

A stylized blue silhouette of a globe showing the continents of North and South America, enclosed within a circular border. The globe is set against a white circular background that is part of a larger decorative graphic on the left side of the slide. This graphic consists of a large white circle with a blue border, and a blue circular area above it containing a repeating pattern of stylized, overlapping leaf or petal shapes.

HIDROELETRICIDADE

PEN 5002 – Recursos e Ofertas de Energia
PROF: Célio Bermann/Virginia Parente

Andréa Damico
Lúcio Resende
Marcos Soares

Abril/21



HIDROELETRECIDADE- MUNDO

Funcionamento de Hidrelétricas e Maiores Usinas do Mundo

Figura 1: Esquemático do funcionamento de hidrelétricas
Fonte: Pinterest (2021)

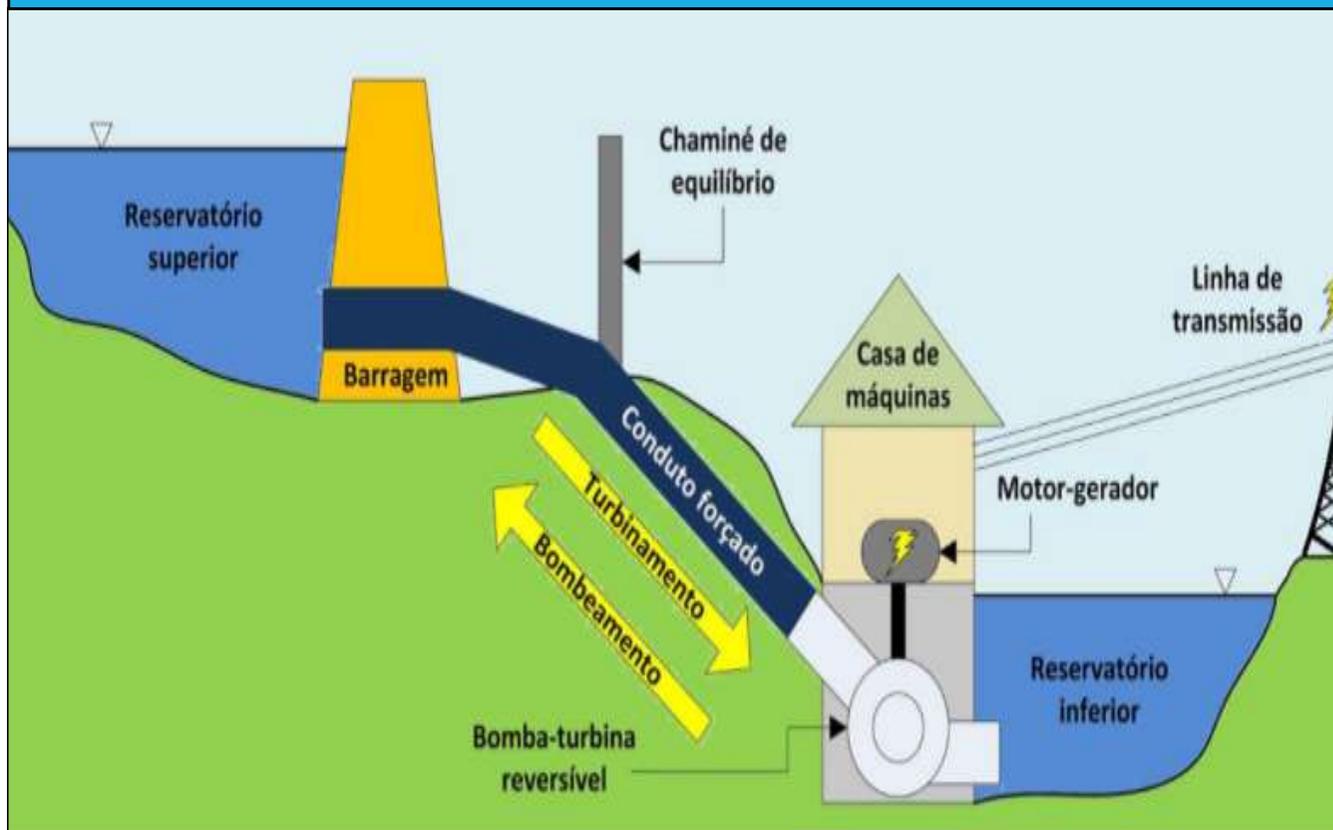


Tabela 1: Usinas com maiores capacidades instaladas do mundo (em MW)
Fonte: Pena (2021)

1°	Usina de Três Gargantas	– China (18.200 MW).
2°	Usina de Itaipu	– Brasil (14.000 MW).
3°	Belo Monte	– Brasil (11.233MW)
4°	Guri	– Venezuela (10.200 MW)
5°	Tucuruí I e II	– Brasil (8.370 MW)
6°	Grand Coulee	– Estados Unidos (6.494MW)
7°	Sayano-Shushenskaya	– Rússia (6.400MW)
8°	Krasnoyarsk	– Rússia (6.000MW)
9°	Churchill Falls	– Canadá (5.428 MW)
10°	Usina La Grande 2	– Canadá (5.328 MW)

Disponibilidade da Água no Mundo

Figura 2: Disponibilidade de água no mundo
Fonte: Gadonneix (2010)

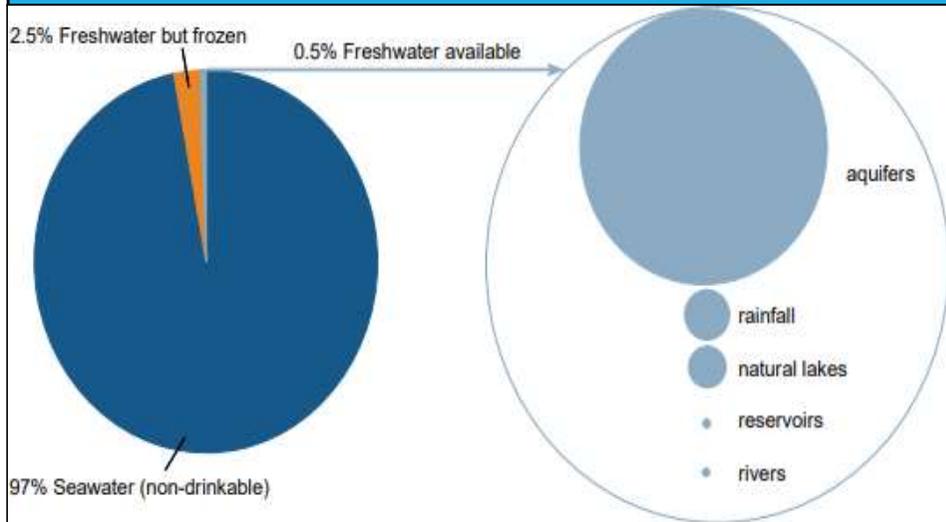


Figura 3: Disponibilidade de água doce no mundo em 2012
(bilhões de m³)
Fonte: World Bank Group (2021)



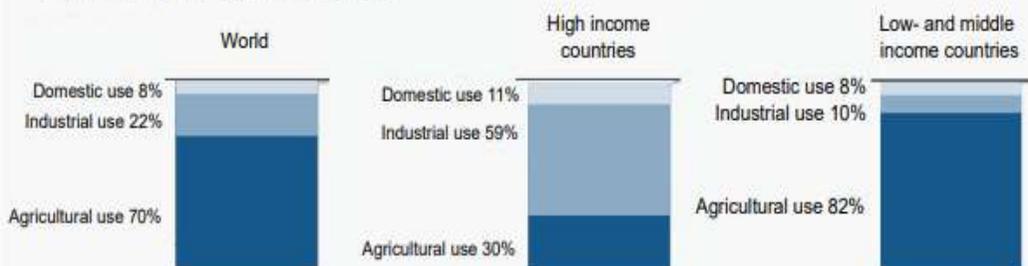
- 97% da água do planeta está no oceano e 0,5% da água do planeta é doce (rios, aquíferos, lagos).
- 56% da água doce da terra encontra-se em 10 países.
- América Latina e Central contém 32,4 % de toda reserva de água doce; Leste Asiático detém 23,6%.
- Poucas reservas no Oriente Médio e Norte da África → impacta nos diversos usos → inclusive geração de energia

Ciclo da Água

Figura 4: Usos da água por grupos de países baseados na renda

Fonte: Gadonneix (2010)

Industrial use of water increases with country income, going from 10% for low- and middle-income countries to 59% for high-income countries.



--- Países ricos: focos em atividades industriais

EUA:

---36% Agricultura (2015); 51% Industria (2014); 13% residencial (2015)

--- Países pobres: foco na produção de alimentos

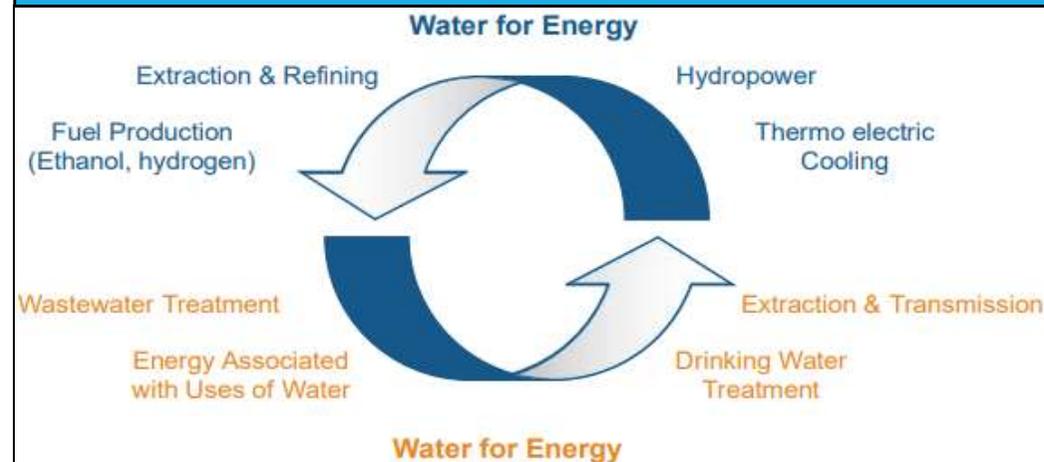
BRASIL:

--- 60% Agricultura (2015); 17% Industria (2014); 23% residencial (2015)

Fonte: World Bank Group (2021).

Figura 5: Interdependência entre energia e água

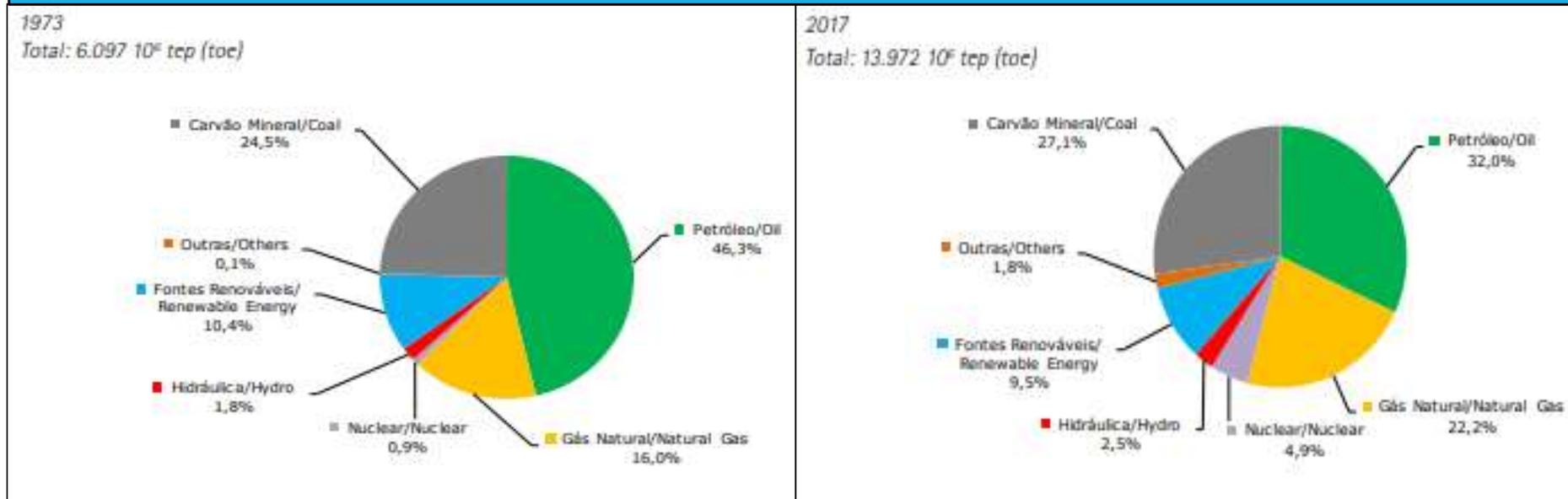
Fonte: Gadonneix (2010)



- Ideia de ciclo → Mesma água para diversos usos
- Água é uma fonte para **geração de energia --> hidrelétricas**
- Energia facilita o acesso a água → conseqüentemente o **desenvolvimento das atividades produtivas.**

Oferta Energética por Fonte no Mundo

Figura 6: Oferta de Energia por Fonte
Fonte: EPE (2020)



- Carvão e petróleo reduziram participação na oferta de energia mundial, apesar de ainda serem as fontes que mais contribuem na oferta → emissão de gases de efeito estufa
- Aumento significativo da participação da nuclear e do gás natural na oferta de energia
- Hidrelétrica não apresentou aumento significativo, considerando o total percentual de participação (1973: 1,8% → 2017: 2,5%) → dificuldades envolvendo restrições ambientais e locais.

Capacidade Instalada de Usinas Hidrelétricas no Mundo

Figura 7: Geração de eletricidade a partir de hidrelétricas
Fonte: Gadonneix (2010)

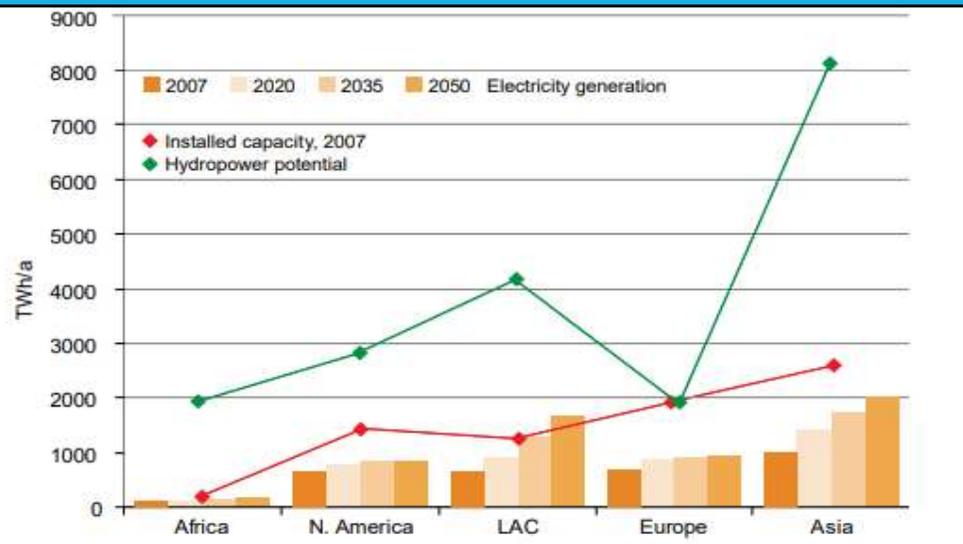
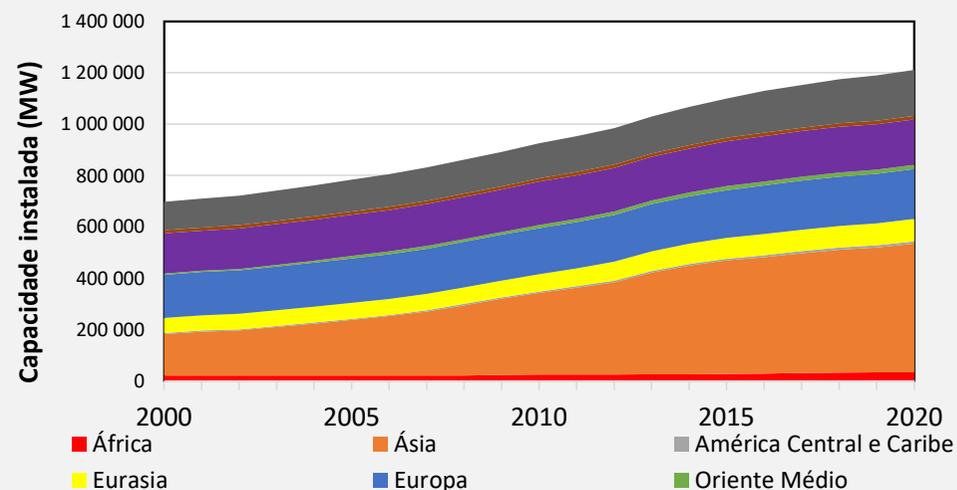


Figura 8: Evolução da capacidade instalada mundial – 2000 a 2020 (em MW)
Fonte: IRENA (2021)



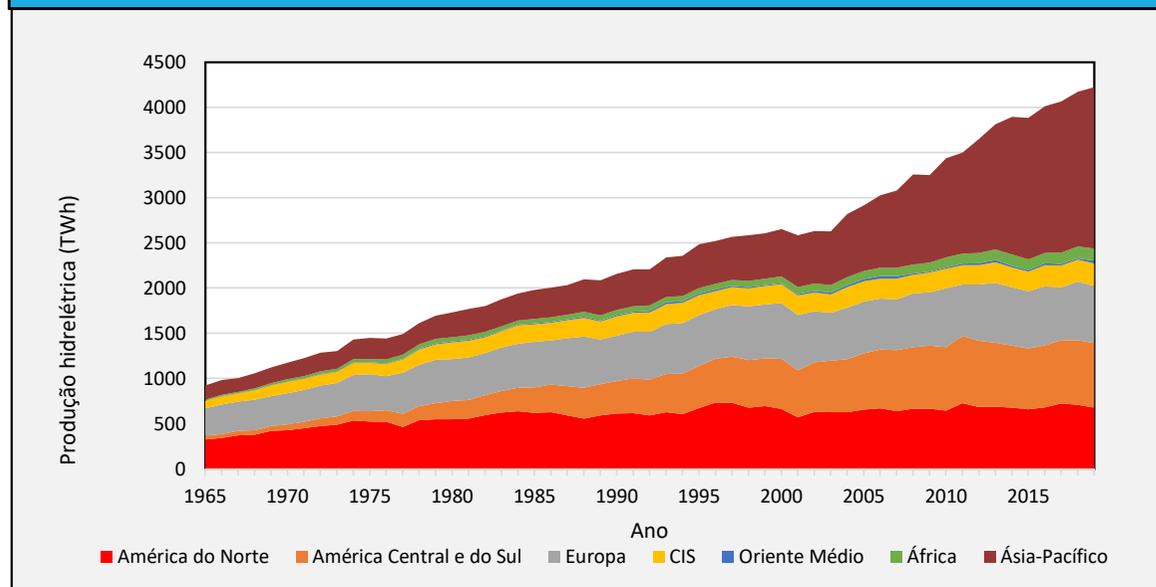
- Ásia apresenta o maior potencial hidrelétrico entre os continentes → **Grande potencial de expansão de hidrelétricas.**
- América Latina: apesar de ser o segundo continente com maior potencial hidrelétrico, ela é apenas o 4º em capacidade instalada.
- Europa aproveita todo o seu potencial hidroelétrico.

Cenário retrospectivo:

- Ásia apresentou uma adição significativa em termos de capacidade instalada → China com papel de destaque → + 265 488 MW
- Segundo continente com maior adição de capacidade instalada → América do Sul → + 68 227 MW.

Evolução da Produção Mundial de Hidroeletricidade

Figura 9: Evolução da produção de hidroeletricidade mundial – 1965 – 2019 (em TWh)
 Fonte: BP (2020)



--- Ásia apresenta maior crescimento na produção de hidroeletricidade no cenário, impulsionada pela construção de grandes usinas na China.

→ Atualmente, o país é o que apresenta a maior produção.

--- América do Sul e Central: crescimento da produção de hidroeletricidade, especialmente a partir da década de 1980

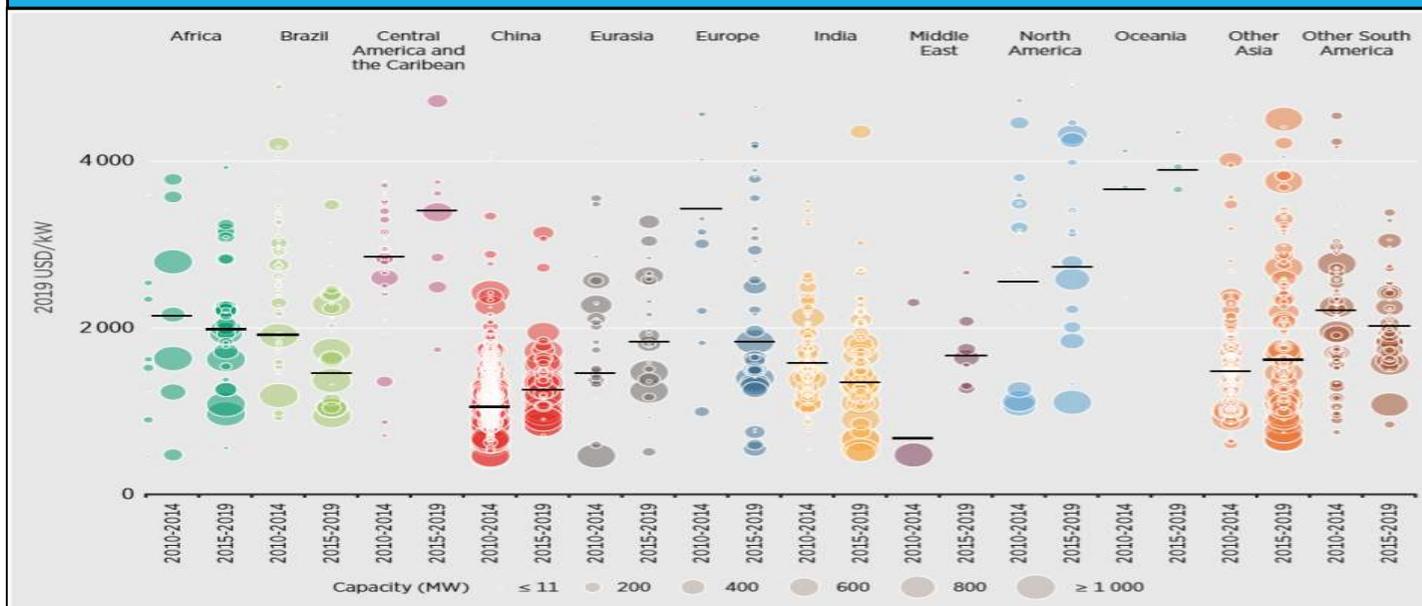
→ Brasil nem aparecia na lista em 1965; hoje ocupa o 2º lugar.

Tabela 2 - Principais países geradores de hidroeletricidade : (a) 1965; (b) 2019 (em TWh)
 Fonte: BP (2020)

1965		
País	Produção (TWh)	% de participação
Estados Unidos	199,0	22%
Canadá	118,1	13%
União Soviética	81,4	9%
Japão	76,1	8%
Noruega	49,5	5%
França	46,9	5%
Suécia	46,4	5%
2019		
País	Produção (TWh)	% de participação
China	1269,7	30%
Brasil	399,3	9%
Canada	382,0	9%
Estados Unidos	271,2	6%
Rússia	194,4	5%
Índia	161,8	4%
Noruega	125,3	3%

Custos de Instalação de Hidrelétricas

Figura 10: Custos totais de instalação para grandes hidrelétricas pelo mundo entre 2010 – 2019 (U\$D/kW)
Fonte: IRENA (2020)



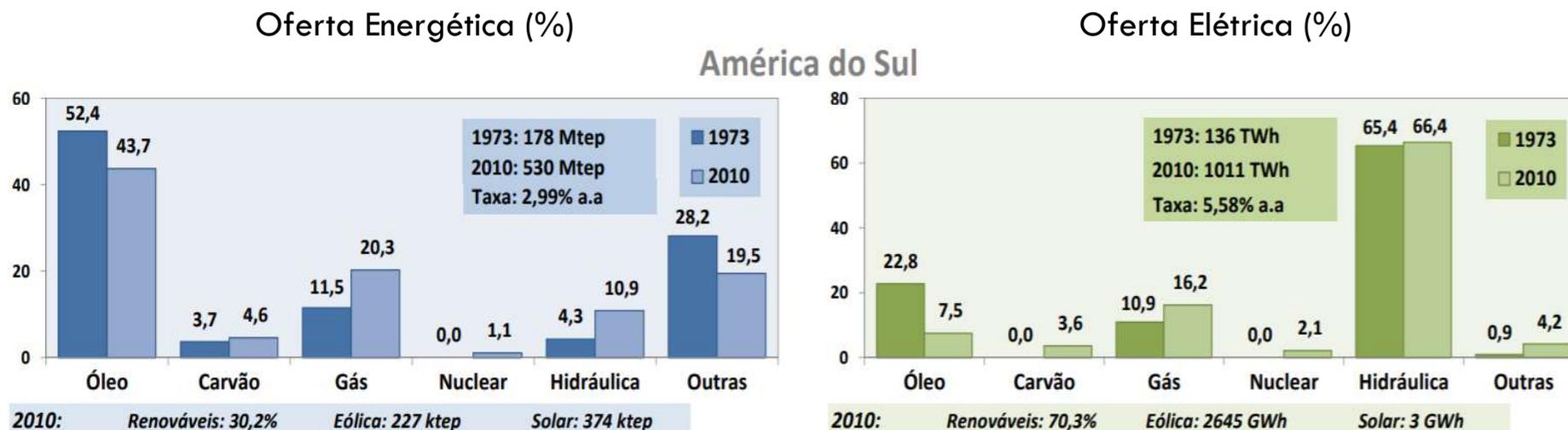
- Envolve custos de mão-de-obra, equipamentos mecânicos, planejamento, conexões com a rede e custos com a terra.
- Custos totais de instalação mais baixos na China, Índia e no Brasil; mais elevados na América Central e Oceania (tendem a ter menor capacidade instalada).
- Custos baixos no Brasil
 - Não-realização de obras de grandes reservatórios. Utilização de usinas a fio d'água
 - Expertise das equipes de engenharia brasileiras.



HIDROELETRECIDADE — AMÉRICA DO SUL

Oferta Energética e Elétrica da América do Sul

Figura 11: Comparação das ofertas energética e elétrica dos países sulamericanos por fonte –1973/2011
Fonte: MME (2012)



--- Oferta energética:

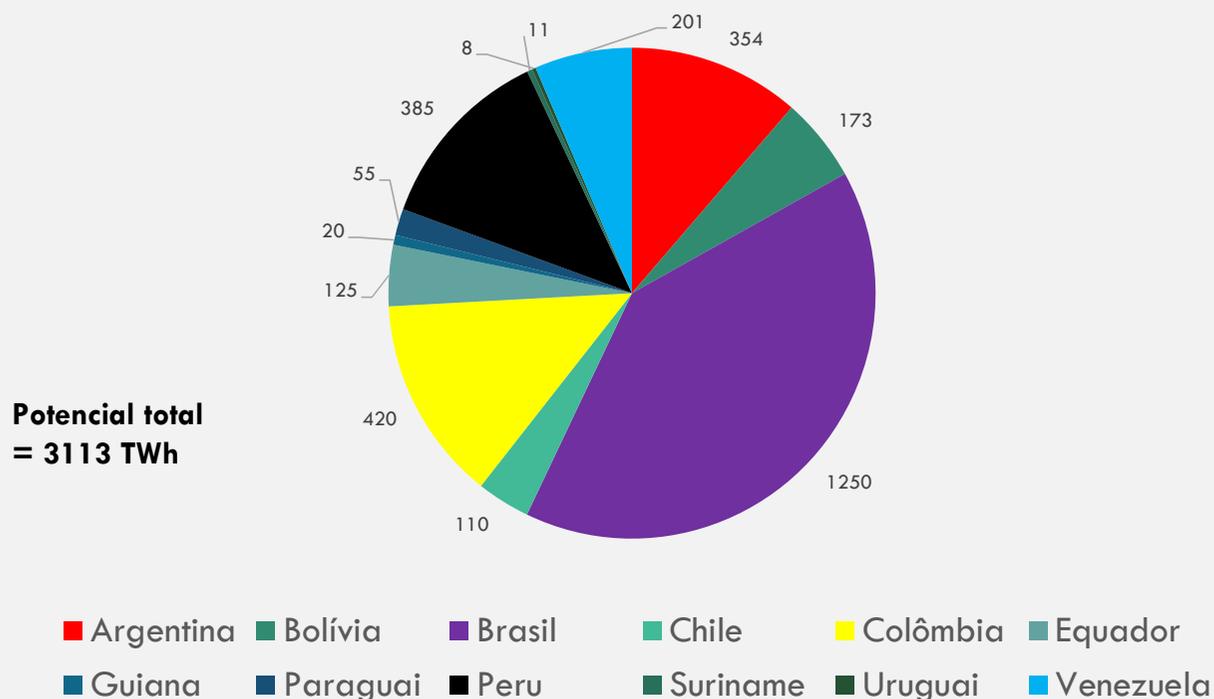
- Crescimento da participação percentual da fonte hidráulica: 4,3% (1973) → 10,9% (2010), bem como do gás natural
- Petróleo é a fonte energética com maior representatividade na matriz → emissão de gases poluentes

--- Oferta elétrica:

- Predomínio da fonte hidráulica (com mais de 65% em ambos os cenários).
- Redução da participação do petróleo para geração de eletricidade: 22,8% (1973) → 7,5% (2010)

Potencial Hidrelétrico da América do Sul

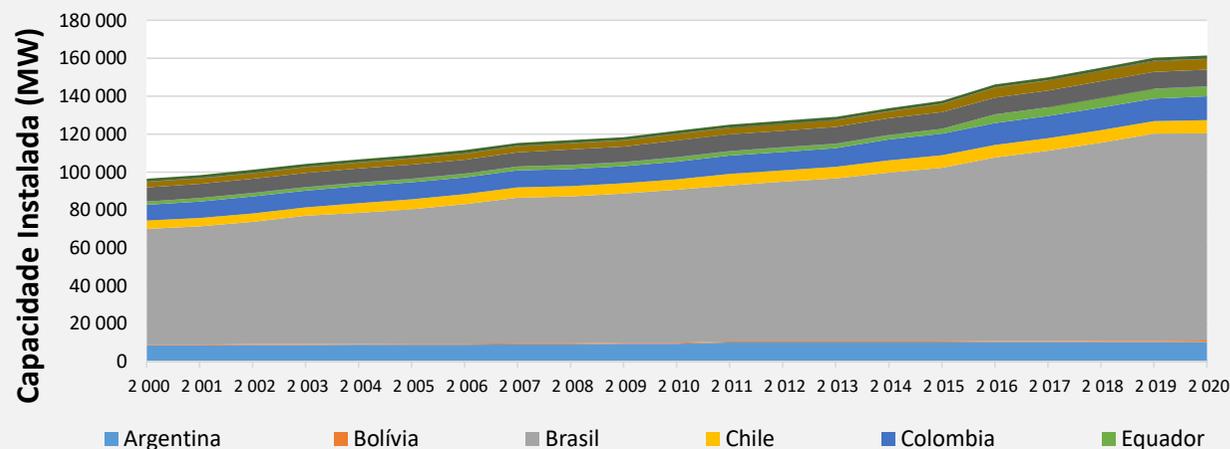
Figura 12: Potencial hidrelétrico nos países sul-americanos - 2010
Figura Fonte: OLADE (2021)



--- Em 2010, o continente tinha um potencial hidrelétrico de 3113 TWh. O Brasil apresenta cerca de 40% das reservas hídricas do continente, enquanto a Colômbia e o Peru possuem, respectivamente 13% e 12% da disponibilidade de água da América do Sul
→ Brasil, Colômbia e Peru juntos somam cerca de 22% da água doce disponível no mundo e estão entre os 10 países com maiores reservas.

Capacidade Instalada Hidrelétrica da América do Sul

Figura 13: Evolução da Capacidade Instalada 2000 a 2020 (em MW)
 Fonte: IRENA (2021)



- Brasil foi responsável por $\frac{3}{4}$ do aumento da capacidade instalada de usinas hidrelétricas considerando todos os países do continente no cenário
- Paraguai, apesar de contar com a presença de Itaipu, quase não apresentou aumento de capacidade instalada.
- Equador aumentou em aproximadamente 3 vezes a capacidade instalada, contudo permanece na sexta posição na América do Sul.

Tabela 2 - Principais países em capacidade instalada: (em MW)
 Fonte: IRENA (2021)

2000		
	Capacidade instalada (MW)	% do total
Brasil	61063,0	56%
Argentina	8607,2	8%
Colombia	8275,0	8%
Paraguai	7390,0	7%
Chile	4430,0	4%
Peru	2856,9	3%
Equador	1714,62	2%

2020		
	Capacidade instalada (MW)	% do total
Brasil	109318,4	61%
Colombia	12611,3	7%
Argentina	10374,1	6%
Paraguai	8810,0	5%
Chile	6934,3	4%
Peru	5735,2	3%
Equador	5097,75	3%

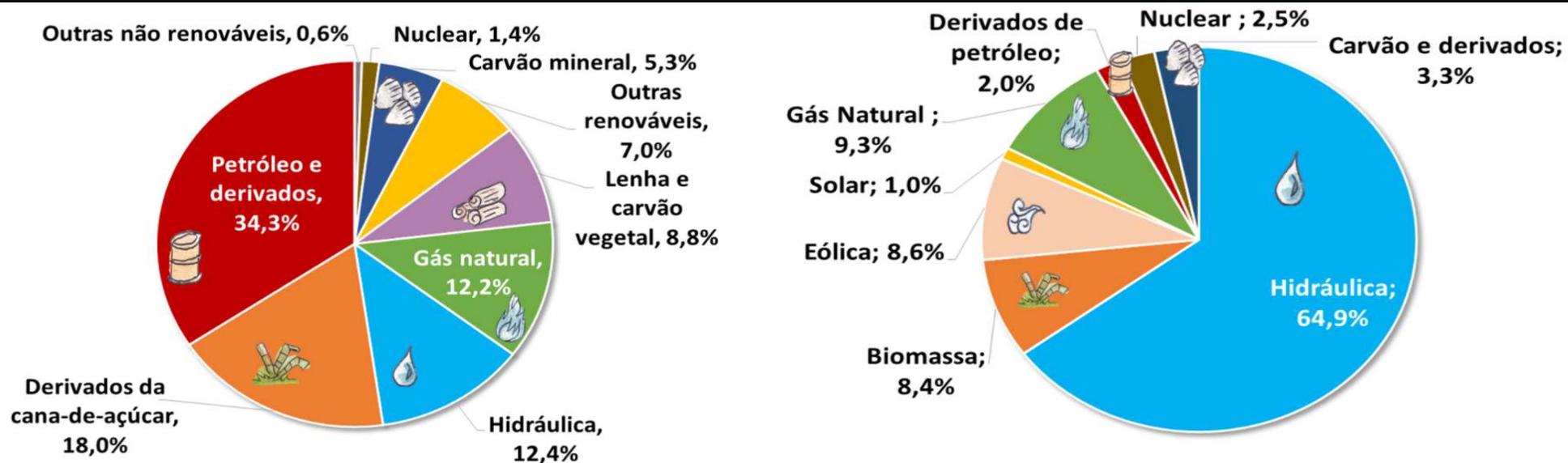


HIDROELETRECIDADE — BRASIL

Oferta Energética e Elétrica Nacional

Figura 15: Oferta energética e elétrica Brasil – 2019

Fonte: EPE (2020)

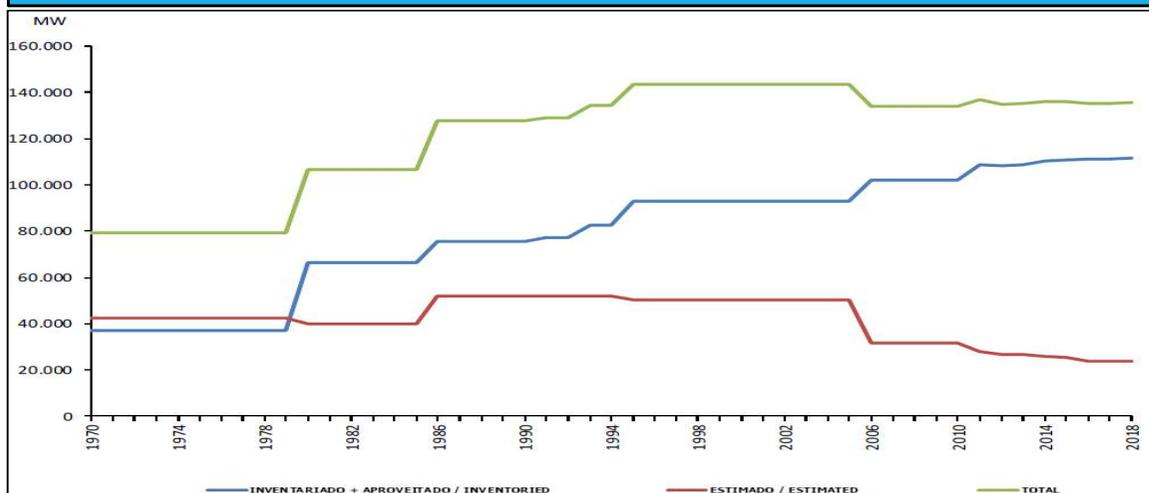


- A participação da energia hidráulica na Oferta Energética teve um crescimento superior a 100%, no entanto no combustíveis fósseis continuam sendo majoritários.
- Oferta elétrica:
 - Participação da hidráulica se reduziu no país, em função da priorização da construção de usinas a fio d'água, que reduz os impactos ambientais, mas aumentam a dependência de usinas termelétricas

89% (1973) → 64,9% (2019)

Potencial Hidrelétrico Brasileiro

Figura 16: Evolução do potencial hidrelétrico brasileiro entre 1970-2018
Fonte: EPE (2020)



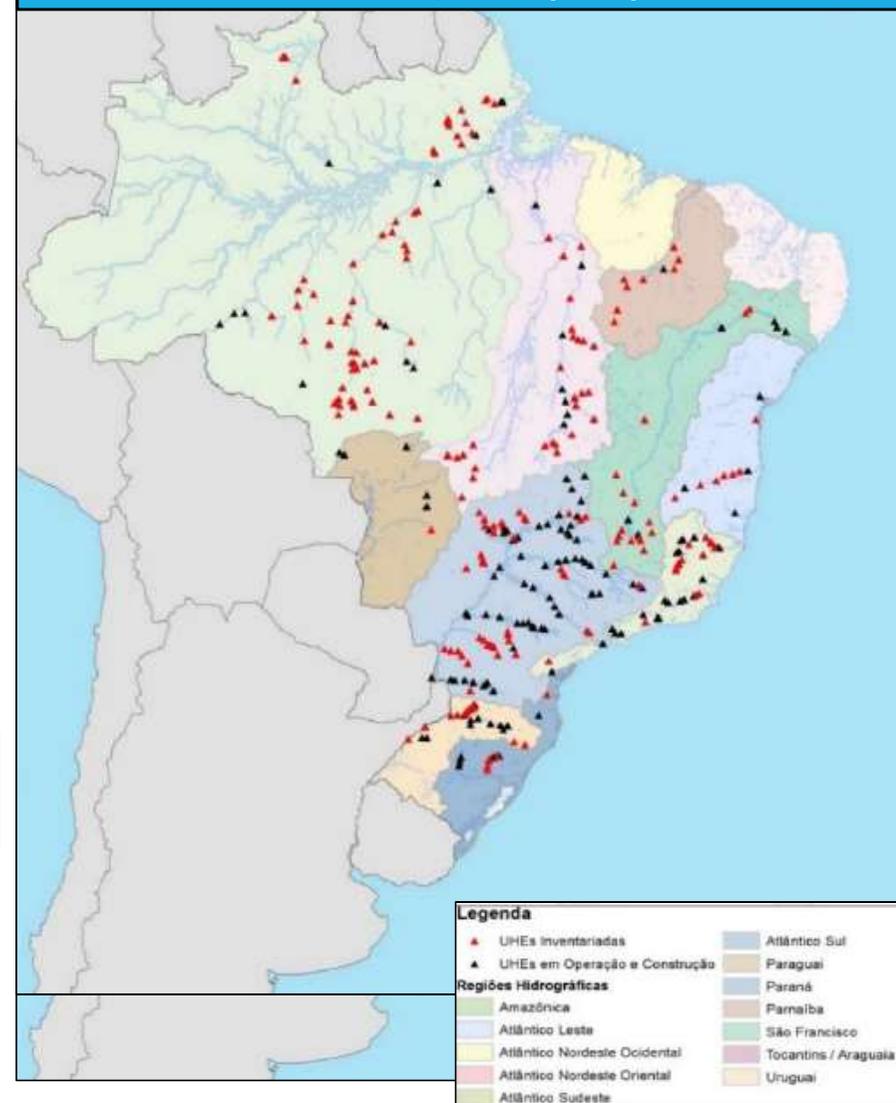
23% do Potencial prospectado NÃO SOBREPÕE a áreas protegidas.
Os maiores potenciais inventariados encontram-se na região norte.

Tabela 3 – Potencial hidrelétrico segregado por status – inventariado e em operação, para o ano de 2050
Fonte: EPE; MME (2020)

Etapa	UHEs (GW)	Projetos de até 30 MW (GW)	Total (GW)	Participação (%)
Operação e construção ⁽¹⁾	102	6	108	62%
Potencial hidrelétrico inventariado	52	16	68	38%
Potencial hidrelétrico do PNE 2050	154	22	176	100%

Notas: (1) Considera apenas 50% da potência de Itaipu (usina binacional).

Figura 17: Potencial hidrelétrico segregado em bacias hidrográficas considerando horizonte de 2050
Fonte: EPE; MME (2020)



Legenda

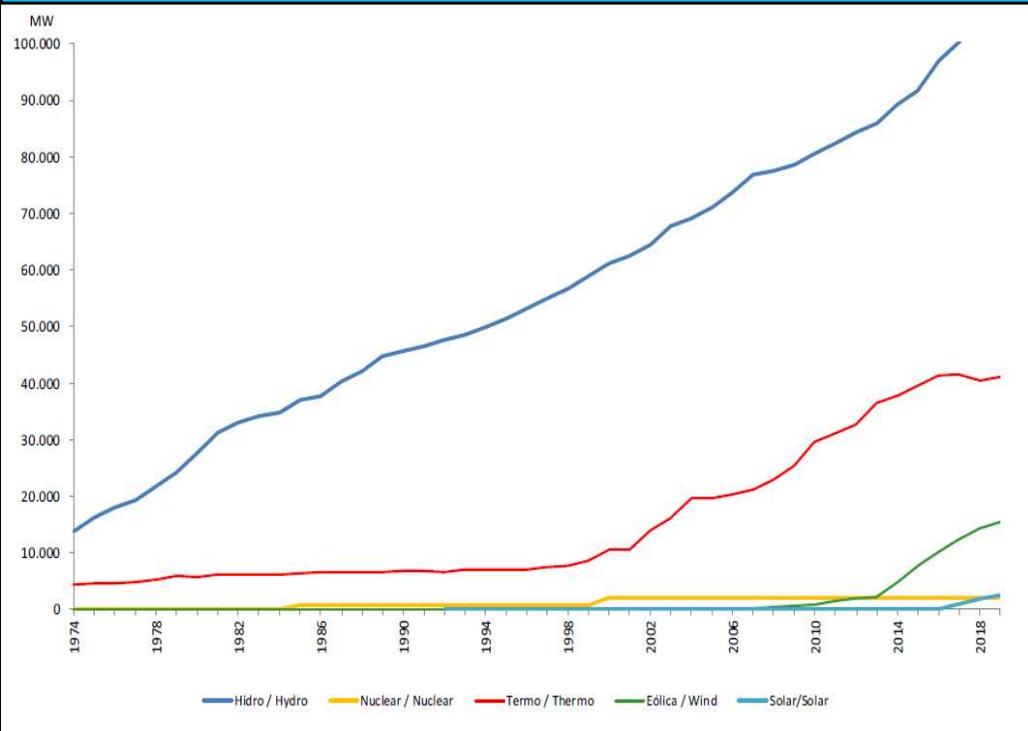
- ▲ UHEs Inventariadas
- ▲ UHEs em Operação e Construção

Regiões Hidrográficas

- Amazônica
- Atlântico Leste
- Atlântico Nordeste Ocidental
- Atlântico Nordeste Oriental
- Atlântico Sudeste
- Atlântico Sul
- Paraguai
- Paraná
- Parnaíba
- São Francisco
- Tocantins / Araguaia
- Uruguai

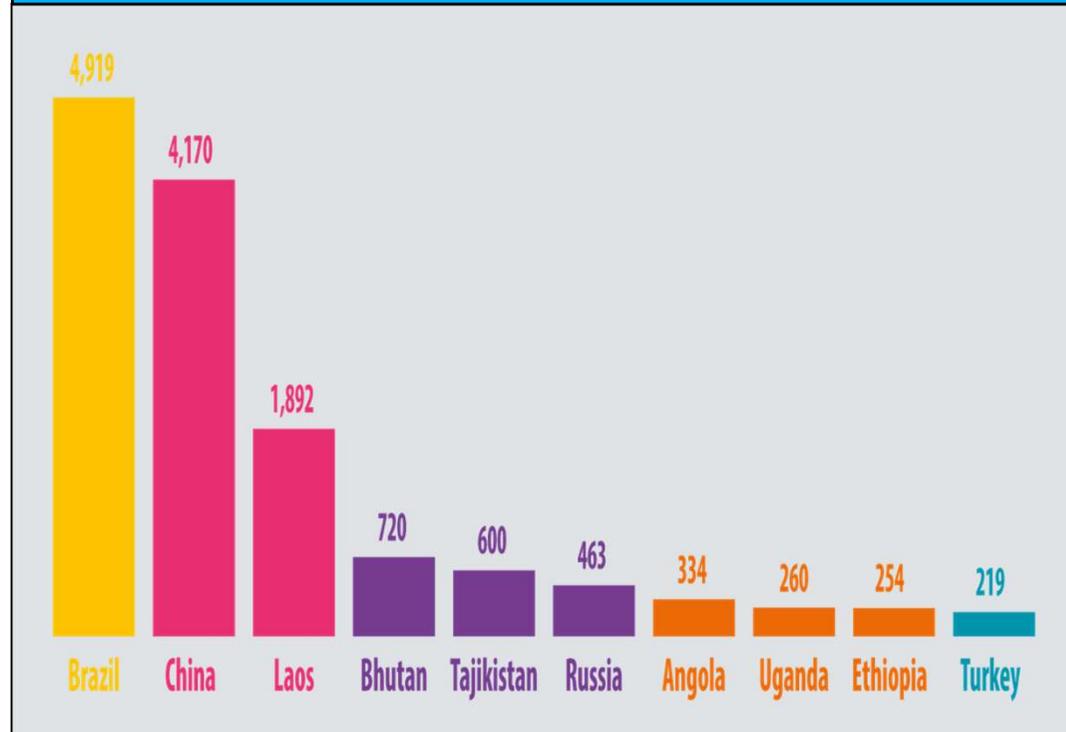
Evolução da Capacidade Instalada Nacional

Figura 18: Evolução da capacidade instalada hidrelétrica brasileira entre 1974 e 2019 (em MW)
Fonte: EPE (2020)



--- Capacidade Hidrelétrica continua apresentando um crescimento estável
--- As térmicas apresentaram um crescimento a partir de 2000, tendo em vista o apagão.

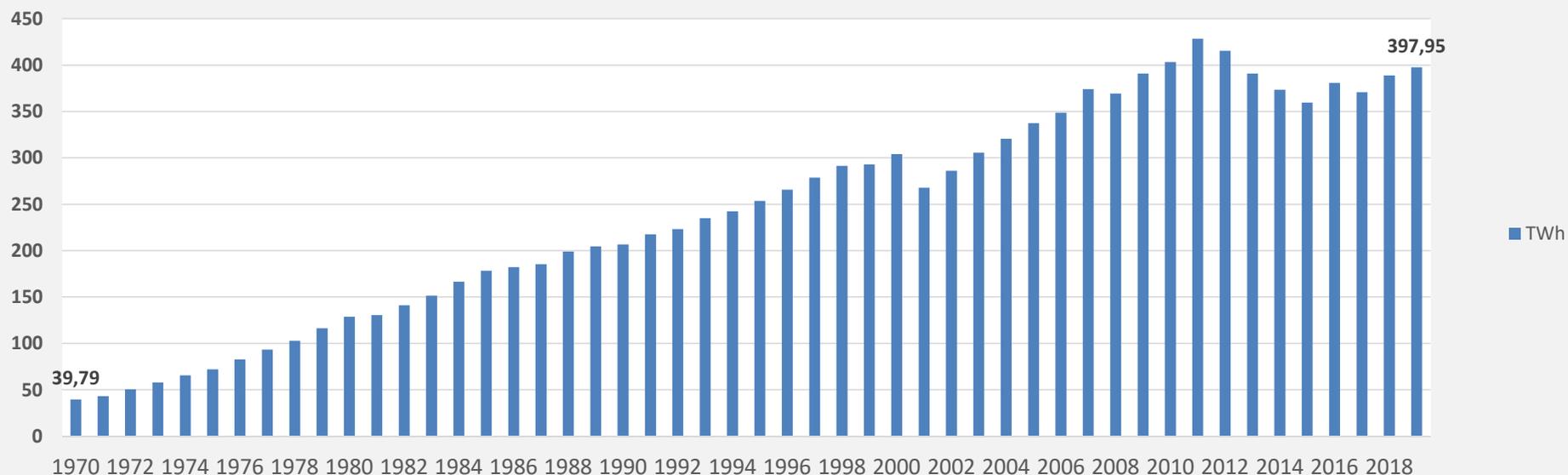
Figura 19: Ranking de países por adição de capacidade instalada em 2019 (em MW)
Fonte: IHA (2020)



--- Capacidade Hidrelétrica Instalada adicionada em 2019 (4919 MW), motivada pela entrada em operação de Belo Monte.

Evolução da Produção Nacional Hidrelétrica

Figura 20: Evolução da produção de energia hidrelétrica no Brasil entre 1970 e 2019 - (em TWh)
Fonte: EPE (2020)



- Décadas de 70 e 80, as grandes usinas estavam concentradas na Região Sudeste, a qual está grande parte da carga.
- Expansão da realização de estudos e da construção de novos reservatórios com grande capacidade na região Norte
- Itaipu: 1984 – inauguração
- A partir do ano 2000 teve início a crise hídrica, que culminou com o racionamento de energia. O patamar anterior só foi recuperado por volta de 2008
- As quedas não produção a partir de 2012 também estão relacionadas a escassez de chuvas.

Preços Concorrentes por Fontes de Energia - Brasil

Figura 21: Evolução dos preços de energia pagos pelo consumidor, entre 2010-2019, por fonte-
Fonte: EPE (2020)

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Unidade (Unit)	US\$ / Unidade Física (Metric Unit)
ÓLEO DIESEL ¹	1.138	1.204	1.068	1.074	1.067	847	886	996	953	909	m ³	DIESEL OIL ¹
ÓLEO COMBUSTÍVEL ⁴	550	593	525	503	522	390	385	423	527	508	t	FUEL OIL ⁴
GASOLINA ¹	1.458	1.632	1.400	1.321	1.264	1.001	1.057	1.180	1.205	1.108	m ³	GASOLINE ¹
ETANOL HIDRATADO ¹	943	1.202	990	936	878	668	762	843	789	734	m ³	ALCOHOL ¹
GLP ¹	1.670	1.772	1.547	1.466	1.411	1.113	1.194	1.422	1.429	1.345	t	LPG ¹
GÁS NATURAL COMBUSTÍVEL ²	460	611	625	607	586	442	424	517	533	587	10 ³ m ³	NATURAL GAS - INDUSTRY ²
ELETRICIDADE INDUSTRIAL ³	165	180	169	157	154	172	155	170	168	164	MWh	INDUSTRIAL ELECTRICITY ³
ELETRICIDADE RESIDENCIAL ³	233	258	236	200	206	215	184	200	196	196	MWh	RESIDENTIAL ELECTRICITY ³
CARVÃO VAPOR ³	74	80	58	58	55	41	46	61	68	45	t	STEAM COAL ³
CARVÃO VEGETAL ³	61	69	64	63	62	48	52	58	53	nd	m ³	CHARCOAL ³
LENHA NATIVA ³	8	nd	m ³	NATIVE FIREWOOD ³								
LENHA DE REFORESTAMENTO ³	36	36	32	23	nd	nd	nd	nd	nd	nd	m ³	FIREWOOD FROM REFORESTATION ³
Dólar/venda (média do ano)	1,76	1,68	1,95	2,16	2,35	3,34	3,48	3,19	3,66	3,95	Moeda BR/ US\$ (Currency)	Dollar/selling (year average)

Efeito da MP 579/12, cujas consequências impactaram nas tarifas da transmissão e na geração hidráulica (usinas cotistas)

Para evitar aumento expressivo na tarifa dos consumidores, foi realizado empréstimo com um pool de bancos, criando a conta ACR

A CRISE DO GSF

Figura 22: Descrição conceitual do Mecanismo de Realocação de Energia e de GSF.
 Fonte: Instituto Acende Brasil (2017)

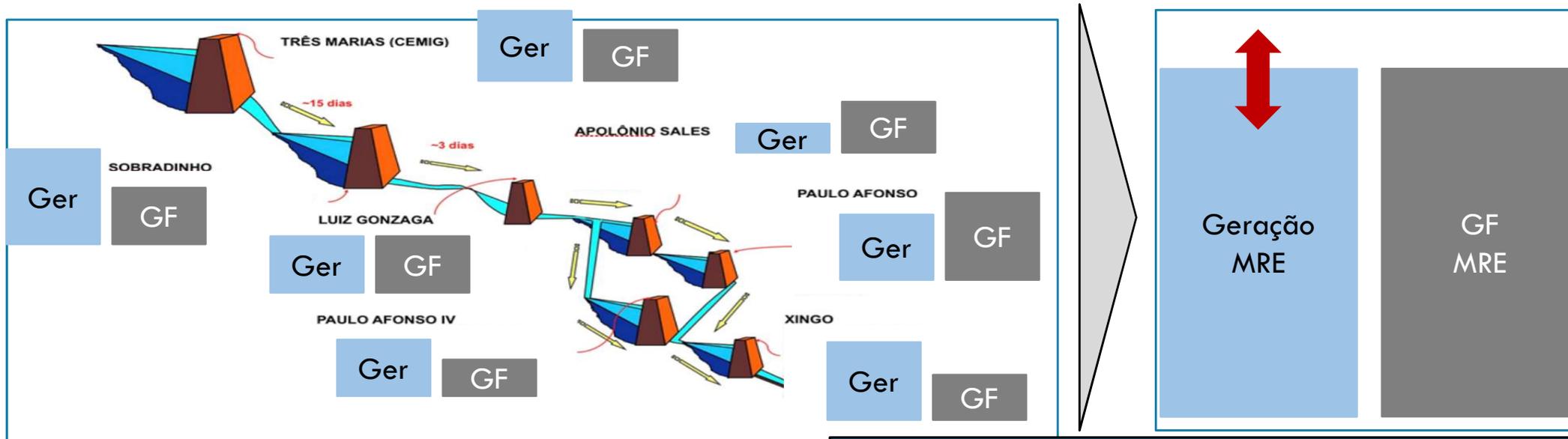
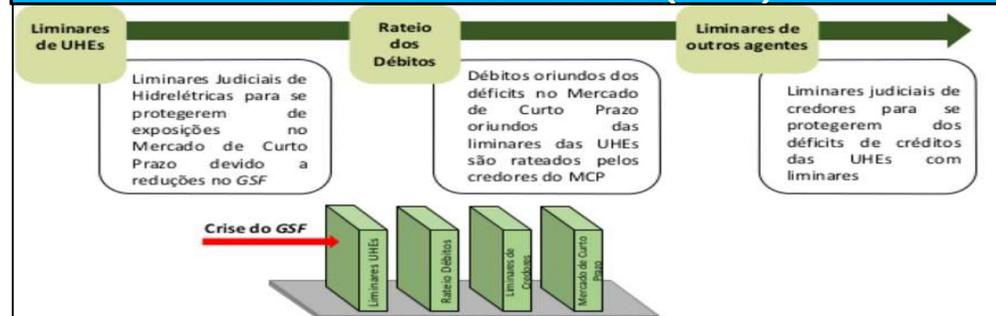


Figura 22: Descrição dos efeitos da crise do GSF
 Fonte: Instituto Acende (2017)

- Gerador hídrico então não comanda sua própria geração
- Criado o Mecanismo de Realocação de Energia, onde o conjunto de hidrelétricas do Brasil participam de um “condomínio” que combina o total de suas gerações e garantias físicas individuais, compartilhando globalmente o risco de gerar mais ou menos.



CONCLUSÕES



- Ásia é o continente que detém a maior capacidade instalada do planeta
- Políticas públicas devem considerar os múltiplos usos da água: geração de energia, agricultura, pesca, lazer, etc....
- O mundo ainda é dependente de combustíveis fósseis.
- Aquecimento global: Altera padrões de chuva → Modifica regime hidrológico dos rios → Pode afetar a geração hidrelétrica
- O mundo ainda é dependente de combustíveis fósseis.
- Maior Potencial hidrelétrico nacional está no Norte do País
- Apenas 23% do potencial hidrelétrico em áreas sem restrição ambiental
- Brasil deve decidir qual modelo de usinas ele irá priorizar e levar em conta as externalidades embutidas (custos sociais, ambientais e a própria fatura de energia)
- Fatura de energia paga pelos consumidores não retrata fielmente os custos de produção, devido aos impostos e encargos.

REFERÊNCIAS

- PENA, Rodolfo F. Alves. "10 maiores hidrelétricas do mundo"; **Brasil Escola**. 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/as-maiores-hidreletricas-mundo.htm>. Acesso em 15 de abril de 2021.
- GADONNEIX, Pierre et al. Water for energy. **World Energy Council**, 2010.
- WORLD BANK GROUP. **Renewable internal freshwater resources, total (billion cubic meters)**. [S. l.], 2021. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.K3?end=2017&most_recent_year_desc=false&start=1962&type=shaded&view=map&year=2012. Acesso em: 15 abr. 2021.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Query Tool**. [S. l.], 5 abr. 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/Statistics/Download-Data>. Acesso em: 15 abr. 2021.
- BP. **Statistical Review of World Energy**: Download. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html>. Acesso em: 15 abr. 2021.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). **Renewable Power Generation Costs in 2019**. Abu Dhabi, julho 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019>. Acesso em: 15 abr. 2021.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanco Energético Nacional 2020**: Ano base 2019. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf. Acesso em: 15 abr. 2021.
- INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION (IHA). **2020 Hydropower Status Report**. 7. ed. [S. l.], 2020. Disponível em: https://hydropower-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/publications-docs/2020_hydropower_status_report.pdf. Acesso em: 15 abr. 2021.
- INSTITUTO ACENDE BRASIL. **Programa Energia Transparente**: Monitoramento Permanente dos Cenários de Oferta e do Risco de Racionamento. 11. ed. [S. l.], junho 2017. Disponível em: <https://www.slideshare.net/LeandroSouza135/ppt-energiatransparente-edicao11acendebrasilrev13>. Acesso em: 15 abr. 2021.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE); MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **PNE 2050**: Plano Nacional de Energia. [S. l.], 16 dez. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>. Acesso em: 15 abr. 2021.
- ORGANIZAÇÃO LATINO-AMERICANA DE DESENVOLVIMENTO E ENERGIA (OLADE). **América Latina e Caribe**: Reservas e Potenciais. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://sielac.olade.org/WebForms/Reportes/ReporteDato3.aspx?oc=61&or=690&ss=2&v=1>. Acesso em: 15 abr. 2021.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Energia no Mundo**: Matrizes Energéticas, Matrizes Elétricas, Indicadores. Brasília, 9 out. 2012.
- PINTEREST. **Esquema de usina hidrelétrica**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://br.pinterest.com/pin/763219468076848817/>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MUITO OBRIGADO A TODOS!