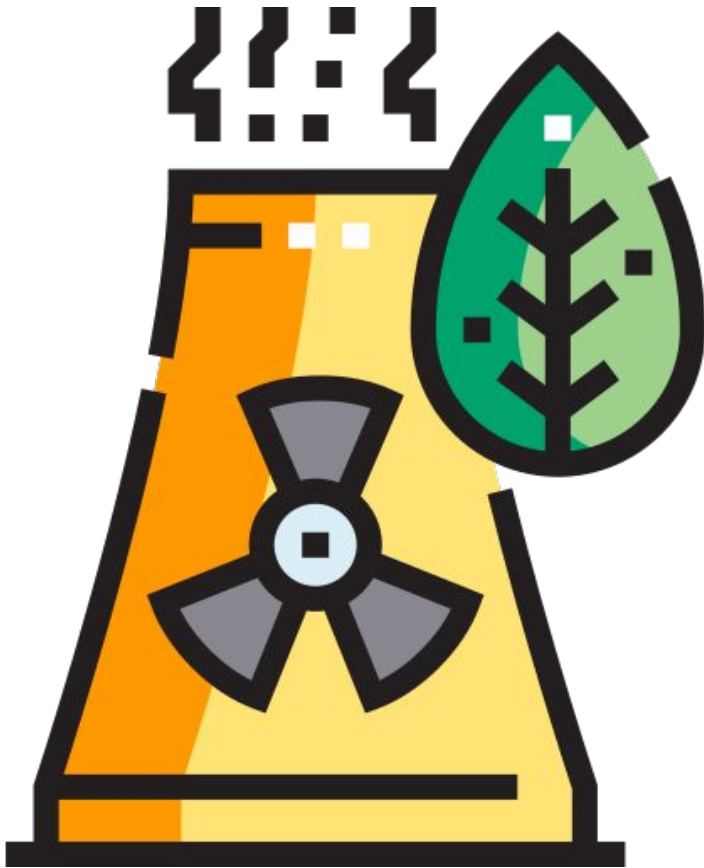


Riscos da Energia Nuclear

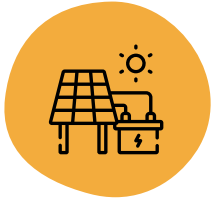


Riscos da Energia Nuclear

Alison Cordeiro Sousa

Sumário

01



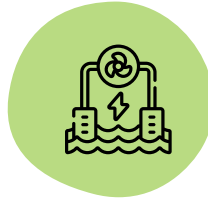
**Risco
Ambiental**

02



**Segurança
Física**

03



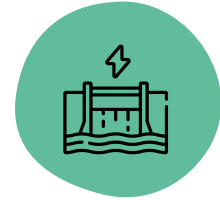
**Segurança
Individual**

04



**Segurança
Normativa**

05



**Riscos
Financeiros**

Funcionamento Usina Termonuclear

01

Circuito Primário

- A reação de fusão/fissão nuclear do Urânio gera calor e aquece a água do sistema secundário;

02

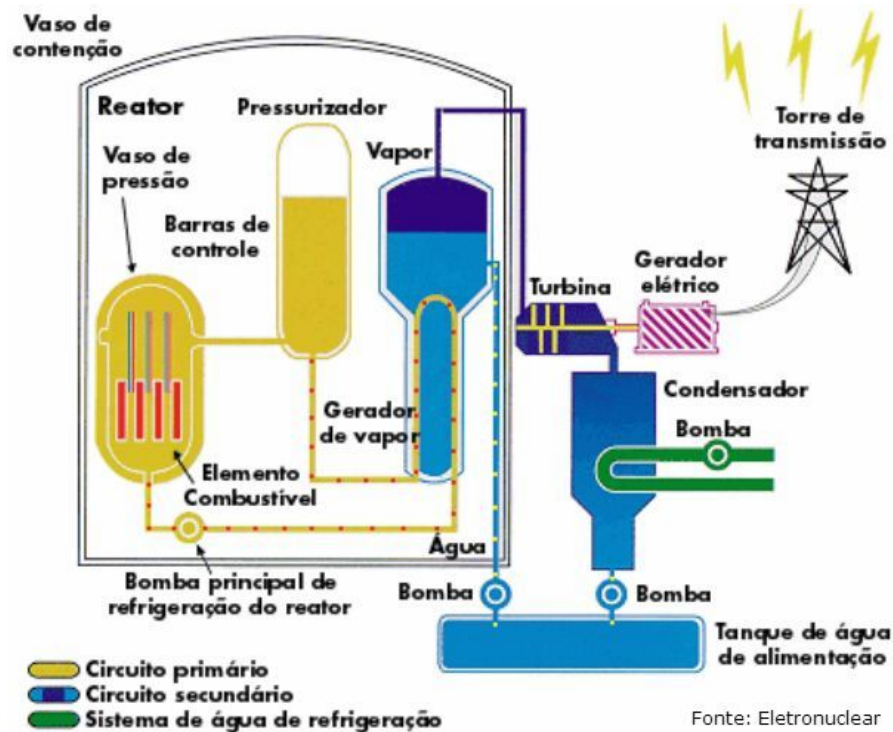
Circuito Secundário

- A água aquece e vaporiza e o vapor superaquecido é utilizado para movimentar uma turbina de geração de energia;

03

Sistema de Refrigeração

- Uma fonte de água externa é utilizada para resfriar o vapor, que volta a ser aquecido



Fonte: Eletronuclear

Risco Ambiental



Resíduos nucleares (“Lixo nuclear”)

Resíduos nucleares podem ser reciclados para recuperação de plutônio e urânio, porém o processo é caro e raramente economicamente viável.

A melhor solução atual é de armazenamento geológico profundo. A longo prazo, o acúmulos destes resíduos radioativos desfavorece o uso de energia nuclear



Redução de emissões de carbono

As emissões de carbono são quase nulas, provenientes principalmente do processo de mineração do combustível.

A capacidade de substituição das matrizes energéticas “sujas” atuais e redução de emissões de carbono globais e mudança climática é mais impactante que potenciais contaminações locais por resíduos nucleares.

Risco Ambiental

Desastres



Chernobyl (1986)

Mortes diretas: 31

Zona de exclusão: 2.600 km²

Mortes indiretas:
4 a 40 mil*

Causado por falha humana,
design de reator ultrapassado



Fukushima (2011)

Mortes diretas: 573*

Zona de exclusão: 371 km²

Mortes indiretas: 0 a 1000

Causado por terremoto seguido
de tsunami



Muitos dos reatores em
operação hoje foi construída
antes de 1970 e possui
tecnologia ultrapassada, menos
segura.

Existem modelos propostos de
reatores mais seguros e mais
eficientes, como o reator de tório.
É necessário investimento em
pesquisa.

Risco Ambiental

Impacto das emissões atuais

Mortes anuais ligadas a
poluição atmosférica

4 milhões

**Normalizando o número de mortes
por unidade de energia produzida**

Em comparação a energia Nuclear:

- Carvão: **350x** mais mortes
- Petróleo: **260x** mais mortes
- Gás natural: **40x** mais mortes

Mortes/
TWh

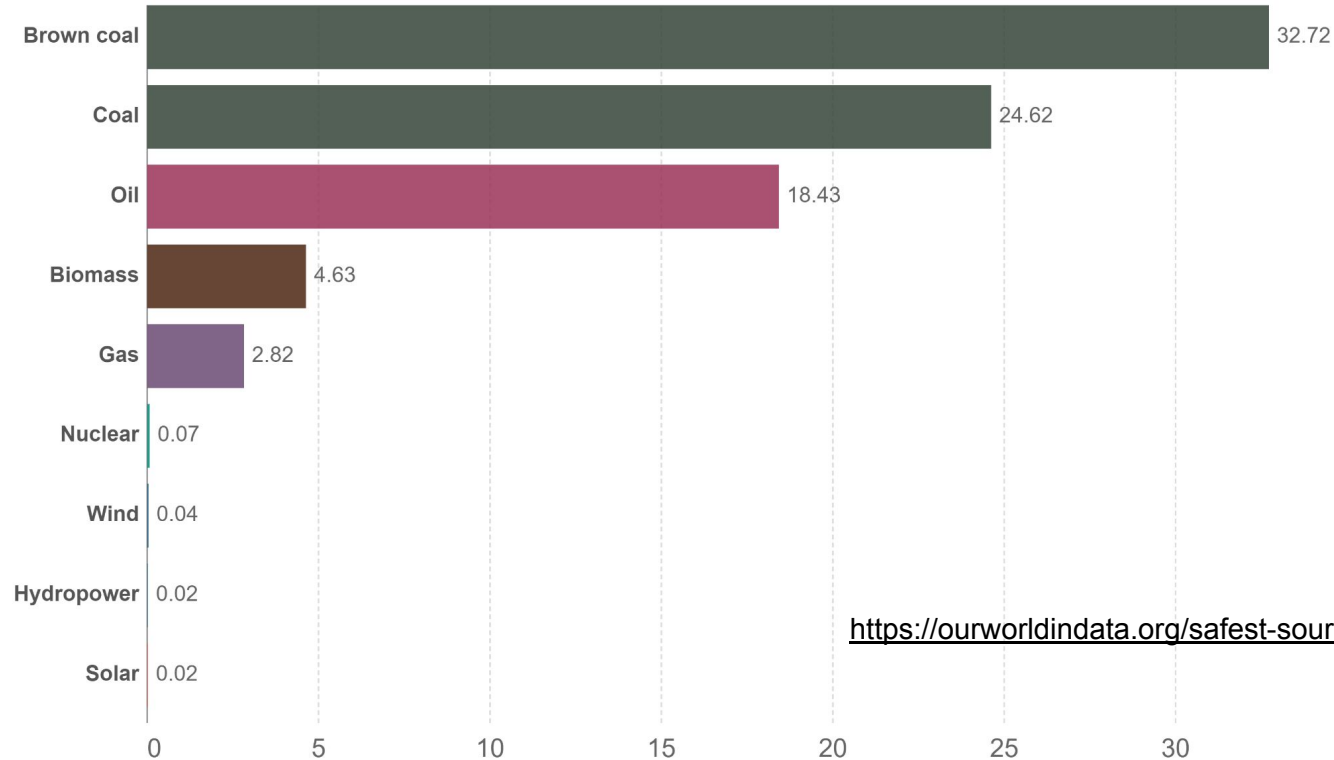
Causas

- 29% de todas os casos e mortes por câncer de pulmão
- 17% de todos os casos de mortes por infecção respiratória aguda
- 24% de todas as mortes por derrame
- 25% de todas os casos e mortes por doença arterial coronariana
- 43% de todas os casos e mortes por doença pulmonar obstrutiva crónica

Risco Ambiental

Death rates from energy production per TWh

Death rates are measured based on deaths from accidents and air pollution per terawatt-hour (TWh).



<https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>

Elementos de Segurança e Controle de Riscos das Usinas

01

Segurança de Projeto

- Os projetos de construção de usinas já levam em consideração uma série de riscos, principalmente relacionados ao local de construção e suas características geológicas;

02

Seguranças Físicas

- Contenção ou minimização nos níveis de radiação. Ex: Composição da estrutura molecular do combustível às paredes grossas de aço e concreto do reator;

03

Segurança de Processo

- Testes, treinamentos e avaliações das condições da estrutura e funcionários;

04

Segurança Organizacional

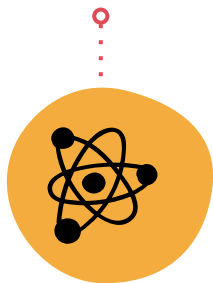
- Controles legais e normativos que a usina precisa atender para comprovar sua habilitação.

A photograph of a large industrial facility, likely a nuclear power plant, featuring complex piping, metal structures, and large cylindrical storage tanks. A massive plume of white steam or smoke rises from the left side into a hazy, orange-tinted sky. In the upper right corner, there are five small, faint circular icons in green, blue, yellow, red, and light green. A red banner with a yellow border is positioned at the bottom of the image.

Reatores CANDU

Pilares de segurança da usina

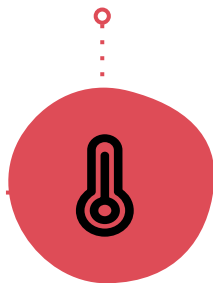
Controle do reator



1

Controla a reação dentro dos reatores

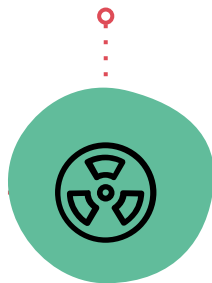
Resfriamento do combustível



2

Sistemas de arrefecimento do combustível

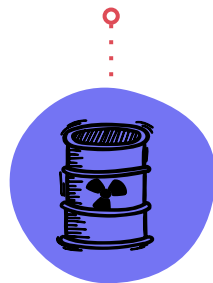
Contenção de radiação



3

Barreiras de contenção, filtros e outras medidas

Descarte do combustível

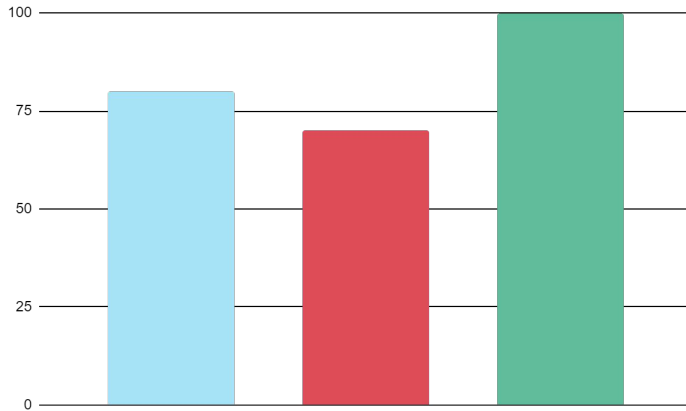


4

Radiação residual do combustível descartado

Pilar 1 : Controle do reator

- Controle **automático** feito por cilindros de água cujas **propriedades** são alteradas de acordo com a reação nuclear



Temperatura

Pressão

Potência

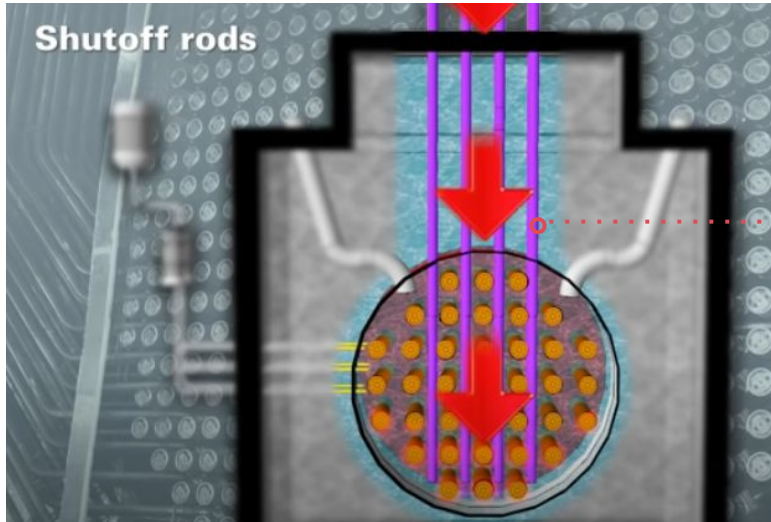
- Quando alguma dessas propriedades atingir um **nível crítico**, o reator desliga **automaticamente** com segurança dentro de segundos
- Em reatores CANDU, toda usina nuclear possui pelo menos **dois sistemas de desligamento independentes** cuja reação ao nível crítico é igualmente rápida

Princípio

Ambos os métodos utilizam-se do mesmo princípio: diminuir a alta reatividade do reator

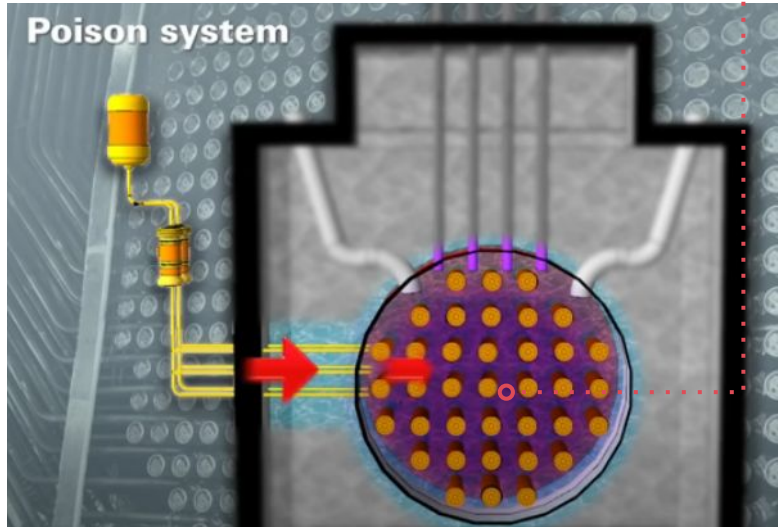
Pilar 1 : Controle do reator

- Shutdown/Shutoff rods ou Barras de Controle
 - Barras feitas de Boro (ácido bórico) ou Cádmiio
 - Alta absorção de nêutrons
 - Interrupção da reação de cadeia



Pilar 1 : Controle do reator

- Poison System
 - Injeta um líquido, “neutron poison” no reator
 - Redução rápida da reatividade do combustível
 - Interrupção da reação de cadeia





Pilar 1 : Controle do reator

Sobre esses sistemas...



Esses sistemas podem ser acionados **manualmente** também

01

Uma vez parada a reação, ela só será **reiniciada manualmente** por um operador na sala de controle

02

No entanto, após parada a reação, o combustível continuará a produzir **energia residual por decaimento**

03

Pilar 2 : Resfriamento do combustível

01

Sistema de transporte de calor

- Leva o calor produzido pelo reator para os geradores de vapor
- Gerador de vapor é constituído por tubos de espessura robusta contendo água pesada/deuterada
- Água pesada : desaceleração de nêutrons

02

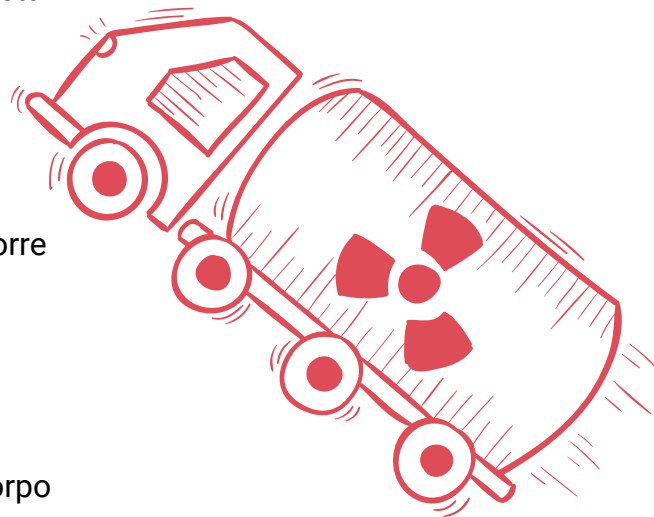
Sistema de vapor

- Calor do reator transforma a água (normal) em vapor, que corre pelas turbinas e geradores

03

Sistema de resfriamento por condensação

- O vapor que vem do sistema de vapor **troca calor** em escoamento em contracorrente com água advinda de um corpo de água, como um lago



Pilar 2 : Resfriamento do combustível

04

Sistema de transporte de calor durante interrupções planejadas

- Sistema de transporte de calor

05

Sistema de injeção de emergência

- Evento bastante improvável como perda de água pesada por conta de uma **falha na tubulação** do gerador de vapor garante circulação de água no combustível para resfriá-lo (opção 1)
- Trabalha com nitrogênio pressurizado (opção 2)
- Bombeamento de água pesada que caiu do gerador de vapor (opção 3)

Pilar 2 : Resfriamento do combustível

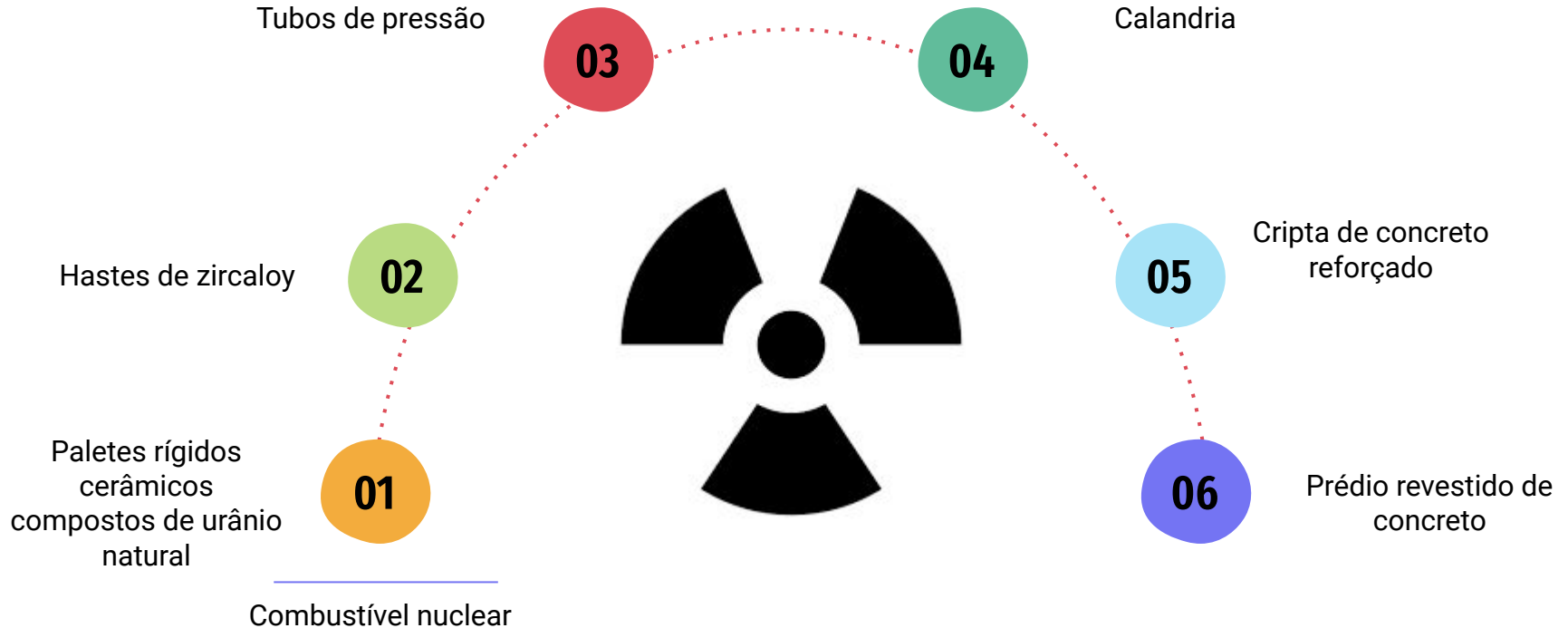
06

Sistema de suprimento de energia para sistemas de resfriamento

- Todos os sistemas de arrefecimento necessitam de energia elétrica para seu funcionamento: todas as usinas possuem várias fontes de energia elétrica reserva, caso a fonte principal de energia seja cortada
- Gerador reserva da usina (energia produzida pela própria usina)
- 2 a 3 geradores de energia
- 2 a 3 geradores de energia de emergência
- Baterias de emergência



Pilar 3 : Contenção da radiação



Pilar 3 : Contenção de radiação

01

Zona-tampão

- Raio de 1km
- Zona de segurança onde não há atividades humanas

02

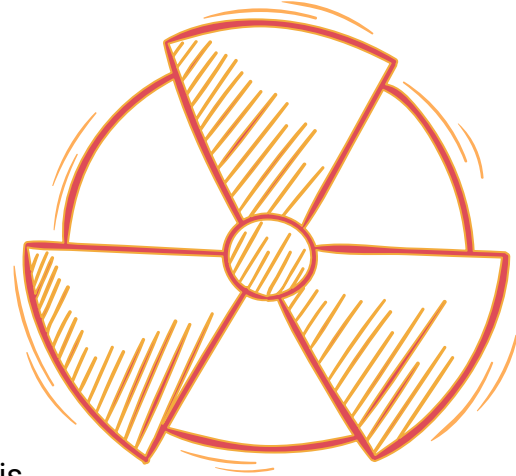
Filtro de radiação

- Minimiza a liberação de radiação
- Fenômeno regular (ocorre durante revisões, por exemplo)
- Toda liberação de radiação é reportada para os órgãos responsáveis

03

Segurança contra aumento súbito de pressão dentro do reator

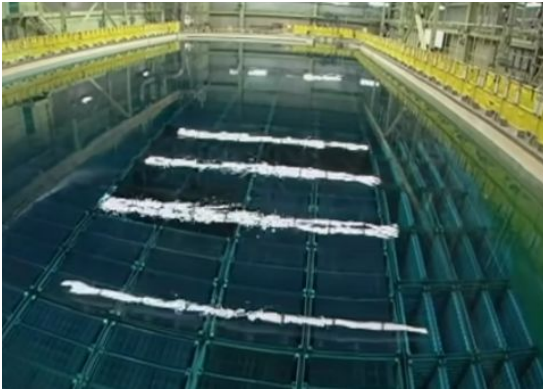
- Sistema de ejeção de vapor (diminui a pressão dentro do prédio do reator para controlar a pressão)
- Não necessita de energia elétrica



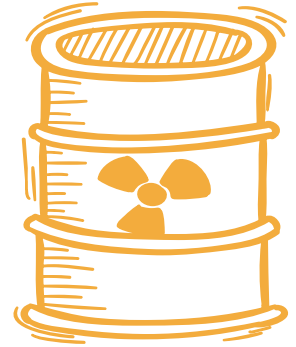
Pilar 4 : Descarte do combustível

Após o urânio ser utilizado por completo, ele é armazenado em uma piscina durante 6 a 10 anos

- A piscina resfria o combustível
- A água serve como uma espécie de escudo para bloquear a radiação
- As piscinas são construídas separadas do reator principal e seu design é pensado para suportar terremotos



Todos os
mecanismos de
segurança
apresentados
são
inspecionados
regularmente



Normas para a construção de usinas

Resolução Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) 09/69- Junho / 1969



Distância dos centros populacionais



Características do local



Exposição à radioatividade



Características da instalação

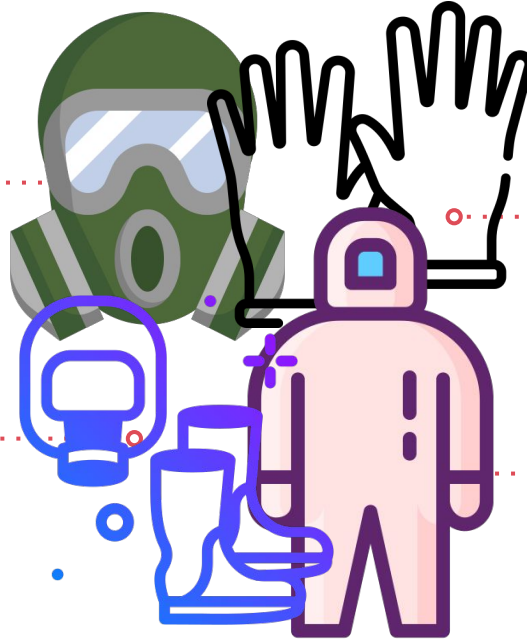
Controle- Proteção Individual

NR 16

Atividades e
Operações Perigosas

Requisitos de Saúde para Operadores de Reatores Nucleares

Qualificação de operadores de
operadores e reatores
nucleares



Vestimentas de Proteção Nuclear

Evitar a contaminação
da pele por partículas de
poeira e líquidos.

Segurança de Processos

Barreiras garantem a
segurança do trabalho
humano e sua interação
com a máquina

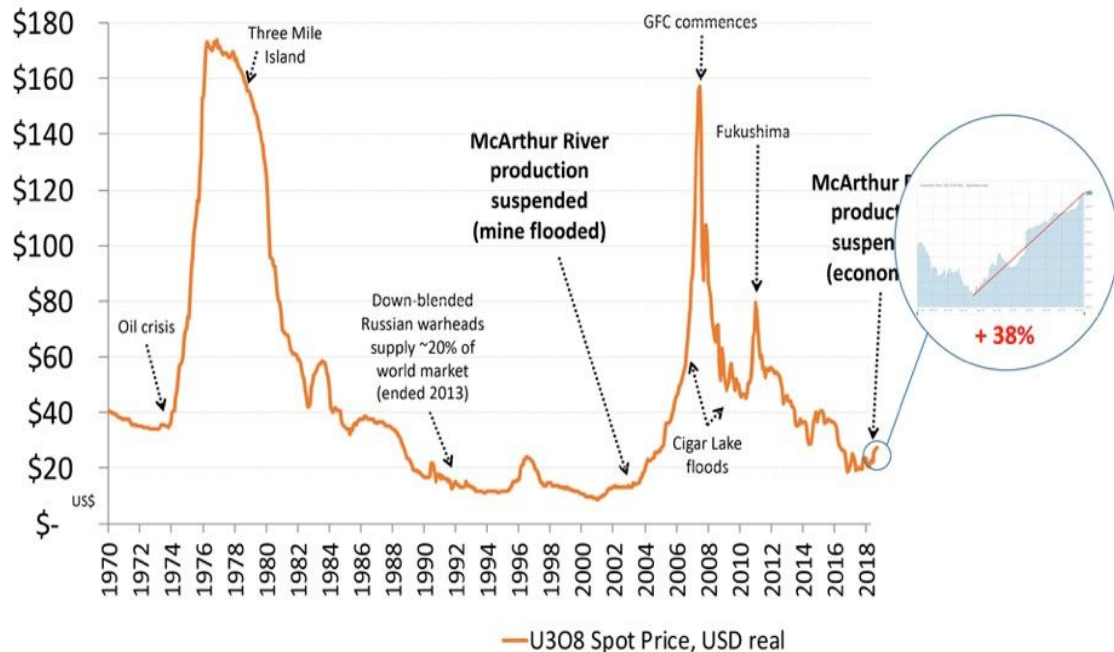
Redução de investimentos / riscos dos países



- Futuro incerto, fechamentos em economias mais avançadas.
- PIB - Alemanha, diminuição de 5%(retração de investimentos).

Source: World Bank(2020).

Redução de investimentos / riscos dos países

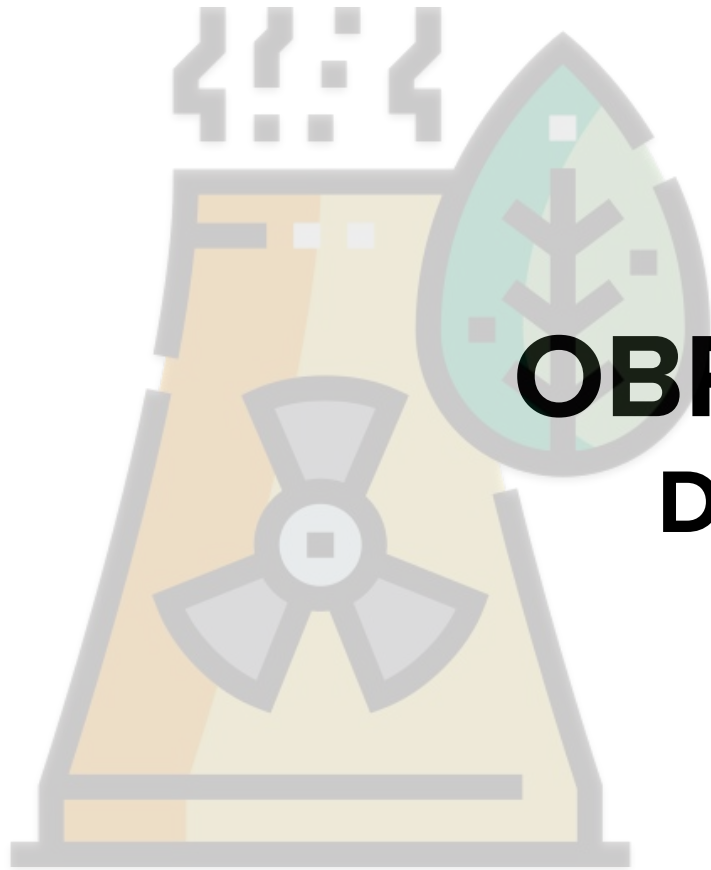


- OCDE -> Perder 25%, capacidade nuclear até 2025 e até 2/3 até 2040. Resultando em bilhões de toneladas de emissões a mais de CO2.
- Curiosidade : O urânio -> bull market; alta (~40%), desde abril de 2018.

Source: XP Investimentos(2020).

Bibliografia

- PIB ALEMÃO CAI 5%, PIOR RESULTADO DESDE 2009. Uol, Berlim, 14 jan. 2021. Economia. Disponível em: <<https://economia.uol.com.br/noticias/afp/2021/01/14/pib-alemao-caiu-5-em-2020-pior-resultado-desde-2009.html>>. Acesso em: nov. 2021.
- WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. Financing Nuclear Energy. Disponível em: <<https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/financing-nuclear-energy.aspx#:~:text=Political%20and%20regulatory%20risks%20%E2%80%93%20long,uncertain%20electricity%20pricing%20and%20demand.>>>. Acesso em: nov. 2021.
- NUCLEAR ENERGY AGENCY. Disponível em: <<https://www.oecd-neo.org/>>. Acesso em: nov. 2021.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Nuclear Power in a Clean Energy System. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/nuclear-power-in-a-clean-energy-system>>. Acesso em: nov. 2021.
- THE WORLD BANK. GPA. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD?end=2020&start=2017>>.
- Acesso em: nov. 2021.
- HIRSCH, Helmut; BECKER, Oda; FROGGATT, M. S. E. A. Perigos dos reatores nucleares. Riscos na operação da tecnologia nuclear no século XXI: Relatório preparado para o Greenpeace Internacional (abril 2005). **Estudos Avançados**, Alemanha, v. 21, n. 59, p. 253-257, jan./2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/cDqZmLPGB5FVxXqSnGGtdTk/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 14 nov. 2021.
- COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Instalações nucleares. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/aceso-rapido/normas/grupo-1>>. Acesso em: nov. 2021.
- FILHO, Paulo Fernando Laval Heilbron. Diretoria de radioproteção e segurança nuclear. Foco no ciclo do combustível. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/arquivos/7-paulo_heilbron_fgv_presentacao.pdf>. Acesso em: nov. 2021.
- Pushker A. Kharecha and James E. Hansen, Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es3051197>>. Acesso em nov. 2021
- <<https://sites.google.com/view/sources-nuclear-death-toll/>>
- https://www.youtube.com/watch?v=yx_XoqXNtRM
- <https://web.archive.org/web/20110409011840/http://www.unene.ca/un802-2005/ben/BasicCANDUDesign.pdf>



OBRIGADO!

Dúvidas?