



**O Setor Energético Mundial/Brasileiro e a
Geração de Energia Elétrica**



PhD Eng. Clodomiro Unsihuay Vila

**Federal University of Paraná,
Curitiba-Brazil**

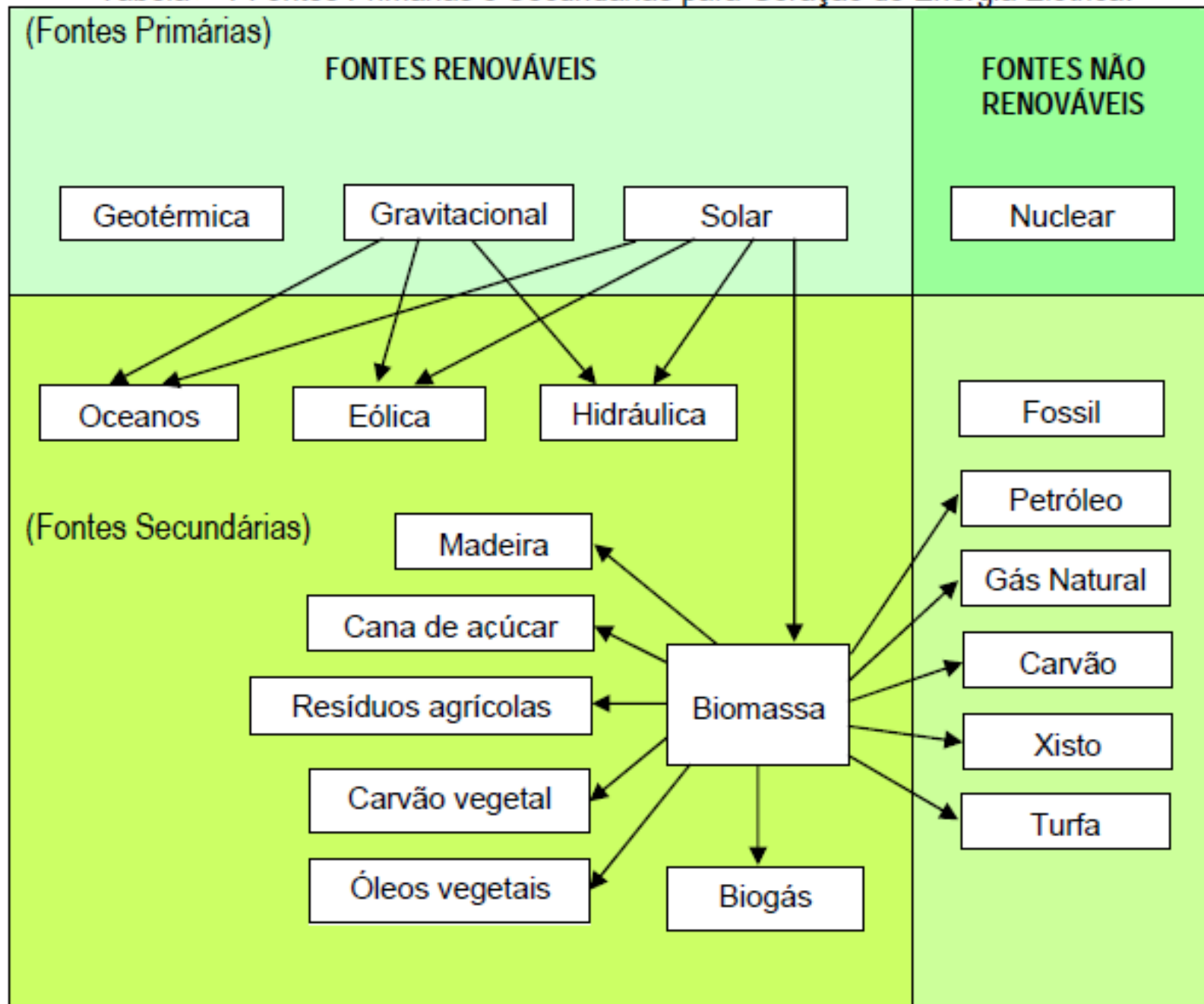
Introdução

- O desenvolvimento da sociedade humana está atrelado à transformação do meio ambiente e obtenção de energia.
- Aumento ao longo prazo da demanda de energia elétrica.

*Usina Fio D'Água UHE Dardanelos Aripuanã- MT
260 MW*



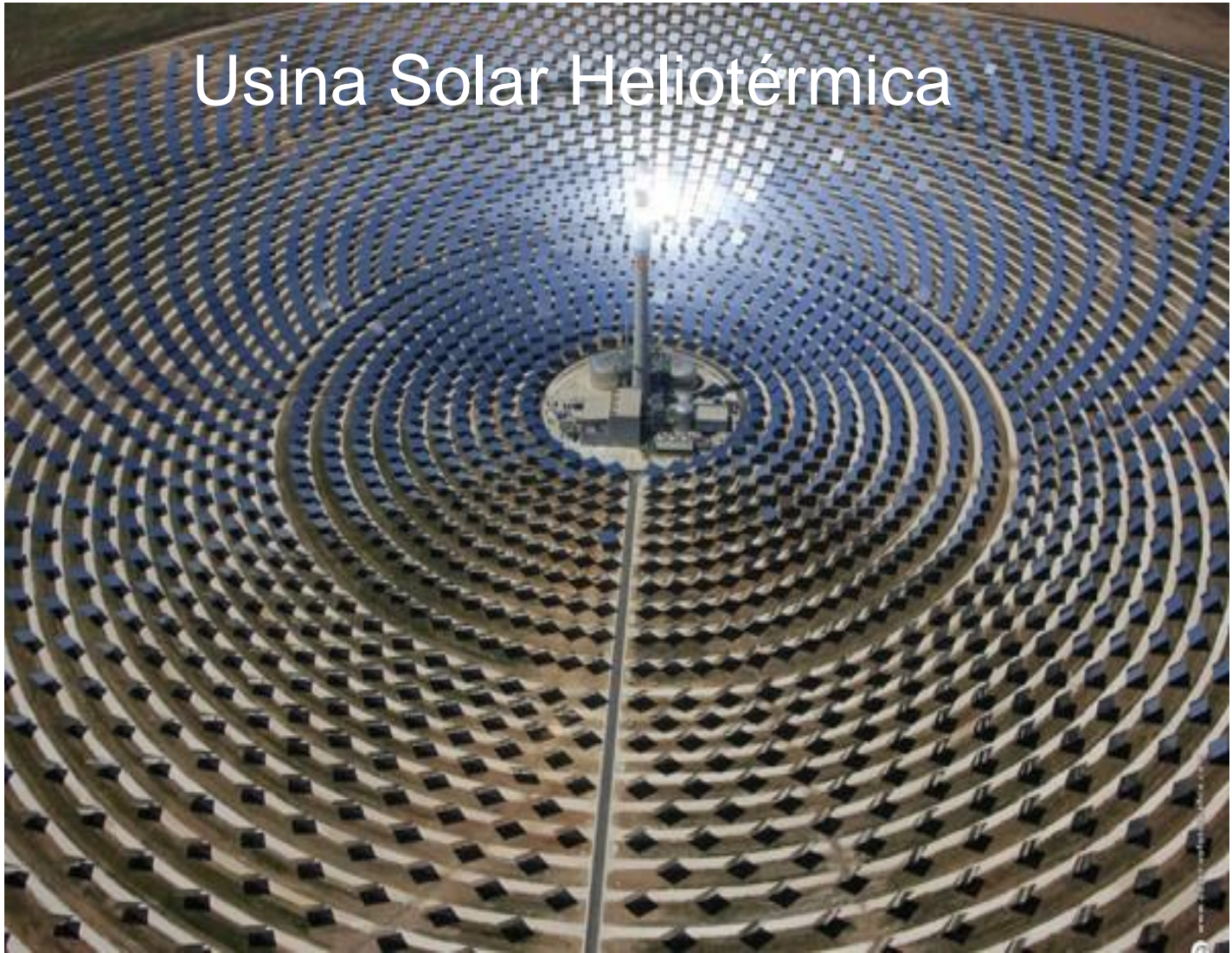
Tabela 1 Fontes Primárias e Secundárias para Geração de Energia Elétrica.



Fontes de energia renováveis.

- São elementos da natureza que é **constantemente renovado** por processos naturais ou por sua abundância pode ser considerado inesgotável.
- Por exemplo , a radiação solar, vento, o movimento da água (na corrente de um rio ou de marés , chuva e neve) , o calor no interior da Terra .
- Estas fontes são considerados **autorrenováveis** porque o uso contínuo por atividades humanas não produzem seu esgotamento.
- Os recursos **naturais na composição orgânica** - tanto de plantas e animais, que pode ser renovada e aumentada pela **ação natural ou humana**.

Usina Solar Heliotérmica



Usina Solar Fotovoltaica



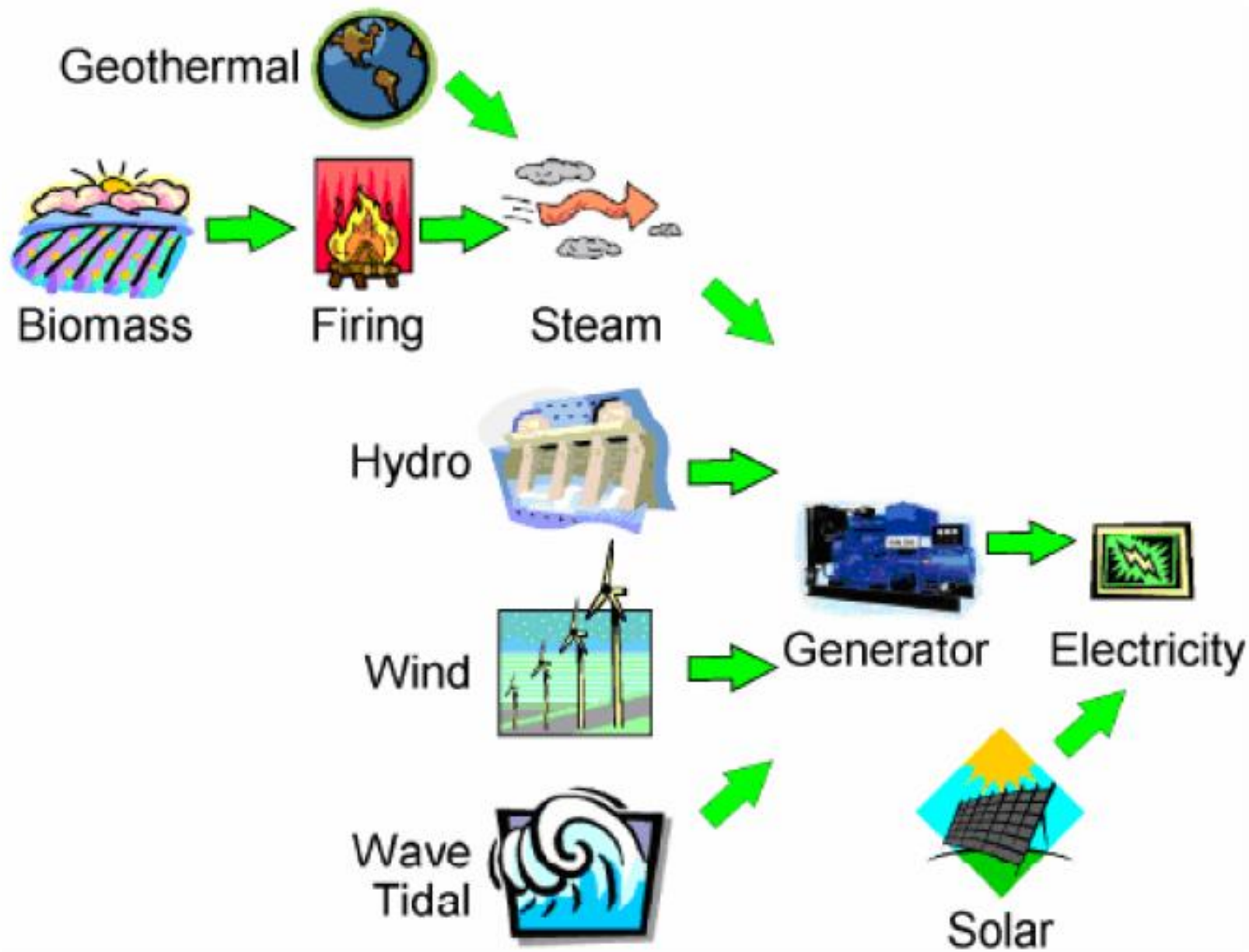


Figura Conversão de Fontes Renováveis em Energia Elétrica.

Fontes de energia não renováveis.

- Os recursos de composição natural e orgânica que se **formaram nos processos naturais longas e complexas** (2 a 5 milhões de anos).
- Os mais conhecidos são os **combustíveis fósseis** como o carvão e hidrocarbonetos (petróleo e gás) e outros minerais como o urânio (usado na produção de energia nuclear), a oxidação de certos metais , processos químicos , etc.
- São considerados não- renovável, pois quando usado, **reduz-se seu volume** (geralmente chamado de estoque) e não pode ser restaurado para ser usado para a atividade humana ou processos.



Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, de 857 MW,
localizado em Santa Catarina

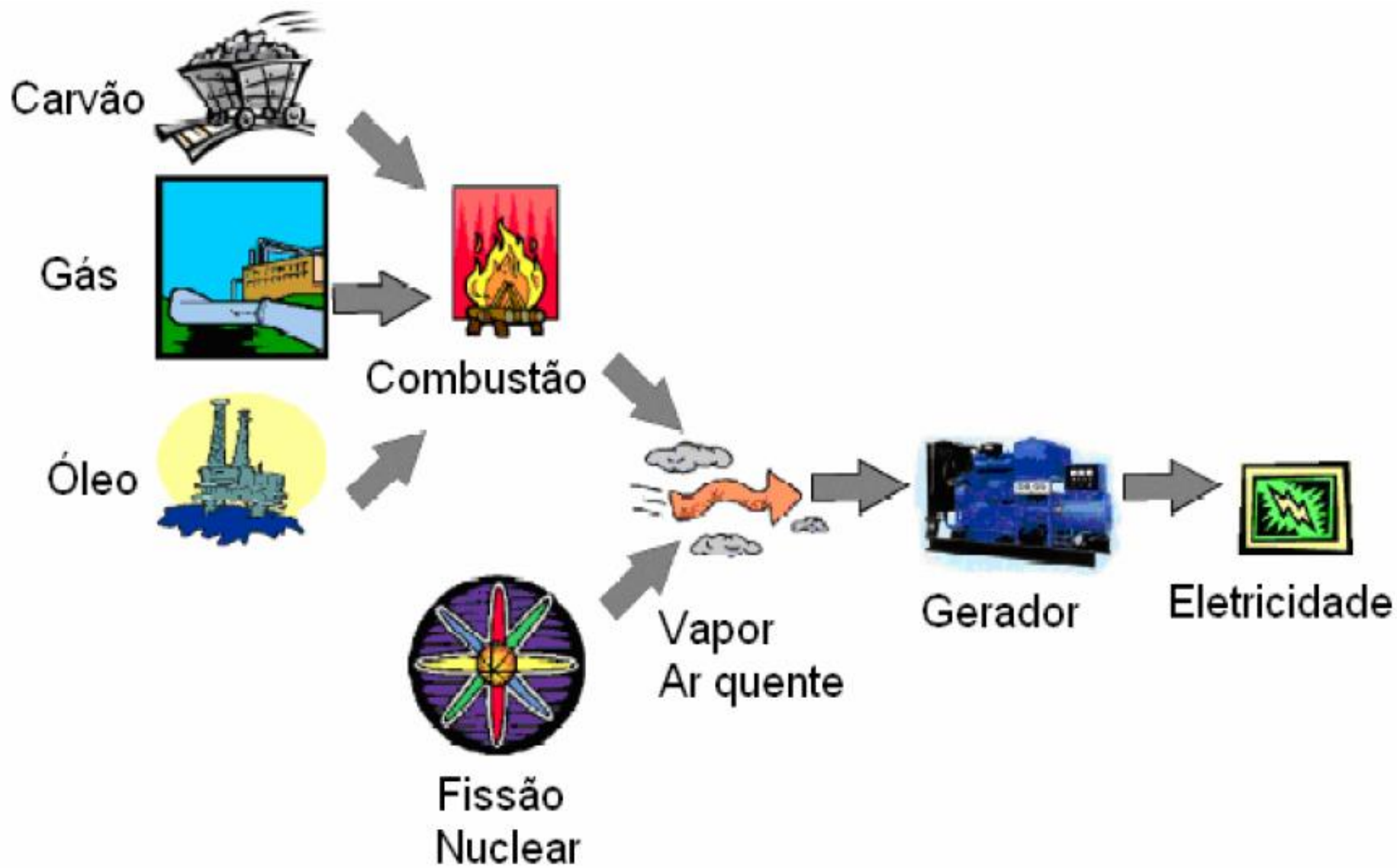
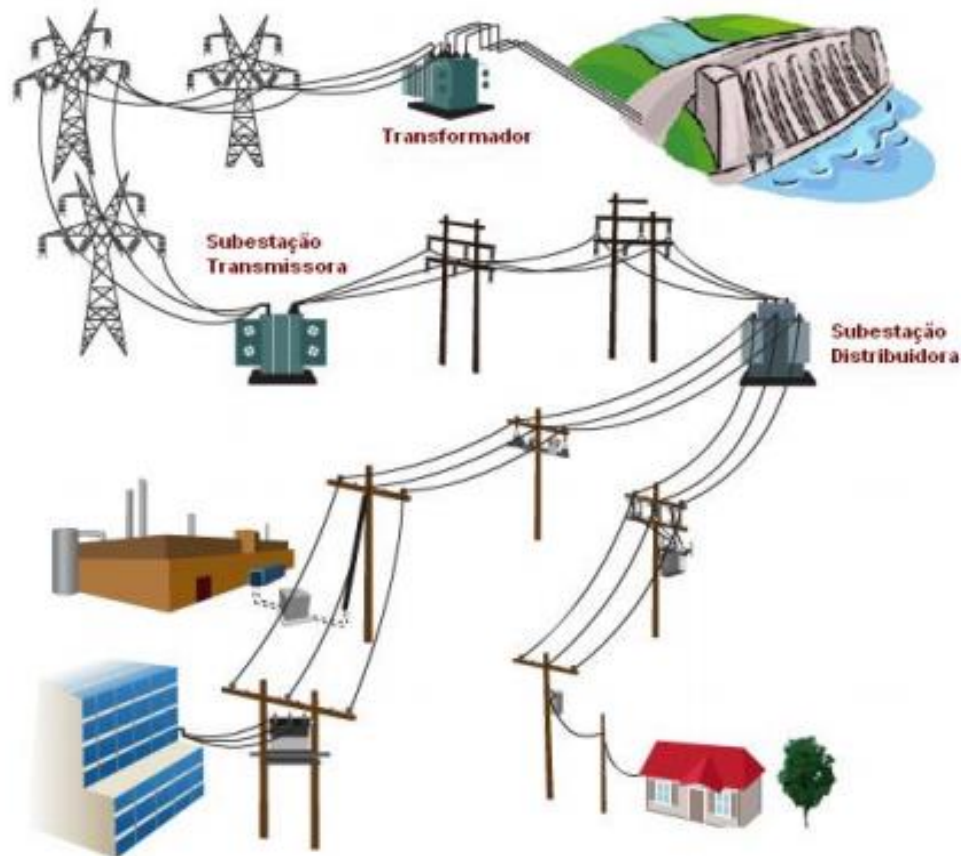
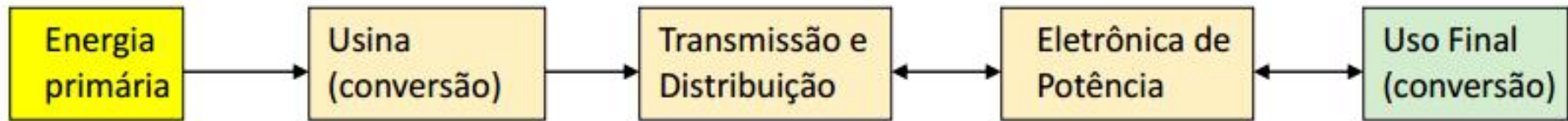
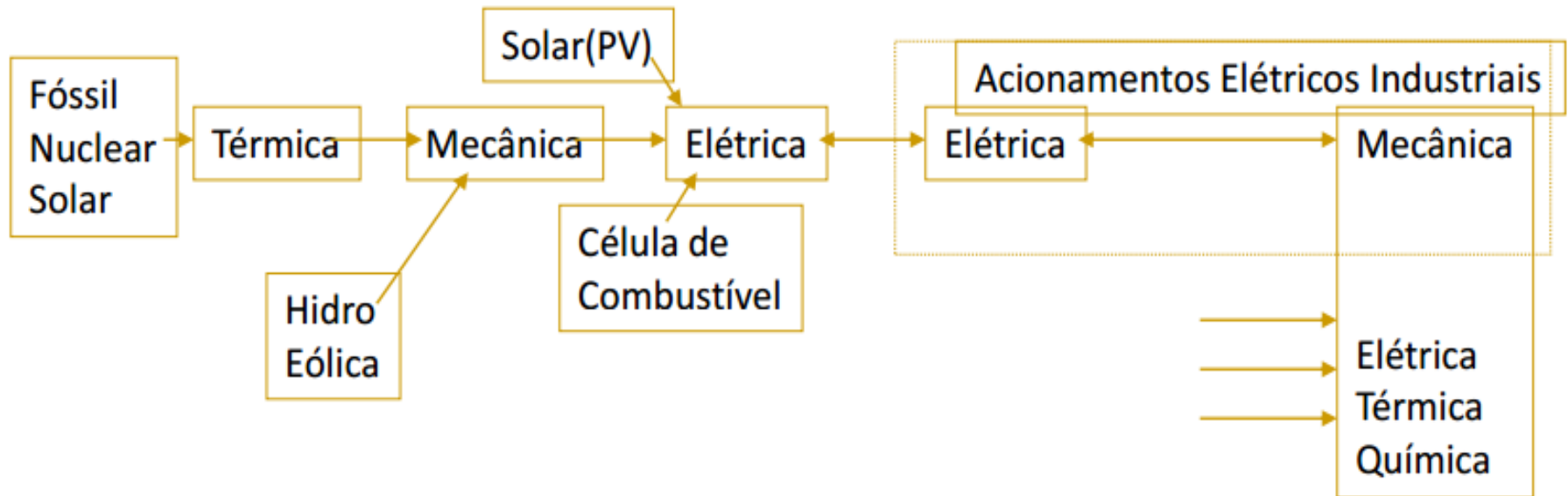


Figura Conversão de Fontes Não-Renováveis em Energia Elétrica.

Conversión Electromecánica da Enerxía



Conversión Electromecánica da Enerxía



■ Vantagens da conversão em energia eléctrica:

- ❑ Geração com alta eficiência;
- ❑ Transporte com baixas perdas, distribución simples e custo aceptável;
- ❑ Conversão: facilidade e flexibilidade

ENERGIA LIMPA

- O conceito de energia limpa é frequentemente associado às fontes renováveis, pois em comparação com os combustíveis fósseis apresentam reduzidos impactos ambientais e praticamente não originam resíduos ou emissões de poluentes.
- Entretanto, a exploração de qualquer fonte de energia provoca alterações no meio ambiente e produz impactos de maior ou menor intensidade.

ENERGIA LIMPA

- Um caso particular de fonte não renovável e limpa são as usinas termonucleares, pois não emitem gases de efeito estufa, porém os resíduos radioativos e acidentes nucleares representam uma ameaça à saúde e a segurança dos seres vivos e o médio ambiente do local onde estão instalados.



FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

- As **fontes alternativas de energias** são renováveis, pouco ou não poluentes, além de apresentar a vantagem de ter baixos índices de agressão ambiental.
- Exemplos de **fontes alternativas de energia**: - **Energia** eólica - gerada a partir do vento. - **Energia** solar (fotovoltaica) - gerada a partir dos raios solares.

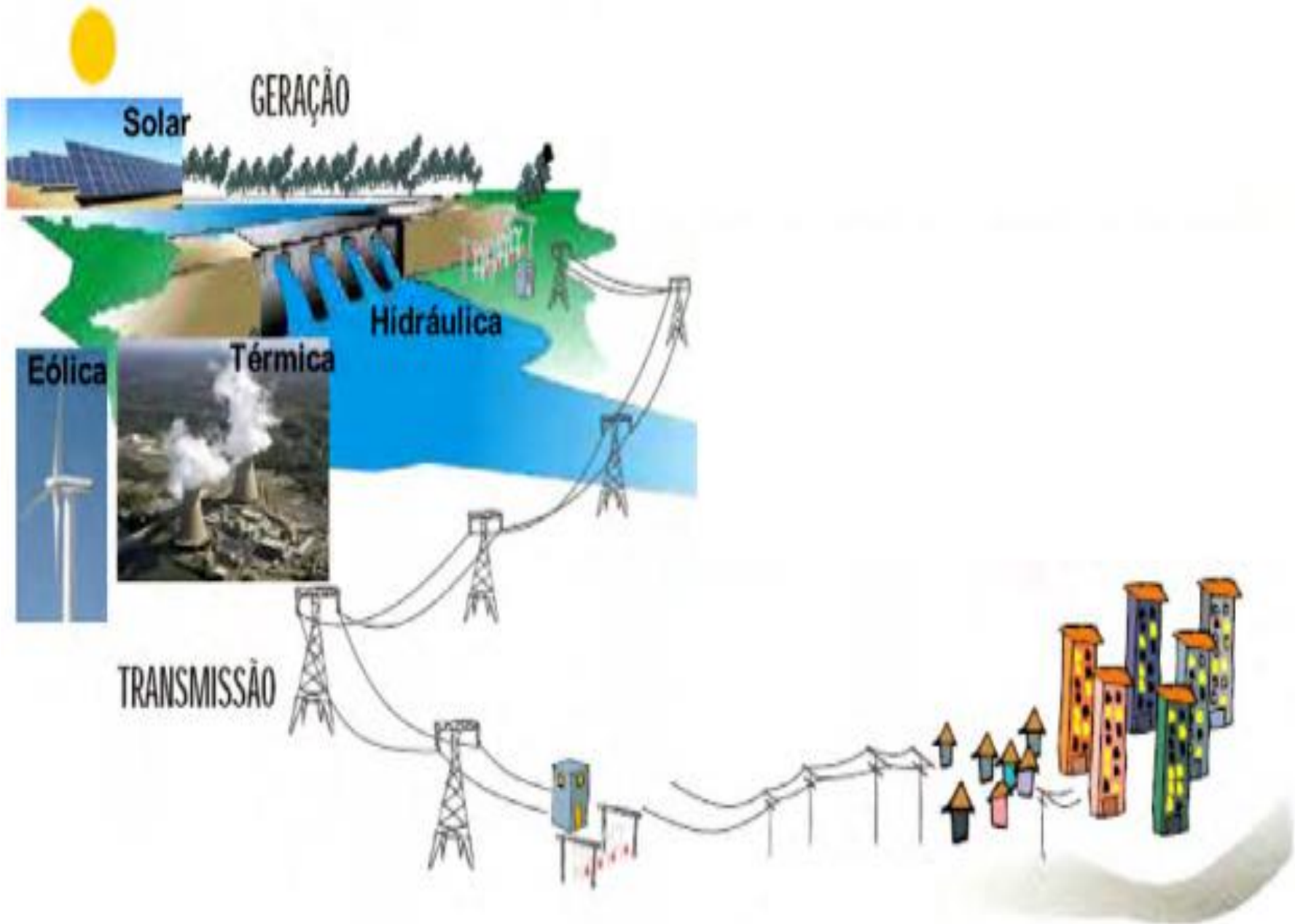
FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

- O conceito de energia alternativa não é exclusivo das fontes renováveis, entretanto a **maior parte** dos sistemas alternativos de geração de eletricidade emprega **fontes renováveis**.
- Por exemplo, as **termelétricas e microturbinas alimentadas a gás natural**, embora utilizem um combustível fóssil não renovável, são mais eficientes e **menos poluidoras** do que as modalidades de geração baseadas na queima do carvão ou do petróleo.



Fonte: <https://admin.tectonica.archi/materials/microturbinas-de-gas>





Geração Centralizada

Geração Centralizada

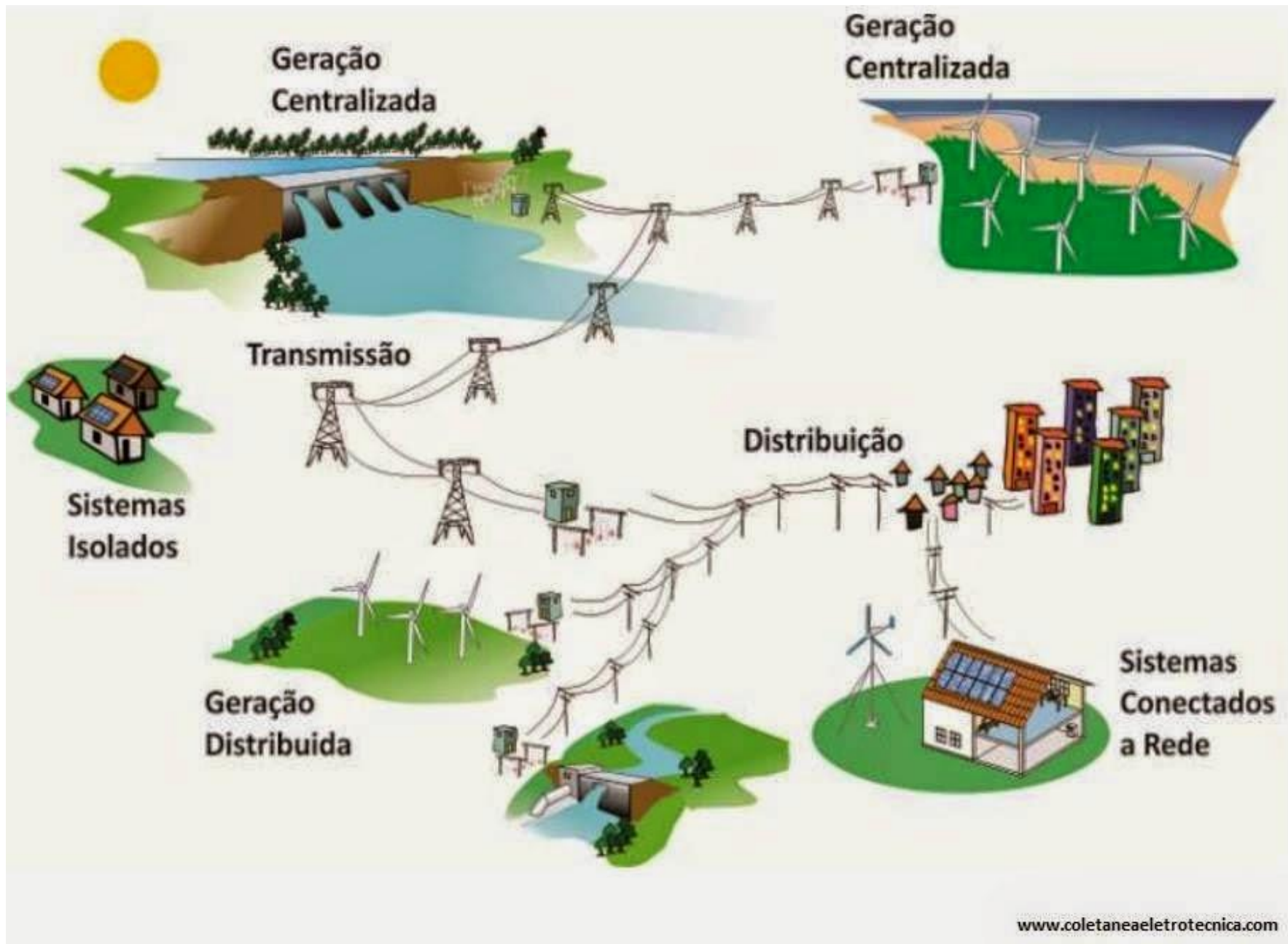
Transmissão

Distribuição

Sistemas Isolados

Geração Distribuída

Sistemas Conectados a Rede



1 Geração centralizada



Exemplo

ITAIPU 14.000 MWp
96.387.357 MWh (2017)

- Grandes capacidades instaladas;
- Principalmente Hidrelétricas e Termoelétricas no Brasil;
- Muito distantes dos centros consumidores. Necessitam de longas linhas de transmissão.

2 Transformação



Para diminuir perdas técnicas na Transmissão, eleva-se a voltagem para Alta Tensão (500~750 kV).

3 Transmissão



- Para levar a eletricidade até as cidades, são necessárias Linhas de Transmissão;
- Longo percurso = alto investimento;
- Alta voltagem, porém baixa corrente.

5 Distribuição



- Média tensão: entre 2,3kV a 44kV, grande varejo e industrias de médio porte;
- Baixa Tensão: 110V a 440V, residências e pequenos comércios/indústria.

4 Sub-Estações



Para realizar a distribuição de energia elétrica em centros urbanos é necessária a redução da tensão.



Geração Centralizada e Geração Distribuída

- A geração distribuída de energia elétrica é caracterizada pelo uso de geradores descentralizados, instalados próximo aos locais de consumo.
- As fontes de energias solar fotovoltaica e eólica são as fontes alternativas com maior potencial para utilização na geração distribuída de eletricidade.

Geração Centralizada e Geração Distribuída

- Essas pequenas usinas são conectadas diretamente às redes de distribuição de baixa tensão, sem a necessidade de instalar transformadores ou linhas de transmissão de eletricidade.
- Além de fornecerem energia para o consumo local, por estarem conectadas ao sistema também contribuem com a geração de eletricidade de todo o país.

Geração Centralizada e Geração Distribuída

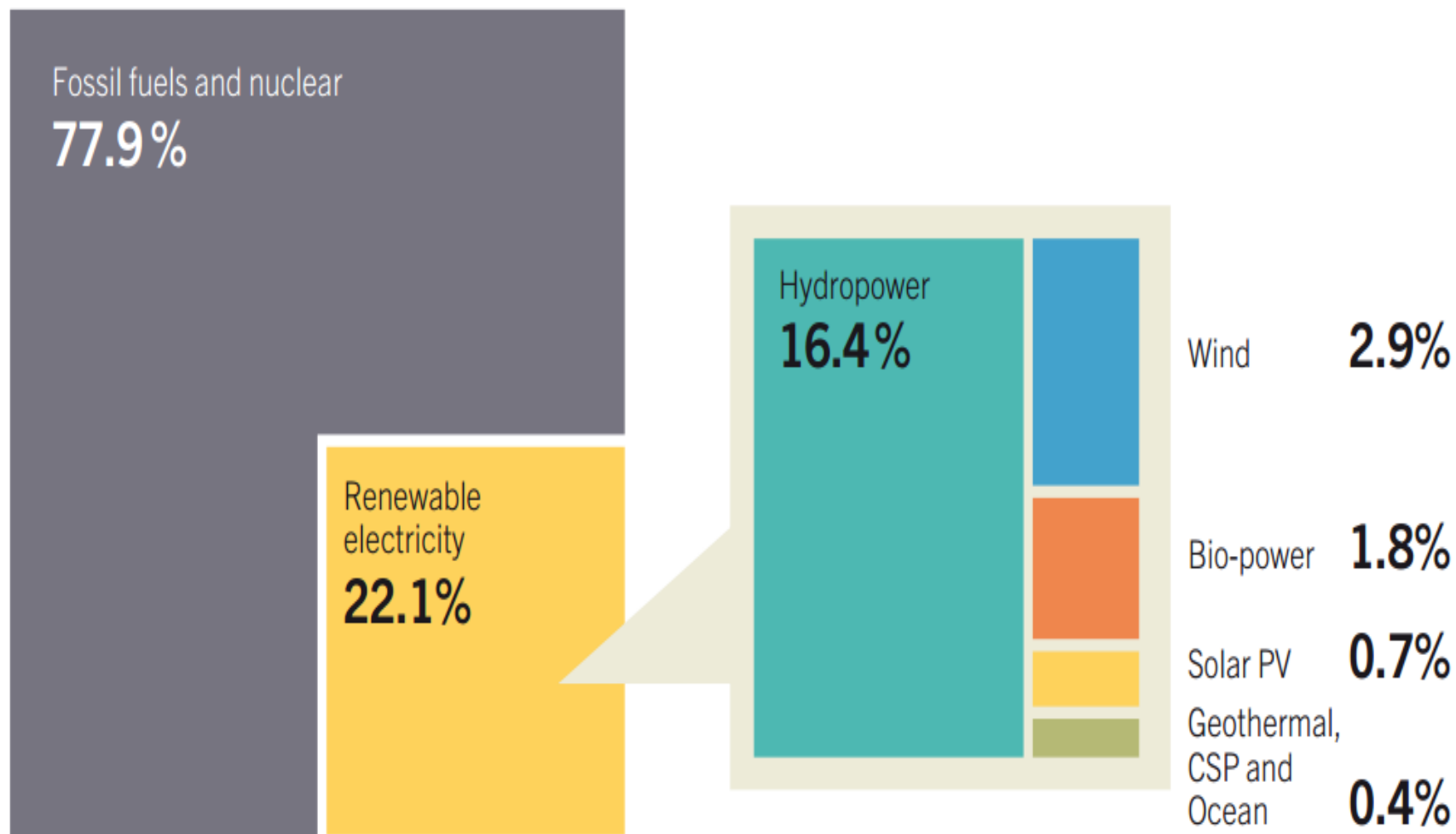
- No Brasil as micro (75 kW) e miniusinas (75kW-5MW) de eletricidade são empregadas para abastecer o consumo próprio, podendo gerar créditos de energia nos períodos em que a geração é maior que o consumo.
- O uso em larga escala de sistemas distribuídos poderá aliviar e reduzir os investimentos em linhas de transmissão e distribuição, também adiar a construção de usinas baseadas em fontes convencionais de energia.

EXEMPLO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA



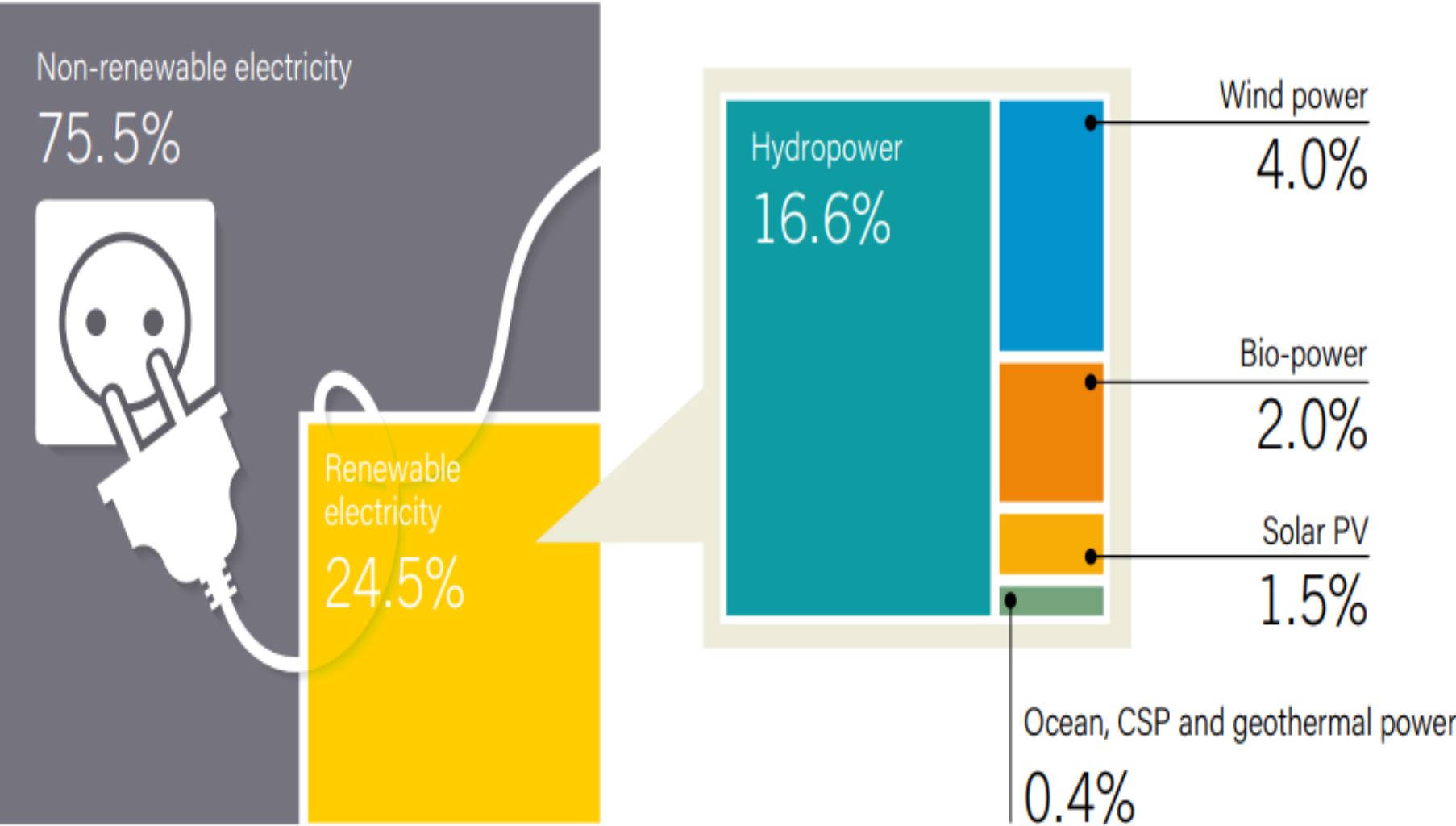


Figure 3. Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2013



Based on renewable generating capacity in operation end-2013. Data do not add up due to rounding.

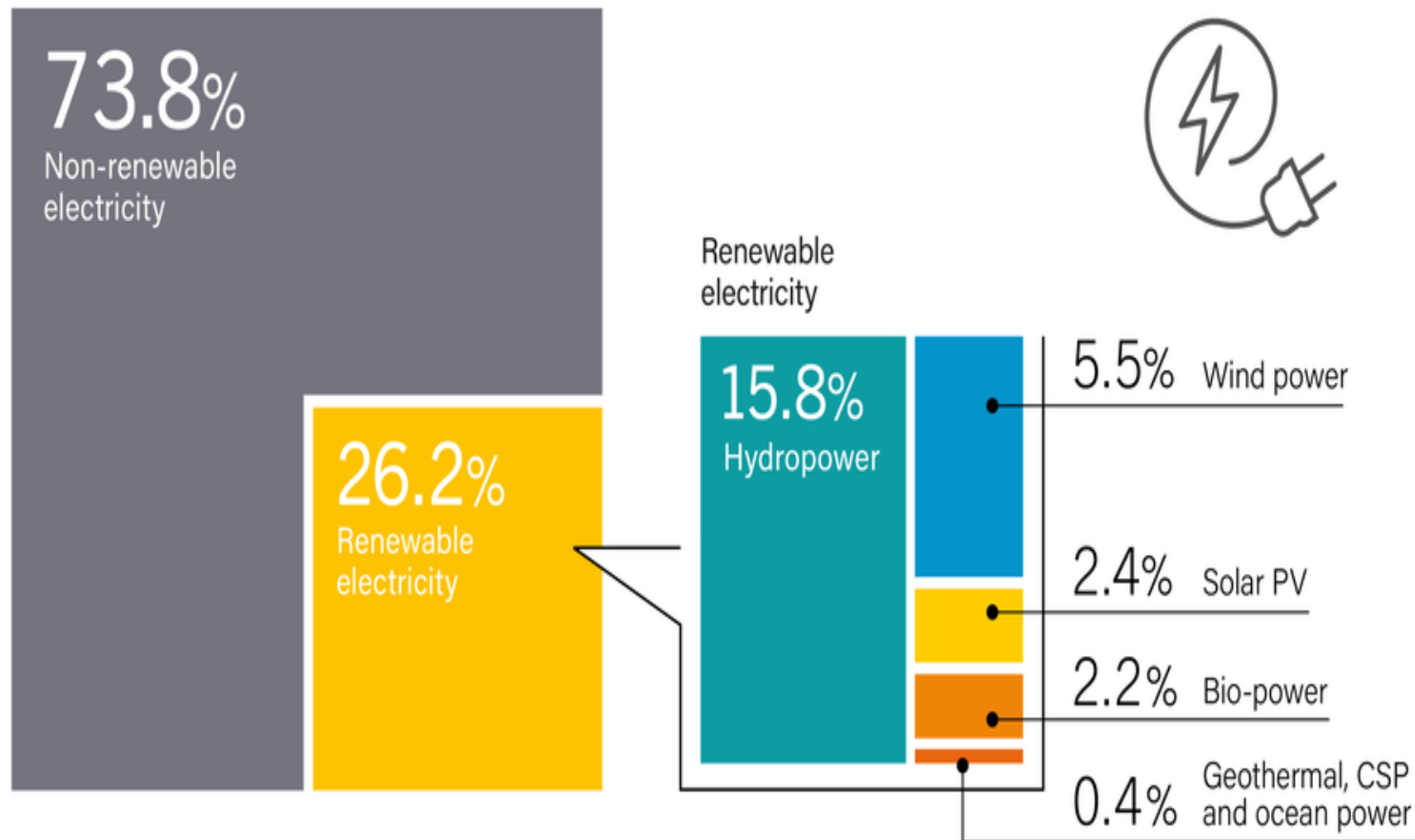
Figure . Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2016



Source: See endnote 36 for this chapter.

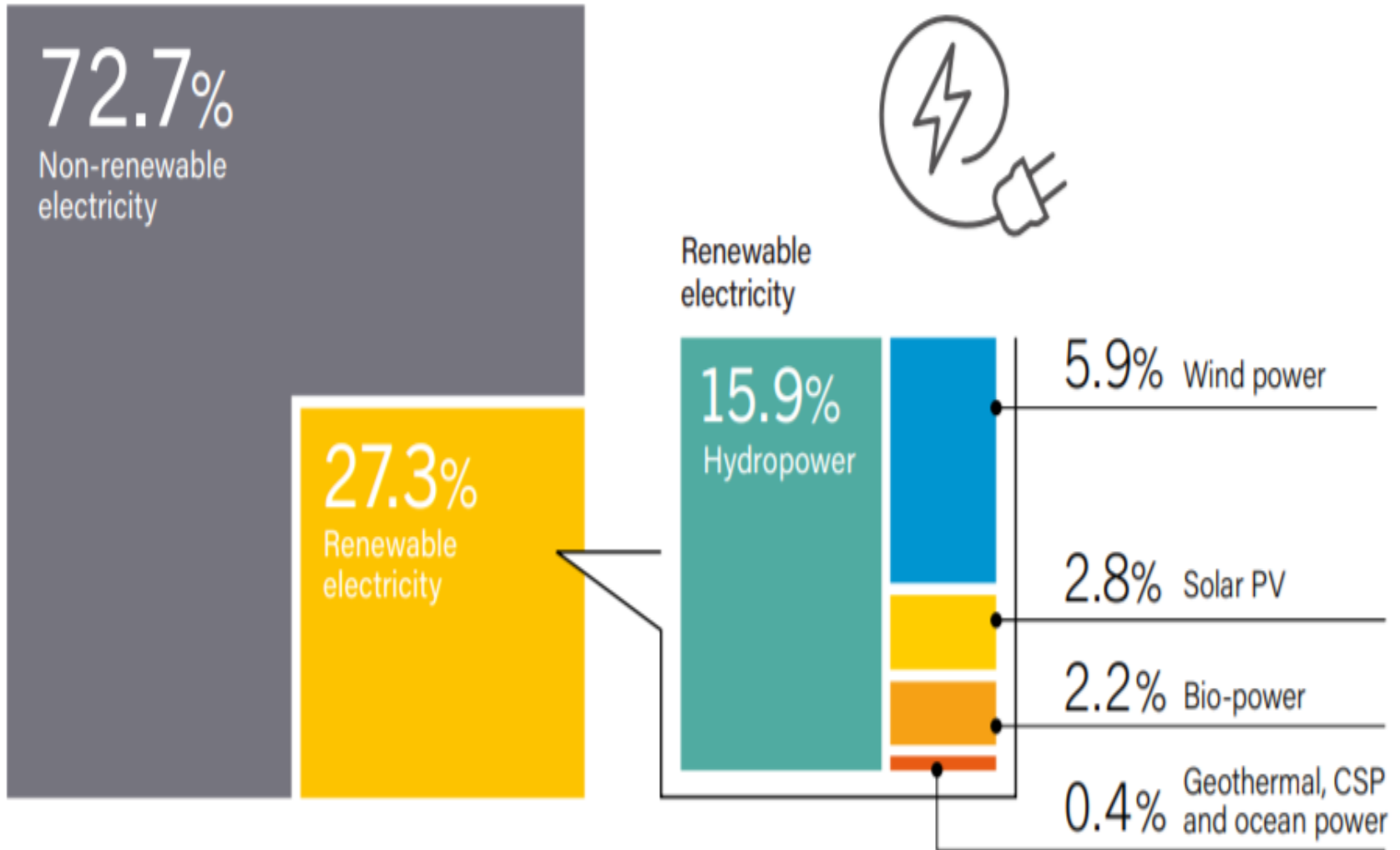
Note: Based on renewable generating capacity at year-end 2016

Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2018

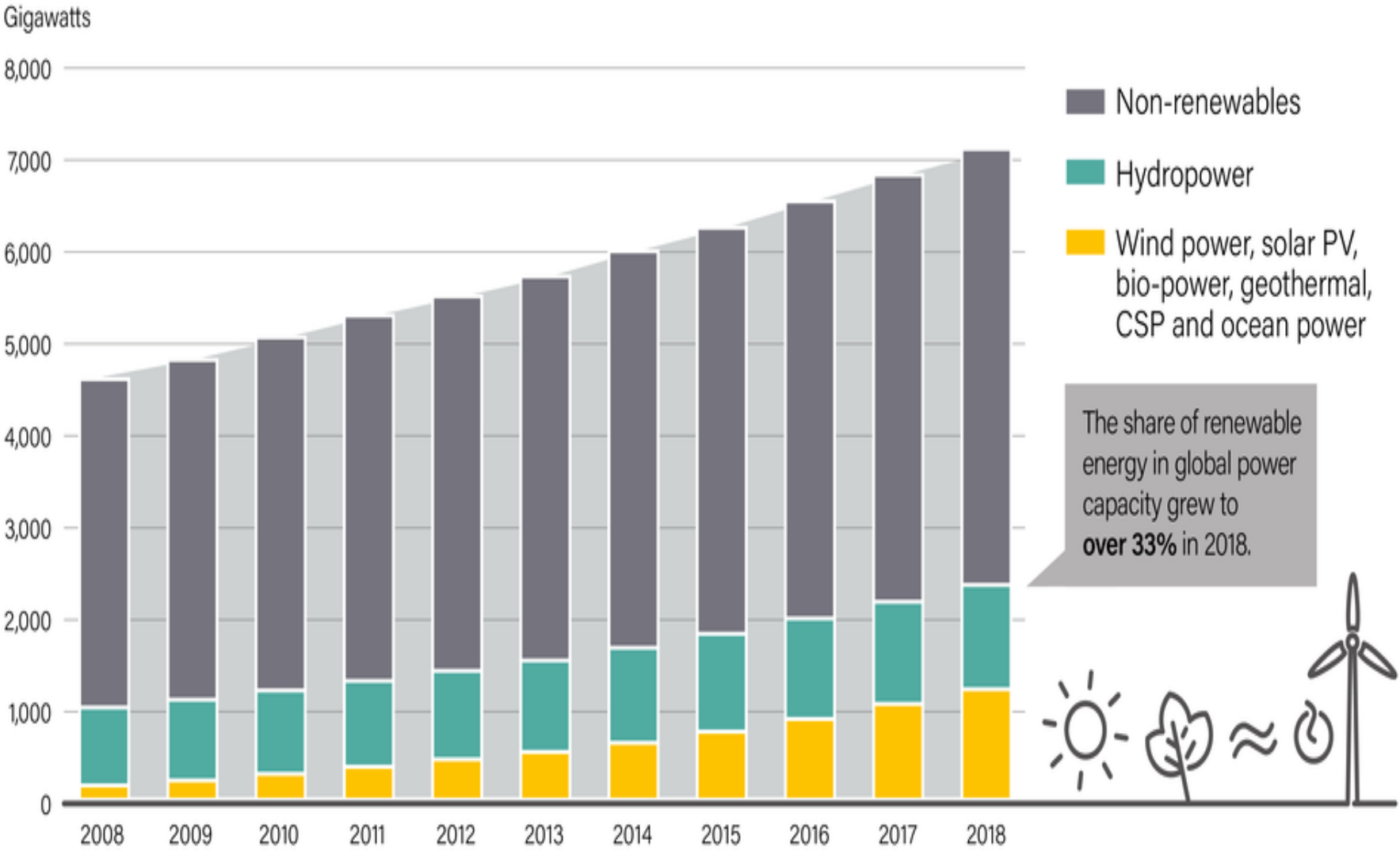


Note: Data should not be compared with previous version of this figure due to revisions in data and methodology.

End 2019

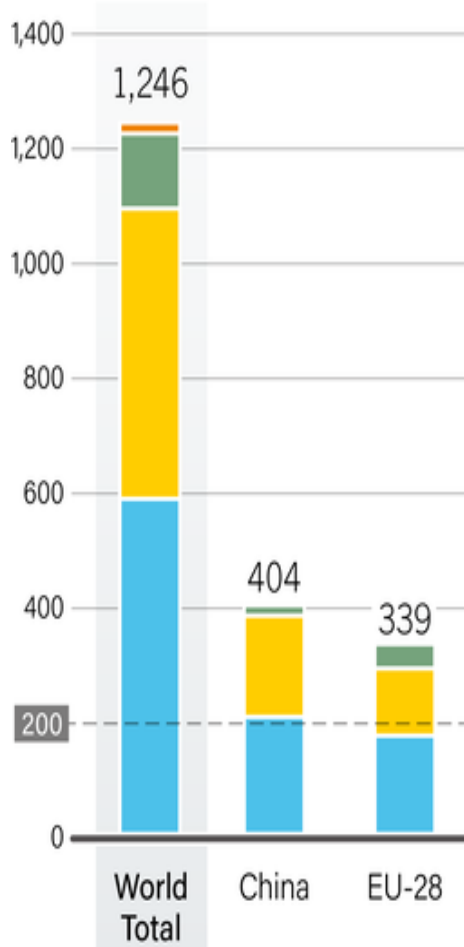


Global Power Generating Capacity, by Source, 2008-2018

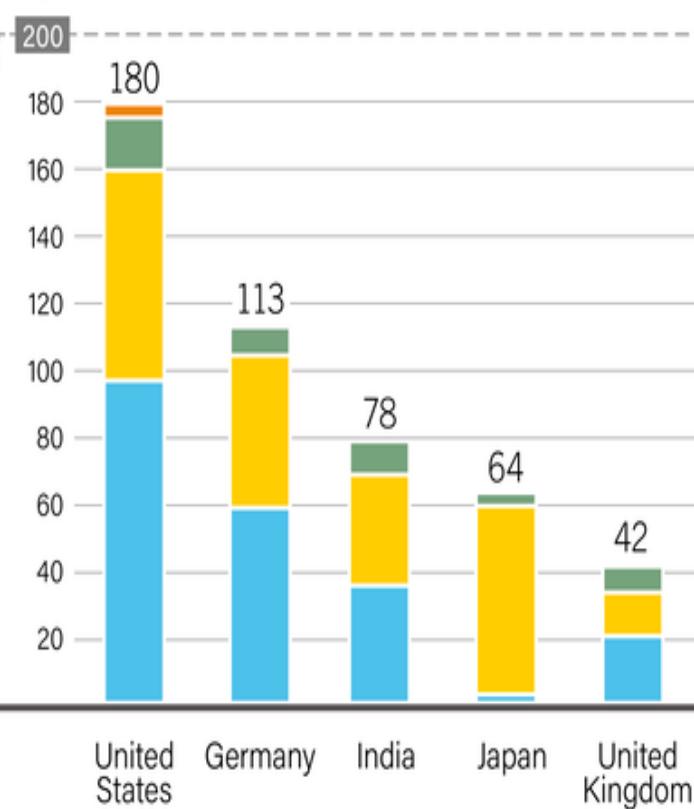


Renewable Power Capacities in World, EU-28 and Top 6 Countries, 2018

Gigawatts



Gigawatts

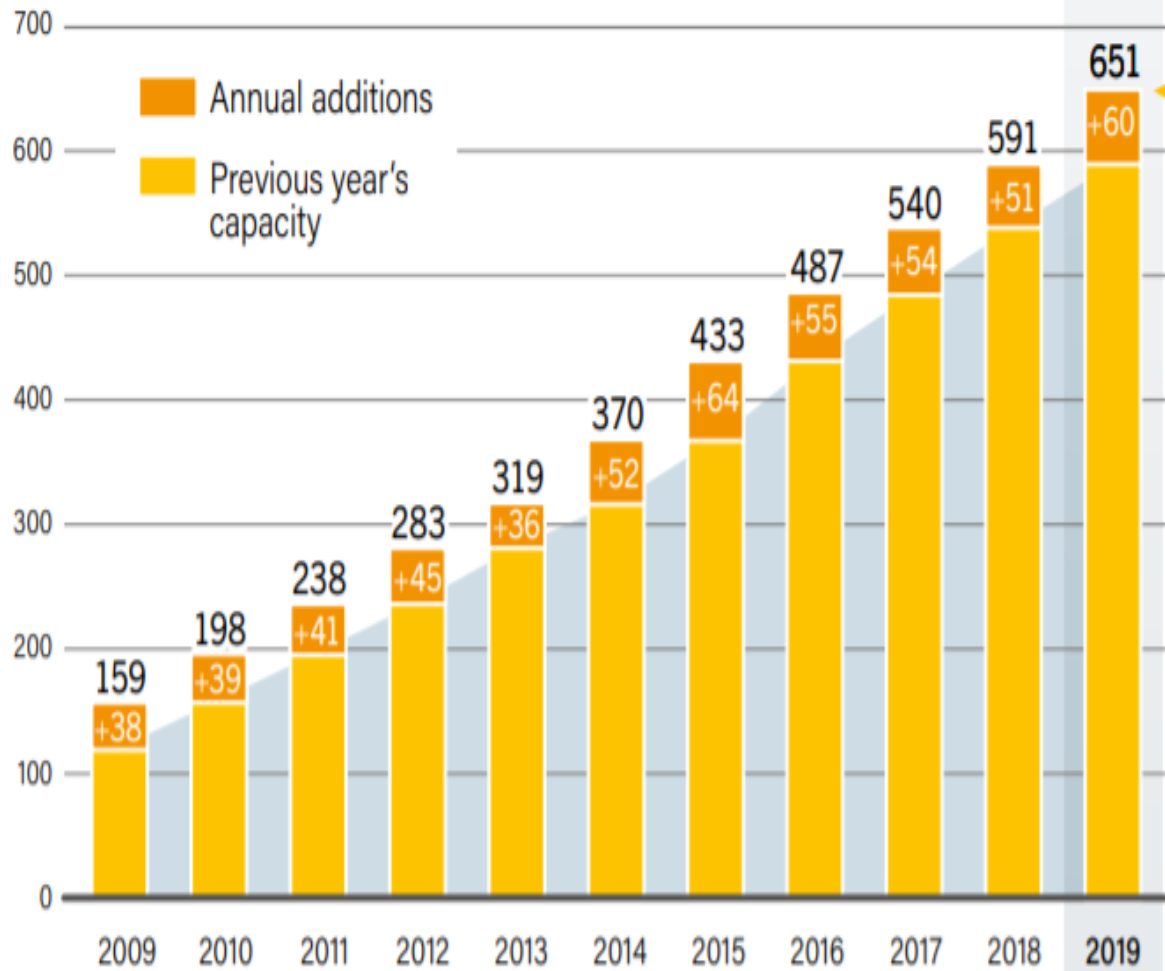


- Geothermal, CSP and ocean power
- Bio-power
- Solar PV
- Wind power



Note: Not including hydropower.

Gigawatts



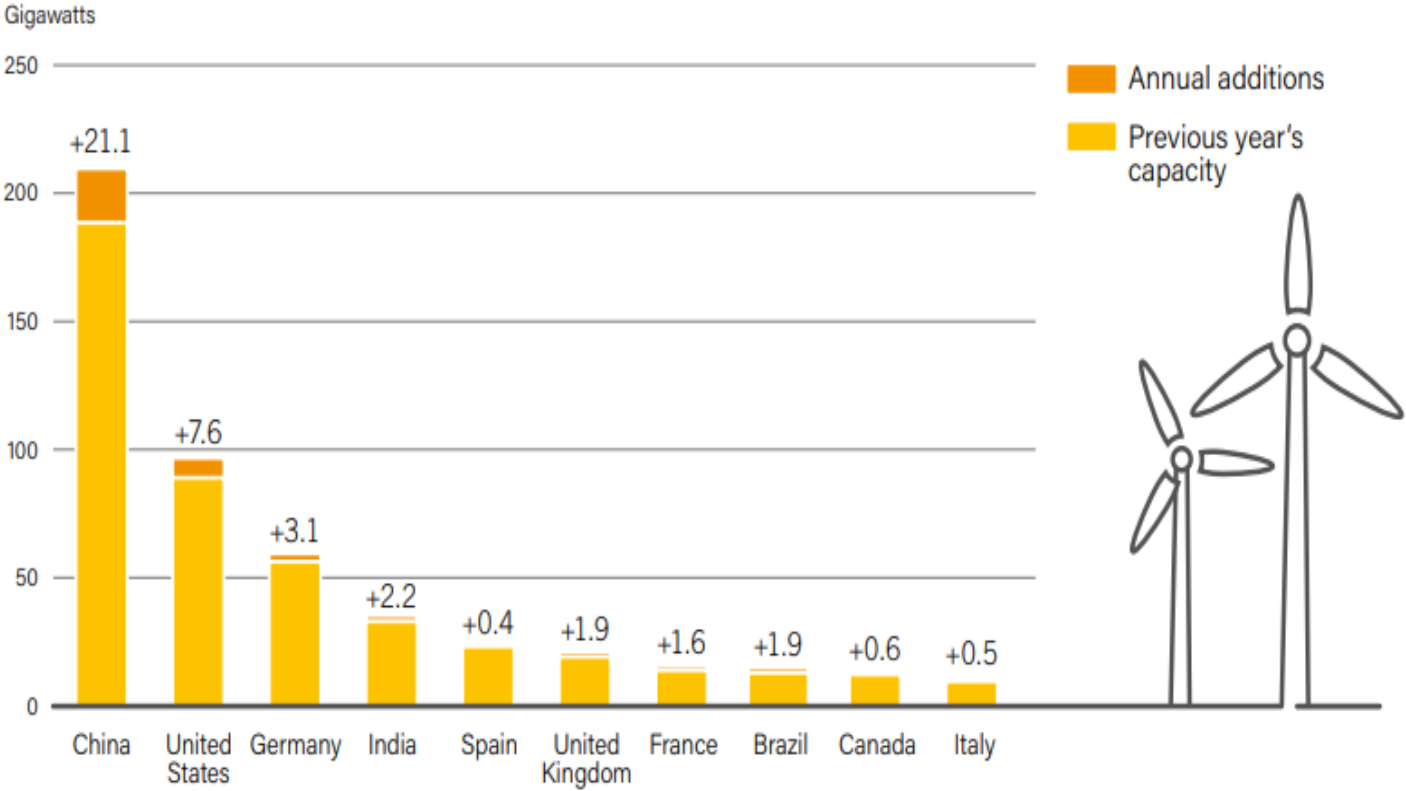
651

Gigawatts

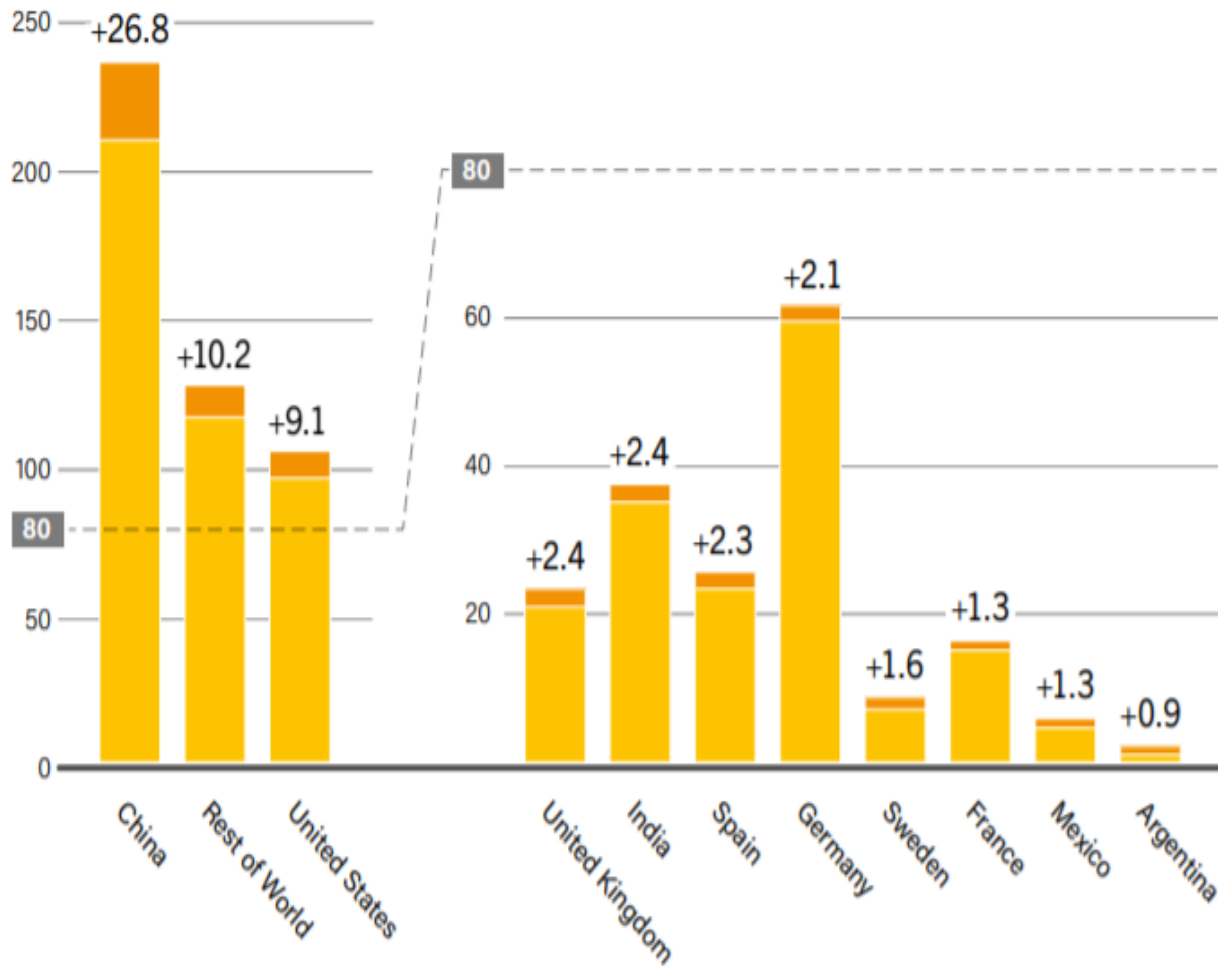
World Total



Wind Power Capacity and Additions, Top 10 Countries, 2018



Gigawatts



Added in 2019

2018 total

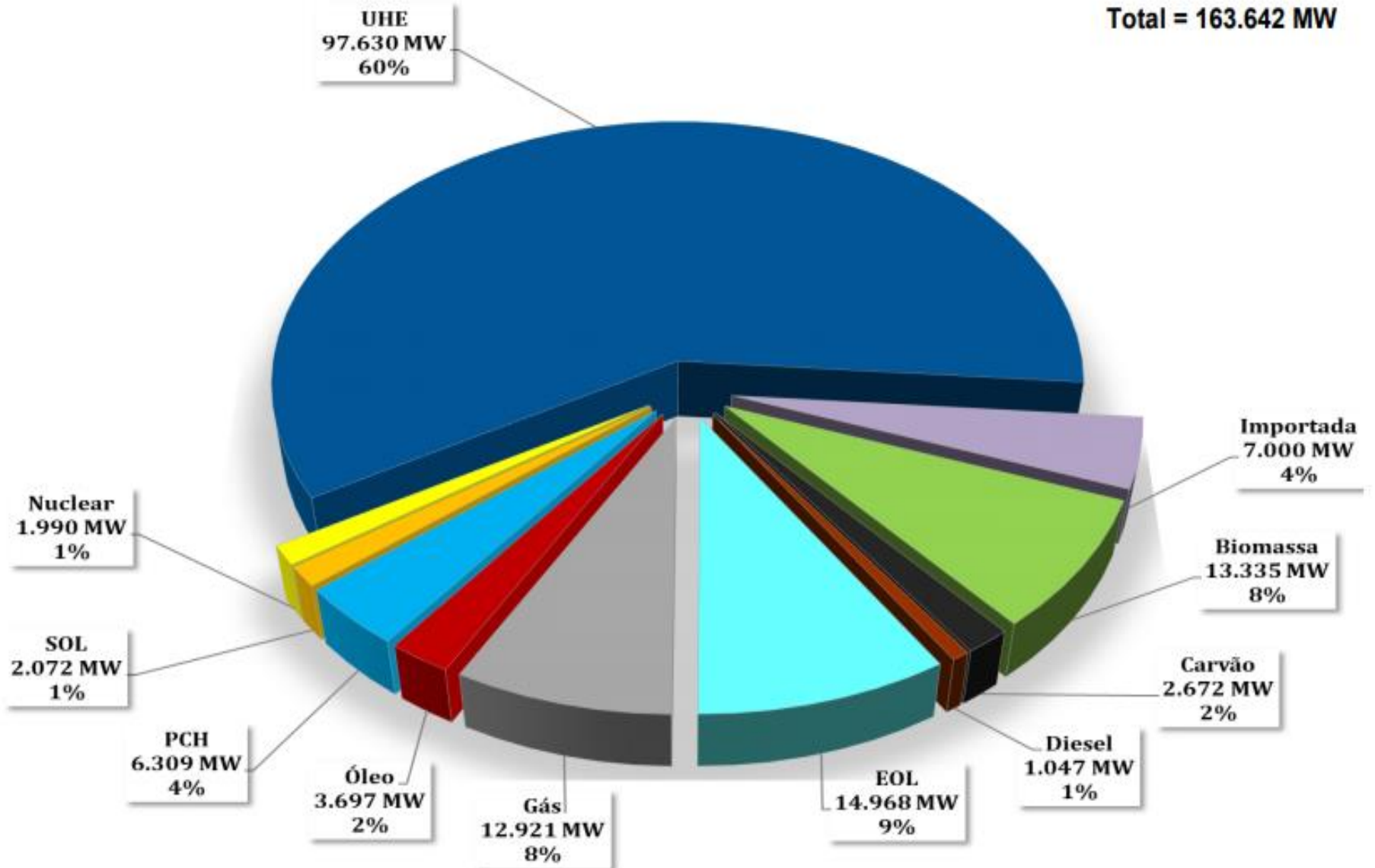


BRASIL:

Capacidade Instalada kW

Capacidade Instalada no SIN no final de maio de 2019

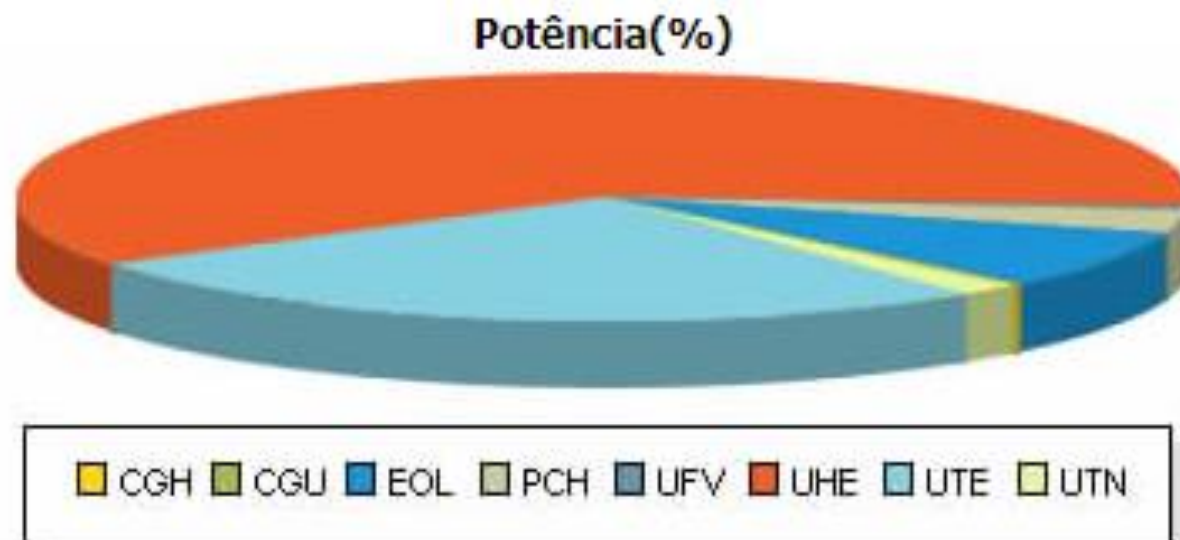
Total = 163.642 MW



Matriz de Energia Elétrica

Fonte			Capacidade Instalada			Total		
Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2	Nº de Usinas	(KW)	%	Nº de Usinas	(KW)	%
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	405	11.489.702	6,4312	423	11.582.686	6,4833
		Biogás-AGR	3	7.951	0,0045			
		Capim Elefante	2	31.700	0,0177			
		Casca de Arroz	13	53.333	0,0299			
	Biocombustíveis líquidos	Etanol	1	320	0,0002	3	4.670	0,0026
		Óleos vegetais	2	4.350	0,0024			
	Floresta	Biogás - Floresta	1	5.000	0,0028	105	3.243.153	1,8153
		Carvão Vegetal	8	48.197	0,0270			
		Gás de Alto Forno - Biomassa	12	127.705	0,0715			
		Lenha	7	82.215	0,0460			
		Licor Negro	18	2.530.719	1,4165			
		Resíduos Florestais	59	449.317	0,2515			
	Resíduos animais	Biogás - RA	14	4.481	0,0025	14	4.481	0,0025
	Resíduos sólidos urbanos	Biogás - RU	22	172.787	0,0967			
Carvão - RU		3	8.250	0,0046				
Resíduos Sólidos Urbanos - RU		1	4.278	0,0024				
Eólica	Cinética do vento		633	15.439.038	8,6418	633	15.439.038	8,6418
Fóssil	Carvão mineral	Calor de Processo - CM	2	28.400	0,0159	23	3.596.830	2,0133
		Carvão Mineral	13	3.202.740	1,7927			
		Gás de Alto Forno - CM	8	365.690	0,2047			
	Gás natural	Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0224	166	13.431.505	7,5181
		Gás Natural	165	13.391.505	7,4957			
	Outros Fósseis	Calor de Processo - OF	4	165.970	0,0929	4	165.970	0,0929
		Petróleo	Gás de Alto Forno - PE	1	1.200			
	Gás de Refinaria		6	319.530	0,1789			
	Óleo Combustível		75	3.301.595	1,8480			
	Óleo Diesel		2185	4.426.734	2,4778			
	Outros Energéticos de Petróleo		17	1.023.328	0,5728			
Hídrica	Potencial hidráulico		1369	109.096.064	61,0651	1369	109.096.064	61,0651
Nuclear	Urânio		2	1.990.000	1,1139	2	1.990.000	1,1139
Solar	Radiação solar		3883	2.673.328	1,4964	3883	2.673.328	1,4964
Undi-Elétrica	Cinética da água		1	50	0,0000	1	50	0,0000
Importação	Paraguai			5.650.000	3,1625			4,5730
	Argentina			2.250.000	1,2594			
	Venezuela			200.000	0,1119			
	Uruguai			70.000	0,0391			
Total			8940	178.655.477	100	8940	178.655.477	100

Empreendimentos em Operação				
Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	663	610.143	612.379	0,39
CGU	1	50	50	0
EOL	509	12.504.339	12.458.443	7,88
PCH	428	5.042.129	5.020.473	3,18
UFV	84	1.025.845	1.021.485	0,65
UHE	219	101.887.490	95.448.508	60,38
UTE	2.998	42.900.665	41.525.806	26,27
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,26
Total	4.904	165.960.661	158.077.144	100

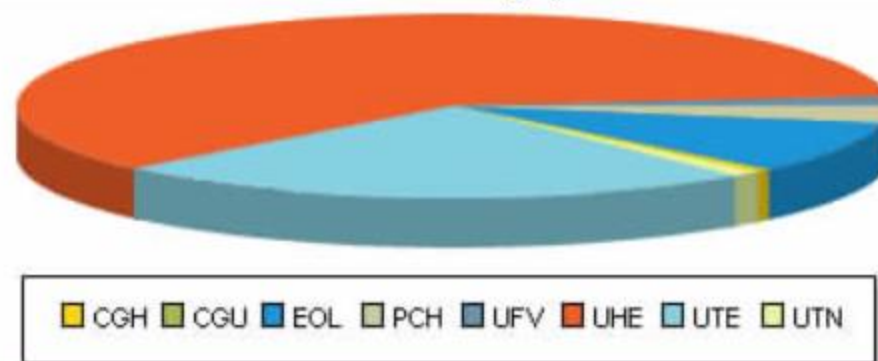


<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15&idPerfil=2&idiomaAtual=0>

Empreendimentos em Operação

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	%
CGH	731	795.812	795.626	0,47
CGU	1	50	50	0
EOL	633	15.457.934	15.439.038	9,06
PCH	421	5.349.080	5.301.563	3,11
UFV	3.883	2.681.328	2.673.328	1,57
UHE	217	102.964.008	102.998.876	60,42
UTE	3.052	42.838.977	41.286.998	24,22
UTN	2	1.990.000	1.990.000	1,17
Total	8.940	172.077.189	170.485.479	100

Potência(%)



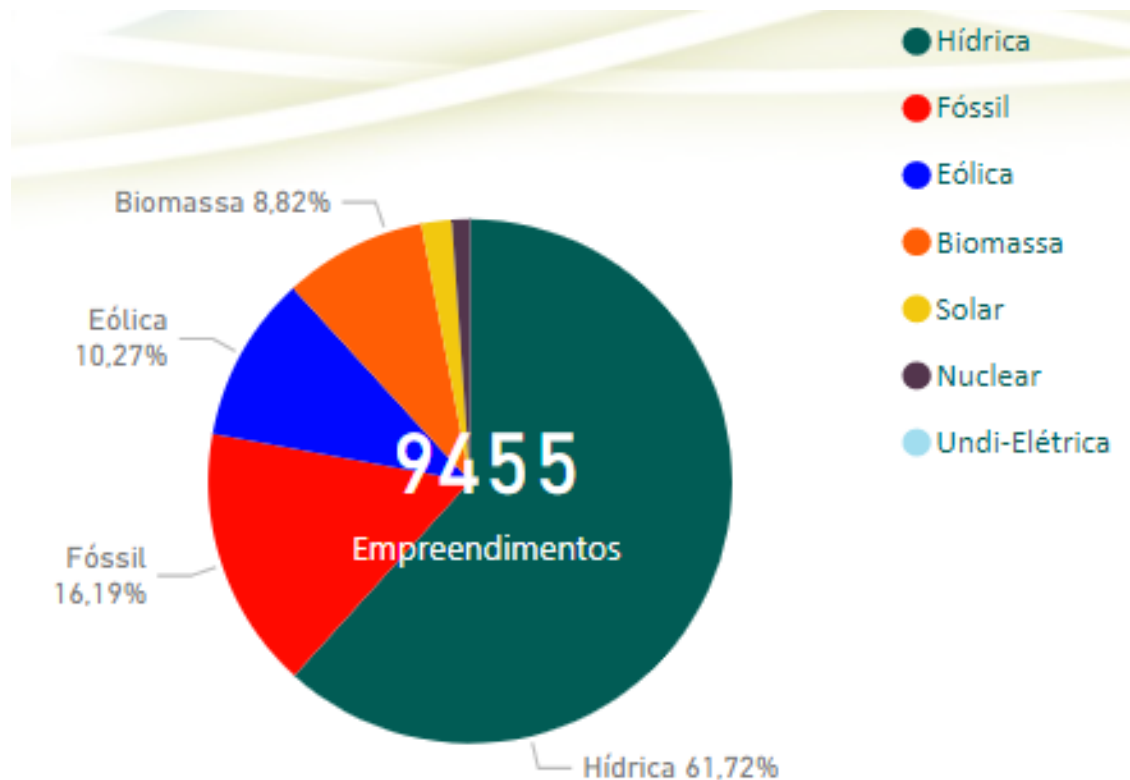
Fonte: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>

Capacidade Instalada 2021

Tipo	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Quantidade	% (Pot. Outorgada)
CGH	846.867,59	829.908,59	739	0,39%
CGU	50,00	50,00	1	0,00%
EOL	29.845.333,86	18.062.872,86	1036	13,68%
PCH	7.139.646,32	5.458.293,57	541	3,27%
UFV	21.396.900,96	3.327.512,01	4737	9,81%
UHE	103.394.328,00	103.026.876,00	223	47,38%
UTE	52.250.089,79	42.808.037,79	3173	23,94%
UTN	3.340.000,00	1.990.000,00	3	1,53%
Total	218.213.216,52	175.503.550,82	10453	100,00%

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjllLWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>

Capacidade Instalada Ano 2021



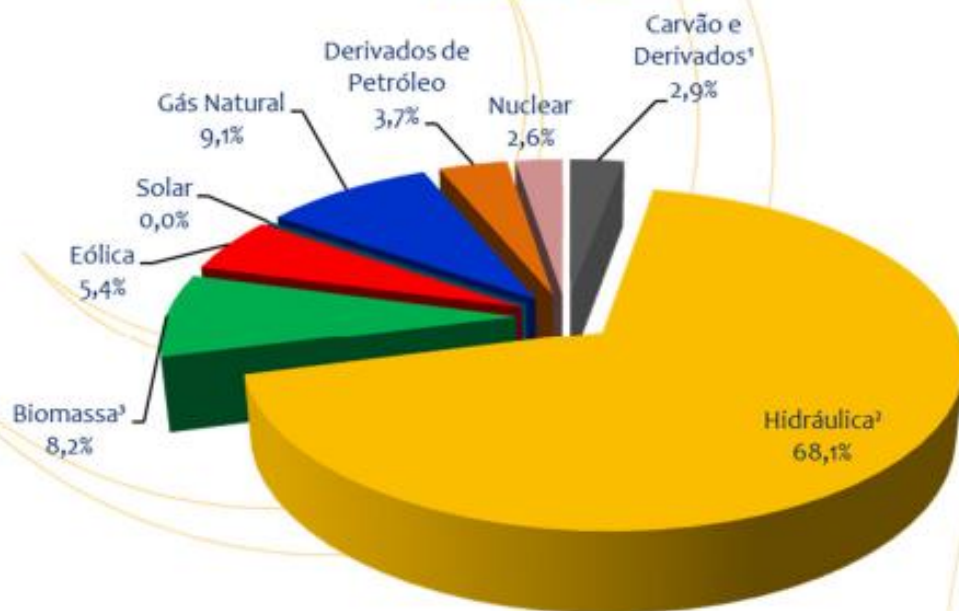
- Empreendimentos em Operação

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibjNjc4OGYyYjQtYWM2ZC00YjIILWJlYmEtYzdkNTQ1MTc1NjM2liwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOjR9>

BRASIL:
Produção de Energia
TWh/ano

Matriz Elétrica Brasileira

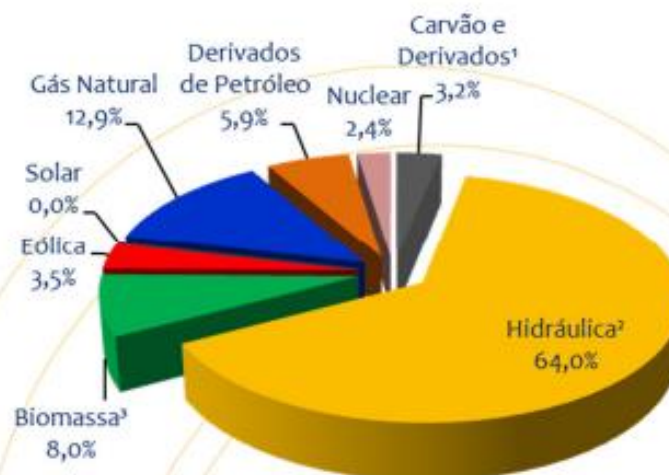
BRASIL (2016)



oferta hidráulica² em 2016: **421,7 TWh**

oferta total² em 2016: **619,7 TWh**

BRASIL (2015)



oferta hidráulica² em 2015: **394,2 TWh**

oferta total² em 2015: **615,7 TWh**

¹ Inclui gás de coqueria

² Inclui importação

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixo e outras fontes primárias.

BEN 2019 | Matriz Elétrica Brasileira

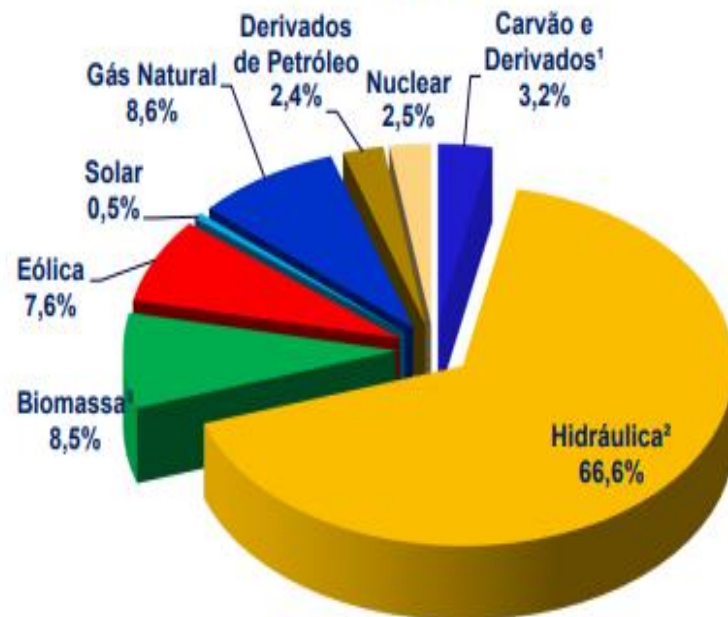
BRASIL (2017)



oferta hidráulica² em 2017: **407,3 TWh**

oferta total² em 2016: **625,7 TWh**

BRASIL (2018)



oferta hidráulica² em 2018: **423,9 TWh**

oferta total² em 2018: **636,4TWh**

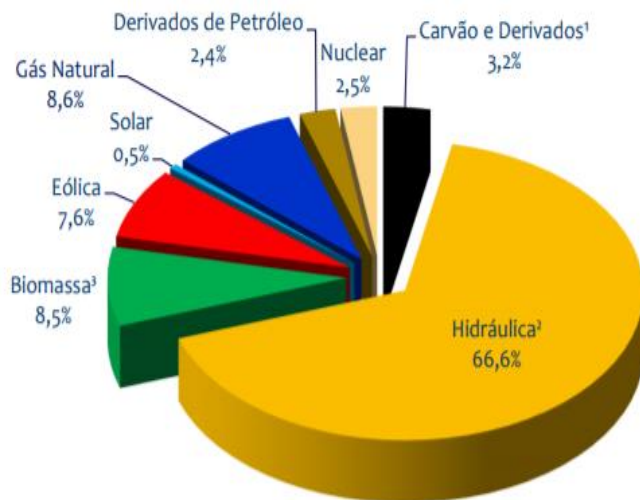
¹ Inclui gás de coqueria, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

² Inclui importação

³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia, biodiesel e outras fontes primárias.

BEN 2020 | Matriz Elétrica Brasileira

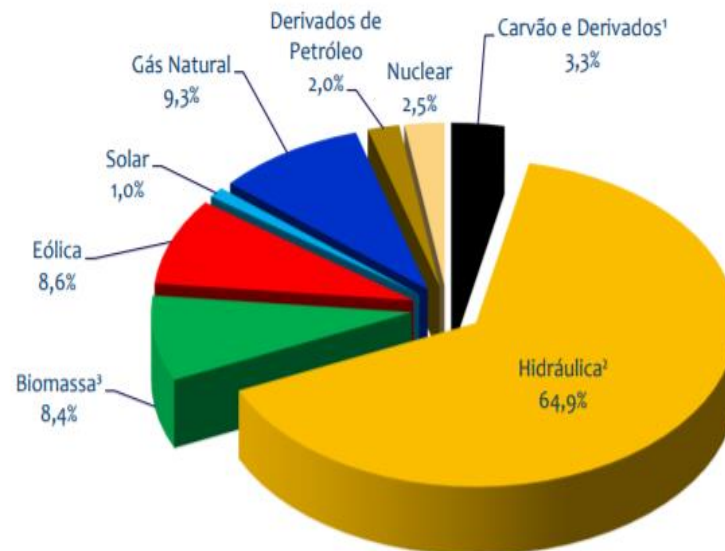
BRASIL (2018)



oferta hidráulica² em 2018: **423,9 TWh**

oferta total² em 2018: **636,4 TWh**

BRASIL (2019)



oferta hidráulica² em 2019: **422,8 TWh**

oferta total² em 2019: **651,3TWh**

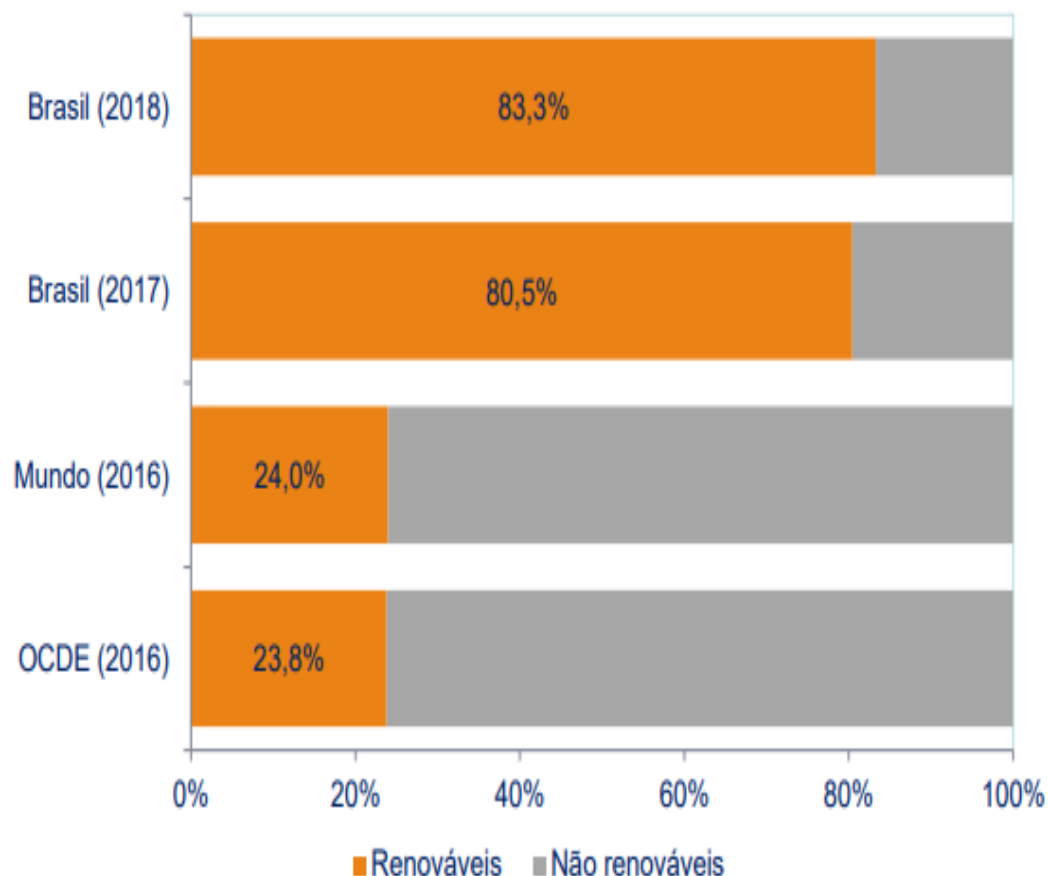
¹ Inclui gás de coqueria, gás de alto forno, gás de aciaria e alcatrão

² Inclui importação

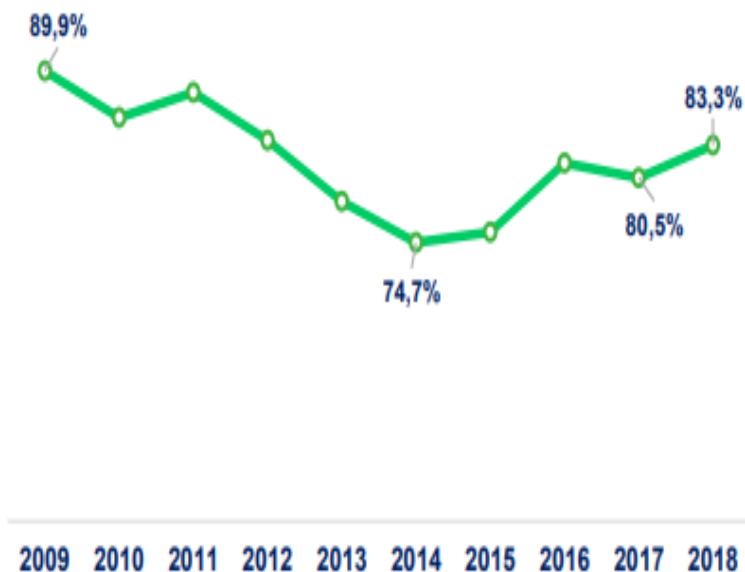
³ Inclui lenha, bagaço de cana, lixívia, biodiesel e outras fontes primárias.

BEN 2019 | Participação de renováveis na matriz elétrica¹

Em 2018: Incremento da geração hidráulica e eólica.



Participação das renováveis na matriz elétrica

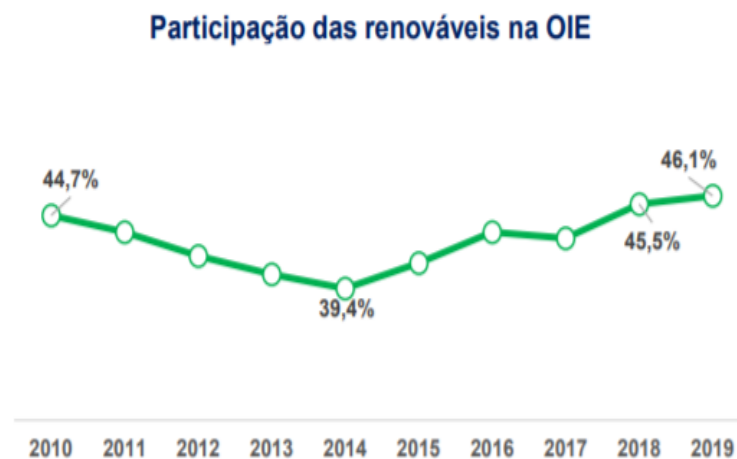
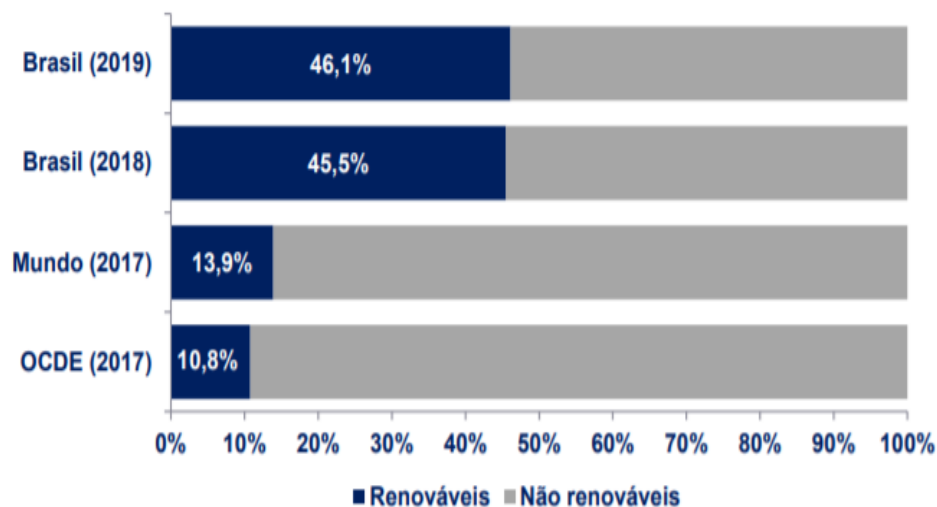


Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE

¹ A renovabilidade é calculada com base na Oferta Interna de Energia Elétrica.

BEN 2020 | Participação de renováveis na matriz energética¹

- ✓ Incremento da geração hidráulica e eólica;
- ✓ Aumento da oferta da biomassa da cana e biodiesel;
- ✓ Redução da oferta de carvão mineral (queda de 9,0% na produção de aço).



¹ A renovabilidade é calculada com base na Oferta Interna de Energia - OIE.

Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE

Geração Elétrica¹ (GWh)

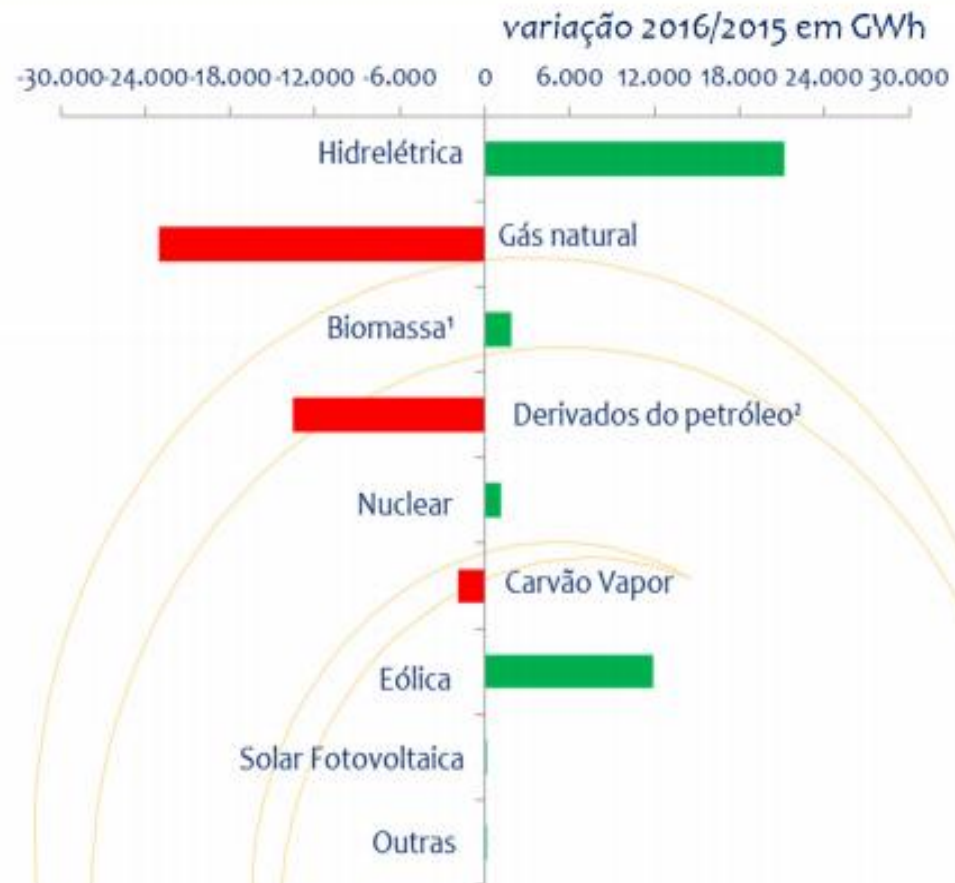
Fonte	2015	2016	Δ 16/15
Hidrelétrica	359.743	380.911	5,9%
Gás Natural	79.490	56.485	-28,9%
Biomassa ²	47.394	49.236	3,9%
Derivados do Petróleo ³	25.657	12.103	-52,8%
Nuclear	14.734	15.864	7,7%
Carvão Vapor	18.856	17.001	-9,8%
Eólica	21.626	33.489	54,9%
Solar Fotovoltaica	59	85	44,7%
Outras ⁴	13.669	13.723	0,4%
Geração Total	581.228	578.898	-0,4%

¹ Inclui geração distribuída

² Inclui lenha, bagaço de cana e lixívia

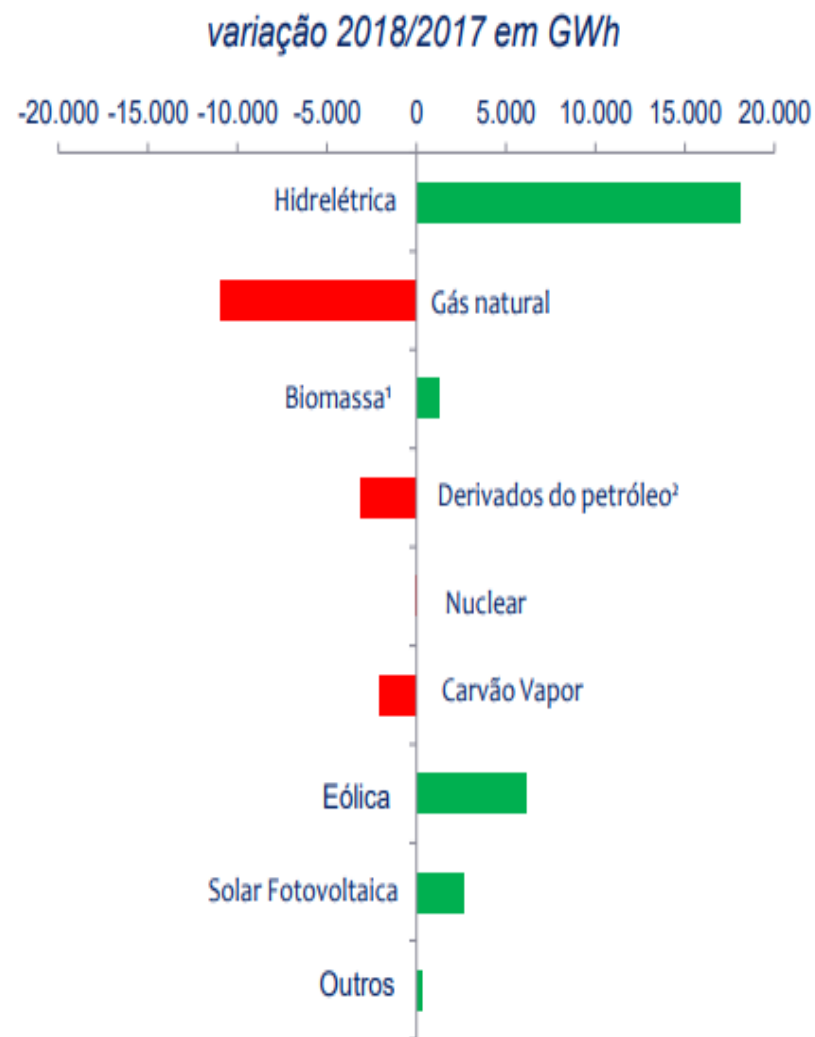
³ Inclui óleo diesel e óleo combustível

⁴ Inclui outras fontes primárias, gás de coqueria e outras secundárias



BEN 2019 | Geração Elétrica¹ (GWh)

Fonte	2017	2018	Δ 18/17
Hidrelétrica	370.906	388.971	4,9%
Gás Natural	65.593	54.622	-16,7%
Biomassa ²	51.023	52.267	2,4%
Derivados do Petróleo ³	12.458	9.293	-25,4%
Nuclear	15.739	15.674	-0,4%
Carvão Vapor	16.257	14.204	-12,6%
Eólica	42.373	48.475	14,4%
Solar Fotovoltaica	832	3.461	316,1%
Outras ⁴	14.146	14.429	2,0%
Geração Total	589.327	601.396	2,0%



¹ Inclui geração distribuída

² Inclui lenha, bagaço de cana, biodiesel e lixívia

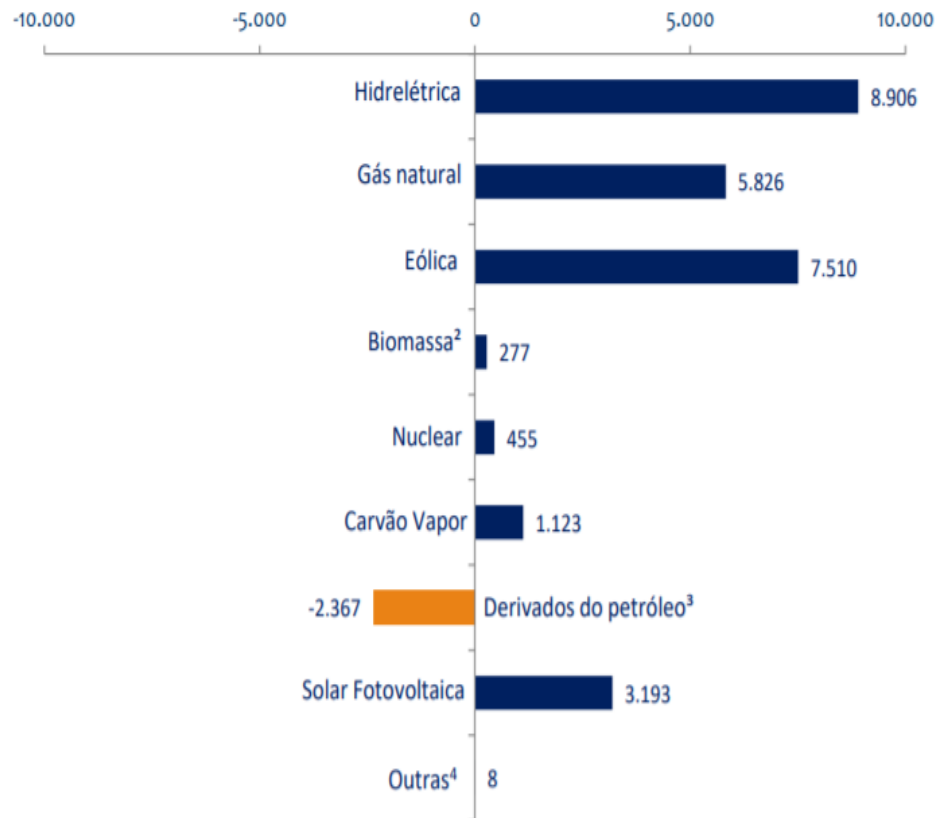
³ Inclui óleo diesel e óleo combustível

⁴ Inclui outras fontes primárias, gás de coqueria e outras secundárias

BEN 2020 | Geração Elétrica¹ (GWh)

Fonte	2018	2019	Δ 19/18
Hidrelétrica	388.971	397.877	2,3%
Gás Natural	54.622	60.448	10,7%
Eólica	48.475	55.986	15,5%
Biomassa ²	52.267	52.543	0,5%
Nuclear	15.674	16.129	2,9%
Carvão Vapor	14.204	15.327	7,9%
Derivados do Petróleo ³	9.293	6.926	-25,5%
Solar Fotovoltaica	3.461	6.655	92,2%
Outras ⁴	14.429	14.438	0,1%
Geração Total	601.396	626.328	4,1%

variação 2019/2018 em GWh



¹ Inclui geração distribuída

² Inclui lenha, bagaço de cana, biodiesel e lixívia

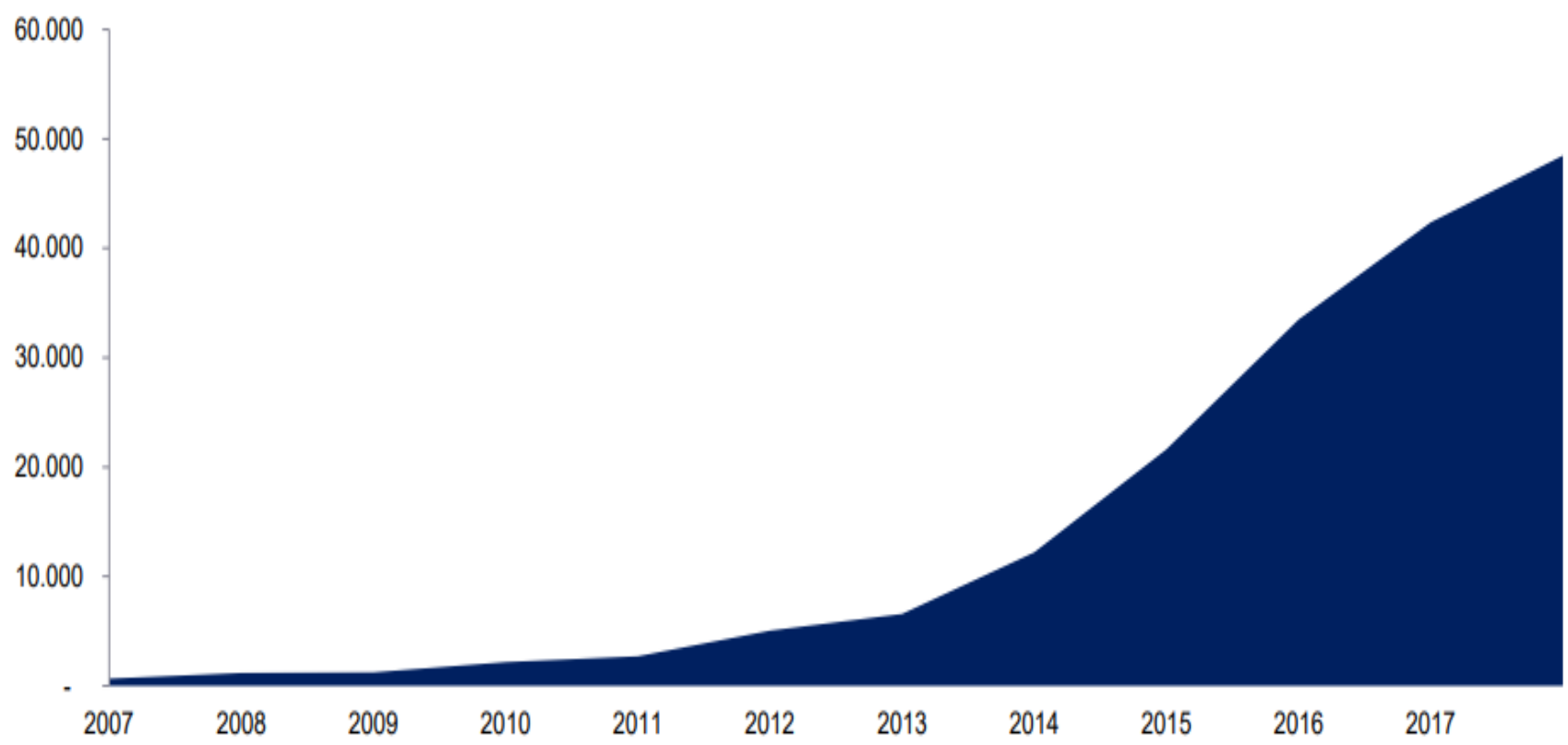
³ Inclui óleo diesel e óleo combustível

⁴ Inclui outras fontes primárias, gás de coqueria e outras secundárias

BEN 2019 | Evolução da geração eólica

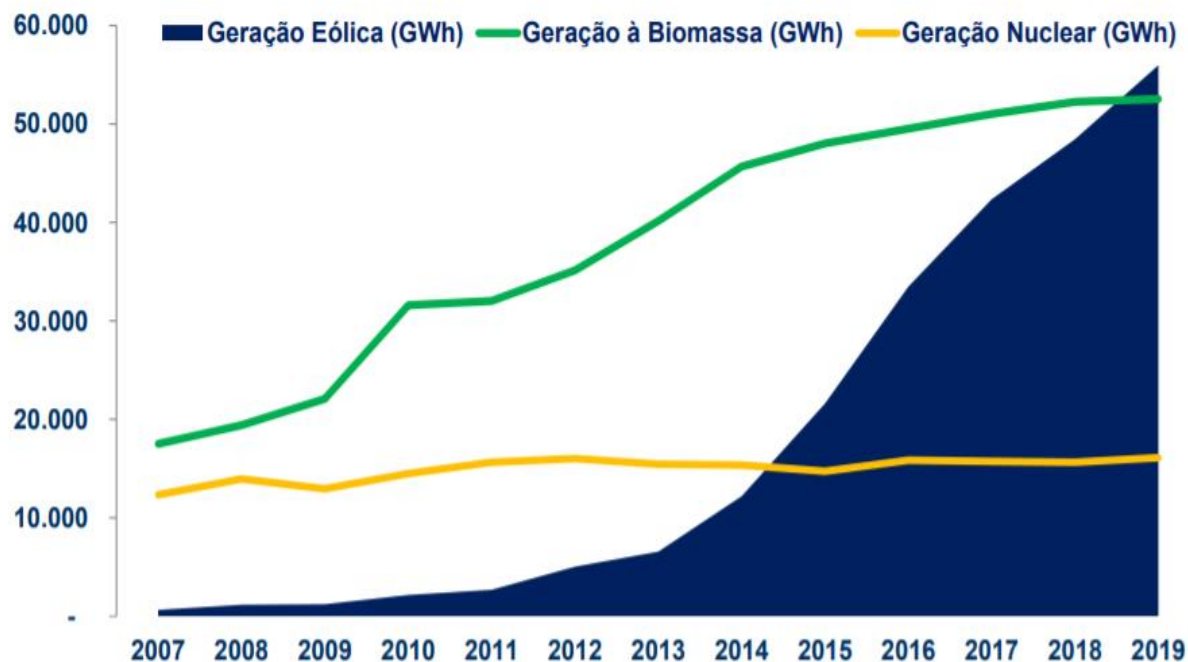
2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Δ 18/17
663	1.183	1.238	2.177	2.705	5.050	6.578	12.210	21.625	33.489	42.373	48.475	14,40%

em GWh



BEN 2020 | Evolução da geração eólica (GWh)

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Δ 19/18
663	1.183	1.238	2.177	2.705	5.050	6.578	12.210	21.625	33.489	42.373	48.475	55.986	15,5%

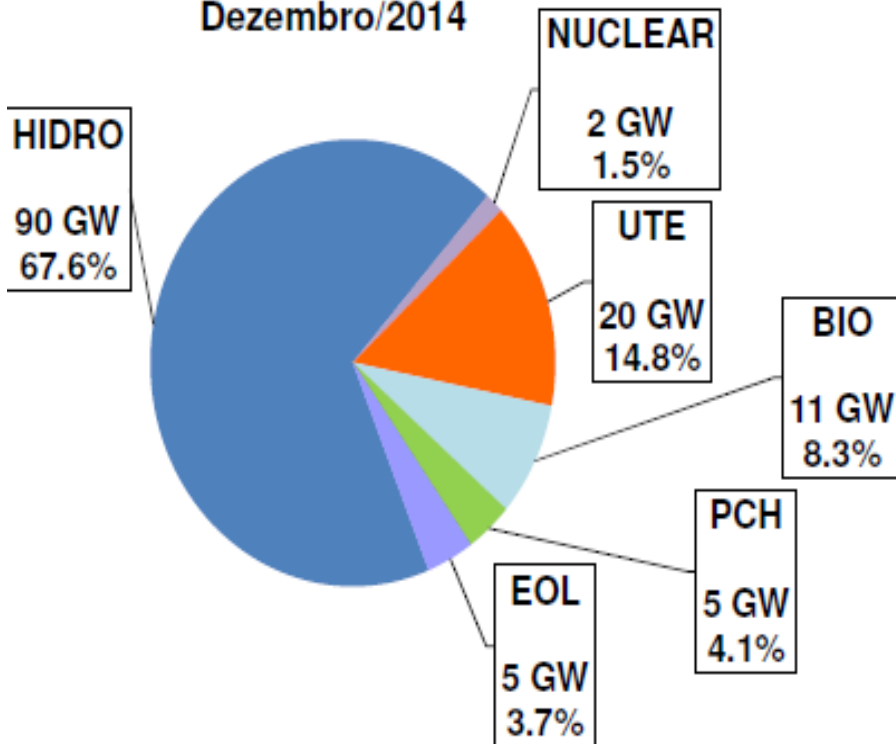


Em 2019, a geração eólica ultrapassou a geração de eletricidade à biomassa. Em 2015 já havia ultrapassado a geração nuclear.

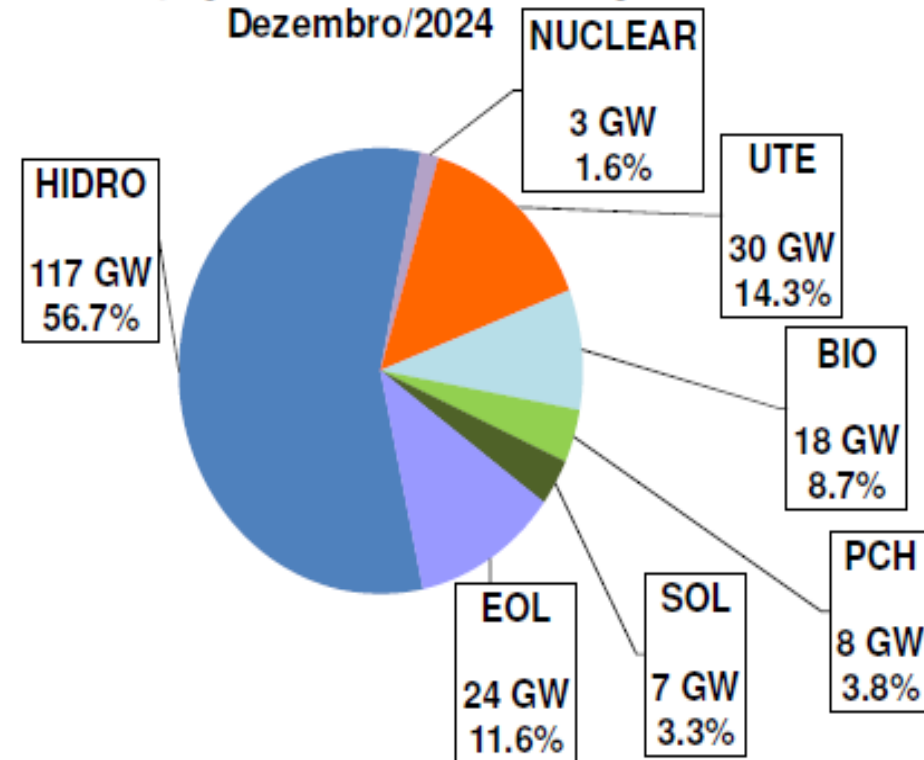
Expansão da geração

Evolução da capacidade instalada por fonte de geração

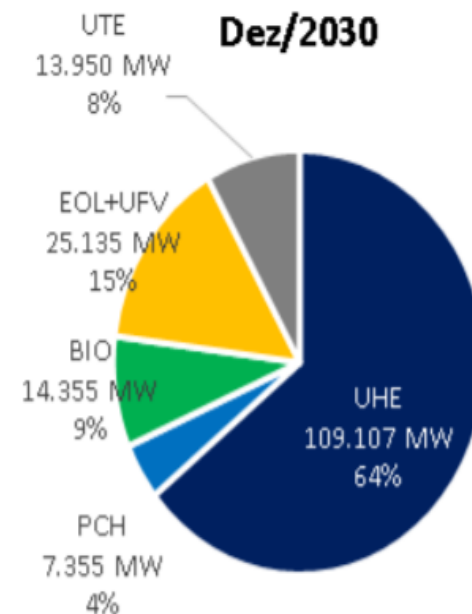
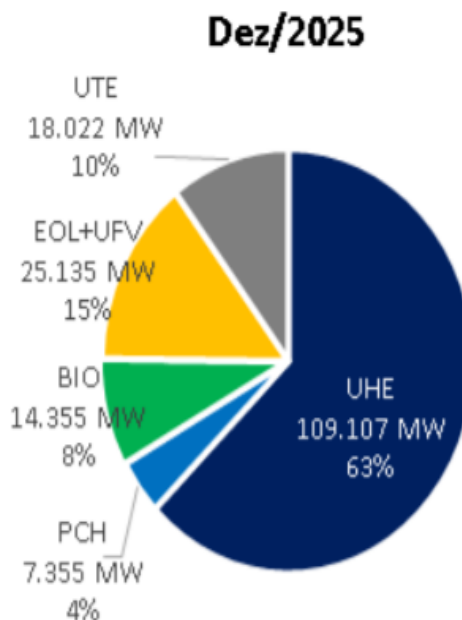
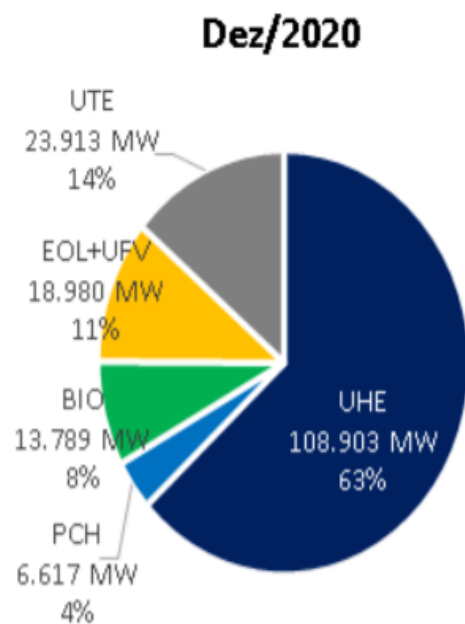
Participação das Fontes de Geração
Dezembro/2014



Participação das Fontes de Geração
Dezembro/2024



Fonte: EPE, 2015



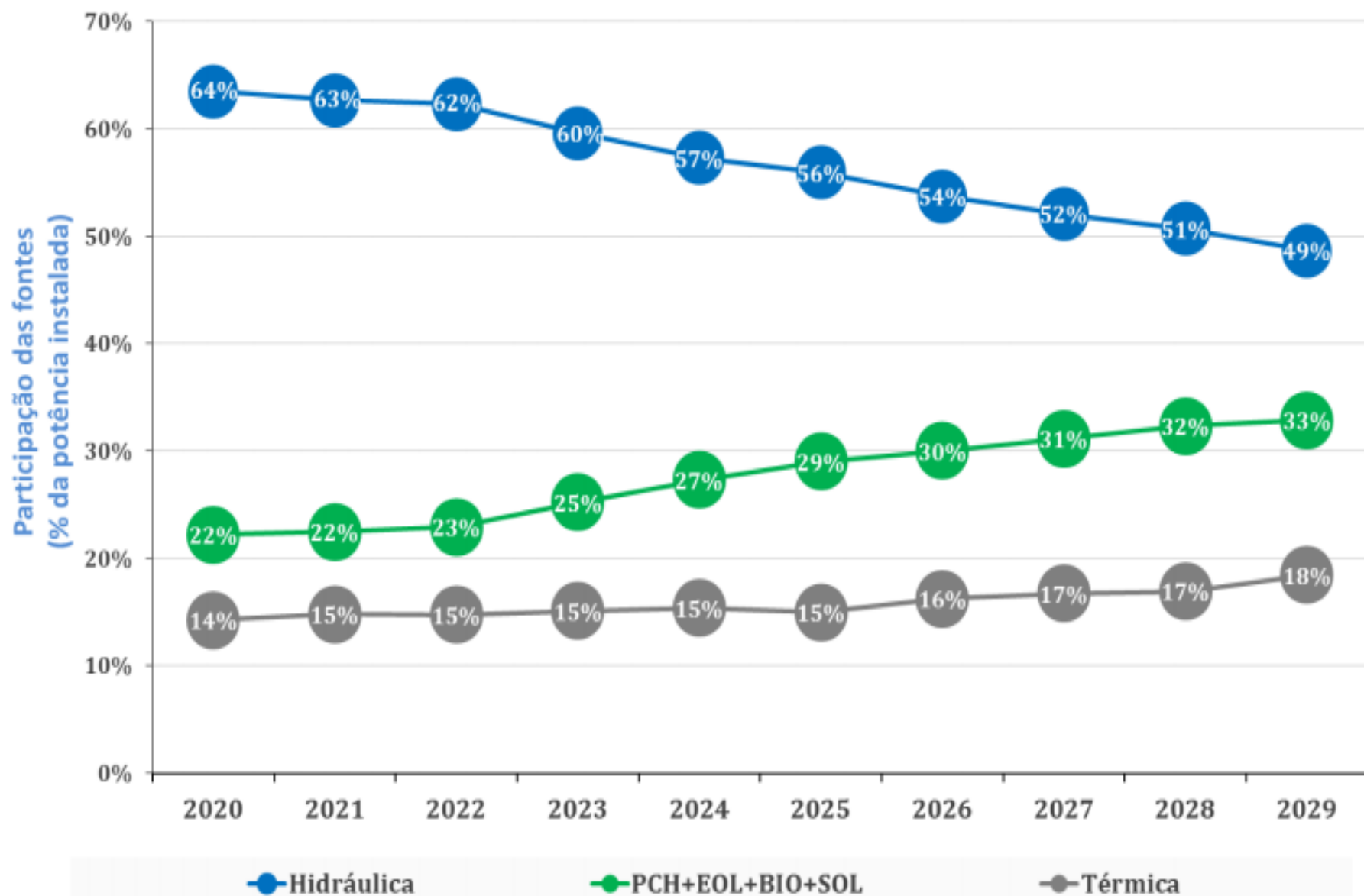
Nota: (1) O montante apresentado como PCH inclui também as CGH existentes.

(2) Cerca de 90% do total incidido no gráfico por biomassa é por composto por usinas desta fonte, mas também estão contabilizados neste montante pequenas termelétricas que podem utilizar outros combustíveis.

A oferta inicial considera 2.975 MW de usinas termelétricas cuja potência disponível é nula.

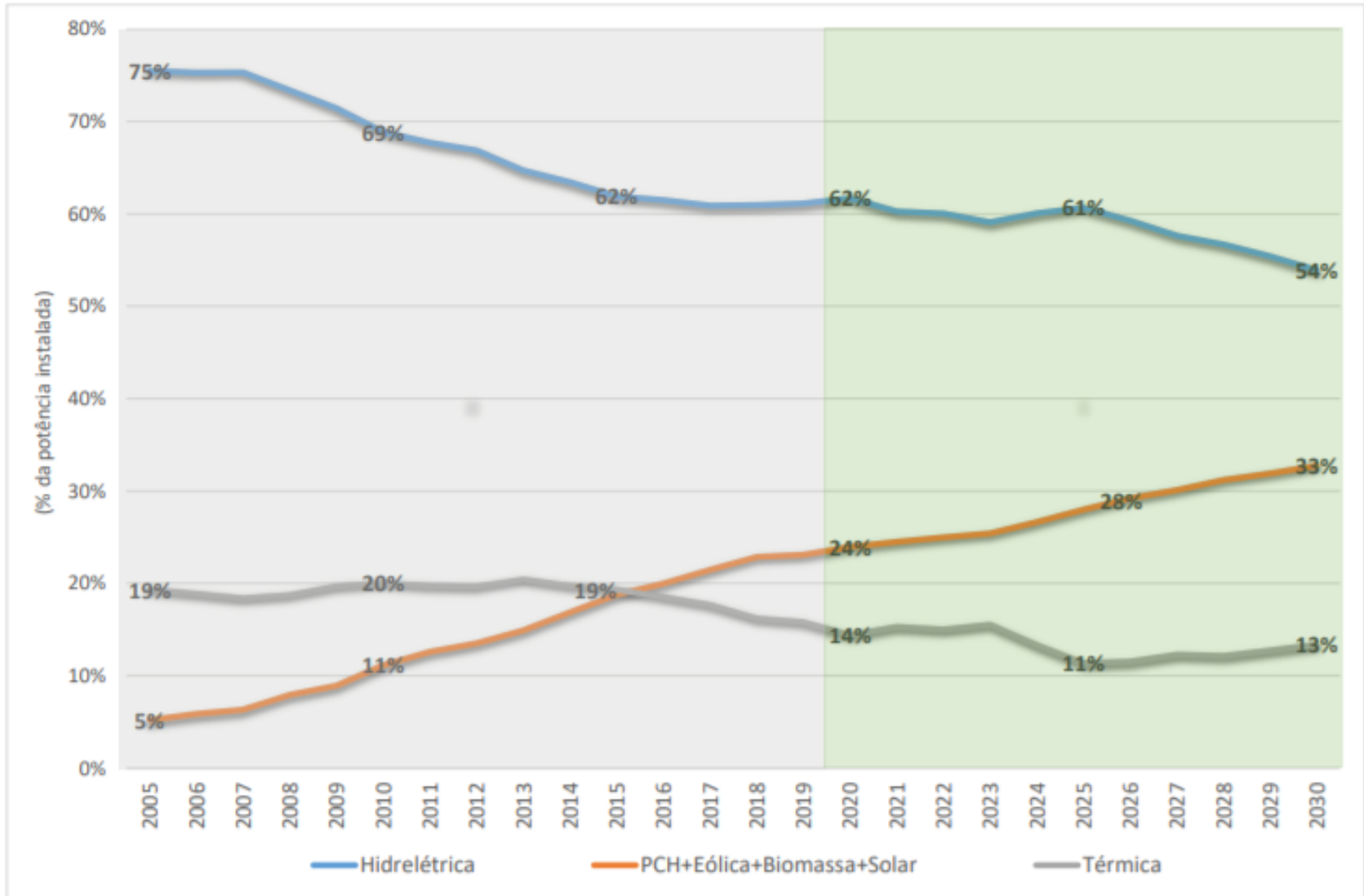
Inclui a parcela da UHE Itaipu pertencente ao Paraguai, cujo excedente de energia é exportado para o mercado brasileiro.

Participação das fontes na capacidade instalada da Geração Centralizada



Nota: A participação de PCH inclui também empreendimentos classificados como CGH.

- Participação das fontes na capacidade instalada da geração centralizada



Nota: Considera apenas a parte brasileira de Itaipu



DIÁRIO

BOLETIM
DIÁRIO DA
OPERAÇÃO

Balanco de Energia Diário

Valores - MWmed

SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN - MWmed			
Produção			
Hidro Nacional	52.065	51.671	75,12%
Itaipu Binacional	8.030	8.080	11,75%
Termo Nuclear	1.350	1.356	1,97%
Termo Convencional	5.494	5.332	7,75%
Eólica	2.209	1.841	2,68%
Solar	441	503	0,73%
Total SIN	69.591	68.782	100,00%
Intercâmbio Internacional	0	0	
Carga (*)	69.591	68.782	

<http://sdro.ons.org.br/SDRO/DIARIO/index.htm>

Cone de possibilidades de expansão da MMGD no Brasil [GW]

