



# *Desastres Nucleares de Fukushima e Chernobyl: pode acontecer em Angra 1 e 2?*

Paulo Freitas Gomes

UAE de Ciências Exatas - Jataí  
Universidade Federal de Goiás

*paulofreitasgomes@ufg.br*

21 de Outubro de 2016

# Conteúdo

- 1 Introdução
- 2 Programa Nuclear Brasileiro
- 3 Desastre de Fukushima
- 4 Desastre de Chernobyl

# Quem sou eu?

# Quem sou eu

- Professor do curso de Física da UFG em Jataí (futura UFJ).
- Graduação em Bacharelado em Física. Mestrado e Doutorado em Física de Semicondutores.
- Pós doutorado em Óptica Quântica e Espalhamento Raman de Materiais.
- Atualmente: pesquisa em Física da Matéria Condensada.
- [paulofisicajatai@gmail.com](mailto:paulofisicajatai@gmail.com)
- Nada a ver com física nuclear!
- Por que então vim aqui dar uma palestra sobre Física Nuclear?

# Quem sou eu

- Professor do curso de Física da UFG em Jataí (futura UFJ).
- Graduação em Bacharelado em Física. Mestrado e Doutorado em Física de Semicondutores.
- Pós doutorado em Óptica Quântica e Espalhamento Raman de Materiais.
- Atualmente: pesquisa em Física da Matéria Condensada.
- [paulofisicajatai@gmail.com](mailto:paulofisicajatai@gmail.com)
- Nada a ver com física nuclear!
- Por que então vim aqui dar uma palestra sobre Física Nuclear?

# Quem sou eu

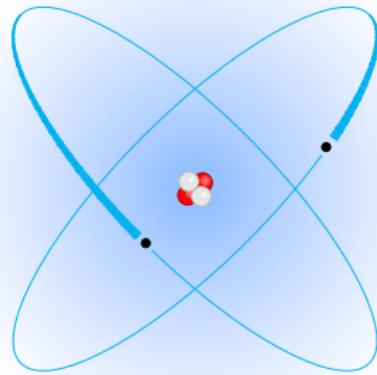
- Professor do curso de Física da UFG em Jataí (futura UFJ).
- Graduação em Bacharelado em Física. Mestrado e Doutorado em Física de Semicondutores.
- Pós doutorado em Óptica Quântica e Espalhamento Raman de Materiais.
- Atualmente: pesquisa em Física da Matéria Condensada.
- [paulofisicajatai@gmail.com](mailto:paulofisicajatai@gmail.com)
- **Nada a ver com física nuclear!**
- Por que então vim aqui dar uma palestra sobre Física Nuclear?

## Quem sou eu

- Por que eu adoro Física Nuclear.
- Teoria: envolve física quântica, partículas elementares, força nuclear forte, tudo muito sofisticado e complicado.
- Experimento: é caro, muito caro! Tem poucos centros de pesquisa no Brasil.
- Mesmo não trabalhando na área, como sempre gostei, coleciono material sobre temas em Física Nuclear. E assim vou aprendendo.

# Energia Nuclear

# Estrutura do átomo



- Átomos = núcleo + eletrosfera.
- Núcleo dos átomos: formado por prótons e nêutrons.
- Reações nucleares alteram a quantidade de prótons e de nêutrons.

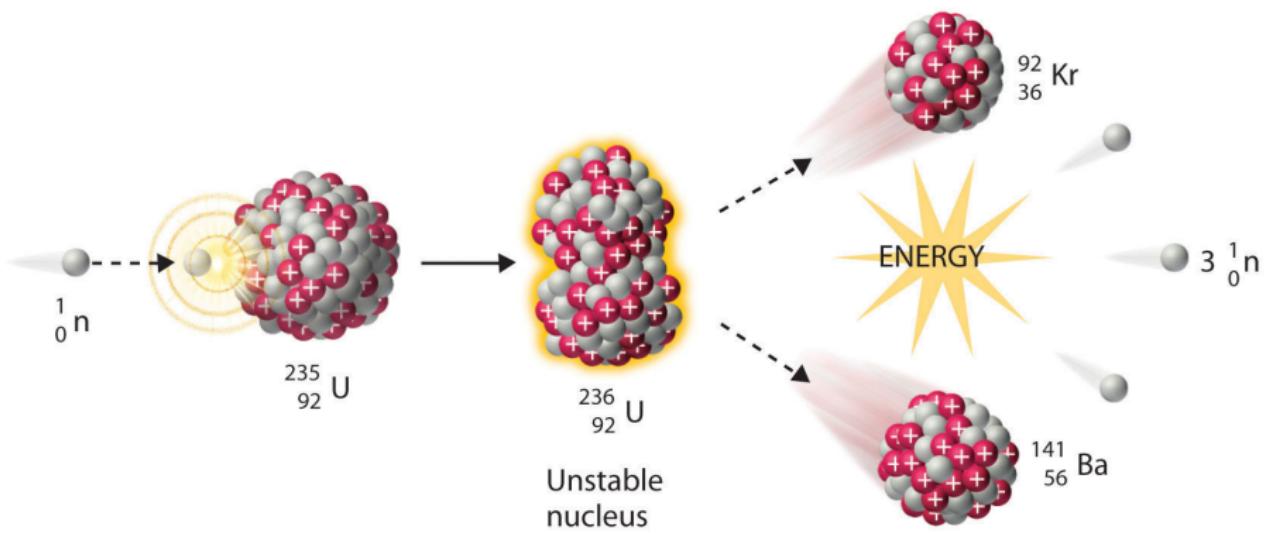
# Reações Nucleares

- Reações químicas envolvem apenas os elétrons na eletrosfera.
- Reações Nucleares envolvem os núcleos, alterando o número de prótons.
- O número de prótons no núcleo define o elemento químico.
- Fissão: quebra de núcleos formando novos elementos químicos com núcleos mais leves.
- Fusão: junção de núcleos, também formando novos elementos com núcleos mais pesados.

# Reações Químicas



# Fissão Nuclear



# Radiação

- O perigo dos elementos radiativos é que eles são instáveis.
- Em cada reação pode haver liberação de quatro tipos de radiação.
- Radiação  $\alpha$ : radiação corpuscular composta de núcleo do átomo de hélio (2 prótons + 2 nêutrons).
- Radiação  $\beta$ : radiação corpuscular composta de elétron ou pósitron.
- Radiação  $\gamma$ : radiação eletromagnética no espectro mais energético.
- Raios X: radiação eletromagnética no segundo espectro mais energético.

# Radiação

- O perigo dos elementos radiativos é que eles são instáveis.
- Em cada reação pode haver liberação de quatro tipos de radiação.
- **Radiação  $\alpha$ :** radiação corpuscular composta de núcleo do átomo de hélio (2 prótons + 2 nêutrons).
- Radiação  $\beta$ : radiação corpuscular composta de elétron ou pósitron.
- Radiação  $\gamma$ : radiação eletromagnética no espectro mais energético.
- Raios X: radiação eletromagnética no segundo espectro mais energético.

# Radiação

- O perigo dos elementos radiativos é que eles são instáveis.
- Em cada reação pode haver liberação de quatro tipos de radiação.
- Radiação  $\alpha$ : radiação corpuscular composta de núcleo do átomo de hélio (2 prótons + 2 nêutrons).
- **Radiação  $\beta$ :** radiação corpuscular composta de elétron ou pósitron.
- Radiação  $\gamma$ : radiação eletromagnética no espectro mais energético.
- Raios X: radiação eletromagnética no segundo espectro mais energético.

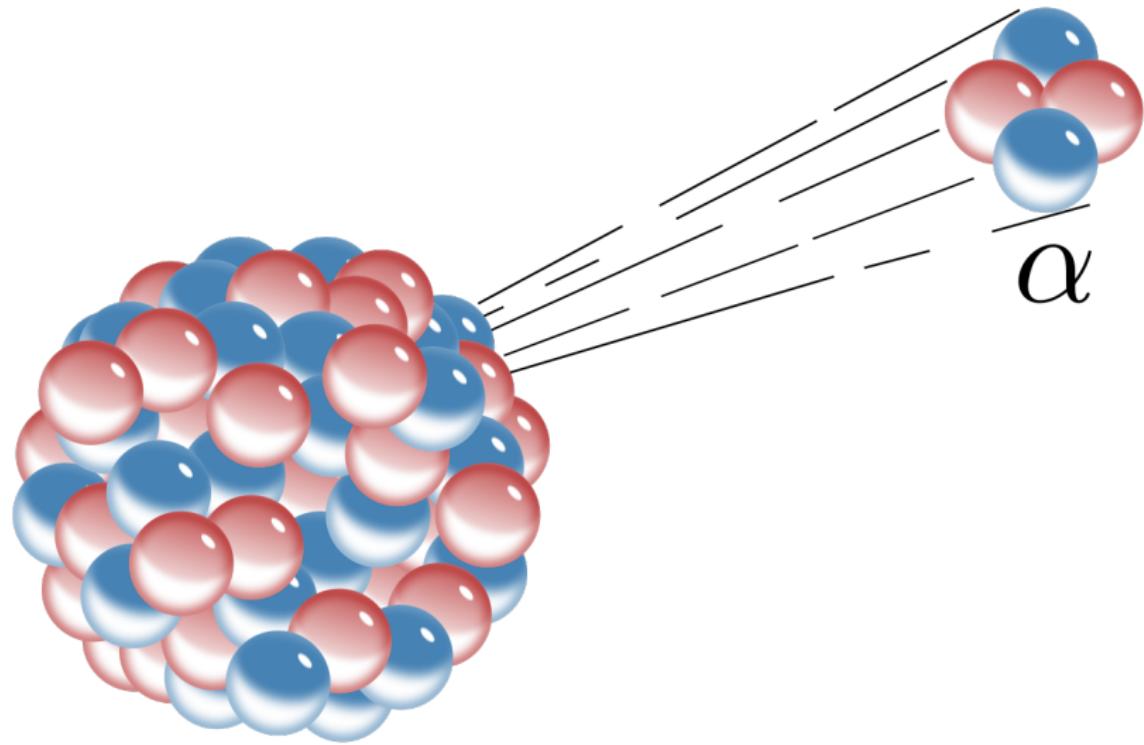
# Radiação

- O perigo dos elementos radiativos é que eles são instáveis.
- Em cada reação pode haver liberação de quatro tipos de radiação.
- Radiação  $\alpha$ : radiação corpuscular composta de núcleo do átomo de hélio (2 prótons + 2 nêutrons).
- Radiação  $\beta$ : radiação corpuscular composta de elétron ou pósitron.
- **Radiação  $\gamma$ : radiação eletromagnética no espectro mais energético.**
- Raios X: radiação eletromagnética no segundo espectro mais energético.

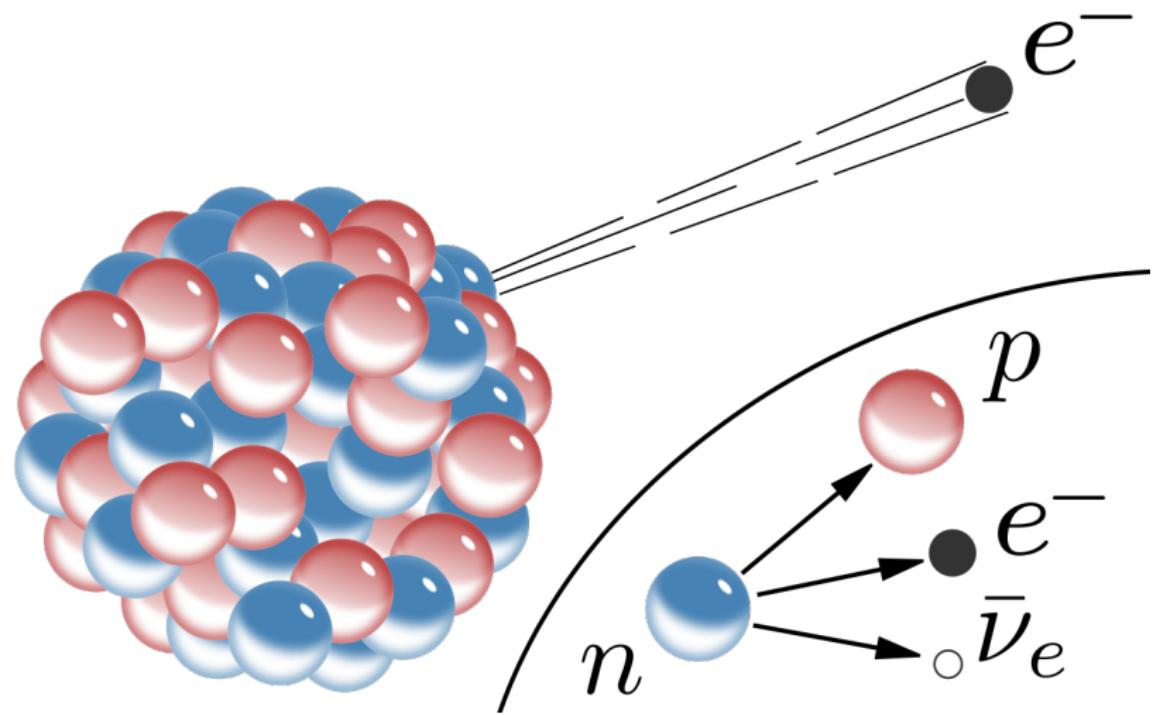
# Radiação

- O perigo dos elementos radiativos é que eles são instáveis.
- Em cada reação pode haver liberação de quatro tipos de radiação.
- Radiação  $\alpha$ : radiação corpuscular composta de núcleo do átomo de hélio (2 prótons + 2 nêutrons).
- Radiação  $\beta$ : radiação corpuscular composta de elétron ou pósitron.
- Radiação  $\gamma$ : radiação eletromagnética no espectro mais energético.
- Raios X: radiação eletromagnética no segundo espectro mais energético.

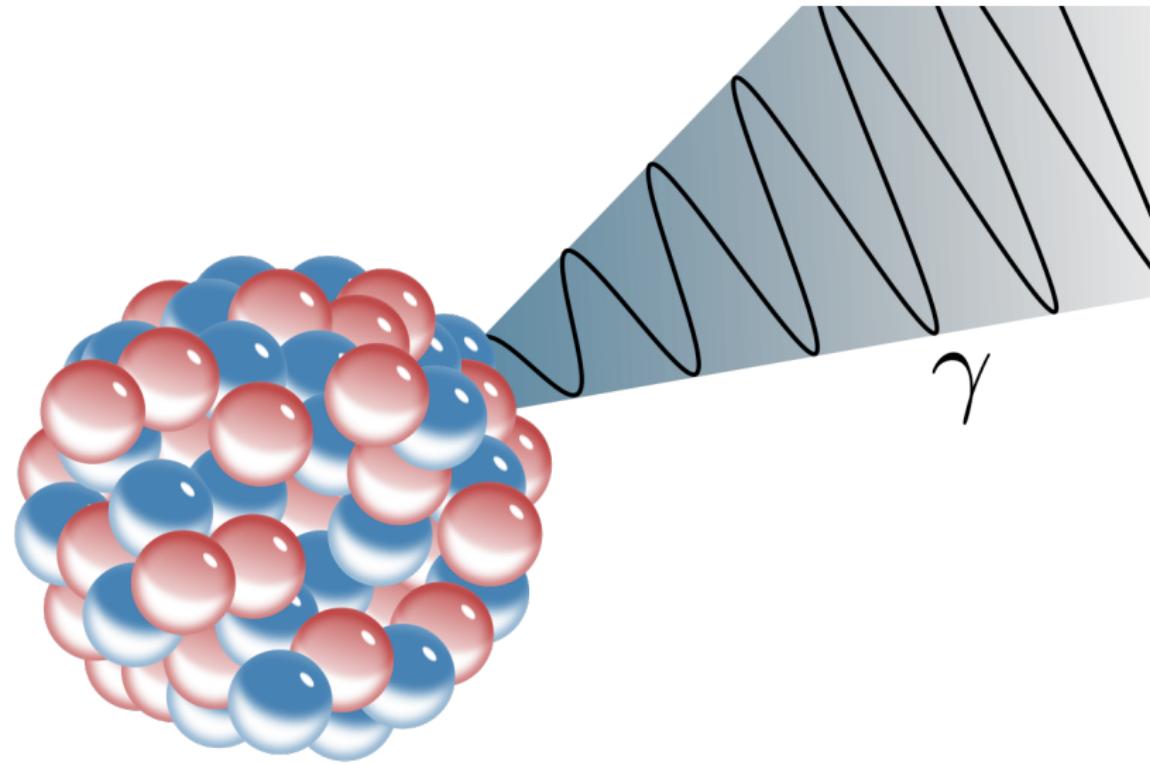
# Radiação $\alpha$ : dois prótons + dois nêutrons



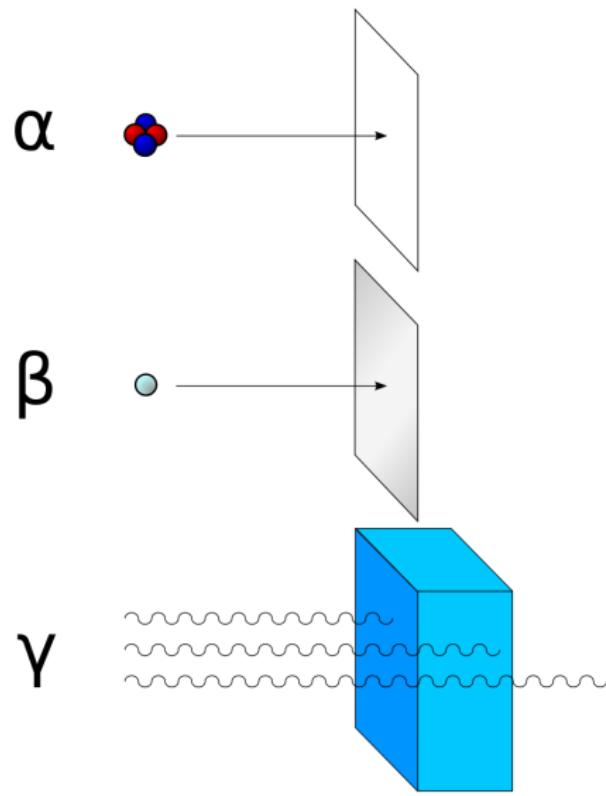
# Radiação $\beta$ : Elétron ou pósitron



# Radiação $\gamma$ : Radiação eletromagnética



# Poder de Penetração



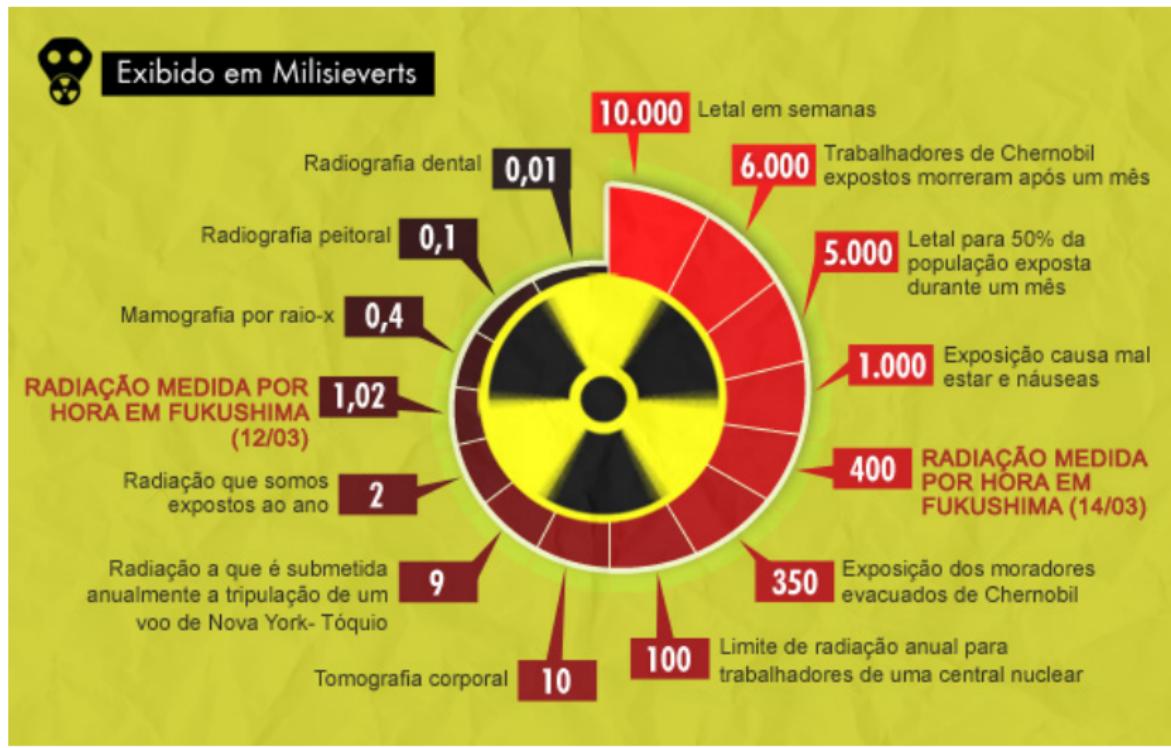
## Raio X



# Unidade de radiação

- Na época a unidade de intensidade de radiação usada era o Röntgen e o símbolo usado é o R.
- Usualmente estamos submetidos a uma intensidade de 0,2 R.
- É considerado letal uma dose de 100 R por hora ou 0,02 R por segundo.

# Escalas



# Energia Nuclear

- *Vantagens:* alta produção de energia, disponibilidade, não joga poluição na atmosfera.
- *Desvantagens:* produção de lixo nuclear, possibilidade de fazer bombas nucleares.
- Hidrelétrica: energia renovável e sem poluição mas com grande impacto ambiental e disponibilidade seletiva.
- Termoelétrica: prática porém mais cara e polui bastante.
- Eólica: não polui nada, renovável porém cara e instável.

# Energia Nuclear

- *Vantagens:* alta produção de energia, disponibilidade, não joga poluição na atmosfera.
- *Desvantagens:* produção de lixo nuclear, possibilidade de fazer bombas nucleares.
- Hidrelétrica: energia renovável e sem poluição mas com grande impacto ambiental e disponibilidade seletiva.
- Termoelétrica: prática porém mais cara e polui bastante.
- Eólica: não polui nada, renovável porém cara e instável.

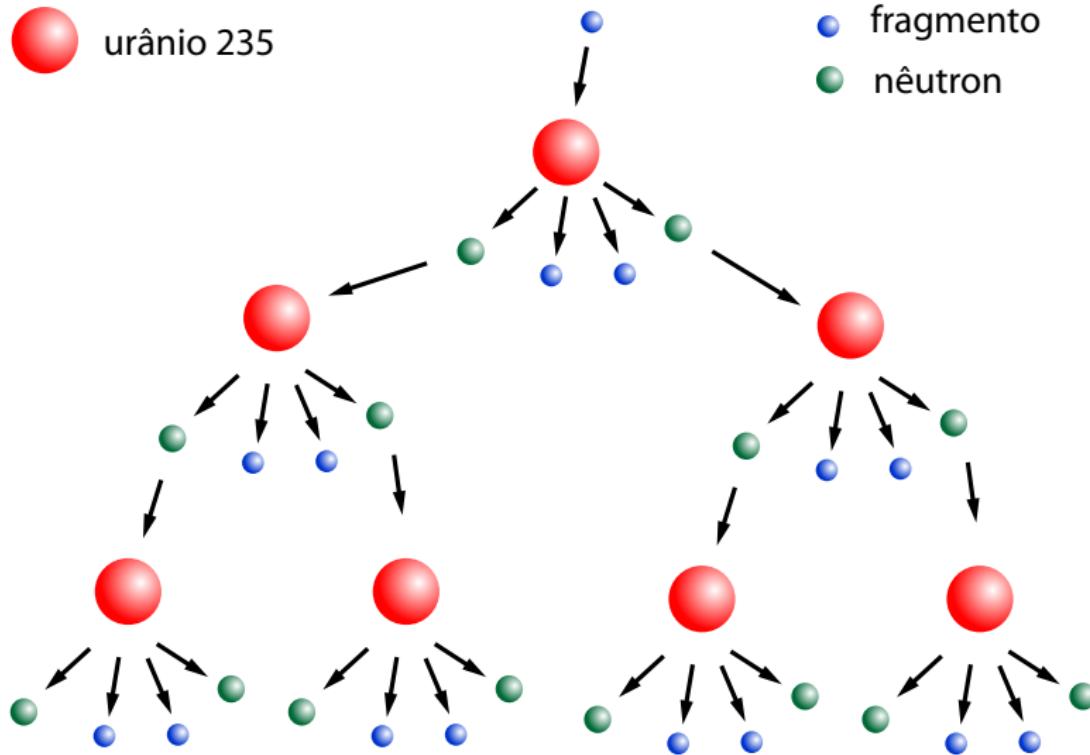
# Produção de energia

- Por que reações nucleares produzem muita energia?
- Uma pequena quantidade de massa se transforma em energia de acordo com a expressão de Einstein:  $E = mc^2$ , onde  $c = 3 \times 10^8$  m/s.
- Energia por átomo de urânio quebrado:  $200 \text{ MeV} = 7.6 \times 10^{-15}$  kcal.
- Em 1 grama de urânio:  $1.92 \times 10^7$  kcal (19 milhões de kcal).
- Isso é muito? Pouco?
- Essa quantidade de energia é 3 milhões de vezes maior o que um grama de carvão produz.

# Produção de energia

- Por que reações nucleares produzem muita energia?
- Uma pequena quantidade de massa se transforma em energia de acordo com a expressão de Einstein:  $E = mc^2$ , onde  $c = 3 \times 10^8$  m/s.
- Energia por átomo de urânio quebrado:  $200 \text{ MeV} = 7.6 \times 10^{-15}$  kcal.
- Em 1 grama de urânio:  $1.92 \times 10^7$  kcal (19 milhões de kcal).
- Isso é muito? Pouco?
- Essa quantidade de energia é 3 milhões de vezes maior o que um grama de carvão produz.

# Reação em Cadeia

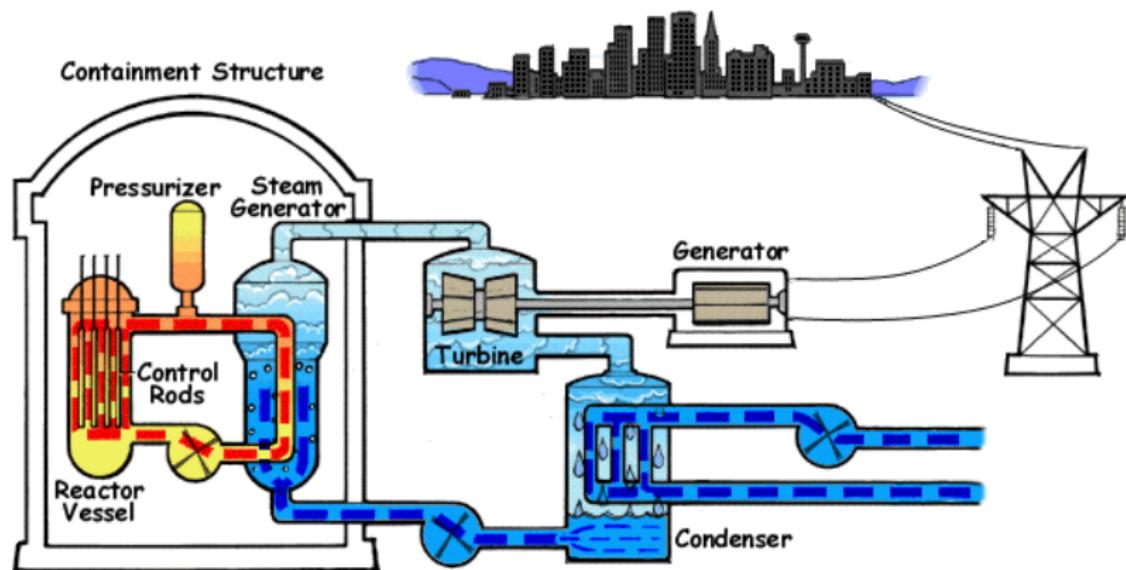


# Propulsor Nuclear



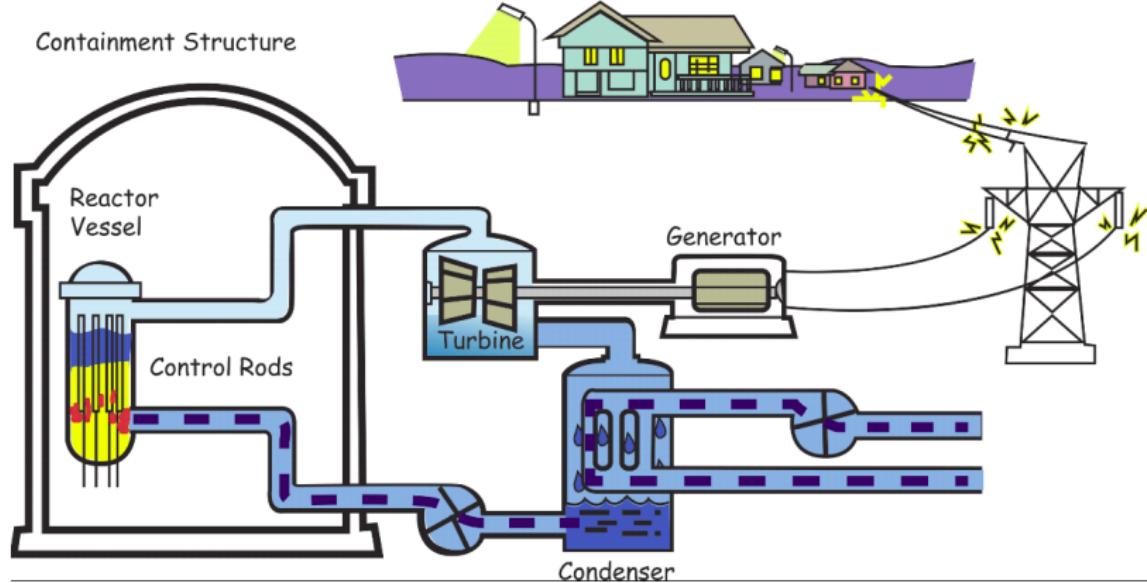
Em 1964 o porta-aviões navegou 42 mil km durante 65 dias sem reabastecimento.

# Reator Nuclear do tipo água pressurizada



# Reator Nuclear do tipo água fervente

The Boiling-Water Reactor (BWR)





# Programa Nuclear Brasileiro

# Programa Nuclear Brasileiro

- O Brasil conta com duas usinas em funcionamento: [Angra 1](#) e [Angra 2](#).
- Essas usinas suprem 3 % da energia total consumida no Brasil. A maior parte, 84 %, vem das hidrelétricas.
- Por que nuclear? Por ser estratégico.
- Não é recomendável depender de apenas uma fonte de energia.
- Além disso, o Brasil tem 5 % das reservas mundiais de urânio e hoje já domina totalmente o processo de extração e purificação.

# Programa Nuclear Brasileiro

- O Brasil conta com duas usinas em funcionamento: [Angra 1](#) e [Angra 2](#).
- Essas usinas suprem 3 % da energia total consumida no Brasil. A maior parte, 84 %, vem das hidrelétricas.
- Por que nuclear? Por ser estratégico.
- Não é recomendável depender de apenas uma fonte de energia.
- Além disso, o Brasil tem 5 % das reservas mundiais de urânio e hoje já domina totalmente o processo de extração e purificação.

# Usinas de Angra 1 e 2



# Angra 1

- Entrou em operação em 1985 com um reator de água pressurizada.
- Produz 640 MW de potência (suficiente para suprir uma cidade com 1 milhão de habitantes).
- Foi comprada da Westinghouse sem transferência de tecnologia.
- A PCH (Pequena Central Hidrelétrica de Jataí) tem 3 turbinas de 10 MW cada.

# Angra 1



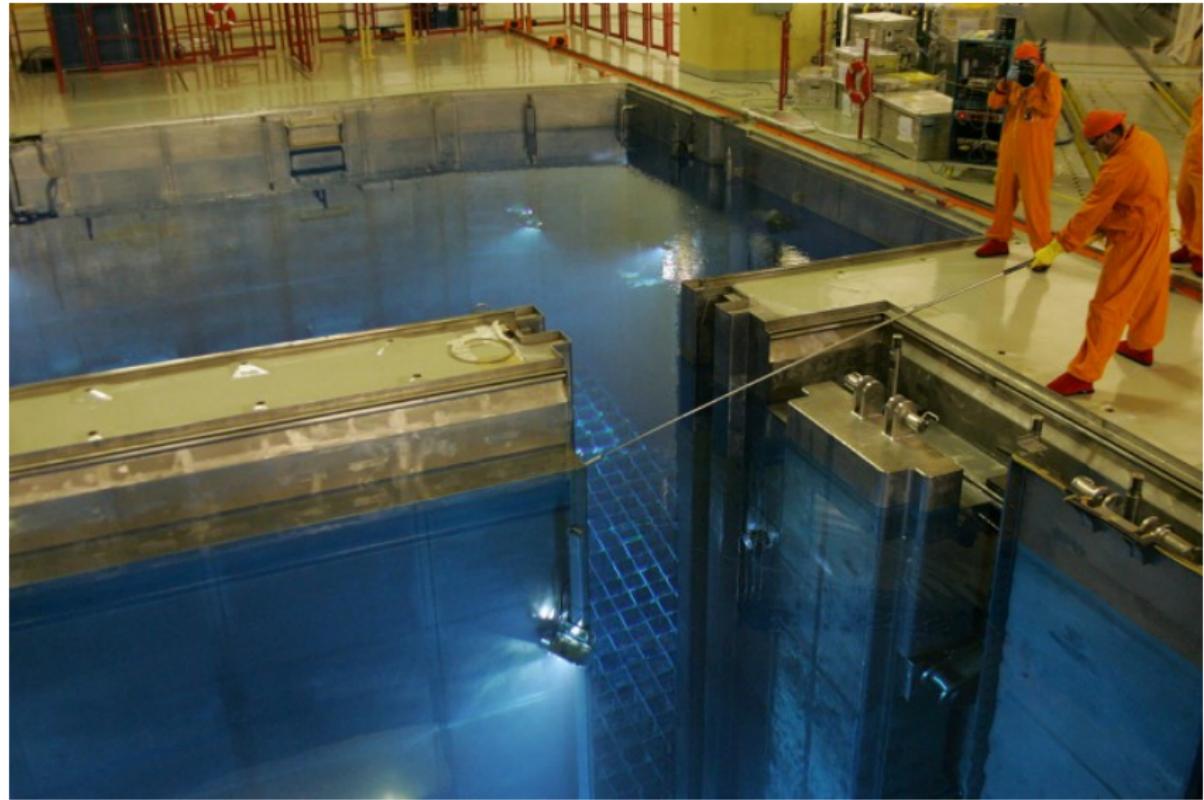
# Angra 1: Piscina Radioativa



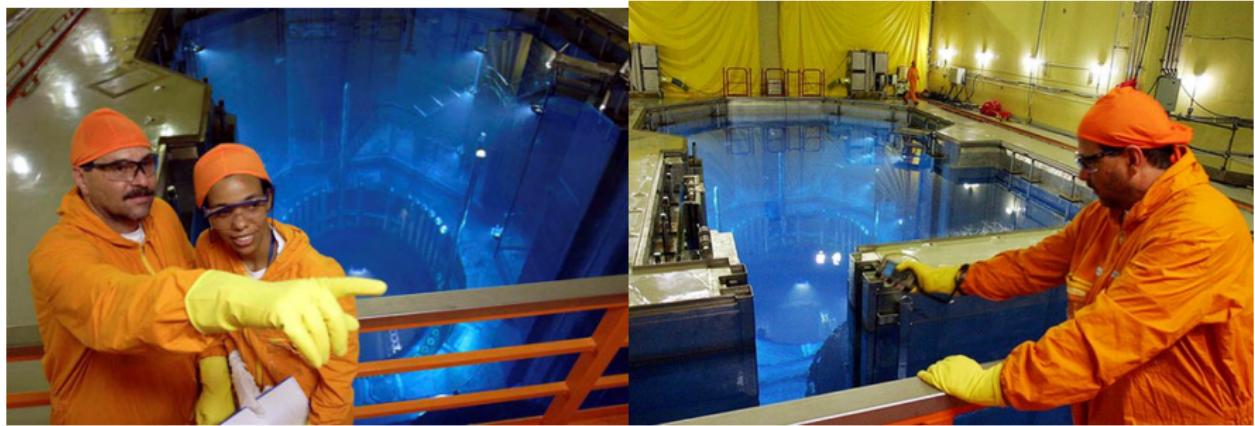
## Angra 2

- Entrou em operação em 2001 com uma potência de 1.35 GW (suficiente para uma cidade com 2 milhões de habitantes).
- Em 2009, foi ficou na posição 33 na lista de maior produção de energia do mundo.
- É um reator do tipo água pressurizada.
- A construção de Angra 2 permitiu o país a aprender muito sobre a tecnologia nuclear.
- Por exemplo hoje o país domina totalmente o processo de confecção do combustível nuclear.

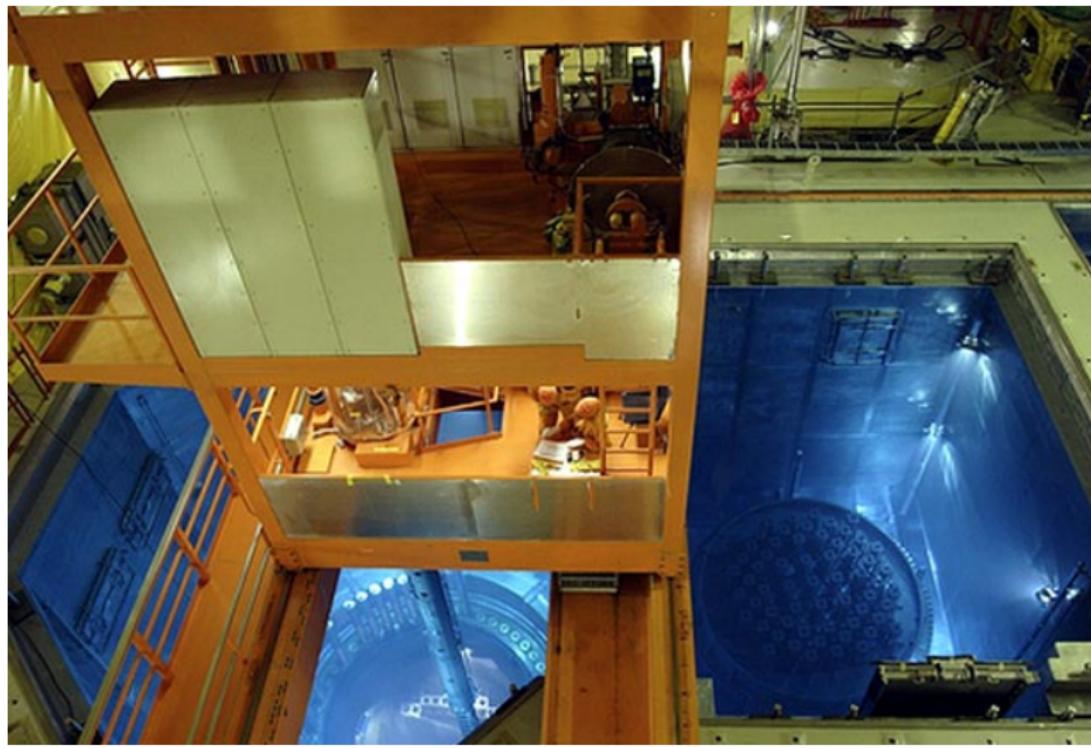
## Piscina Radioativa



# Piscina Radioativa



# Piscina Radioativa



# Piscina Radioativa



# Angra 3

- Ainda temos outra em construção: Angra 3, programada para entrar em operação em dezembro de 2018.
- Irá gerar mais de 12 milhões de megawatts-hora por ano, energia suficiente para abastecer as cidades de Brasília e Belo Horizonte.
- Com Angra 3, a energia nuclear passará a gerar o equivalente a 50 % do consumo do Estado do Rio de Janeiro.
- Até setembro de 2015 já foram alocados cerca de 5,3 bilhões de um total de 14,8 bilhões de reais.

# Angra 1, 2 e 3



# Angra 3



## Estrutura administrativa

- **Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)**: autarquia vinculado ao Ministério da Ciência, tem como função desenvolver a política nacional de energia nuclear no Brasil. Possui vários laboratórios de pesquisa.
- **Eletronuclear**: parte da Eletrobrás, responsável pela produção de energia nas usinas de Angra, .
- **Indústrias Nucleares do Brasil (INB)**: responsável extração, processamento e tratamento industrial do urânio, faz parte da CNEN.

# Organização Administrativa

## Organização da Área Nuclear no Brasil



## Acidentes nas usinas

- Em 1986 e 2001, mais de 20 mil litros de água radioativa vazaram de Angra 1.
- Em 2000, 5 mil litros de licor de urânio vazaram em Caitité - BA, onde se extraí o urânio.
- Em 2001 também, houve vazamento do gás hexafluoreto de urânio em Resende.
- Em 2004 efluentes contendo urânio, tório e rádio radioativos foram despejados no Riacho das Vacas.
- Em 2013, um vigia noturno da INB em Caetité caiu em uma piscina contendo mais de 2 mil litros de material radiativo.
- Porém, nunca houve uma situação de emergência real.

# Plano de Emergência

- As usinas funcionam 24 horas por dia sempre tendo um supervisor responsável em cada turno.
- Existem exercícios regulares e frequentes para treinamento dos procedimentos de segurança.
- Em caso de problema, é montado o grupo de crise no Centro de Controle de Emergência Nuclear (na cidade de Angra dos Reis), com representantes de diversos órgãos.
- Há ainda o Centro Estadual de Controle de uma Emergência Nuclear (que fica na cidade do Rio de Janeiro) e o análogo federal que fica em Brasília.

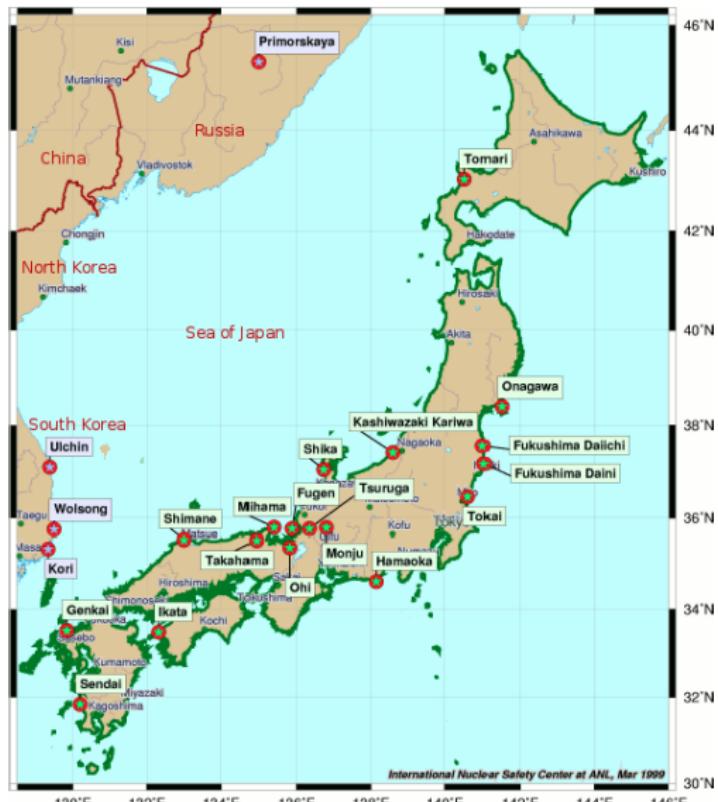
# Exercícios Regulares

- A cada dois anos é feito o Exercício Geral no qual um dia é voltado aos moradores.
- Há simulação de vazamento de radiação para a atmosfera, junto com remoção e alocação dos moradores em escolas da região.
- Anos ímpares são exercícios gerais, impactando em todos os setores. Anos pares são exercícios pontuais.
- Porém, há muitas críticas da população local quanto a forma desses exercícios, de que na prática não explicam os reais riscos para a população.



# Desastre em Fukushima

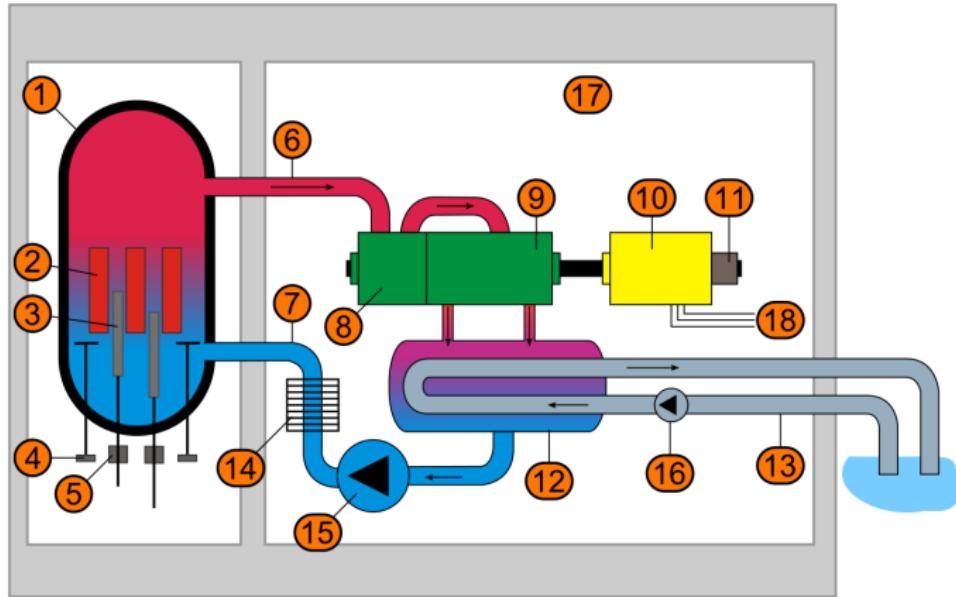
# Parque Nuclear Japonês: 18 unidades



# Complexo Nuclear de Fukushima Daiichi



# Reator de água vaporizada



- 1) Estrutura externa. 2) Combustível nuclear. 3) Hastes de controle. 6) Vapor. 7) Entrada de água. 8) e 9) Turbinas. 10) Gerador. 12) Condensador. 18) Conexão com a rede elétrica.

## Usina



# Desastre de Fukushima

- O Complexo Nuclear Fukushima Daiichi consistia de 6 reatores e estava entre as 15 maiores usinas do mundo com produção de 4.7 GW.
- Em 11 de março de 2011 ocorreu um terremoto de 9 graus na escala Richter.
- Os reatores 1, 2 e 3 se desligaram automaticamente e o sistema de refrigeração começou a atuar.
- Porém, o terremoto criou tsunamis de até 15 metros de altura atingindo o litoral japonês.
- Mais de 20 mil mortes, 200 mil casas varridas do mapa e 120 mil destruídas.

# Desastre de Fukushima

- O Complexo Nuclear Fukushima Daiichi consistia de 6 reatores e estava entre as 15 maiores usinas do mundo com produção de 4.7 GW.
- Em 11 de março de 2011 ocorreu um terremoto de 9 graus na escala Richter.
- Os reatores 1, 2 e 3 se desligaram automaticamente e o sistema de refrigeração começou a atuar.
- Porém, o terremoto criou tsunamis de até 15 metros de altura atingindo o litoral japonês.
- Mais de 20 mil mortes, 200 mil casas varridas do mapa e 120 mil destruídas.

# Tsunami



## Tsunami



## Tsunami



## Tsunami



# Maremoto

- Os reatores foram construídos a prova de terremotos.
- Mas um maremoto gera tsunamis. Proteção para as ondas gigantes: uma muralha com 5,7 metros.
- Mas o maremoto de março de 2011 foi muito forte e gerou tsunamis com 15 metros de altura.
- A muralha de proteção foi inútil e as ondas atingiram o complexo nuclear.
- A água danificou os geradores a diesel do sistema de refrigeração, fazendo-os parar.
- Isso causou superaquecimento nos reatores 1 a 5 e explosões de gás nos reatores 1 e 3.

# Maremoto

- Os reatores foram construídos a prova de terremotos.
- Mas um maremoto gera tsunamis. Proteção para as ondas gigantes: uma muralha com 5,7 metros.
- Mas o maremoto de março de 2011 foi muito forte e gerou tsunamis com 15 metros de altura.
- A muralha de proteção foi inútil e as ondas atingiram o complexo nuclear.
- A água danificou os geradores a diesel do sistema de refrigeração, fazendo-os parar.
- Isso causou superaquecimento nos reatores 1 a 5 e explosões de gás nos reatores 1 e 3.

# Momento exato

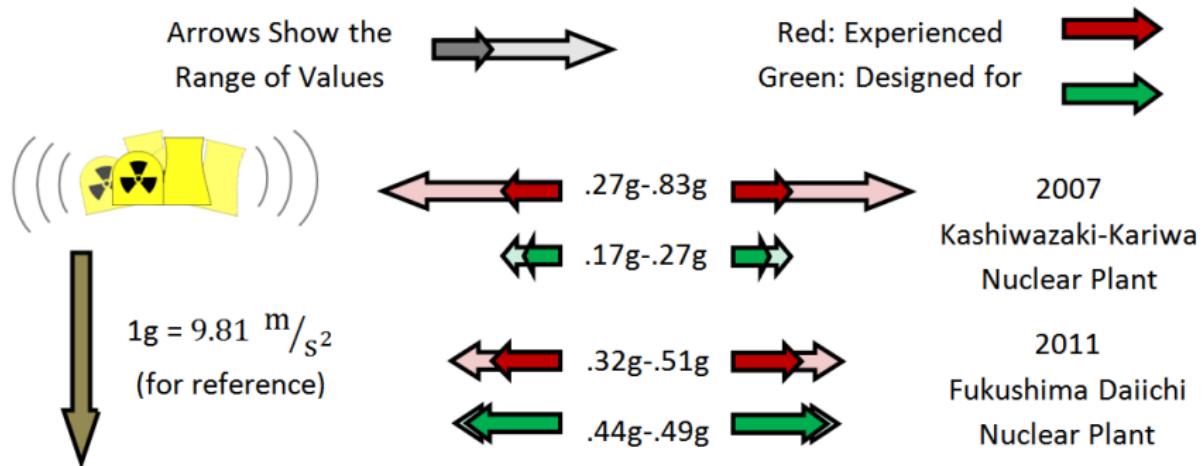


# Inundação

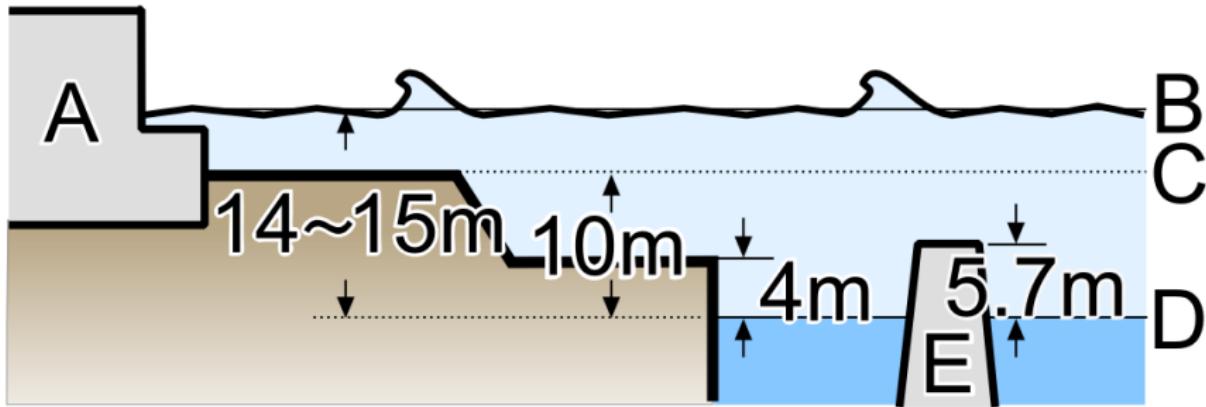


# Vibrações

## Earthquake Horizontal Acceleration at Nuclear Plants in Japan

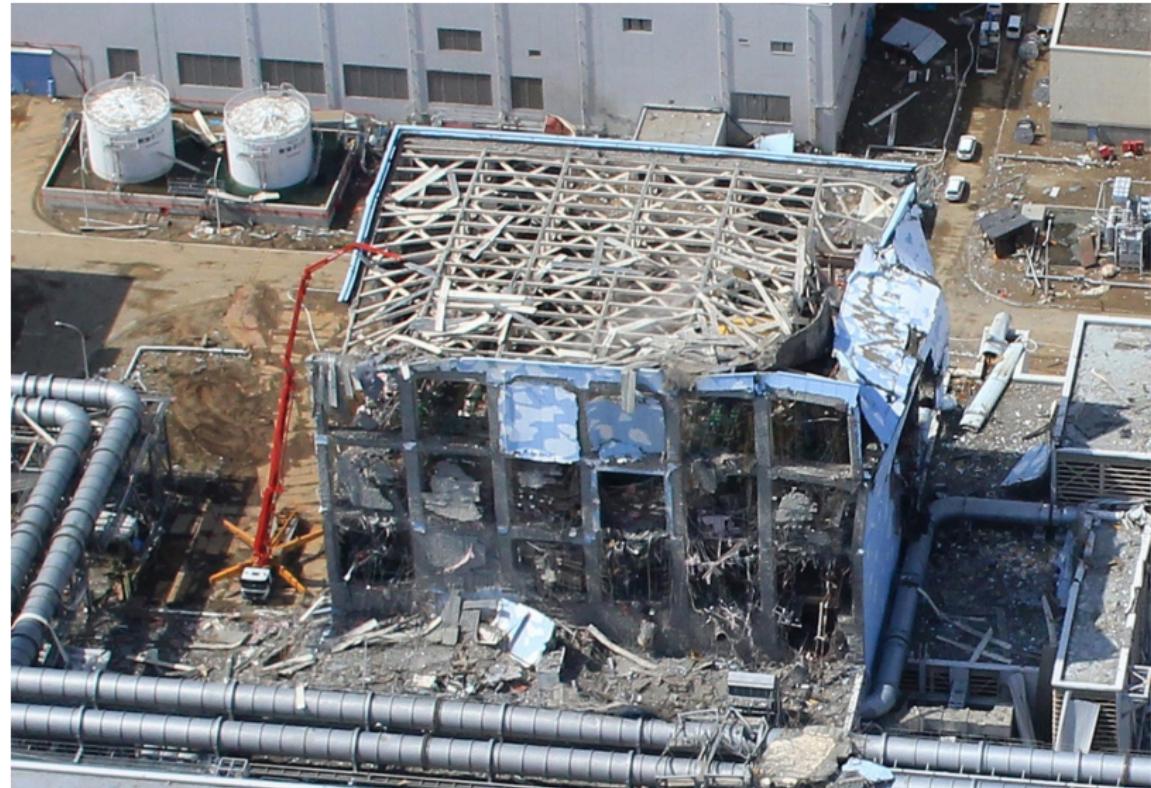


## Alturas



A: Usinas. B: pico do tsunami. C: nível do terreno. D: nível do mar. E: muralha no mar.

# Usina destruída



# Usina destruída



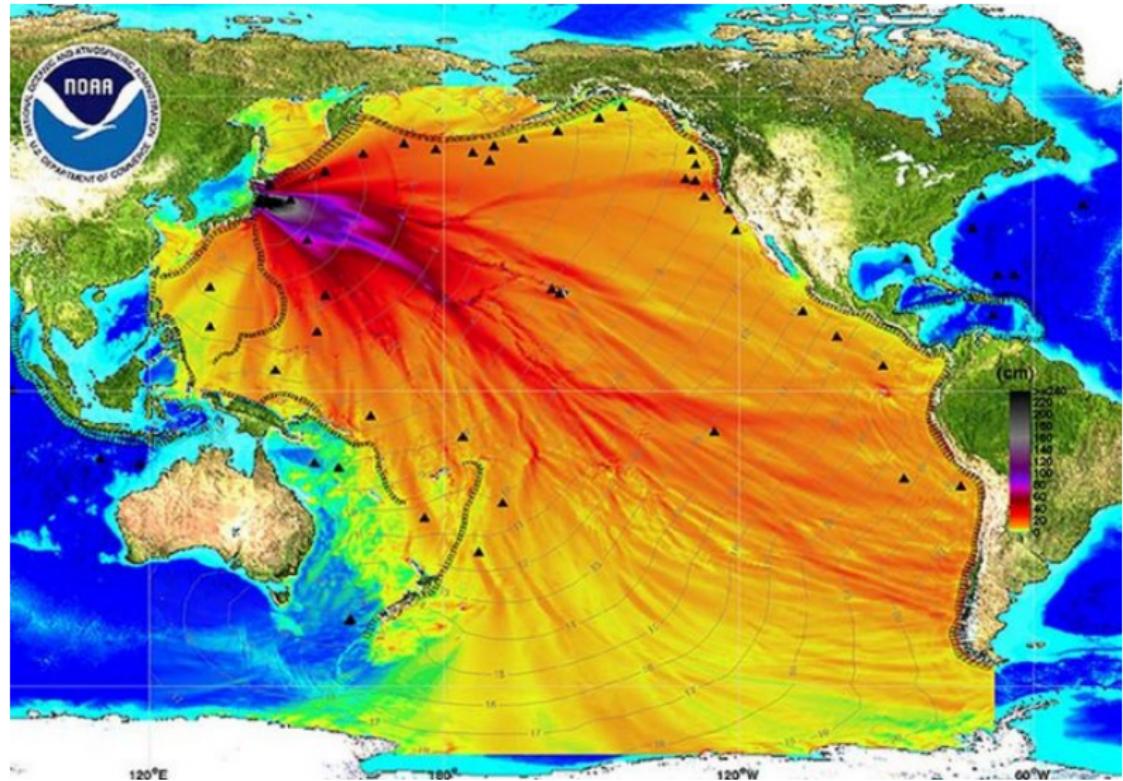
# Consequências

- Todas as famílias em um raio de 20 km da usina foram realocadas: cerca de 80 mil pessoas.
- Mas nenhuma pessoa morreu por causas diretas dos problemas nas usinas.
- Em dezembro de 2013 todos os reatores já estavam permanentemente desativados.
- A Alemanha decidiu encerrar as atividades em todas suas usinas nucleares até 2022.
- A Suiça decidiu não renovar nenhuma de suas usinas.
- Um referendo na Itália decidiu por não usar energia nuclear.

# Bloqueio



# Contaminação



# Proteção Ambiental





# Desastre de Chernobyl

# Desastre de Chernobyl

- **O que foi:** explosão de um dos reatores destruindo o teto do edifício e liberando material radioativo na atmosfera.
- **Quando:** 26 de abril de 1986
- **Onde:** Usina Nuclear de Chernobyl localizado na cidade de Pripyat, Ucrânia (integrante da antiga União Soviética).
- **Problema:** falhas de segurança permitiram o superaquecimento do combustível gerando a explosão e incêndio.
- **Consequência:** Toneladas de material radioativo foram liberado na atmosfera.

# Prypiat



# Prypiat



# Gravidade

- Foi o acidente nuclear mais grave de todos os tempos.
- Houve grande liberação de material nuclear, contaminando uma área muito grande.
- Poderia ter sido pior ainda, com uma segunda explosão.

# Gravidade

- Foi o acidente nuclear mais grave de todos os tempos.
- Houve grande liberação de material nuclear, contaminando uma área muito grande.
- Poderia ter sido pior ainda, com uma segunda explosão.

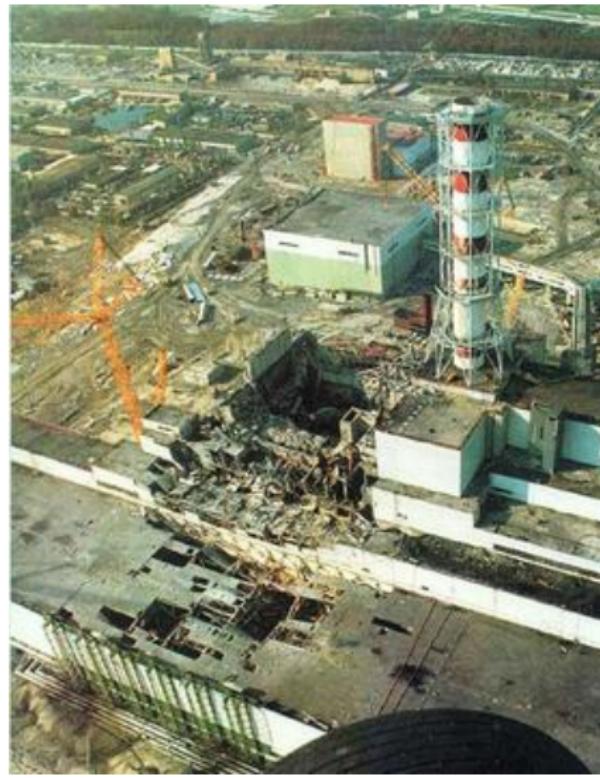
# Gravidade

- Foi o acidente nuclear mais grave de todos os tempos.
- Houve grande liberação de material nuclear, contaminando uma área muito grande.
- Poderia ter sido pior ainda, com uma segunda explosão.

# Explosão



# Explosão



# Explosão



# Explosão



# Sequência de Eventos

- A explosão ocorreu durante testes de inserção de combustível visando economia de energia.
- 01:00 hora de 25 de abril de 1986: Início da preparação para o teste. A potência é diminuída até 1600 MWt.
- 26 de Abril de 1986 as 00:40 horas, algumas barras de proteção são retiradas.
- 01:07, primeira violação das normas de segurança. Conexão errada do quarto sistema de resfriamento.
- 01:19, Segunda violação: mais barras são retiradas.
- 01:23: o teste é iniciado. A potência começa a aumentar e chega até 300 mil MWt.

# Sequência de Eventos

- A explosão ocorreu durante testes de inserção de combustível visando economia de energia.
- 01:00 hora de 25 de abril de 1986: Início da preparação para o teste. A potência é diminuída até 1600 MWt.
- 26 de Abril de 1986 as 00:40 horas, algumas barras de proteção são retiradas.
- 01:07, primeira violação das normas de segurança. Conexão errada do quarto sistema de resfriamento.
- 01:19, Segunda violação: mais barras são retiradas.
- 01:23: o teste é iniciado. A potência começa a aumentar e chega até 300 mil MWt.

# Sequência de Eventos

- A explosão ocorreu durante testes de inserção de combustível visando economia de energia.
- 01:00 hora de 25 de abril de 1986: Início da preparação para o teste. A potência é diminuída até 1600 MWt.
- 26 de Abril de 1986 as 00:40 horas, algumas barras de proteção são retiradas.
- 01:07, primeira violação das normas de segurança. Conexão errada do quarto sistema de resfriamento.
- 01:19, Segunda violação: mais barras são retiradas.
- 01:23: o teste é iniciado. A potência começa a aumentar e chega até 300 mil MWt.

# Sequência de Eventos

- A explosão ocorreu durante testes de inserção de combustível visando economia de energia.
- 01:00 hora de 25 de abril de 1986: Início da preparação para o teste. A potência é diminuída até 1600 MWt.
- 26 de Abril de 1986 as 00:40 horas, algumas barras de proteção são retiradas.
- 01:07, primeira violação das normas de segurança. Conexão errada do quarto sistema de resfriamento.
- 01:19, Segunda violação: mais barras são retiradas.
- 01:23: o teste é iniciado. A potência começa a aumentar e chega até 300 mil MWt.

# Sequência de Eventos

- A explosão ocorreu durante testes de inserção de combustível visando economia de energia.
- 01:00 hora de 25 de abril de 1986: Início da preparação para o teste. A potência é diminuída até 1600 MWt.
- 26 de Abril de 1986 as 00:40 horas, algumas barras de proteção são retiradas.
- 01:07, primeira violação das normas de segurança. Conexão errada do quarto sistema de resfriamento.
- 01:19, Segunda violação: mais barras são retiradas.
- 01:23: o teste é iniciado. A potência começa a aumentar e chega até 300 mil MWt.

# Sequência de Eventos

- 01:23:48: Primeira explosão.
- 7 segundos mais tarde: segunda explosão.
- A explosão libera 190 toneladas de gases radioativos na atmosfera.
- Dois homens morreram nessa noite e o incêndio dura 10 dias.

## Reação da URSS

- Na época havia a URSS: União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, que controlava a maioria dos países do leste europeu.
- De imediato, nada foi feito, apenas alguns boatos começaram a aparecer em Prypiat.
- Alguns dias depois o exército começa a medir a radiação na cidade e em volta da usina, e encontra níveis altíssimos.
- 30 horas após o acidente, o governo começa a tomar atitudes e envia mil ônibus para Pripyat.
- Os moradores foram ordenados a entrar nos ônibus, mesmo sem ainda terem sido informados oficialmente do acidente.
- Em 3 horas e meia 40 mil pessoas foram retiradas.

# Reação da URSS

- Na época havia a URSS: União das Repúblicas Socialistas Soviéticas, que controlava a maioria dos países do leste europeu.
- De imediato, nada foi feito, apenas alguns boatos começaram a aparecer em Prypiat.
- Alguns dias depois o exército começa a medir a radiação na cidade e em volta da usina, e encontra níveis altíssimos.
- 30 horas após o acidente, o governo começa a tomar atitudes e envia mil ônibus para Pripyat.
- Os moradores foram ordenados a entrar nos ônibus, mesmo sem ainda terem sido informados oficialmente do acidente.
- Em 3 horas e meia 40 mil pessoas foram retiradas.

# Evacuação



## Reação da URSS

- 60 horas depois, a nuvem radioativa chega e é detectado na Suécia, que então comunica a Agência Atômica Internacional.
- A agência então começa a investigar e contacta a Polônia e depois os Russos.
- 3 dias depois satélites norte americanos e europeus, no espaço, fotografam a usina destruída.

# Reação da URSS



# Reaparo do problema

# Apagar o incêndio

- A primeira tentativa de reparo foi jogar sacos de areia e ácido bórico sobre o reator para apagar o fogo.
- Fizeram 110 sobrevôos no primeiro dia e 300 no segundo, em uma altura de 200 metros.
- A radiação estava 9 vezes mais alto que o nível letal nessa altura. Alguns pilotos fizeram mais de 30 vôos em um só dia.
- Enquanto isso os moradores já afetados pela radiação começavam a serem tratados em Moscow. As mortes começaram.
- Em primeiro de maio houve comemorações nacionais no país, mas o governo ainda não havia comunicado oficialmente a população do acidente.

# Apagar o incêndio

- A primeira tentativa de reparo foi jogar sacos de areia e ácido bórico sobre o reator para apagar o fogo.
- Fizeram 110 sobrevôos no primeiro dia e 300 no segundo, em uma altura de 200 metros.
- A radiação estava 9 vezes mais alto que o nível letal nessa altura. Alguns pilotos fizeram mais de 30 vôos em um só dia.
- Enquanto isso os moradores já afetados pela radiação começavam a serem tratados em Moscow. As mortes começaram.
- Em primeiro de maio houve comemorações nacionais no país, mas o governo ainda não havia comunicado oficialmente a população do acidente.

## Magma



O combustível nuclear continua queimando e começou a derreter o concreto do chão, e abaixo havia muita água represada.

# Nova Explosão

- Se o magma chegasse ao volume de água uma explosão maior ainda poderia ocorrer.
- As estimativas era de que essa explosão teria de 3 a 5 Megatons. A bomba de Hiroshima foi de 0.015 Megaton.
- O governo então preparou trens somando mais de mil vagões para resgatar toda a população num raio de 400 km, incluindo Minsk e Kiev.
- Um grupo de bombeiros especializado conseguiu retirar parte da água em baixo do reator.

# Nova Explosão

- Se o magma chegasse ao volume de água uma explosão maior ainda poderia ocorrer.
- As estimativas era de que essa explosão teria de 3 a 5 Megatons. A bomba de Hiroshima foi de 0.015 Megaton.
- O governo então preparou trens somando mais de mil vagões para resgatar toda a população num raio de 400 km, incluindo Minsk e Kiev.
- Um grupo de bombeiros especializado conseguiu retirar parte da água em baixo do reator.

# Chumbo

- Em seguida jogaram mais de 2400 toneladas de chumbo no reator, para diminuir o calor.
- Porém, o chumbo derreteu e evaporou no ar. Traços de chumbo foram encontrado em afetados pela radiação.
- Durante a operação, mais de 600 pilotos trabalharam.
- Todos morreram em poucas semanas depois.

# Chumbo

- Em seguida jogaram mais de 2400 toneladas de chumbo no reator, para diminuir o calor.
- Porém, o chumbo derreteu e evaporou no ar. Traços de chumbo foram encontrado em afetados pela radiação.
- Durante a operação, mais de 600 pilotos trabalharam.
- Todos morreram em poucas semanas depois.

## Magma



# Túnel

- Um vez drenado a água, o magma continua invadindo cada vez mais para baixo.
- Um aquífero passava por baixo do terreno da usina, que caia em 3 rios locais e no Mar Negro.
- Começaram então a fazer um túnel para chegar em baixo do reator e conseguir resfriá-lo.
- Em um mês mais de 10 mil mineiros trabalharam, todos sem nenhum tipo de proteção.

# Túnel

- Um dos mineiros ingeriu areia (contaminada) e morreu em questão de dias.
- Ninguém foi informado do perigo da contaminação que foram expostos.
- Estima-se de 2500 mineiros morreram antes dos 40 anos de idade. Mas não há nenhuma estatística oficial sobre.

## Túnel



# Operação Liquidiação

# Operação Liquidação

- As primeiras tentativas não deram certo.
- Era necessário uma solução definitiva e que funcionasse: **o reator tinha que ser isolado.**
- Mikhail Gorbachev fez um pronunciamento oficial na TV. A União Soviética estava unida na solução do problema.
- Foi o início da Glasnost.

# Liquidadores



# Operação Liquidação

- Milhares reservistas e civis foram convocados para o trabalho.
- Eles limpam construções para tirar o material radioativo da superfície em um raio de 30 km.
- Mataram todos os animais da região, para evitar que animais contaminados migrassem para outras regiões.
- Muitas construções foram demolidas e enterradas.
- 300 mil metros cúbicos de solo contaminado em volta da usina foram retirados e enterrado em valas.

## Construção do Sarcófago



Máquinas controladas a distância foram utilizadas. Mas alguém tinha que levá-las até lá.

# Construção do Sarcófago



# Surge um problema

- Caminhões foram blindados, feitos pelos próprios liquidadores.
- As peças do sarcófago, construídas em outro lugar, eram levadas e montadas uma a uma. Uma operação delicada e complexa.
- Porém, no meio da construção mais um problema surge: pedaços de grafite altamente radioativos estavam sobre o teto.
- Usaram robôs para tirar o grafite, mas a radioatividade danificou os circuitos.

# Surge um problema

- Caminhões foram blindados, feitos pelos próprios liquidadores.
- As peças do sarcófago, construídas em outro lugar, eram levadas e montadas uma a uma. Uma operação delicada e complexa.
- Porém, no meio da construção mais um problema surge: pedaços de grafite altamente radioativos estavam sobre o teto.
- Usaram robôs para tirar o grafite, mas a radioatividade danificou os circuitos.

# Liquidadores



No lugar das máquinas: homens!

# Biorobôs

- A radiação estava em 10 mil R por hora, o que dava 40 segundos de exposição para cada pessoa.
- Até hoje, foi o local com maior índice de radiação onde seres humanos já trabalharam.
- Recobriram todo o corpo com chumbo.
- Todo o trabalho durou 2 semanas e meia e envolveu 3500 pessoas.

# Biorobôs

- A radiação estava em 10 mil R por hora, o que dava 40 segundos de exposição para cada pessoa.
- Até hoje, foi o local com maior índice de radiação onde seres humanos já trabalharam.
- Recobriram todo o corpo com chumbo.
- Todo o trabalho durou 2 semanas e meia e envolveu 3500 pessoas.

# Biorobôs



# Biorobôs



# Biorobôs



# Biorobôs

- O sarcófago ficou pronto 7 meses depois da explosão: outubro de 1986.
- Os soldados hastearam uma bandeira da União Soviética no ponto mais alto da usina.
- Foi um símbolo da vitória de um país.
- Na época, o custo total do reparo ficou em 18 bilhões de dólares.
- A previsão de validade do sarcófago: 30 anos.

# Biorobôs

- O sarcófago ficou pronto 7 meses depois da explosão: outubro de 1986.
- Os soldados hastearam uma bandeira da União Soviética no ponto mais alto da usina.
- Foi um símbolo da vitória de um país.
- Na época, o custo total do reparo ficou em 18 bilhões de dólares.
- A previsão de validade do sarcófago: 30 anos.

# Sarcófago



# Sarcófago



# Liquidadores

- Depois de finalizado, os hospitais de toda a URSS foram tomados pelo liquidadores.
- Mais de 100 mil soldados reservistas trabalharam no reparo em Chernobyl.
- E mais de 400 mil civis trabalharam como enfermeiros, médicos, engenheiros, etc...
- Segundo o exército, dos 500 mil liquidadores, 20 mil já morreram e 200 mil estão incapacitados.

# Estudos

- Nenhum estudo foi feito para se entender os efeitos nos liquidadores.
- Nem nos 130 mil refugiados.
- Nenhum estudo oficial e estatístico foi feito sobre os efeitos do acidente.
- Valery Legasov foi o responsável pelo relatório oficial final sobre o acidente.
- No final de 1986 foi feita uma reunião da AIEA a portas fechadas.

# Estudos

- Nenhum estudo foi feito para se entender os efeitos nos liquidadores.
- Nem nos 130 mil refugiados.
- Nenhum estudo oficial e estatístico foi feito sobre os efeitos do acidente.
- Valery Legasov foi o responsável pelo relatório oficial final sobre o acidente.
- No final de 1986 foi feita uma reunião da AIEA a portas fechadas.

# Estudos

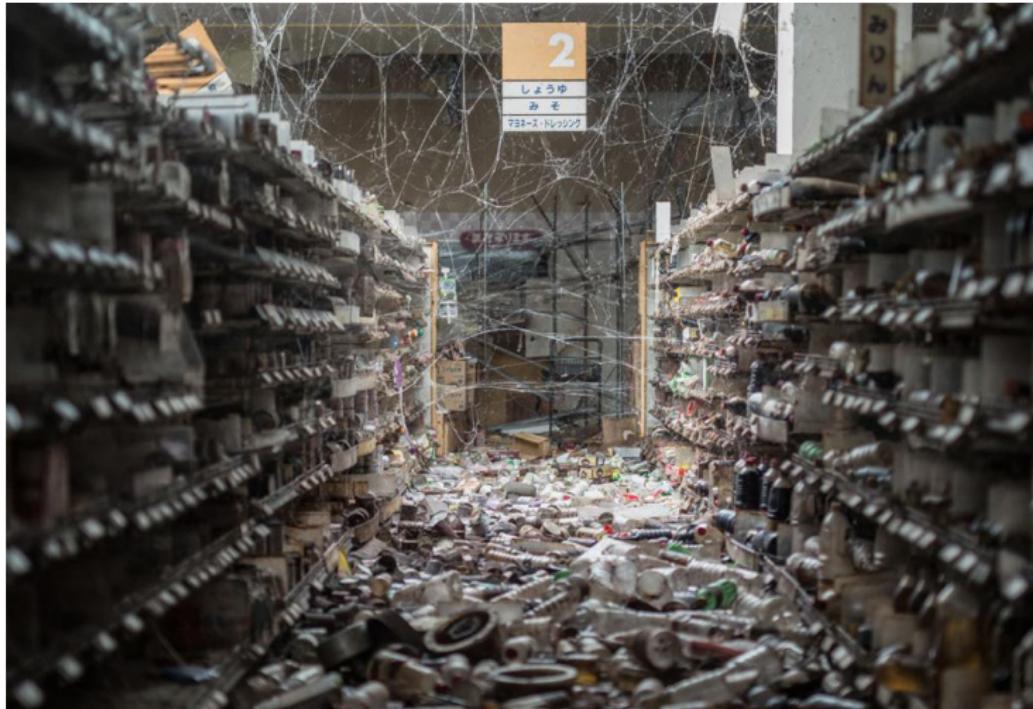
- O relatório de previu que 40 mil mortes iriam ocorrer no futuro, em função da contaminação.
- Isso provocou um grande embate políticos entre os diferentes países.
- Na Rússia, o governo também alterou, maquiou e ocultou informações sobre os efeitos da contaminação.
- Dois anos depois do acidente, 27 de abril de 1988, Legasov cometeu suicídio.

- O relatório de previu que 40 mil mortes iriam ocorrer no futuro, em função da contaminação.
- Isso provocou um grande embate políticos entre os diferentes países.
- Na Rússia, o governo também alterou, maquiou e ocultou informações sobre os efeitos da contaminação.
- Dois anos depois do acidente, 27 de abril de 1988, Legasov cometeu suicídio.

## Atualmente

- Foi o pior acidente em usina nuclear da história.
- Ainda hoje há cerca de 200 toneladas de material radioativo dentro do reator.
- Desses, 100 kg de plutônio (meia vida de 245 mil anos).
- Oficialmente, apenas 31 pessoas morreram. Milhares sofreram e sofrem de efeitos de longos prazo.
- O sarcófago construído está desmoronando. Um novo está em construção.

# Cidade abandonada

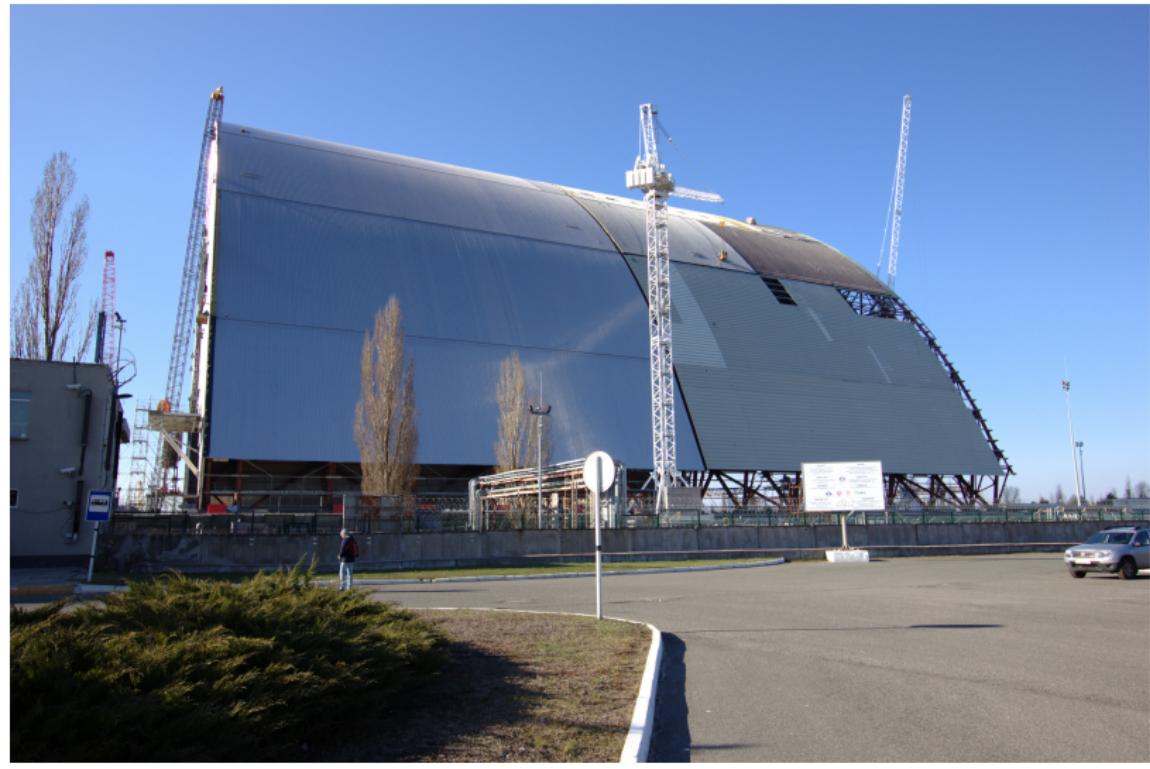


130 mil pessoas em um raio de 30 km foram removidas.

# Cidade abandonada



# Segurança Nuclear



# Causas

- A causa do superaquecimento do reator?
- **Falha humana.**
- Os operadores simplesmente ignoraram normas de segurança durante o teste.

# Referências

- Internet
- Filme: Battle of Chernobyl.
- Filme: Children of Chernobyl.

Fim  
Obrigado pela atenção!