



Energia Nuclear

Brenda Honório Mazzeu Silveira
Marilia Gabriela Marujo
Tiago Brandão

Agenda



- ▶ Energia Nuclear Brasil
- ▶ Energia Nuclear América Latina
- ▶ Energia Nuclear Mundial
- ▶ Bibliografia



Energia Nuclear No Brasil

Energia Nuclear: Plano Nacional de Energia 2050

- ▶ Potencial de acesso – PNE 2050

Administração da abundância (2): só a parcela dos recursos mais facilmente acessíveis excede em 60% a demanda de energia total acumulada do período.

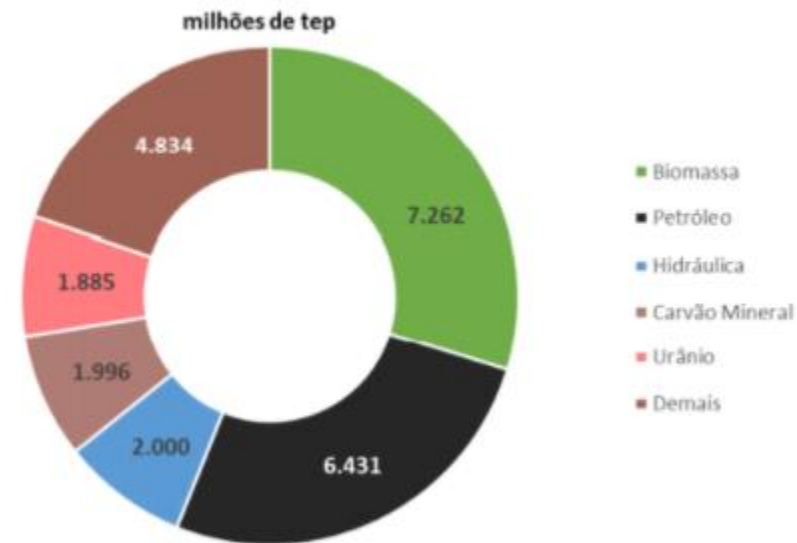


Figura 4 - Potencial de recursos mais facilmente acessíveis no horizonte de 2050

Fonte: Plano Nacional de Energia 2050 (MME; EPE, 2020, p. 19)

Energia Nuclear: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030

- Oferta Interna de Energia – PDE 2030

Tabela 11-2 - Evolução da oferta interna de energia no horizonte decenal

	2021		2025		2030		2021-2030
	mil tep	%	mil tep	%	mil tep	%	Variação Média (% a.a.)
Energia Não Renovável	148.766	51	163.176	50	190.729	52	3,1
Petróleo e Derivados	97.450	34	103.449	32	116.644	32	2,5
Gás Natural	33.101	11	40.196	12	49.903	14	4,7
Carvão Mineral e Derivados	13.476	5	14.420	4	15.799	4	2,5
Urânio (U ₃ O ₈) e Derivados	3.688	1	3.900	1	6.910	2	6,4
Outras Não renováveis	1.053	0	1.211	0	1.474	0	3,6
Energia Renovável	140.302	49	160.390	50	178.714	48	2,8
Hidráulica e Eletricidade	38.398	13	43.682	14	46.275	13	2,2
Lenha e Carvão Vegetal	24.260	8	26.425	8	26.465	7	1,0
Derivados da Cana-de-Açúcar	53.880	19	59.038	18	64.192	17	2,0
Outras Renováveis	23.764	8	31.245	10	41.782	11	6,9
Total	289.069	100	323.566	100	369.442	100	3,0

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021, p. 332)

Energia Nuclear: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030

► Oferta Interna de Energia – PDE 2030

Tabela 11-2 - Evolução da oferta interna de energia no horizonte decenal

	2021		2025		2030		2021- 2030
	mil tep	%	mil tep	%	mil tep	%	Variação Média (% a.a.)
Energia Não Renovável	148.766	51	163.176	50	190.729	52	3,1
Petróleo e Derivados	97.450	34	103.449	32	116.644	32	2,5
Gás Natural	33.101	11	40.196	12	49.903	14	4,7
Carvão Mineral e Derivados	13.476	5	14.420	4	15.799	4	2,5
Urânio (U₃O₈) e Derivados	3.688	1	3.900	1	6.910	2	6,4
Outras Não renováveis	1.053	0	1.211	0	1.474	0	3,6
Energia Renovável	140.302	49	160.390	50	178.714	48	2,8
Hidráulica e Eletricidade	38.398	13	43.682	14	46.275	13	0,5
Lenha e Carvão Vegetal	24.260	8	26.425	8	26.465	7	-0,1
Derivados da Cana-de-Açúcar	53.880	19	59.038	18	64.192	17	-0,5
Outras Renováveis	23.764	8	31.245	10	41.782	11	1,5
Total	289.069	100	323.566	100	369.442	100	3,0

Previsão de início da
operação comercial de
Angra III em 2026

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021, p. 332)

ENERGIA ELÉTRICA: PDE 2030

► Capacidade Instalada – PDE 2030

Tabela 11-10 - Síntese dos Resultados (cont.)

	2021	2025	2030	2021-2025		2026-2030		2021-2030	
				Incremento	%	Incremento	%	Incremento	%
Capacidade Instalada de Geração Elétrica ⁽⁶⁾ (GW)	186	197	236	11	6%	39	20%	50	27%
<i>Centralizada</i>	168	168	196	0	0%	28	17%	28	17%
<i>Hidráulica ⁽⁷⁾</i>	109	109	115	0	0%	6	5%	6	6%
<i>Térmica ⁽⁸⁾</i>	37	32	38	-5	-14%	6	19%	1	2%
<i>- Renovável</i>	14	15	15	1	7%	0	0%	1	7%
<i>- Não-Renovável</i>	23	17	23	-6	-26%	6	35%	0	0%
<i>Eólica</i>	17	20	32	3	18%	12	60%	15	88%
<i>Solar</i>	3	5	8	2	67%	3	60%	5	167%
Nuclear	2	2	3	0	0%	1	50%	1	50%
<i>Autoprodução e GD</i>	18	29	40	11	61%	11	38%	22	122%
<i>Renováveis ⁽⁹⁾</i>	12	23	33	10	77%	10	43%	20	154%
<i>Não-Renováveis</i>	5	6	7	1	24%	1	17%	2	40%

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021, p. 345)

ENERGIA ELÉTRICA: PDE 2030

► Capacidade Instalada – PDE 2030

Tabela 11-10 - Síntese dos Resultados (cont.)

	2021	2025	2030	2021-2025		2026-2030		2021-2030	
				Incremento	%	Incremento	%	Incremento	%
Capacidade Instalada de Geração Elétrica ⁽⁶⁾ (GW)	186	197	236	11	6%	39	20%	50	27%
<i>Centralizada</i>	168	168	196	0	0%	28	17%	28	17%
<i>Hidráulica ⁽⁷⁾</i>	109	109	115	0	0%	6	5%	6	6%
<i>Térmica ⁽⁸⁾</i>	37	32	38	-5	-14%	6	19%	1	2%
- <i>Renovável</i>	14	15	15	1	7%	0	0%	1	7%
- <i>Não-Renovável</i>	23	17	23	-6	-26%	6	35%	0	0%
<i>Eólica</i>	17	20	32	3	18%	12	60%	15	88%
<i>Solar</i>	3	5	8	2	67%	3	60%	5	167%
<i>Nuclear</i>	2	2	3	0	0%	1	50%	1	50%
<i>Autoprodução e GD</i>	18	29	40	11	61%	11	38%	22	122%
<i>Renováveis ⁽⁹⁾</i>	12	23	33	10	77%	10	43%	20	154%
<i>Não-Renováveis</i>	5	6	7	1	24%				

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021, p. 345)

Previsão de início da operação comercial de Angra III em 2026

ENERGIA ELÉTRICA: PDE 2030

- ▶ Geração de Energia Elétrica – PDE 2030

Tabela 11-3 - Geração total de eletricidade

Geração Centralizada	2021		2025		2030	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Hidráulica ⁽¹⁾	442	67	502	65	530	58
Gás Natural	18	3	20	3	32	4
Carvão	7	1	8	1	4	0
Nuclear	14	2	15	2	26	3
Biomassa	36	5	37	5	39	4
Eólica	65	10	79	10	128	14
Solar (centralizada)	8	1	11	1	21	2
Outros ⁽²⁾	8	1	10	1	13	1
Subtotal (atend. Carga)	598	90	682	88	792	87
Autoprodução & Geração Distribuída	2021		2025		2030	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Biomassa (biogás, bagaço de cana, lixívia e lenha)	30	5	36	5	43	5
Solar	7	1	22	3	32	3
Eólica	0,1	0	0,1	0	0,1	0
Hidráulica	4	1	6	1	9	1
Não renováveis	24	4	27	4	33	4
Subtotal (autoprod. & GD)	66	10	91	12	117	13
Total	663	100	773	100	909	100

Nota: (1) Inclui parcela importada de Itaipu.

(2) Inclui óleo diesel dos Sistema Isolados. Inclui RSU.

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021, p. 334)

ENERGIA ELÉTRICA: PDE 2030

- ▶ Geração de Energia Elétrica – PDE 2030

Tabela 11-3 - Geração total de eletricidade

Geração Centralizada	2021		2025		2030	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Hidráulica ⁽¹⁾	442	67	502	65	530	58
Gás Natural	18	3	20	3	32	4
Carvão	7	1	8	1	4	0
Nuclear	14	2	15	2	26	3
Biomassa	36	5	37	5	39	4
Eólica	65	10	79	10	128	14
Solar (centralizada)	8	1	11	1	21	2
Outros ⁽²⁾	8				13	1
Subtotal (atend. Carga)	598				792	87
Autoprodução & Geração Distribuída	2021		2025		2030	
	TWh	%	TWh	%	TWh	%
Biomassa (biogás, bagaço de cana, lixívia e lenha)	30	5	36	5	43	5
Solar	7	1	22	3	32	3
Eólica	0,1	0	0,1	0	0,1	0
Hidráulica	4	1	6	1	9	1
Não renováveis	24	4	27	4	33	4
Subtotal (autoprod. & GD)	66	10	91	12	117	13
Total	663	100	773	100	909	100

Previsão de início da operação comercial de Angra III em 2026

Nota: (1) Inclui parcela importada de Itaipu.
(2) Inclui óleo diesel dos Sistema Isolados. Inclui RSU.

Fonte: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 (EPE, 2021, p. 334)

Pontos de Destaque

- ▶ O país é privilegiado na oferta do recurso, com grandes reservas de Urânio;
- ▶ Quadro técnico experiente e com conhecimento acerca da tecnologia;
- ▶ O Brasil detém pleno conhecimento dessa tecnologia, desde a mineração até a fabricação do combustível;
- ▶ Aliada na mitigação de GEEs;
- ▶ Amplia a resiliência e robustez dos sistemas elétricos na transição energética; e
- ▶ Especialmente no cenário de aumento da participação de renováveis.

Pontos de Desafios

- ▶ Atualizar o modelo de negócio, arcabouço legal e marco regulatório;
- ▶ Gestão de resíduos radioativos;
- ▶ Reduzir o custo de sua implantação.

Operação Comercial das Usinas Nucleares

1985

- Entrou em operação comercial a usina de Angra 1

2000

- Entrou em operação comercial a usina de Angra 2

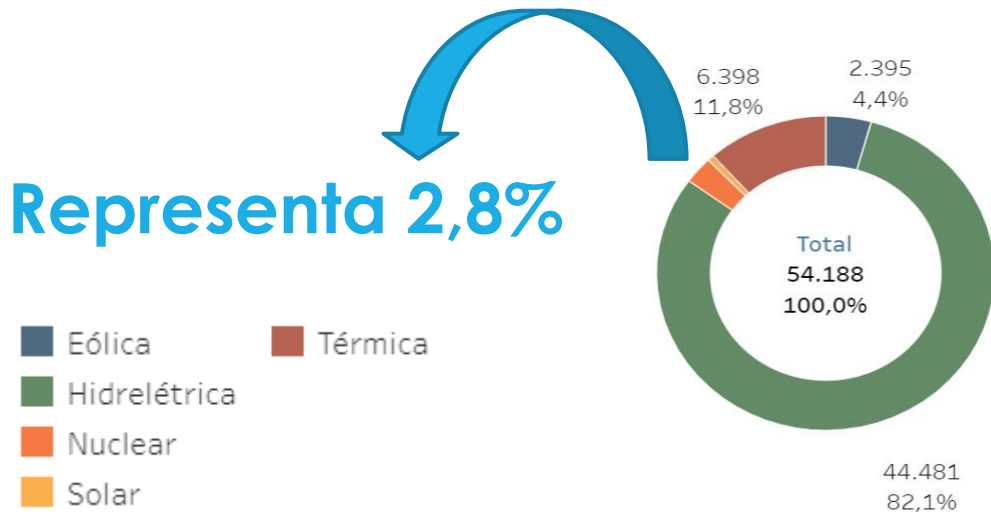
2026

- Construção prevista para retomar em 2020, e previsão de início das operações comerciais em 2026, segundo o Plano Nacional de Energia 2050. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2030 aponta a necessidade da construção de novas centrais nucleares

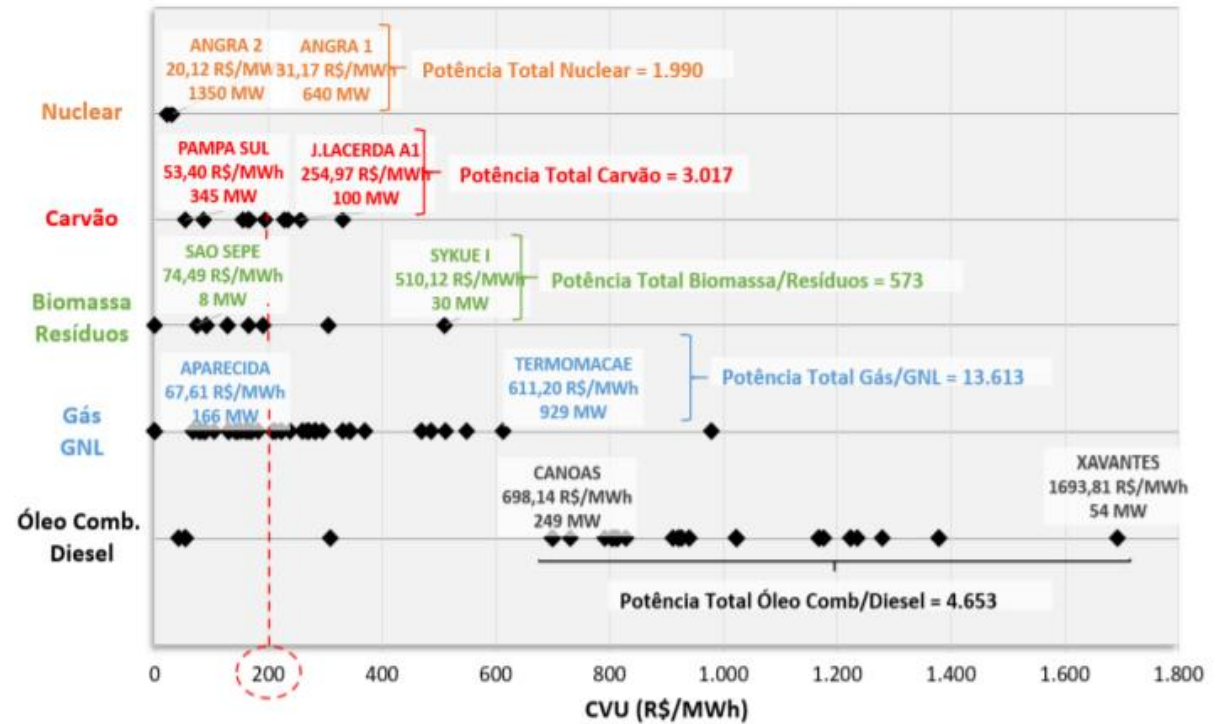
Energia Nuclear na Matriz Energética Brasileira

Representa 2,8%

Geração de Energia Tipo de Usina



44.481
82,1%



Distribuição dos CVUs por Fonte

Fonte: ONS 2021

Fonte: ONS 2020

Comercialização da Energia

- ▶ A energia produzida pelas usinas Angra 1 e Angra 2 é comercializada com todas as distribuidoras de energia do Sistema Interligado Nacional (SIN), em regime de cotas-partes.
- ▶ A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) define anualmente as proporções destas cotas-partes



Energia Nuclear Na América Latina

Nuclear share:



A ENERGIA NUCLEAR na América Latina representa uma pequena porção das cadeias energéticas na região.

Em comparação aos Estados Unidos, que tem 447 plantas, a região possui no total sete plantas instaladas.

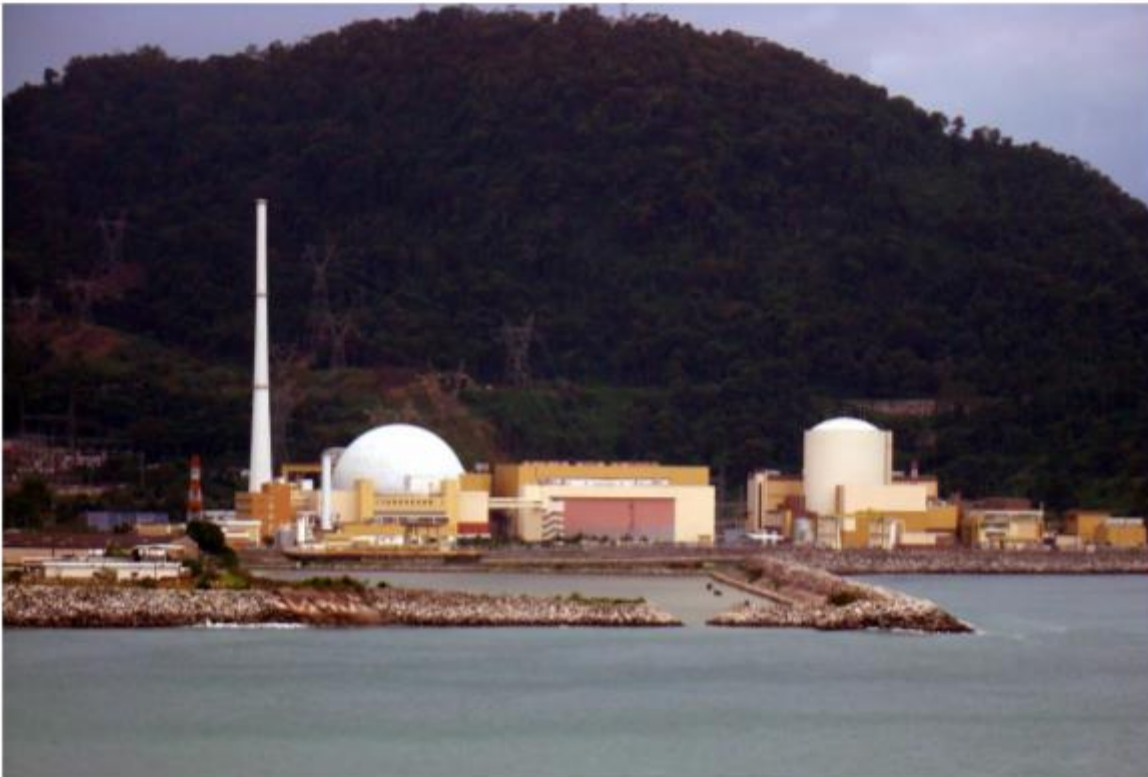
Alguns dos fatores que levam a energia nuclear ser uma baixa opção na América Latina:

- Segurança (principalmente do acidente de Fukushima Daiichi/2011);
- Acordo de não proliferação nuclear;
- Abundância em recursos naturais;
- Pouco recurso financeiro para desenvolver a cadeia.

PAÍS NA AMÉRICA LATINA	PARTICIPAÇÃO DA ENERGIA NUCLEAR - %
MÉXICO	6,8
ARGENTINA	4,8
BRASIL	2,8
ESTADOS UNIDOS	19,5

Fonte: INTERNACIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - 2015

Energia Nuclear Na América Latina



Fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Angra1.jpg>

A história da energia nuclear na América Latina começou entre as décadas de 1950 e 1960 com programas estabelecidos na Argentina, Brasil e México.

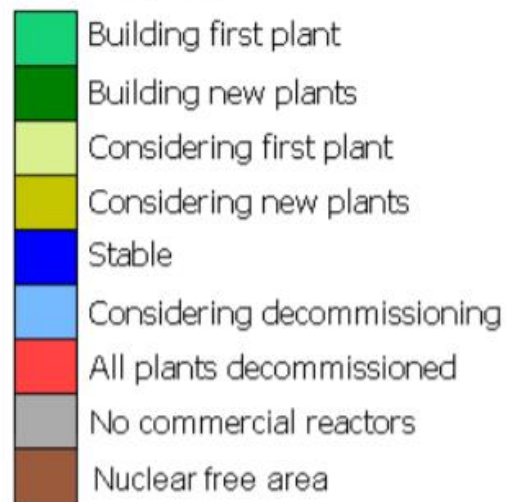
Energia Nuclear Na América Latina



Fonte: <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/ezquerro1/images/f1big.jpg>

A primeira planta energética na América Latina foi o reator de Atucha em 1974 na Argentina seguida de outras 2 plantas. O Brasil construiu a sua primeira planta em 1982 a Angra I e em 2000 construiu a segunda planta Angra II e o México que construiu suas plantas em 1989 e 1994.

Status of commercial nuclear power



Fonte: <http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/choi-e2/images/f1big.png>

De uma maneira geral, a América Latina corresponde há uma pequena porcentagem da produção energia nuclear mundial, além disso a energia nuclear responde por apenas uma pequena parte da produção de energia da América Latina.

Após o interesse em desenvolvimento de energia nuclear surgiram políticas públicas nas décadas de 1950 e 60 que possibilitaram as plantas que foram construídas nas décadas de 1970, 80 e 90.

Entre os anos de 2000 até 2010, com algumas fábricas chegando ao fim de sua vida útil, alguns países decidiram buscar parcerias com outras nações para construir instalações adicionais, enquanto novos países buscavam adotar a tecnologia.

Na esteira do desastre de Fukushima Daiichi, no entanto, o apoio político diminuiu, e muitos países interessados cancelaram os próximos projetos, enquanto outros descobriram que as formas tradicionais de energia são menos caras e mais atraentes.

Energia Nuclear no Mundo

	tonnes U	percentage of world
Australia	1,692,700	28%
Kazakhstan	906,800	15%
Canada	564,900	9%
Russia	486,000	8%
Namibia	448,300	7%
South Africa	320,900	5%
Brazil	276,800	5%
Niger	276,400	4%
China	248,900	4%
Mongolia	143,500	2%
Uzbekistan	132,300	2%
Ukraine	108,700	2%
Botswana	87,200	1%
Tanzania	58,200	1%
Jordan	52,500	1%
USA	47,900	1%
Other	295,800	5%
World total	6,147,800	

Fonte: [world nuclear org](http://world-nuclear.org) - 2019

Reserva de Recurso Mundial

- ▶ Encontram-se vestígios de urânio em muitos pontos da crosta terrestre. O minério de urânio mais comum e importante é a uraninita, composta por uma mistura de UO_2 com U_3O_8 . (O maior depósito do mundo de uraninita situa-se nas minas de Leopoldville no Congo, na África). Outros minerais que contêm urânio são a euxenita, a carnotita, a branerita, a torbernite, e a coffinita. Os países com maiores reservas de urânio são: Austrália, Cazaquistão, Canadá, Rússia, Namíbia, África do Sul, China, Niger e Brasil, nesta ordem (fonte: World Nuclear Association).

Fonte: [INB](#)

Energia Nuclear Mundial

Reatores

Operação



393,068 MWe

Participação da Geração
Global de Eletricidade



10.5 %

Reatores em
Construção

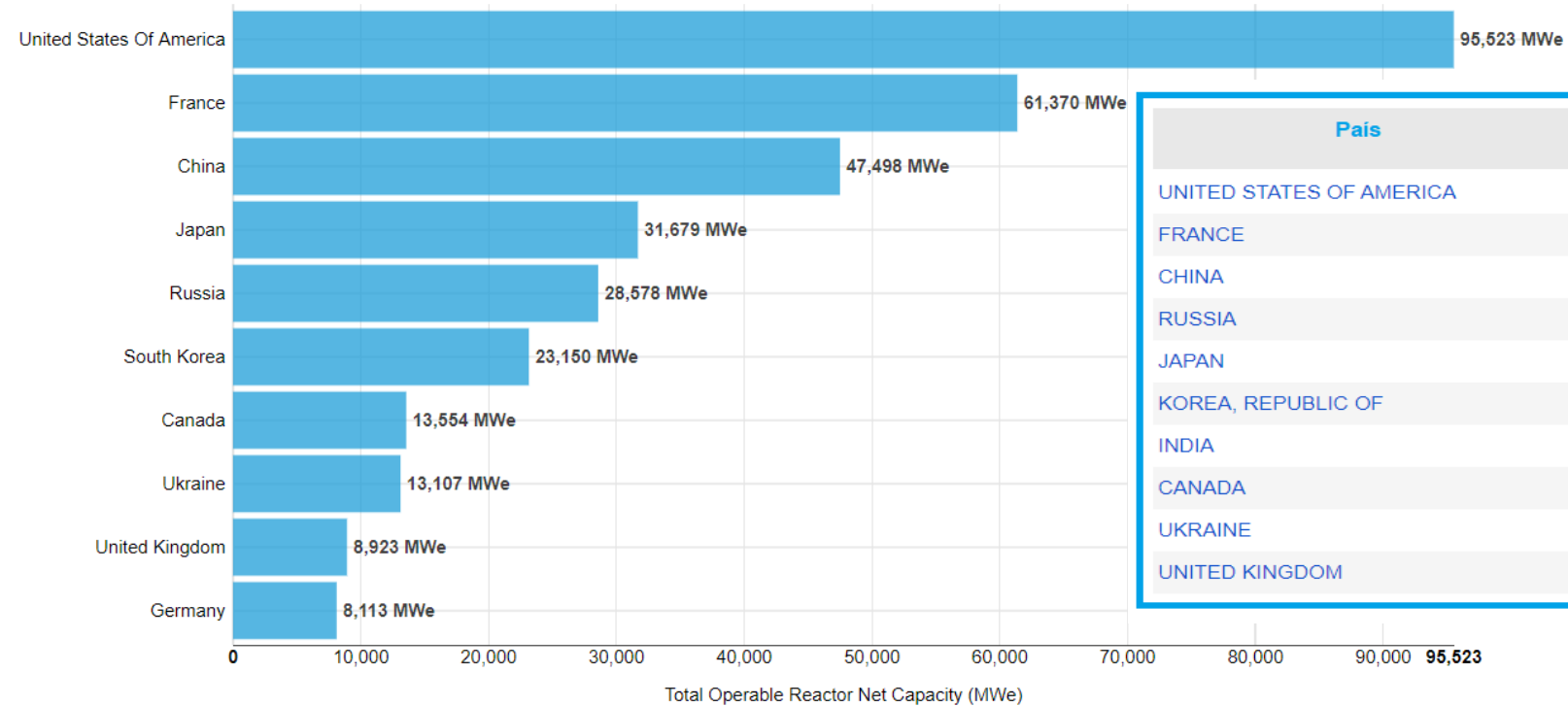


54,515 MWe

Fonte: [World Nuclear Org](http://WorldNuclear.Org) e [PRIS IAEA Org](http://PRIS.IAEA.Org)

Energia Nuclear Mundial

Capacidade total do reator operacional (10 países)



País	Número de Reatores	Capacidade Elétrica Total [MW]
UNITED STATES OF AMERICA	93	95523
FRANCE	56	61370
CHINA	50	47518
RUSSIA	38	28578
JAPAN	33	31679
KOREA, REPUBLIC OF	24	23172
INDIA	23	6885
CANADA	19	13554
UKRAINE	15	13107
UNITED KINGDOM	15	8923

Fonte: PRIS [IAEA Org](#)

Fonte: [World Nuclear Org](#)

America-Northern		MW(e)	
Reactors in operation	0	0	
Reactors under construction	1	60	

Europe-Western		MW(e)	
Reactors in operation	0	0	
Reactors under construction	2	70	

Europe-Central & Eastern		MW(e)	
Reactors in operation	1	5	
Reactors under construction	0	0	

Asia-Far East		MW(e)	
Reactors in operation	0	0	
Reactors under construction	0	0	

Asia-Middle East & South		MW(e)	
Reactors in operation	0	0	
Reactors under construction	0	0	

America-Latin		MW(e)	
Reactors in operation	0	0	
Reactors under construction	0	0	



Africa		MW(e)	
Reactors in operation	0	0	
Reactors under construction	0	0	

Asia-South East & Pacific		MW(e)	
Reactors in operation	0	0	
Reactors under construction	0	0	

 1
 5
 MW(e)
 RUSSIA

1954

Nuclear Power Status

 Reactors in operation: 1
 Capacity: 5 MW(e)



Fonte: [PRIS IAEA Org](https://www.iaea.org/)



America-Northern MW(e)

Reactors in operation	115	111 706
Reactors under construction	2	2 234

Europe-Central & Eastern MW(e)

Reactors in operation	73	53 561
Reactors under construction	11	10 809

Europe-Western MW(e)

Reactors in operation	109	107 193
Reactors under construction	4	6 450

Asia-Far East MW(e)

Reactors in operation	109	104 213
Reactors under construction	19	21 177

Asia-Middle East & South MW(e)

Reactors in operation	28	8 488
Reactors under construction	16	15 366

America-Latin MW(e)

Reactors in operation	7	5 077
Reactors under construction	2	1 365

Africa MW(e)

Reactors in operation	2	1 860
Reactors under construction	0	0

Asia-South East & Pacific MW(e)

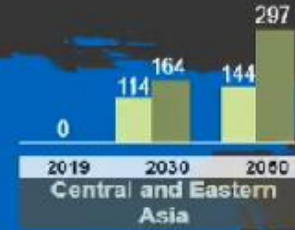
Reactors in operation	0	0
Reactors under construction	0	0

2019 Nuclear Power Status

■ Reactors in operation: 443
 ⚡ Capacity: 392 098 MW(e)

Fonte: [PRIS IAEA Org](https://www.iaea.org/PRIS)

Projections



2050

Worldwide Capacity

- Low : 363 GW(e)
- High: 715 GW(e)

Fonte: PRIS IAEA Org



Power Reactor
Information
System

PRIS

Pontos Favoráveis

- ▶ Não causa aumento no efeito estufa;
- ▶ Aumento da diversificação da matriz energética;
- ▶ Combustível mais barato frente aos hidrocarbonetos;
- ▶ Energia produzida com 10kg de oxido de uranio é equivalente a energia produzida por 1 tonelada de petróleo (BEN, p. 152 - EPE, 2005); e
- ▶ Segurança de Suprimento Energético, não é fonte intermitente.

Pontos Desfavoráveis

- ▶ Pressão social contra a implementação de usinas nucleares, devido aos dois grandes acidentes Chernobyl em 1986 e Fukushima em 2011;
- ▶ Custo na implementação de uma usina nuclear;
- ▶ Dificuldade no descarte do resíduo nuclear;
- ▶ Aspectos sócios ambientais na mineração de urânio:
 - ▶ Contaminação das águas e;
 - ▶ Contaminação dos trabalhadores.

Acidentes Ocorridos

- ▶ 1977 **Bohunice** – Tchécoslováquia (Combustível sofreu superaquecimento, levando à corrosão do reator) Nível 4.
- ▶ 1979 - **Three Mile Island** (Usina sofreu superaquecimento devido a um problema mecânico) – Nível 5
- ▶ 1986 - **Chernobil** (Super aquecimento, explosão a vapor, fogo e colapso, obrigando à evacuação de 300 mil pessoas e dispersando o material radioativo em toda Europa) – Nível 7
- ▶ 2011 – **Fukushima** (Após terremoto três dos seis reatores sofrem danos) Nível 7.

Futuro da Energia Nuclear

- ▶ Estudo com fusão nuclear podem ser o futuro para espaçonaves e viagens entre os planetas



Referências

MME; EPE. Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2021;

MME; EPE. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: Ministério de Minas e Energia/Empresa de Pesquisa Energética, 2020;

Choi E. Lack of Nuclear Energy Development in Latin America, Maio 2018;

Esquerro C.: Nuclear Energy in Latin America. PH241 Stanford University; 2019

Introduction Latin American and Nuclear Energy – IAEA Vol.18 no. 3/4;

Ezquerro C. Nuclear Energy in Latin America, março. 2019;

Geração de Energia, ONS, 2021 –

http://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx;

Referências

Plano de Operação Energética 2020/2024 (ONS, 2020, p.14)

http://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/REVISTA_PEN%202020_versao20201112.pdf;

The Database on Nuclear Power Reactors, IAEA, 2021 – <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx#>

Operational & Long-Term Shutdown Reactors, IAEA, 202 -

<https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>

Reactor Database, World Nuclear Org, 2021 -

<https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/reactor-database.aspx>;

Supply of Urânio, World Nuclear Org, 2020 - <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>

Geração Nuclear, Eletronuclear, 2021 - <https://www.eletronuclear.gov.br/Paginas/default.aspx>; e

Referências

Usina Termonuclear Angra 3, PPI GOV, 2021 -

<https://www.ppi.gov.br/usina-termonuclear-angra-3-central-nuclear-almirante-alvaro-alberto-cnaaa-praia-de-itaorna-em-angra-dos-reis-rj>;

Urânio, INB, 2020 – INB - <https://www.inb.gov.br/Contato/Perguntas-Frequentes/Pergunta/Conteudo/onde-o-uranio-e-encontrado?Origem=426>.

<http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/ezquerro1/images/f1big.jpg> - acessado em 11/05/2021

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Angra1.jpg> - acessado em 11/05/2021

<http://large.stanford.edu/courses/2018/ph241/choi-e2/images/f1big.png> - acessado em 11/05/2021

<https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WEOCSAM&fuel=Energy> - acessado em 26/04/2021

Obrigado