




MATERIAIS DE APLICAÇÃO NA ENGENHARIA NUCLEAR



**Prof. Arnaldo Andrade
e Raquel Lobo**



**Ipen
2021**



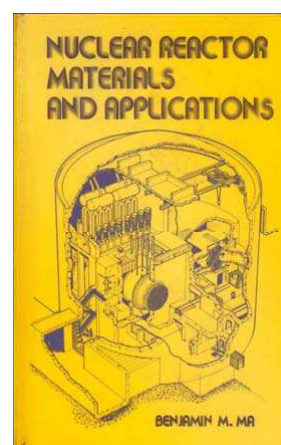
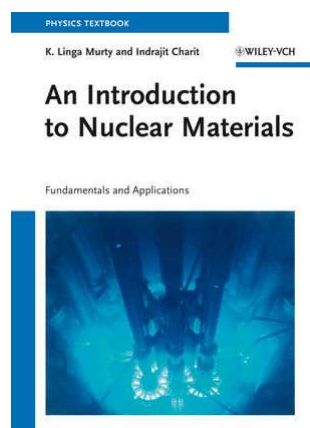
Materiais dos Reatores Nucleares

Ementa

- Introdução aos tipos de reatores nucleares, estruturas, componentes e materiais utilizados nas centrais nucleares
- Revisão da ciência dos materiais especialmente da relação microestrutura e propriedades.
- Interação entre partículas, matéria e defeitos elementares Danos de radiação e a microestrutura.
- O combustível nuclear e seu revestimento.
Modos de degradação do combustível nuclear.
- Vaso de pressão e tubulações do primário.
- Materiais clássicos utilizados nos reatores (gerador de vapor; confinamento dos resíduos).
- Extensão da vida útil. Recomendações e perspectivas.

Referências

1. Olander, D., Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements; ERDA (1976)
2. Adrian Roberts ,J.T.; Structural Materials in Nuclear Power Systems; Plenum (1981)
3. Ma, B. M .; Nuclear Reactor Materials and Applications; Van Nostrand , New York (1983)
4. Gerasimov ,V. e Monakhov ,A.; Nuclear Engineering Materials; Mir (1983)
5. Lemaignan, C.; Science des matériaux pour le nucléaire; EDP (2004)
6. Ashby , M. F. e Jones, D. R. H.; Engineering Materials, vols. I e 2 (3rd Ed) ; Pergamon (2005)
7. Was, G.; Fundamentals of Radiation Materials Science: Metals and Alloys; Springer (2007)
8. Linga Murty e Charit; Introduction to Nuclear Materials; Wiley (2013)



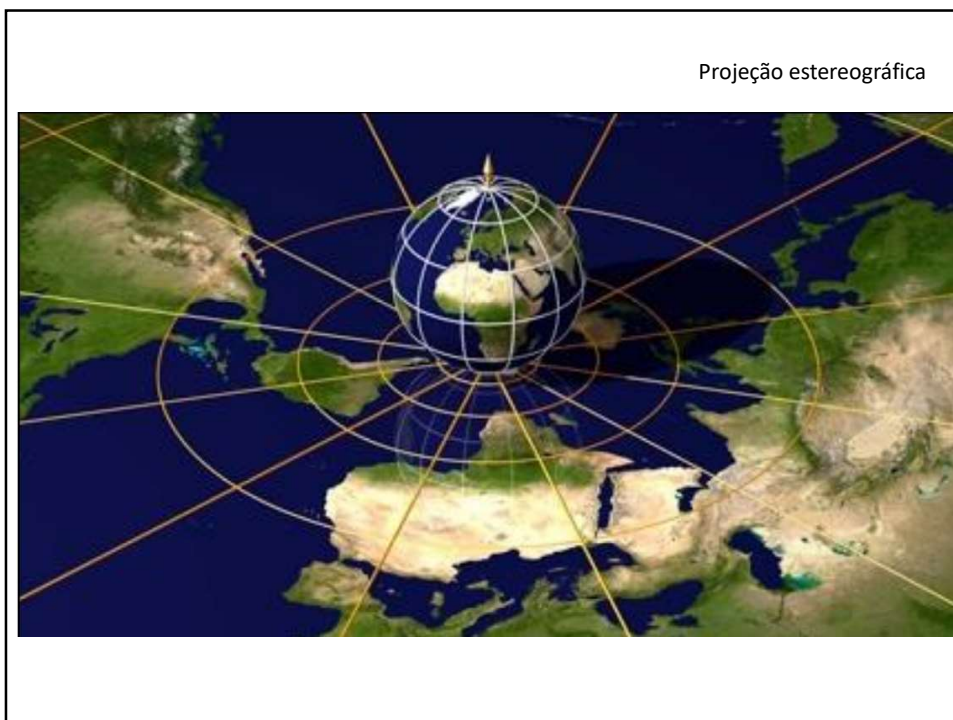
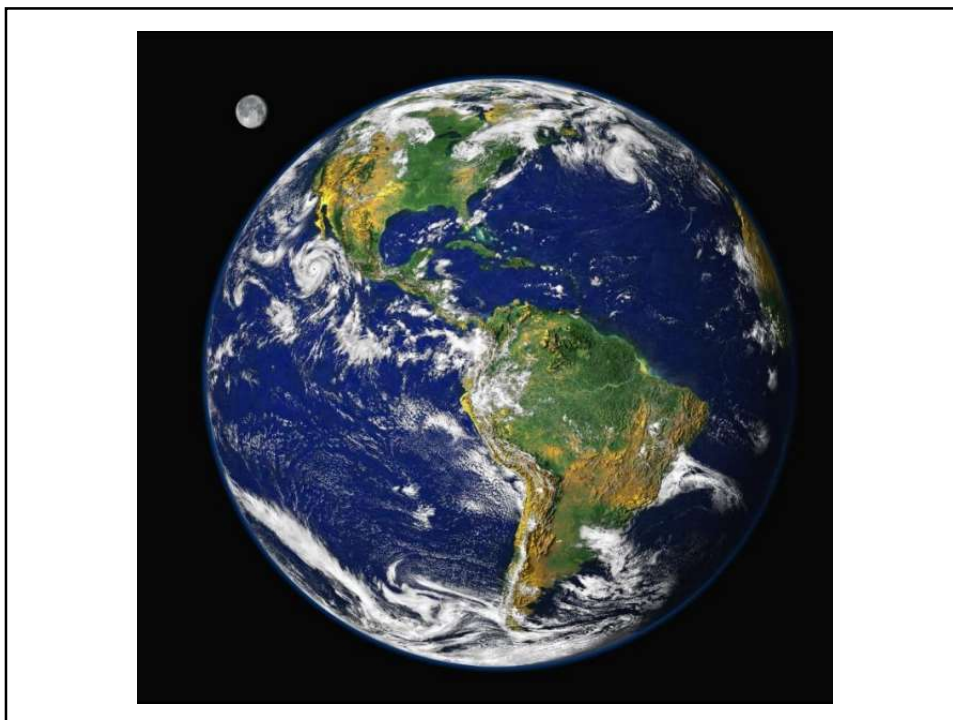
Materiais de Aplicação na Engenharia Nuclear

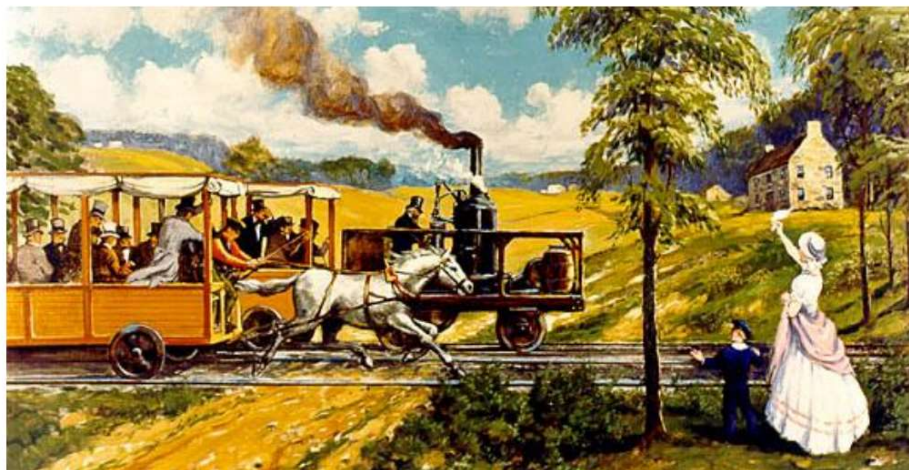
- Profs. Arnaldo Andrade e Raquel Lobo (CCTM)
- Site do curso: edisciplinas.usp.br
- e-mails: aandrade@ipen.br e rmlobo@ipen.br
- Aulas: terças das 8:00 às 12:00 h (intervalo de 15 min.)
(8:30 às 11:45)

Avaliação do Curso:

- Listas de exercícios : 60%
- Monografia (Final do curso): 30%
- Participação em classe (presença, interesse, perguntas): 10%

energia





Onde e como usamos Energia?



Para produzir bens primários
(agricultura, mineração, etc.)



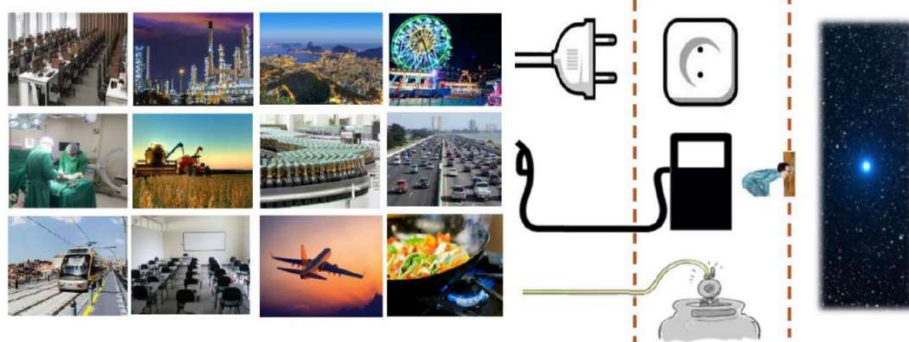
Para produzir bens
industrializados



Para fornecer serviços



De onde vem a Energia?



De onde vem a Energia?



No Brasil...



Brasil EPE-BEN2018

De onde vem a Energia Elétrica?



No Brasil...



- Biomassa 6,2%
- Gás Natural 11,5%
- Der. Petróleo 3,0%
- Carvão e Derivados 3,6%

Brasil EPE-BEN2018

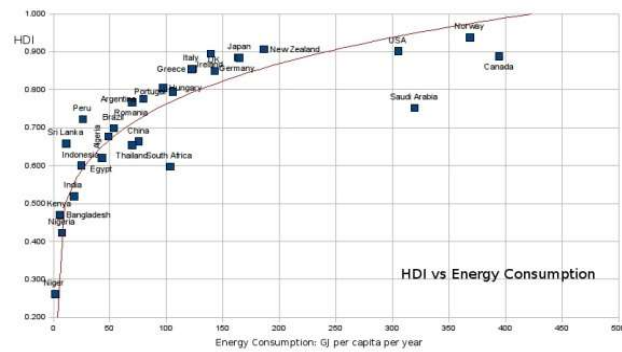
De onde virá a energia que precisamos?



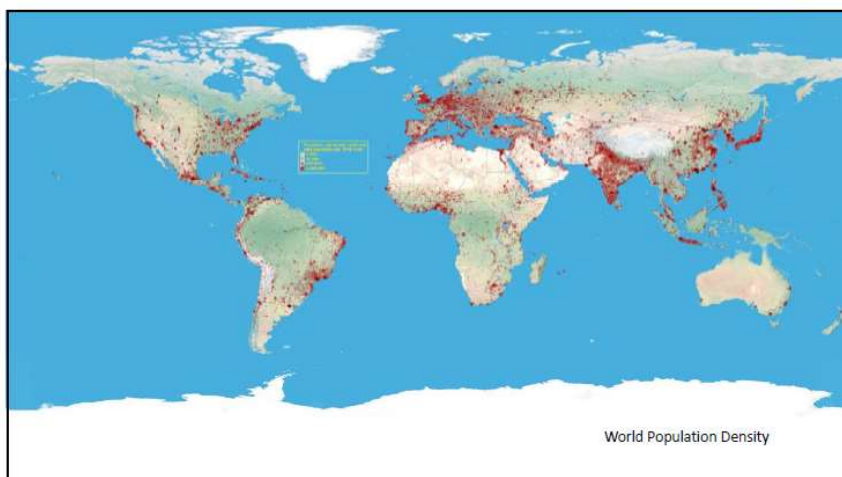
Importance of energy

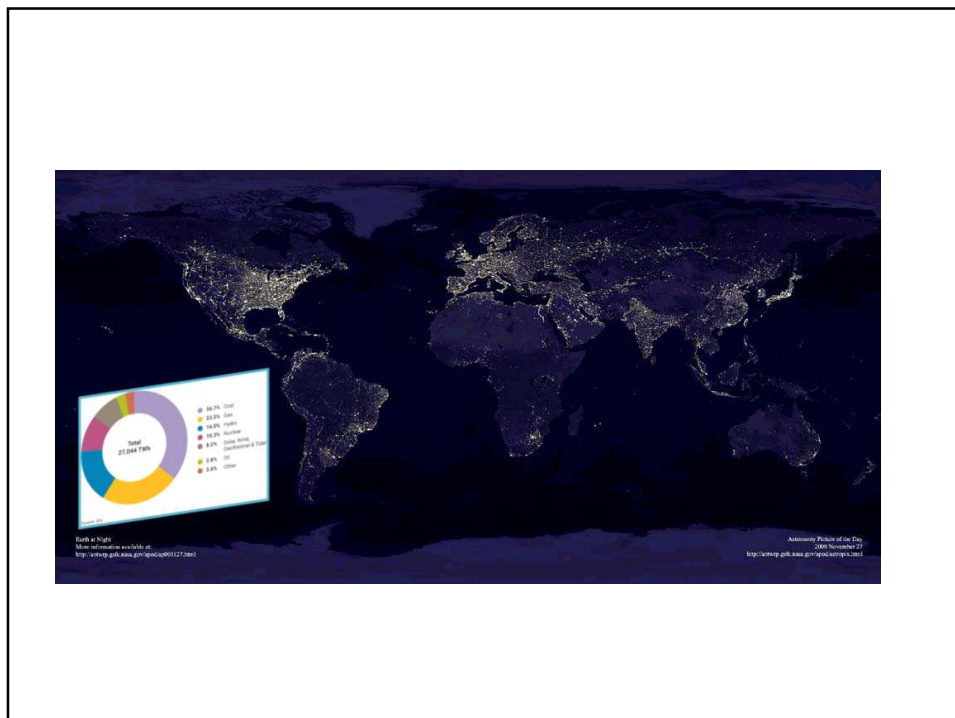
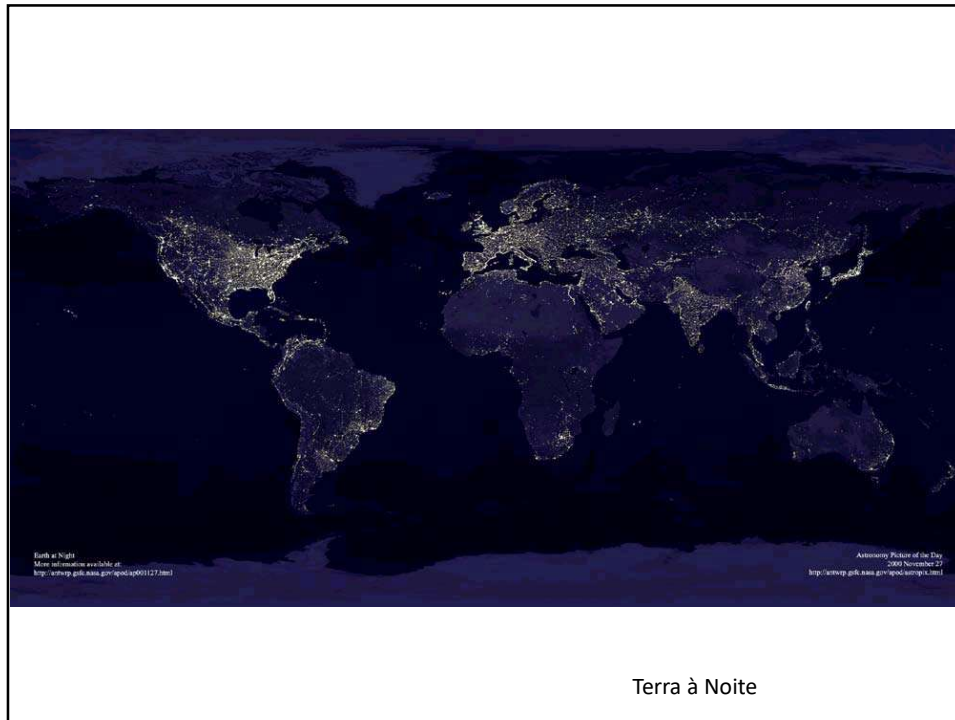
- World electricity consumption is projected to double by 2020. Yet, considering the link between electrical usage and human well-being, the consumption increase could easily be much larger

United Nations
HDI:
- Longevity
- Educational
attainment
- Standard of
living

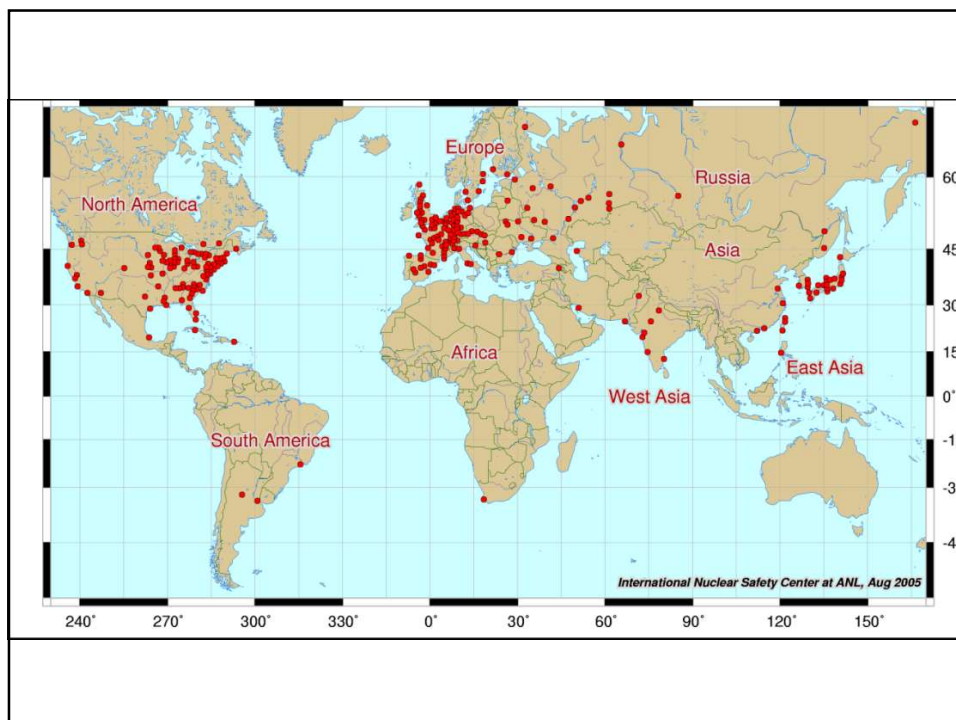


Energy production closely related to HDI, or quality of life





Reatores pelo mundo





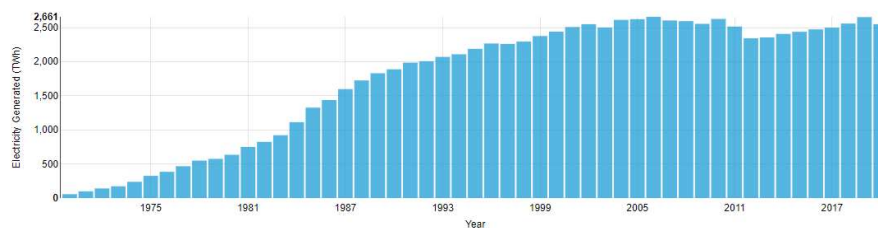
Países Nucleares



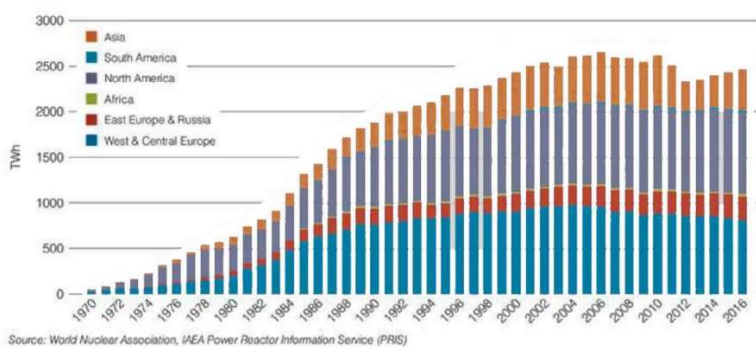
This map is a simplified tool and does not define exact territorial boundaries or reflect legal statuses of nations. www.basemap.at/

Global Nuclear Generation

2,553 TWh: global electricity generation from nuclear energy in 2020

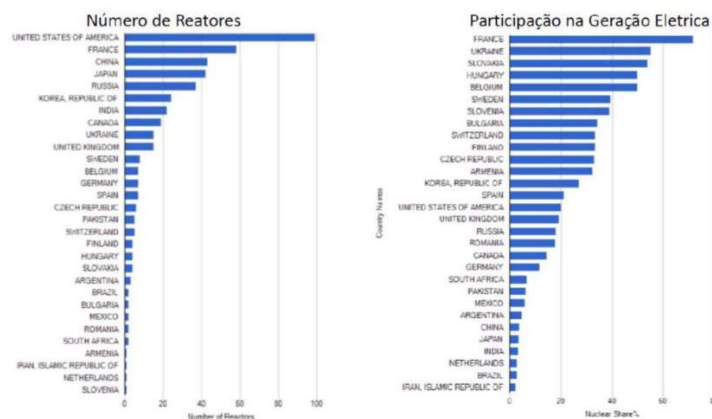


Geração Nuclear no Mundo



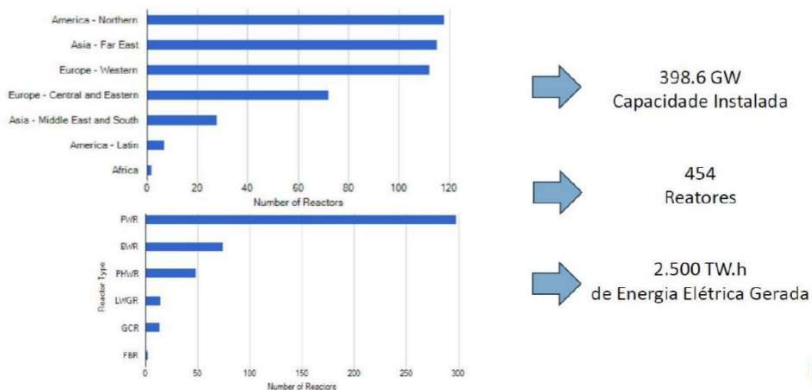
Source: World Nuclear Association, IAEA Power Reactor Information Service (PRIS)

Reatores pelo Mundo



23

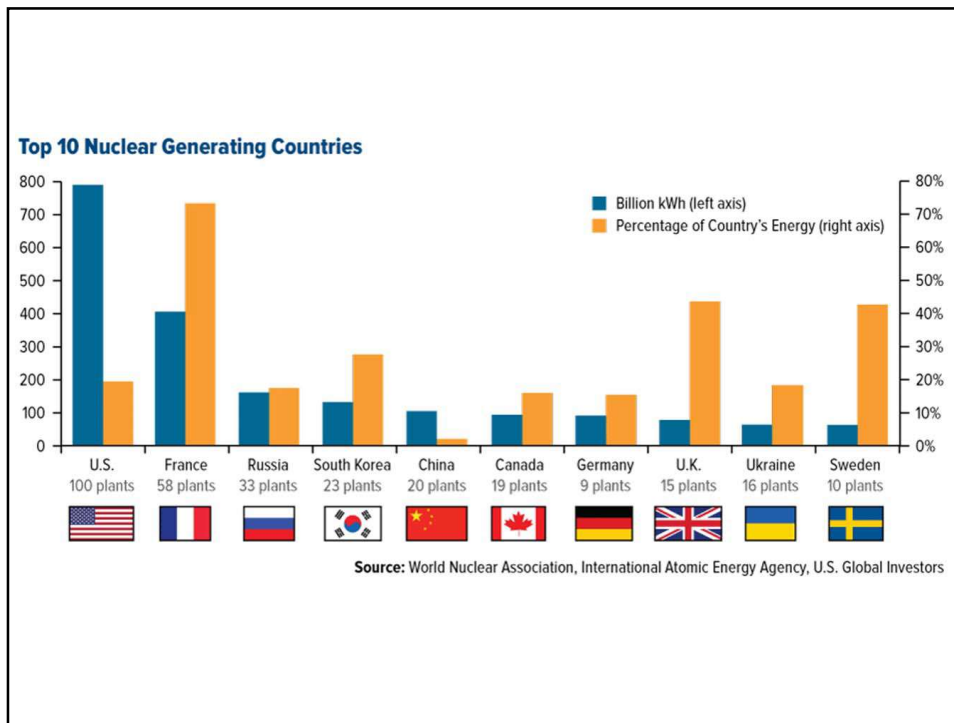
Reatores pelo Mundo





Importância da Energia Nuclear

- aumento projetado significativo no consumo de eletricidade (energia) nas próximas duas décadas.
- Ao mesmo tempo, conscientização de que a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera está aumentando a taxas históricas.
- Possível surgimento de uma economia de transporte baseada em hidrogênio e aumento da demanda por dessalinização elétrica de recursos hídricos.
- Todos se combinam para produzir demandas muito grandes de geração elétrica "limpa".
- Energia solar, eólica, geotérmica e hidroelétrica são importantes produtores de energia "limpa", mas não podem atender economicamente às demandas de energia.
- A energia nuclear é a alternativa segura e limpa - requer um tratamento aprimorado da utilização e descarte de resíduos nucleares, projetos inerentemente seguros de reatores de fissão e fusão e materiais avançados.



Top Generation (2020)

Reactor Name	Model	Process	Net Capacity (MWe)	Total Generation (2020) (TWh)	Location
Taishan 2	EPR-1750	PWR	1660	12.5	China
Peach Bottom 3	BWR-4 (Mark 1)	BWR	1331	11.6	United States Of America
South Texas Project 2	W (4-loop) DRYAMB	PWR	1280	11.5	United States Of America
Palo Verde 3	COMB CE80 DRYAMB	PWR	1312	11.3	United States Of America
Isar 2	Konvoi	PWR	1410	11.0	Germany
Perry 1	BWR-6 (Mark 3)	BWR	1240	11.0	United States Of America
Emsland	Konvoi	PWR	1335	10.8	Germany
Susquehanna Steam Electric Station 2	BWR-4 (Mark 2)	BWR	1257	10.7	United States Of America
Braidwood 1	W (4-loop)	PWR	1194	10.6	United States Of America
Hope Creek 1	BWR-4 (Mark 1)	BWR	1172	10.6	United States Of America

Most recent construction starts

Reactor Name	Model	Process	Net Capacity (MWe)	Construction Start	Location
San'ao 2	Hualong One	PWR	1117	2021-12-31	China
Changjiang-4	Hualong One	PWR	1100	2021-12-28	China
Kudankulam 6	VVER V-412	PWR	917	2021-12-20	India
Xudabao 3	VVER V-491	PWR	1100	2021-07-28	China
Changjiang SMR-1	ACP100	PWR	125	2021-07-13	China
Kudankulam 5	VVER V-412	PWR	917	2021-06-29	India
Seversk BREST-OD-300	BREST-OD-300	FBR	300	2021-06-08	Russia
Tianwan 7	VVER V-491	PWR	1100	2021-05-19	China
Changjiang-3	Hualong One	PWR	1100	2021-03-31	China
Akkuyu 3	VVER V-509	PWR	1114	2021-03-10	Turkey

Geração Nuclear por País



28

Brasil

GERAÇÃO DE ENERGIA NO PAÍS (em %)

■ Hidráulica ■ Gás Natural ■ Biomassa ■ Eólica
 ■ Carvão e derivados ■ Nuclear ■ Derivados do petróleo

Apenas **3%** da geração de energia do país provém de **fonte nuclear**



MAIORES RESERVAS DE URÂNIO NO MUNDO

1. Austrália
2. Cazaquistão
3. Canadá
4. Rússia
5. Níger
6. Brasil



Além de ser a **6ª maior reserva** de urânio do mundo, o Brasil é o único produtor de urânio no continente

711 milhões

de toneladas de CO₂ terão sua liberação impedida pelas centrais russas até 2030



Para se ter uma ideia, uma pessoa emite **1,6 tonelada** de CO₂ em um ano



Esta quantidade equivaleria a **mais de um ano de emissão** da população dos EUA

Fontes: EPE, Revista Exame e Observatório do Clima

Possibilidades de Expansão



Novos Projetos de Centrais Nucleares

Seleção de 2 sítios para construção de 6 reatores em cada.
Regiões: Nordeste e Sudeste



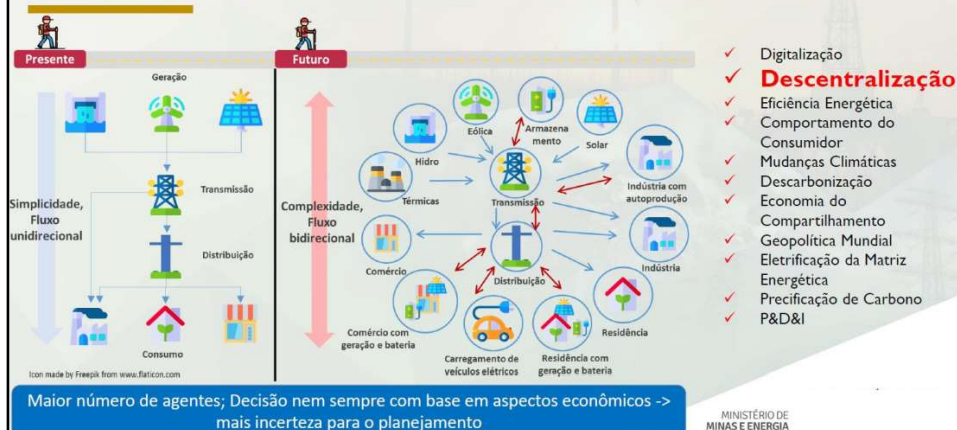
Total por sítio 6.600 MWe – 6x 1.100 MWe

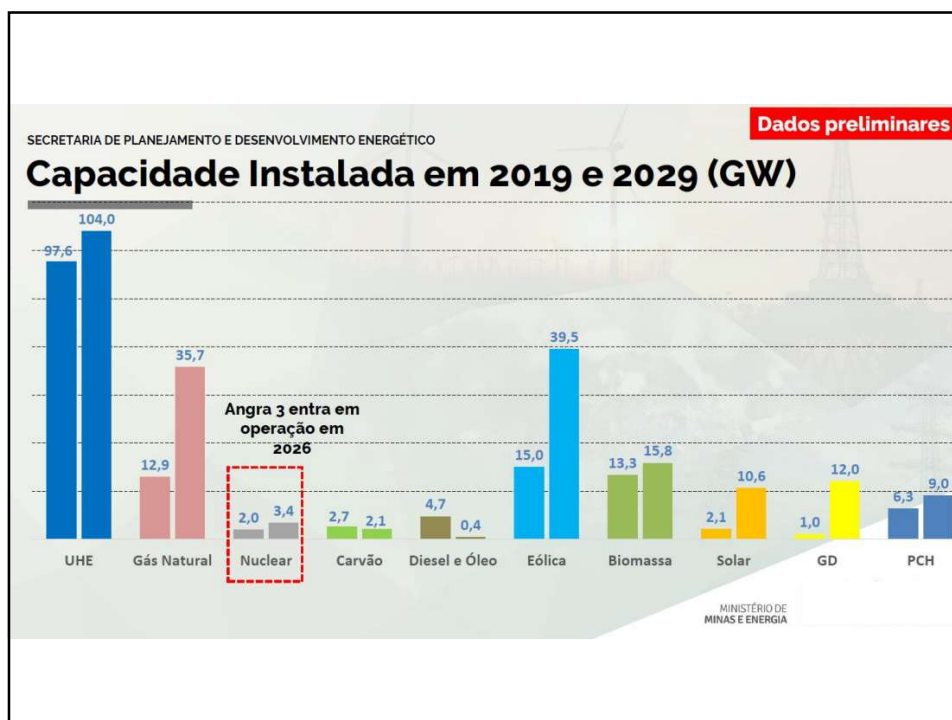
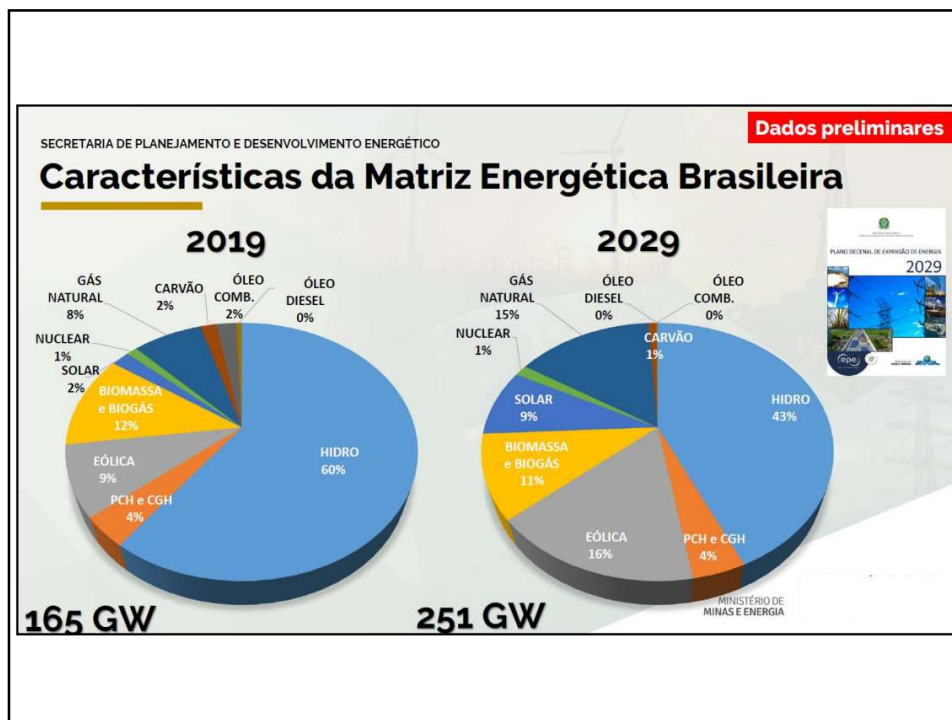
Investimento: R\$ 36-45 bilhões para os dois reatores



35

A estrutura presente e futura do setor elétrico





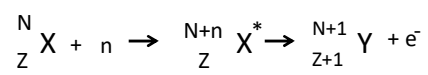
fissão

In Italy... In the 1930s...



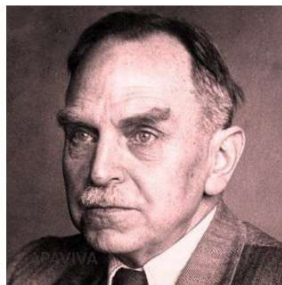
• Enrico Fermi was bombarding large Nuclei with neutrons and observing Their reaction products.

Typical Reaction - Nucleus gains a Proton:



Chemical Differences expected by Increasing the atomic number

- Uranium was the largest stable nucleus
- Fermi thought that he had created a transuranic element (element beyond uranium)
- But chemical analysis of the products
Confusing
- Work repeated in Berlin by
 - Lise Meitner
 - Fritz Strassmann
 - Otto Hahn



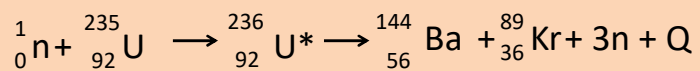
Lise Meitner, Otto Hahn, Fritz Strassman



Descoberta da Fissão

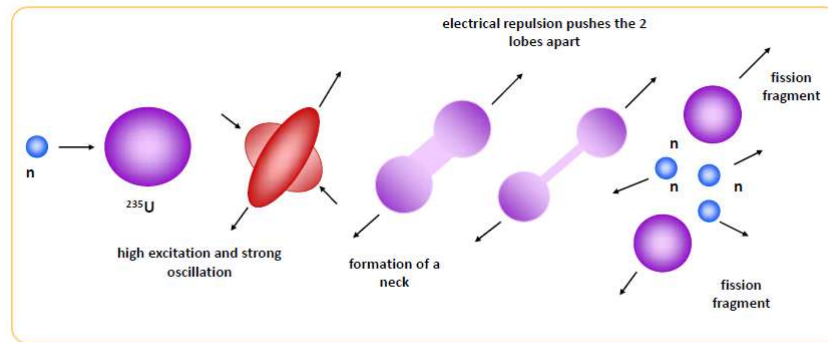
1938 – Todos os cientistas acreditavam que elementos com $Z > 92$ (elementos transurânicos) surgem quando os átomos de urânio são bombardeados com neutrons.

•Hahn-Meitner 1938

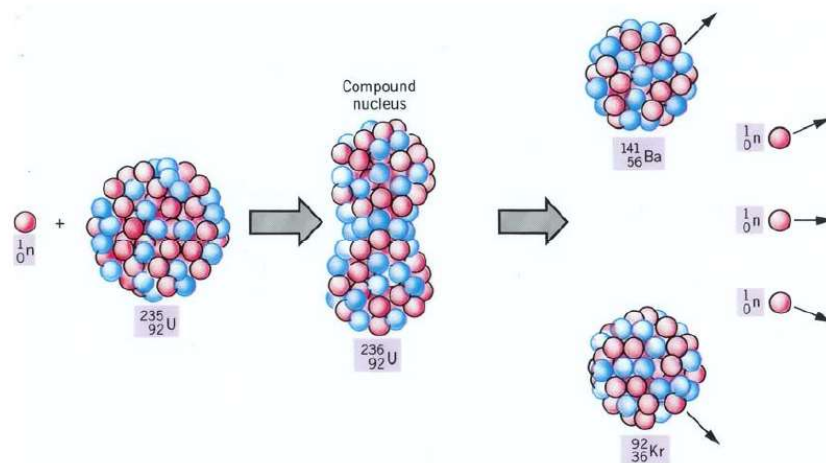


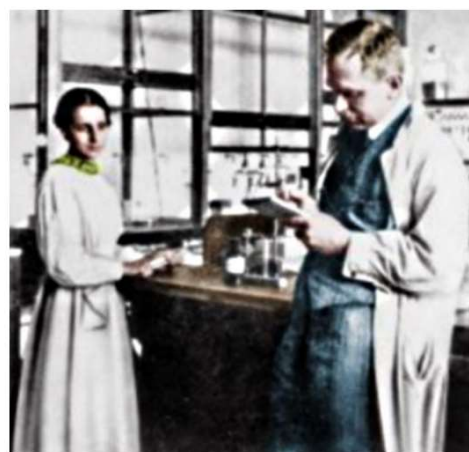
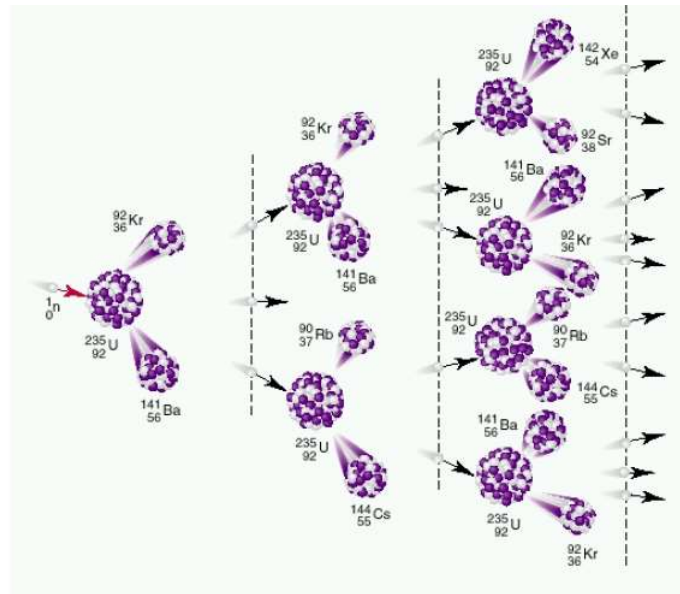
* Número médio de 2,4 neutrons

1944 – Otto Hahn recebe o Premio Nobel de Química
“for his discovery of the fission of heavy atomic nuclei”



Note: fission liberates about 200 MeV per atom!





Meitner e Hahn



Fig. 2 | A 1921 photograph taken at a party for James Franck (seated on the sofa in the centre) on the occasion of his moving from the Kaiser Wilhelm Institute in Berlin to the University of Göttingen. The molecular spectroscopist Hertha Sponer (far left) is chatting with Ingrid Franck. Seated on the right-hand side of the sofa is Lise Meitner, head of the physics section at the Kaiser Wilhelm Institute. Credit: American Institute of Physics Emilio Segrè Visual Archives, Aristid V. Grosse Collection

https://www.youtube.com/watch?v=pdIV_Qlqu80