icsFiles/afieldfile/2011/03/18/1303727_1716.pdf
- <http://blog.vornaskotti.com/2010/07/15/into-the-zone-chemobyl-pripyat/>
- http://dels-old.nas.edu/dels/rpt_briets/rerf_final.pdf
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Sievert>

Quadro elaborado por Randall Munroe (<http://xkcd.com/radiation/>), com assistência de Ellen, Operadora Sênior de Reator no Reed Research Reactor, EUA, que fez a sugestão do quadro e indicou diversas fontes. Nota do autor: Tenho certeza que cometi vários erros; Este quadro destina-se fins educacionais no sentido amplo. Se você construir as suas medidas de proteção à radiação com base em uma figura PNG encontrada na Internet e as coisas derem errado, você só poderá culpar a si mesmo.

Comentários finais

Mídia

Energia Nuclear - opinião de especialistas
- continuidade das Usinas Nucleares

[Esclarecimentos](#) Eletro-Nuclear

Bibliografia

- O que é irradiação? E contaminação radioativa? Ary de Araújo Rodrigues Junior. Física na Escola, v. 8, n. 2, 2007
- Energia Nuclear, o que é necessário saber? *CERCONI, C.; MELQUIADES, F. L.; TOMINAGA, T. T.* Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol.11 nº 1, Jan/Jun 2009
- CNEN – apostilas educativas – Energia Nuclear (www.cnen.gov.br)
- <http://www.eletronuclear.gov.br>

OBRIGADO PELA ATENÇÃO