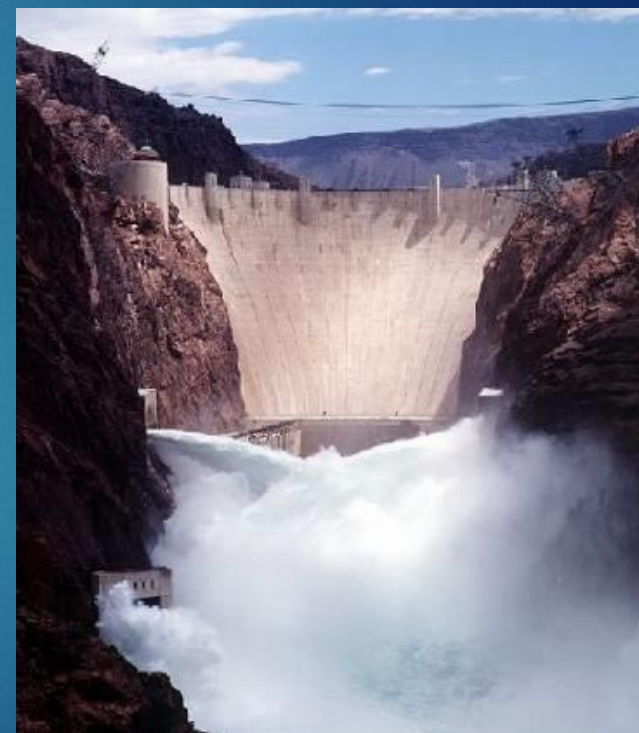

SEL0363 - Geração de Energia Elétrica

*Prof. Tit. Denis Vinicius Coury
Leonardo da Silva Lessa
Monitor: Luke Rasga Jardim Maia*

*Emails: coury@sc.usp.br;
leonardolessa@usp.br
lukejardim95@usp.br*

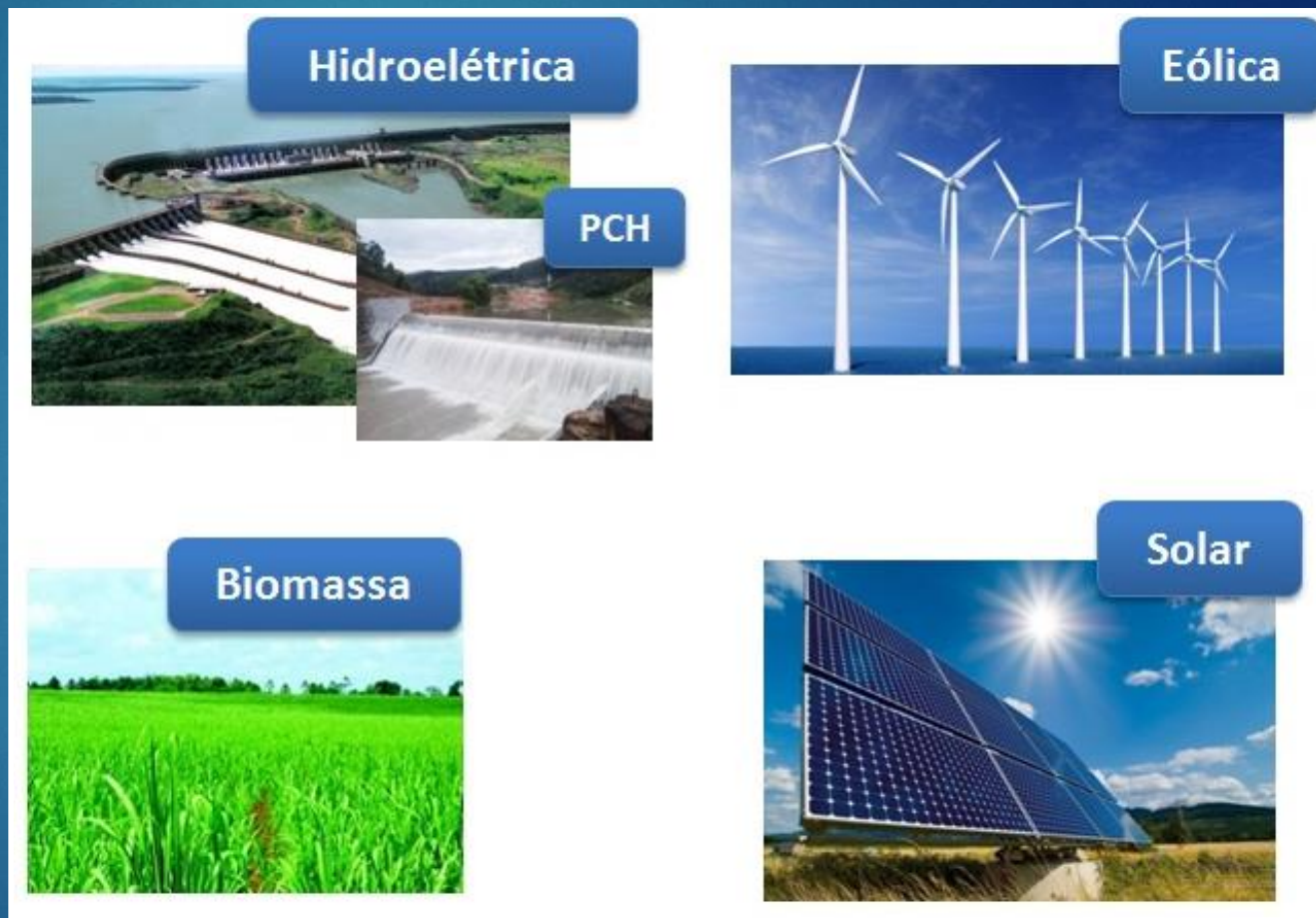
Matriz Energética e Sistema Interligado Nacional



Matriz Energética Brasileira

3

- A matriz energética brasileira (energia ofertada à sociedade para produção de bens de consumo e serviços) é uma das mais limpas do mundo, com forte presença de fontes renováveis.
- O Brasil conta com mais de 44,7% de fontes renováveis para geração de energia elétrica.



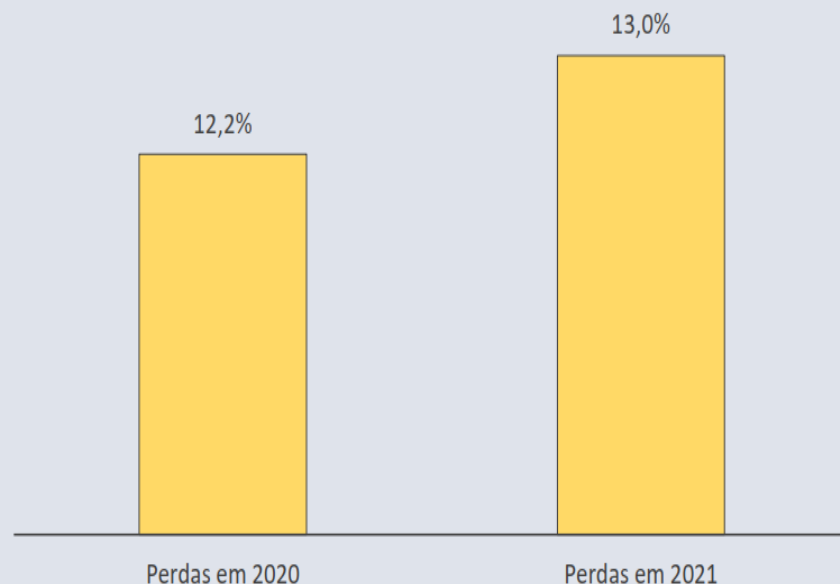
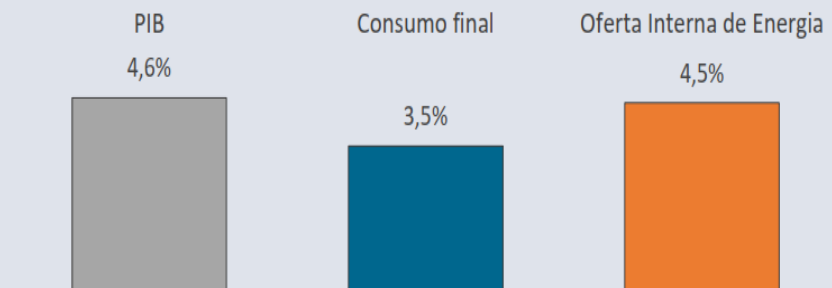
Matriz Energética Brasileira

4

- A **Oferta Interna de Energia (OIE)** no Brasil registrou, em 2021, um acréscimo de 4,5% em relação ao ano anterior, próximo ao crescimento do PIB.

Variação % 2021/2020

Valores em 10 ⁶ tep	2020	2021
Oferta interna de energia	288,5	301,5
Consumo Final	253,4	262,2
Perdas ¹	35,1	39,2

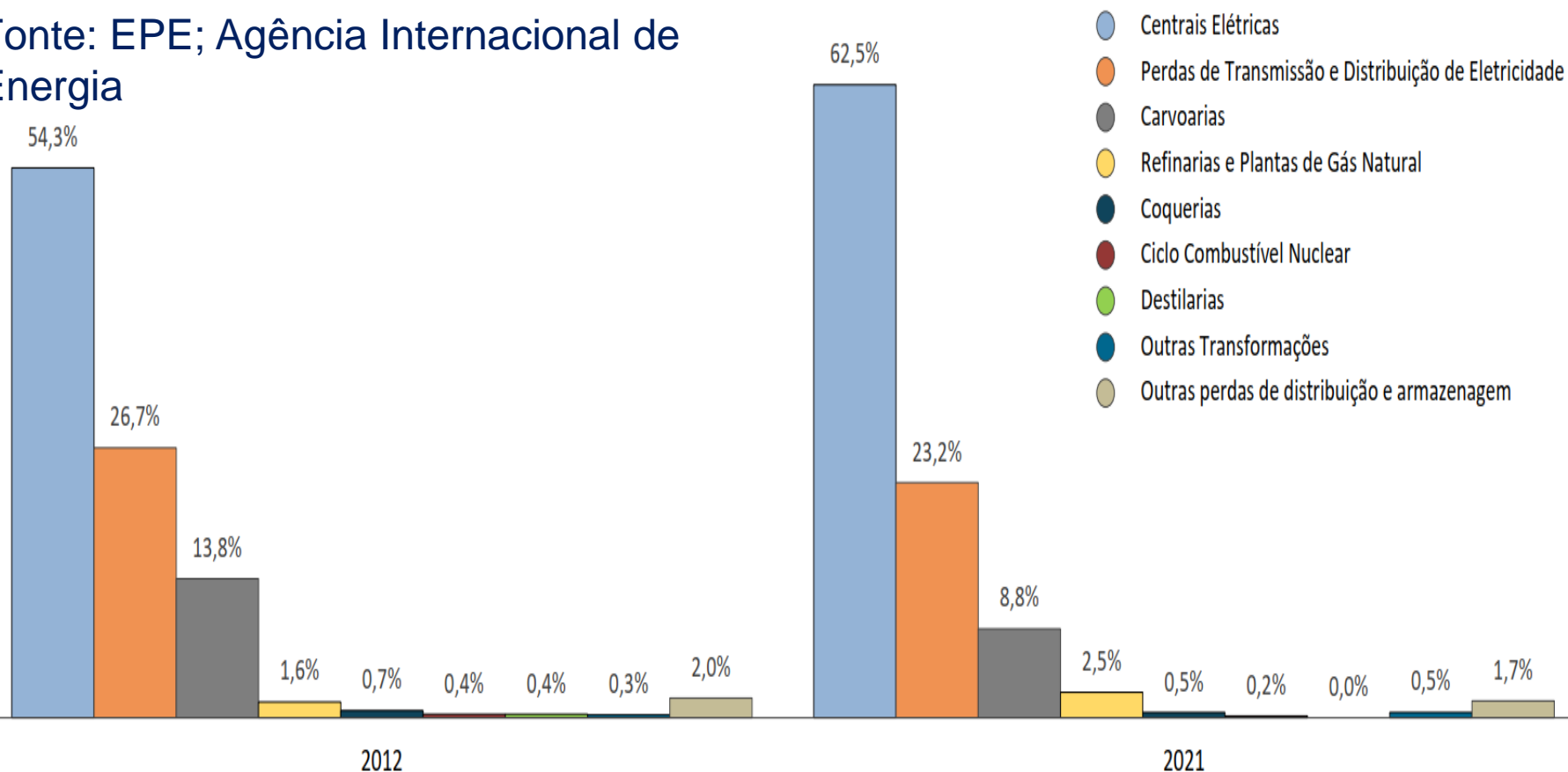


Matriz Energética Brasileira

5

- Ao longo de 10 anos, três segmentos são responsáveis por 90% das perdas que ocorrem no País: centrais elétricas, transmissão e distribuição de eletricidade e carvoarias.

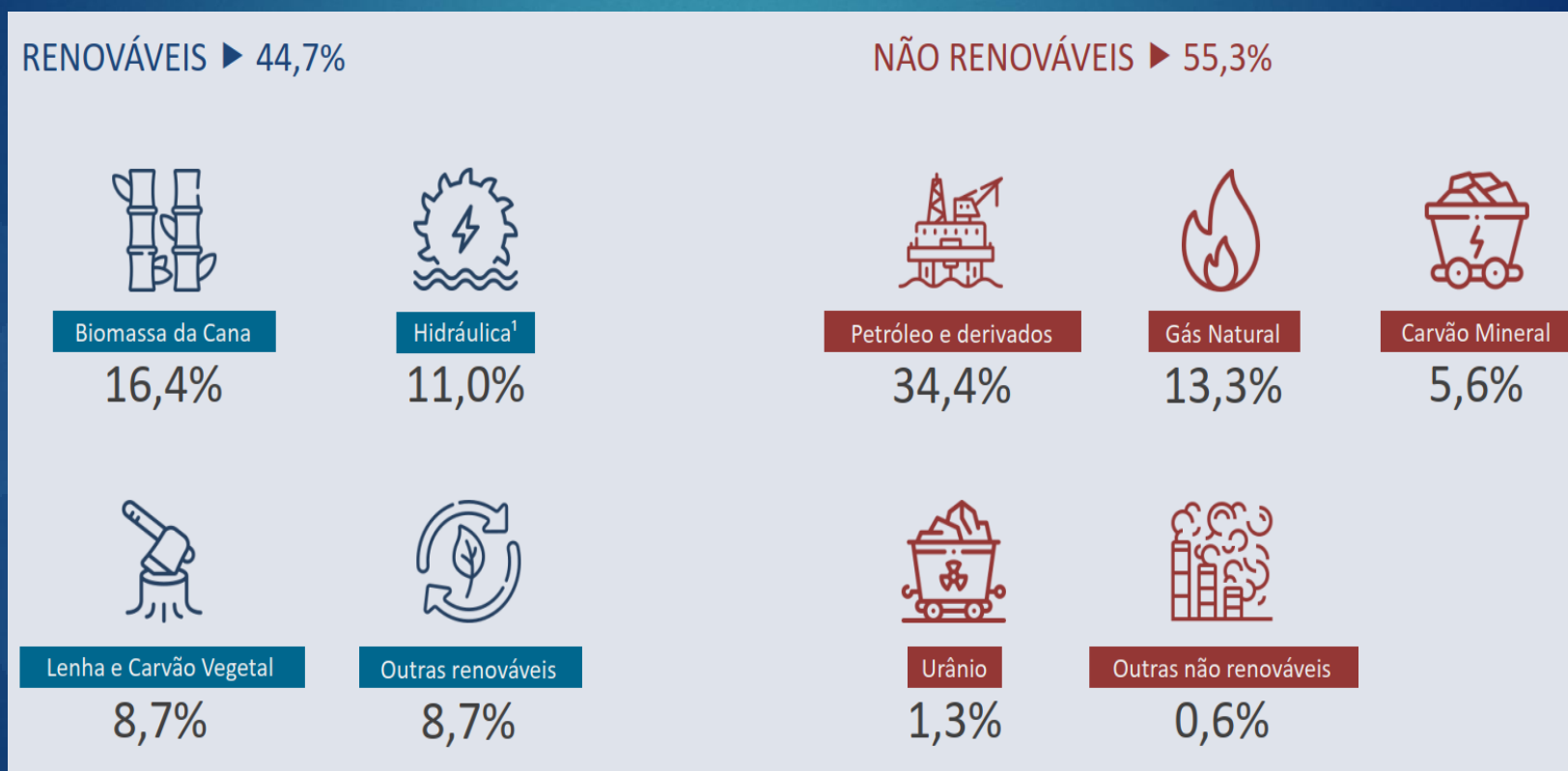
Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia



Matriz Energética Brasileira

6

- Divisão da oferta interna da matriz energética brasileira.

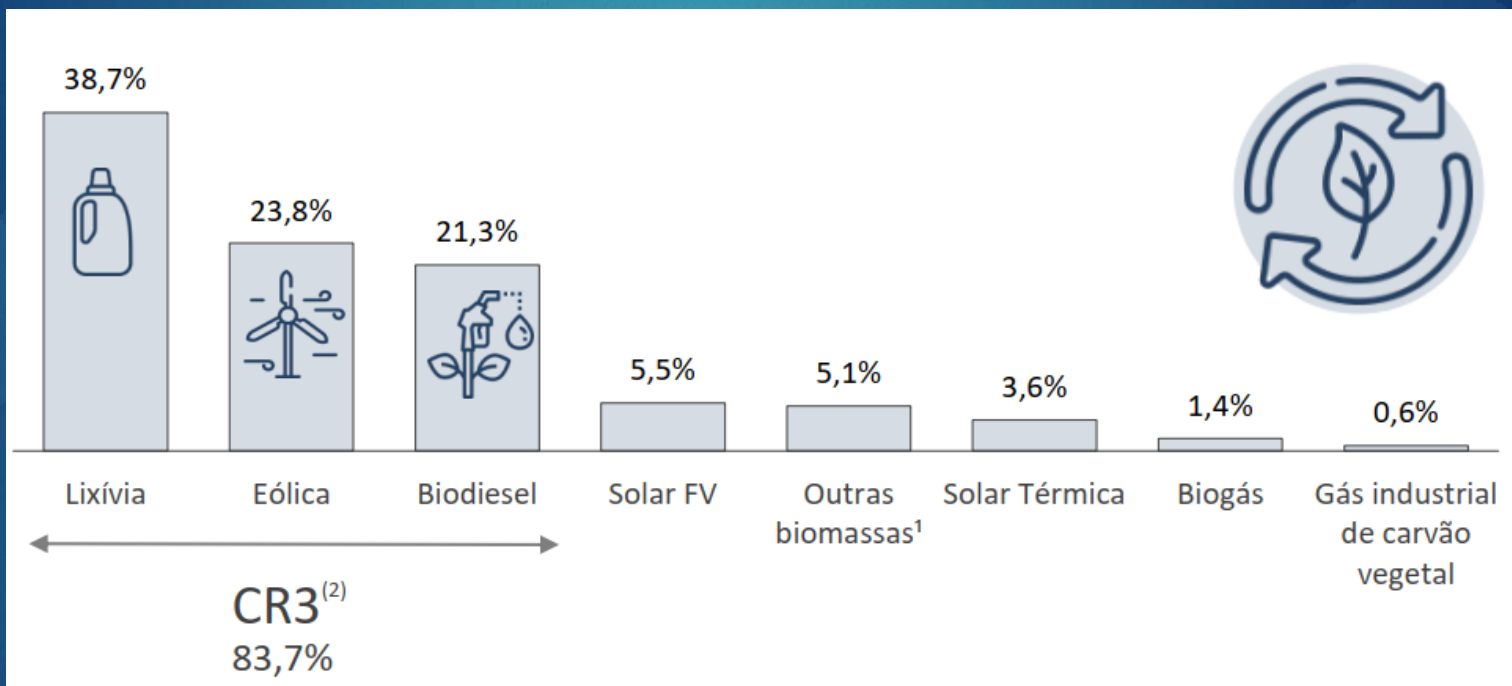


Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia

Matriz Energética Brasileira

7

- A repartição da oferta de “Outras fontes renováveis” se dá entre 8 categorias de fontes de energia com maiores participações da lixívia, energia eólica e biodiesel , que somados são equivalentes a mais de 80% de “Outras renováveis”.

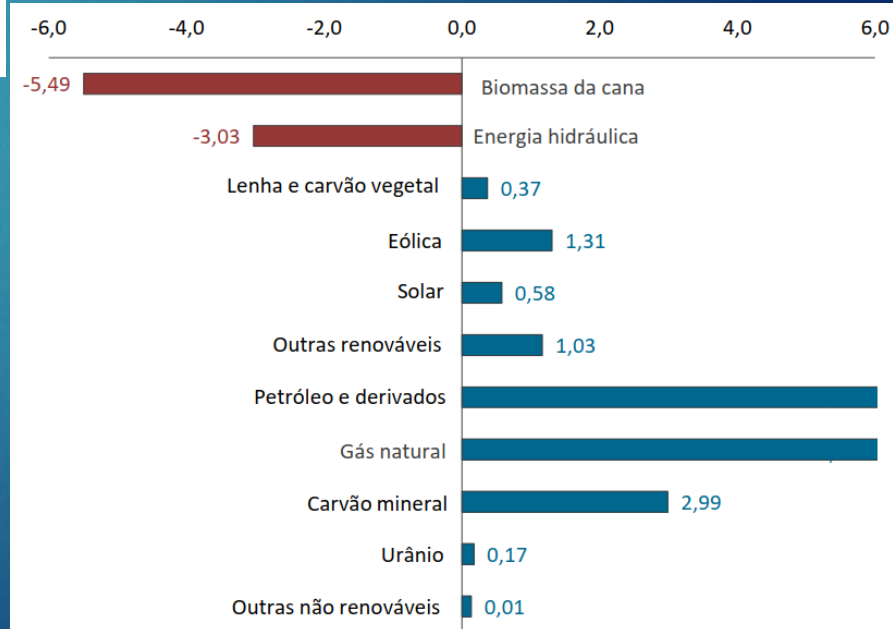


Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia

Matriz Energética Brasileira

8

Fonte (Mtep)	2019	2020	2021	Δ 21/19	Δ 21/20
RENOVÁVEIS	136,5	140,0	134,9	-1,1%	-3,6%
Biomassa da cana	52,8	54,9	49,4	-6,4%	-10,0%
Energia hidráulica ¹	36,4	36,2	33,2	-8,7%	-8,4%
Lenha e carvão vegetal	25,7	25,7	26,1	1,4%	1,4%
Eólica	4,8	4,9	6,2	29,1%	26,7%
Solar ²	1,4	1,8	2,4	71,1%	32,4%
Outras renováveis ³	15,3	16,4	17,6	14,7%	7,1%
NÃO RENOVÁVEIS	158,3	148,5	166,6	5,2%	12,2%
Petróleo e derivados	100,9	95,2	103,6	2,7%	8,8%
Gás natural	35,9	33,8	40,2	12,0%	18,9%
Carvão mineral	15,4	14,0	17,0	10,2%	21,3%
Urânio (U ₃ O ₈)	4,3	3,7	3,9	-9,1%	4,7%
Outras não renováveis	1,8	1,7	1,8	2,7%	8,0%

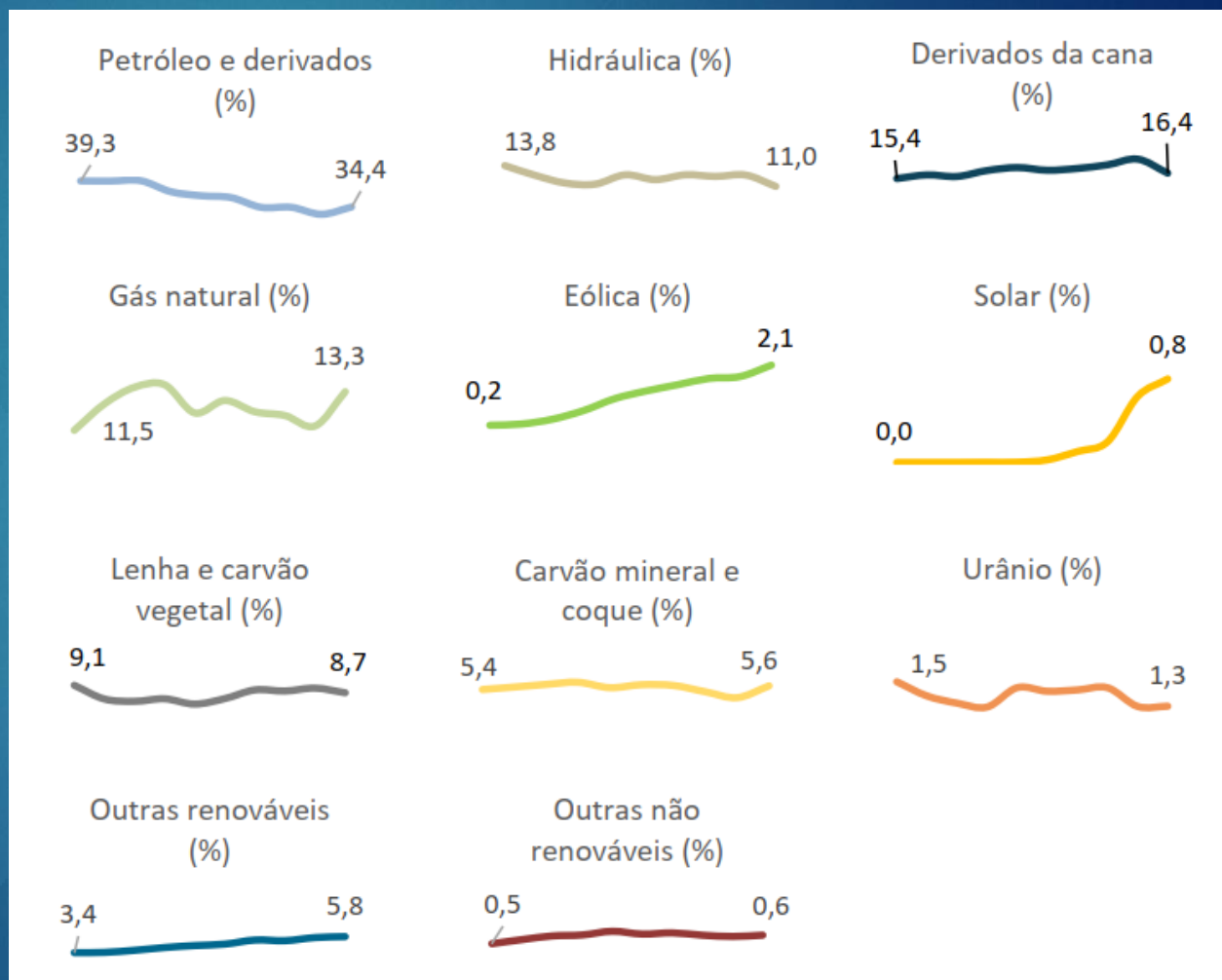


Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia

Matriz Energética Brasileira

9

- Houve uma redução da participação das renováveis na matriz energética entre 2012 e 2014 devido à queda da oferta hidráulica.
- A partir de 2015, as fontes renováveis retomam uma trajetória de crescimento com a expansão das ofertas de derivados da cana, eólica e biodiesel, atingindo 48,5% em 2020. No entanto, com a escassez hídrica de 2021, o patamar das renováveis recuou para 44,7%.

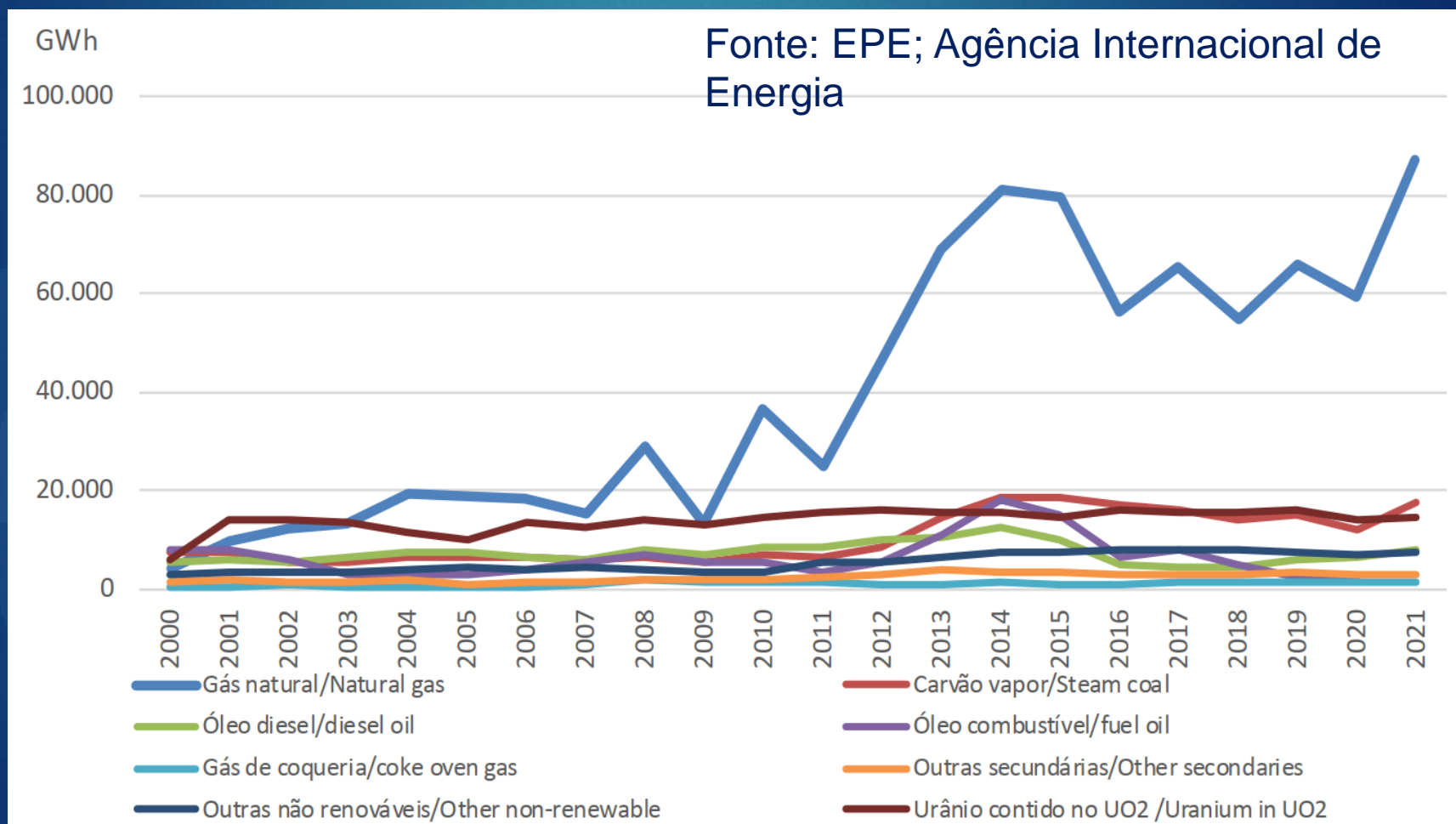


Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia

Matriz Energética Brasileira

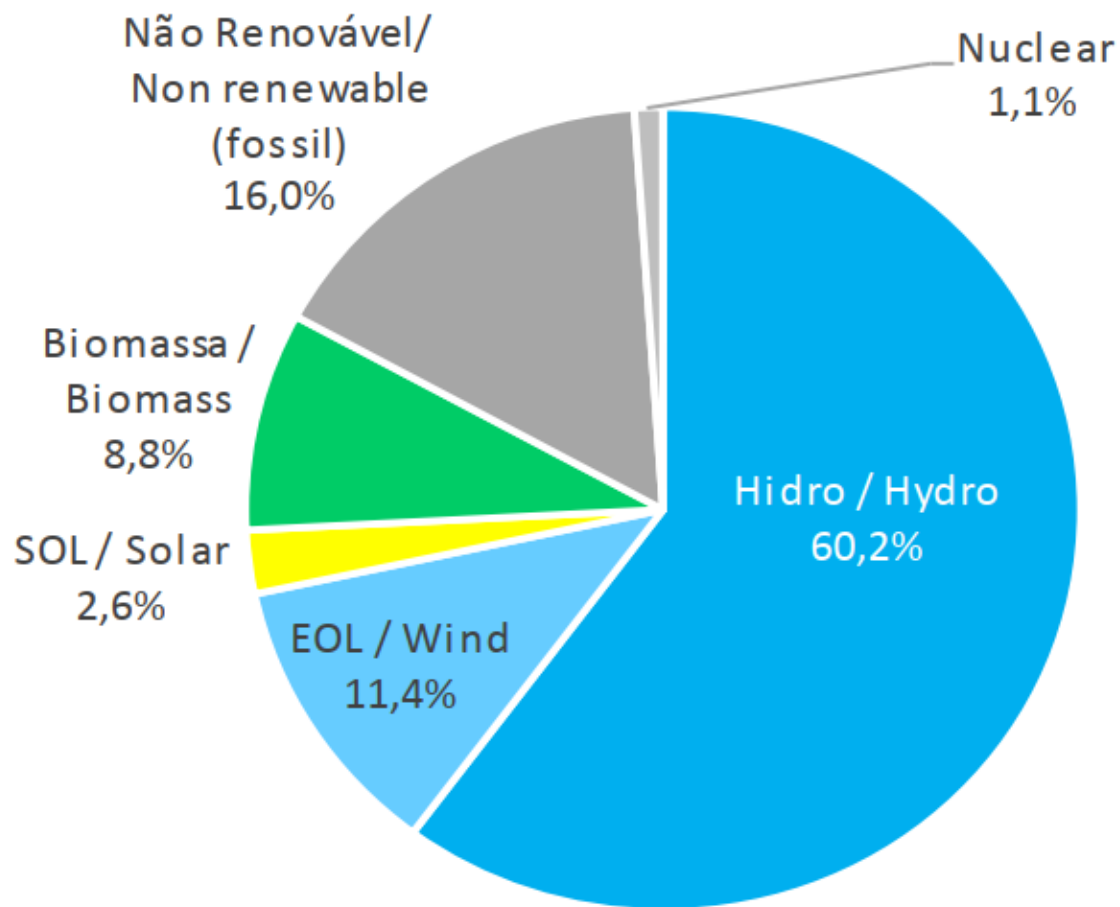
10

- Oferta interna de produção de energia elétrica utilizando fontes não renováveis.



Matriz Energética Brasileira

11

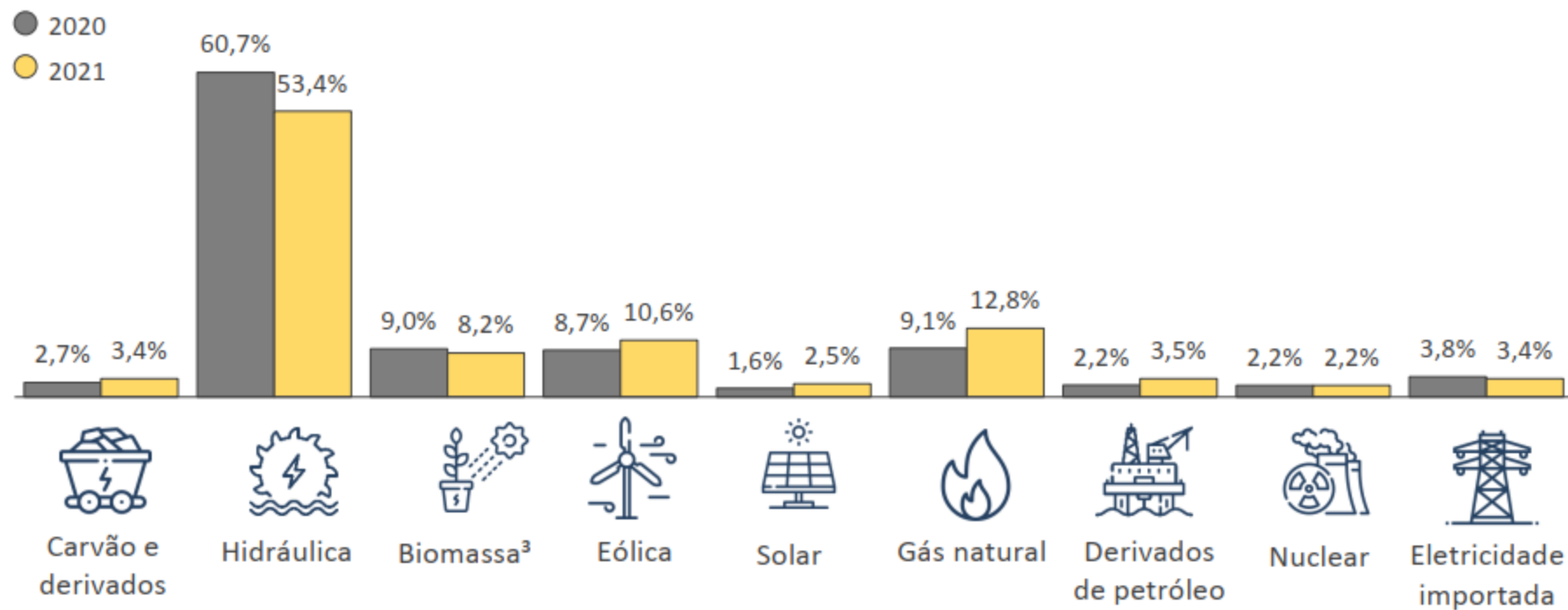


Fonte : EPE, BEN 2022

Matriz Energética Brasileira

12

- A matriz elétrica brasileira em 2021 apresentou mudanças em função da escassez hídrica ocorrida ao longo do ano.

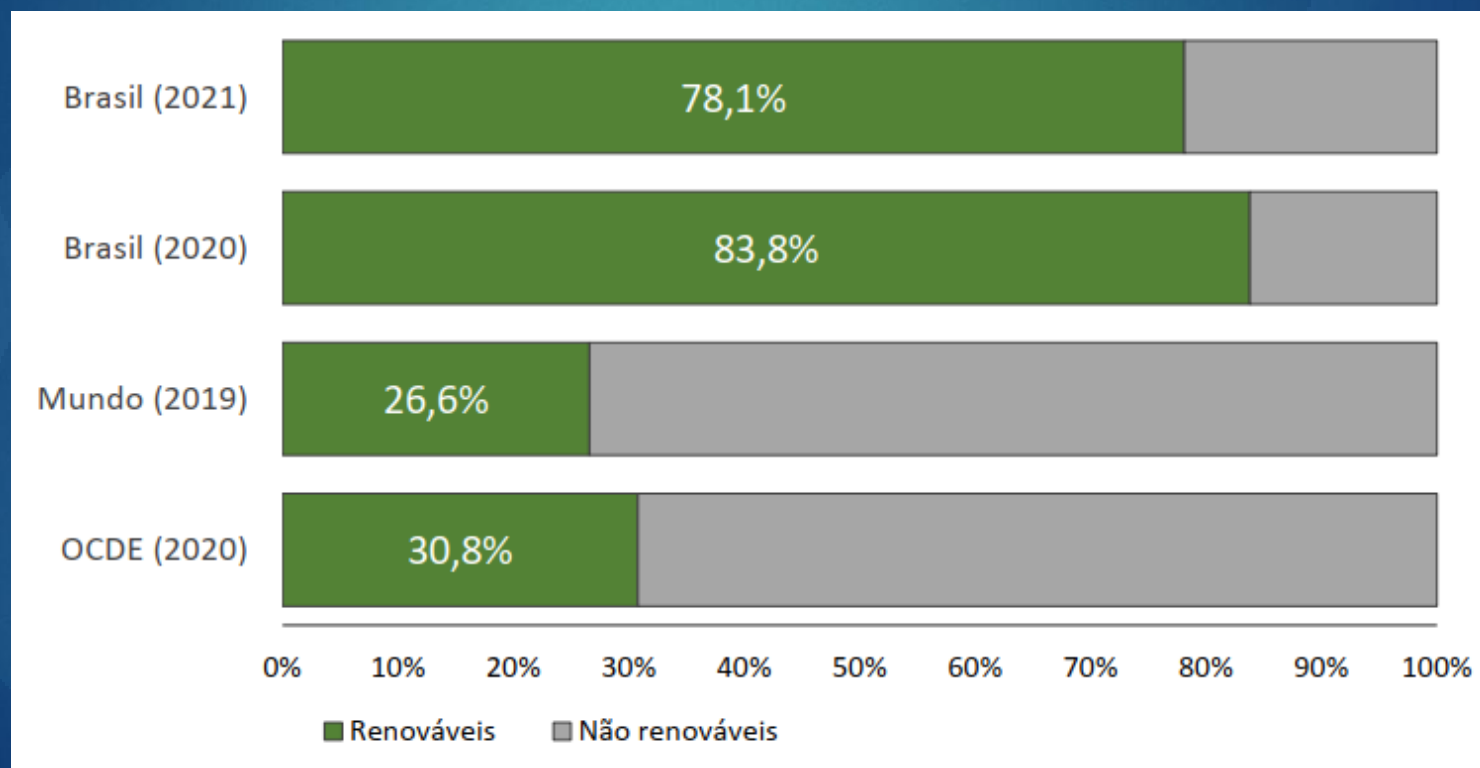


Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia

Matriz Energética Brasileira

13

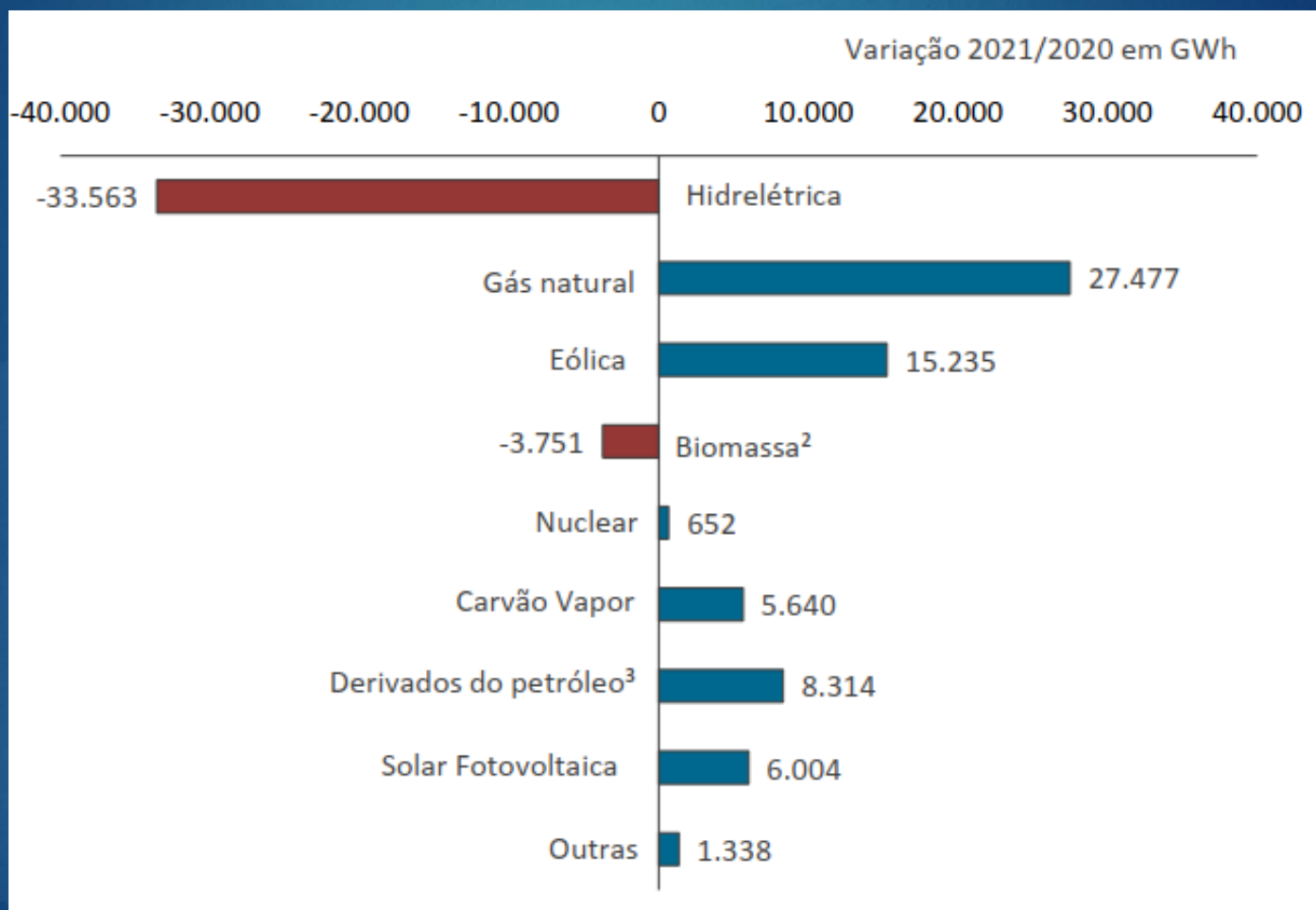
- A participação de renováveis na matriz elétrica¹ brasileira atingiu 78,1% de disponibilidade em 2021.
- Esse movimento ocorreu devido à queda da oferta hidráulica, que foi em parte compensada pelo aumento da geração termelétrica, principalmente a gás natural.



Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia

Matriz Energética Brasileira

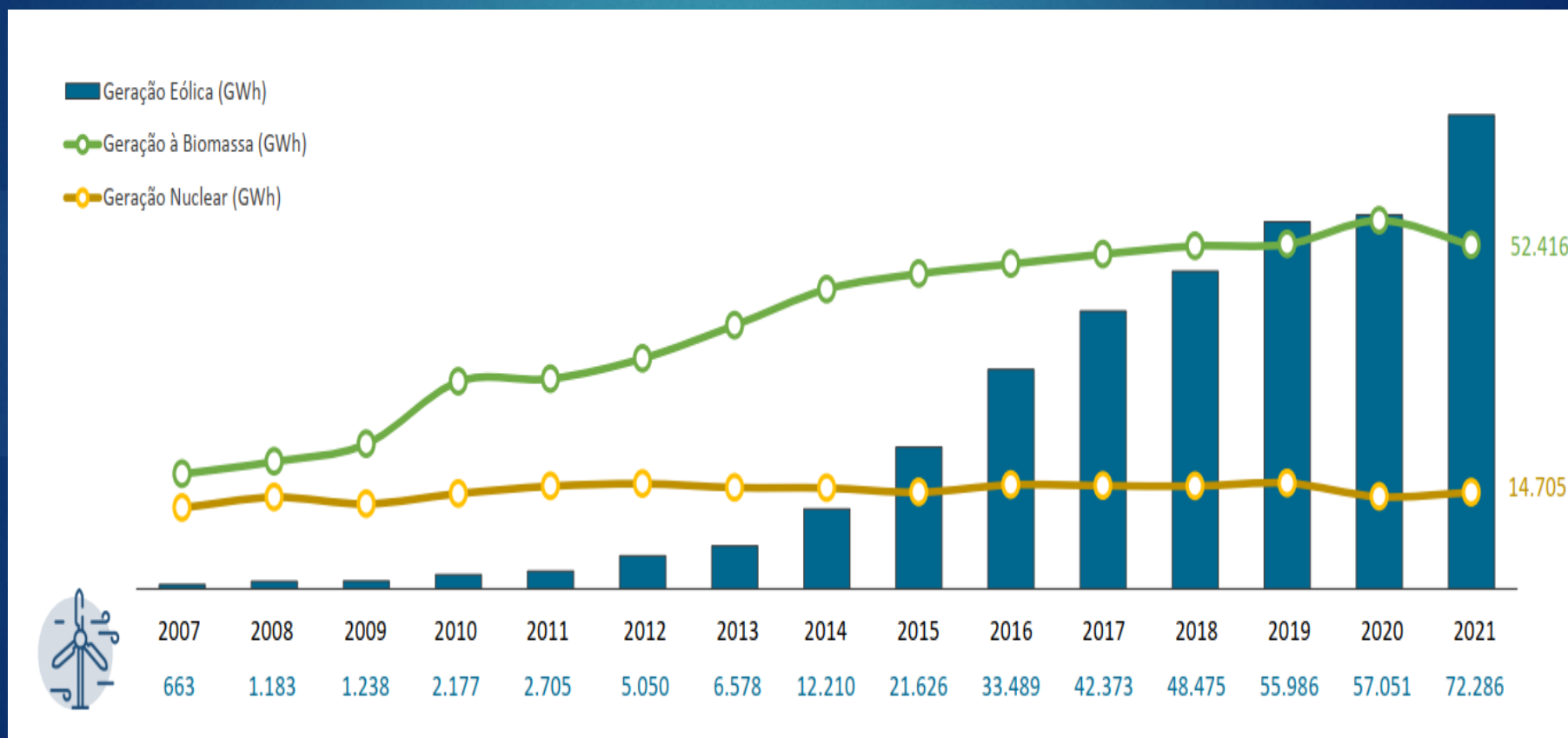
14



Matriz Energética Brasileira

15

- Mais de 15 TWh adicionais em relação a 2021 se devem à evolução da geração eólica (GWh), que teve sucessivos incrementos ao longo dos anos.

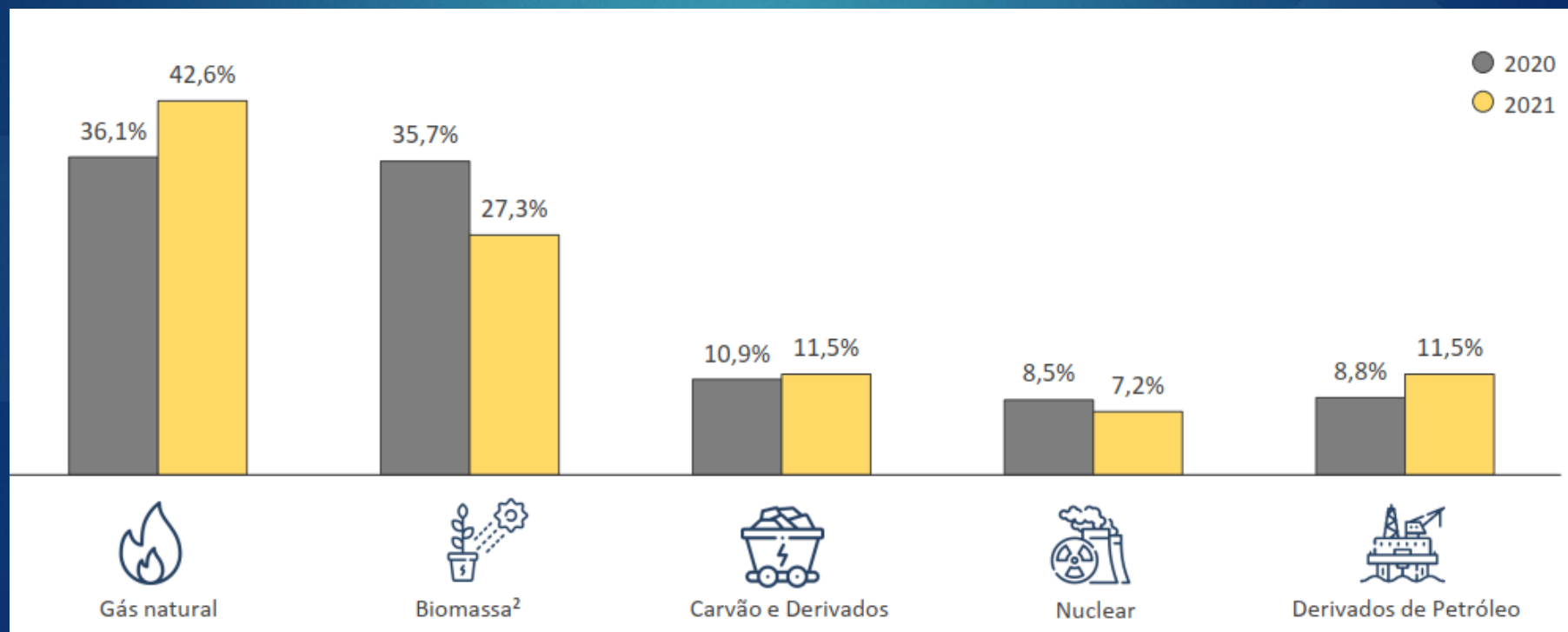


Fonte: EPE; Agência Internacional de Energia

Matriz Energética Brasileira

16

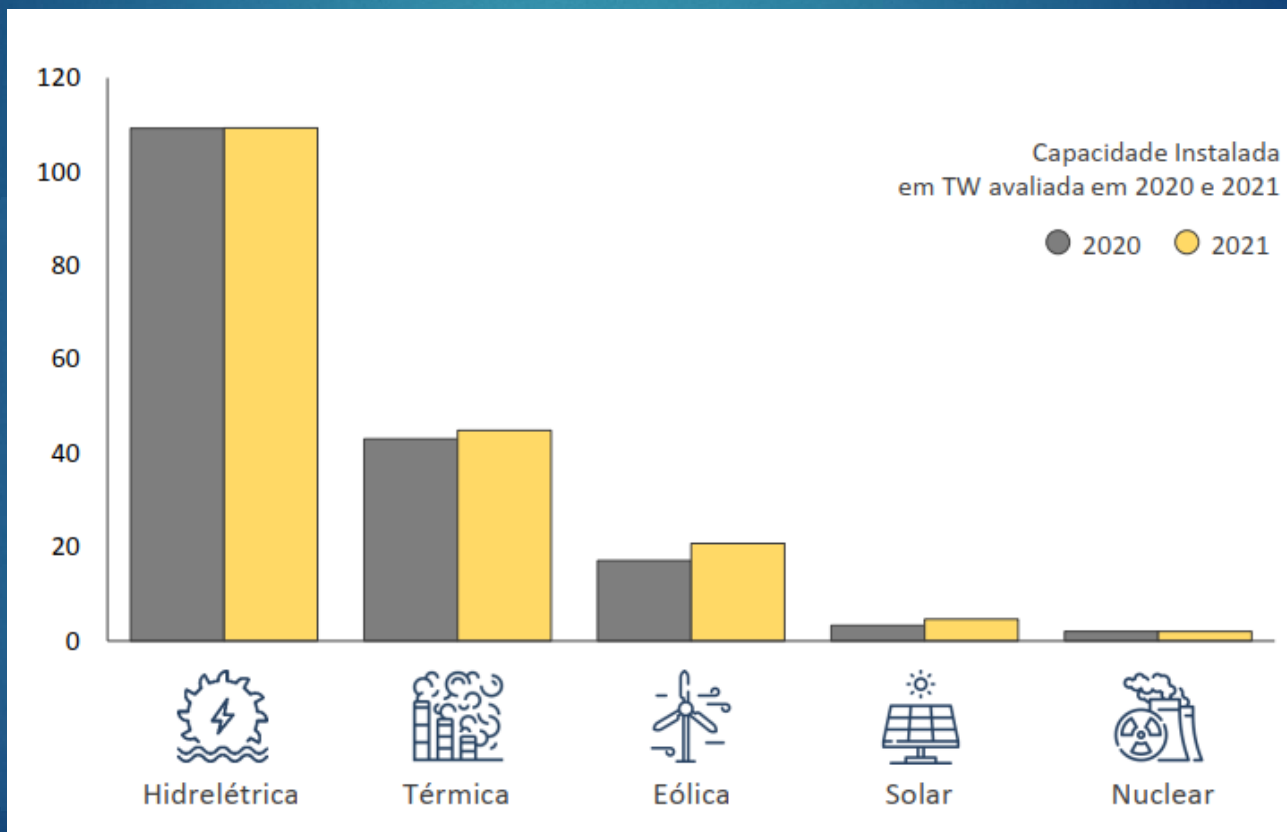
- Em 2021, houve avanço de 24% na geração termelétrica. Com isso, a participação no total da geração de energia elétrica aumentou.



Matriz Energética Brasileira

17

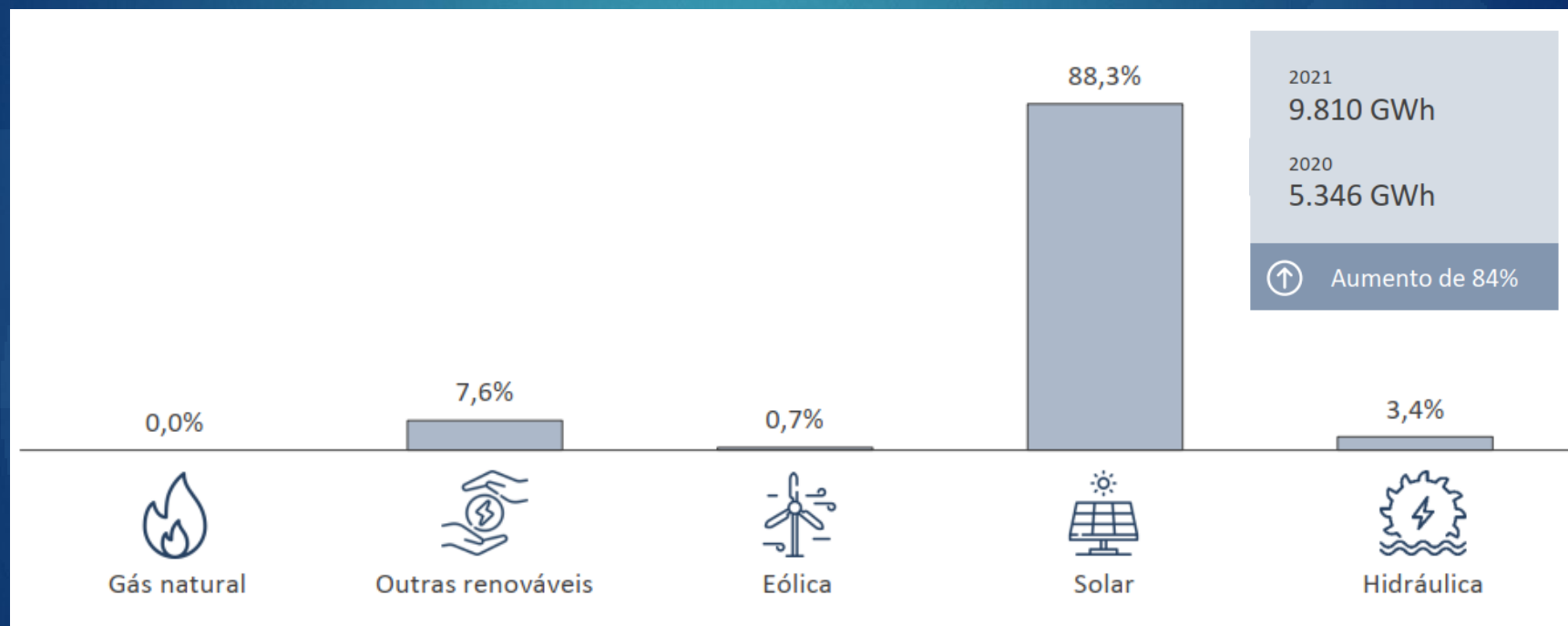
- A Capacidade Instalada¹ em 2021 apresentou um aumento de 3,9% em relação a 2020, com destaques para eólica e solar.



Matriz Energética Brasileira

18

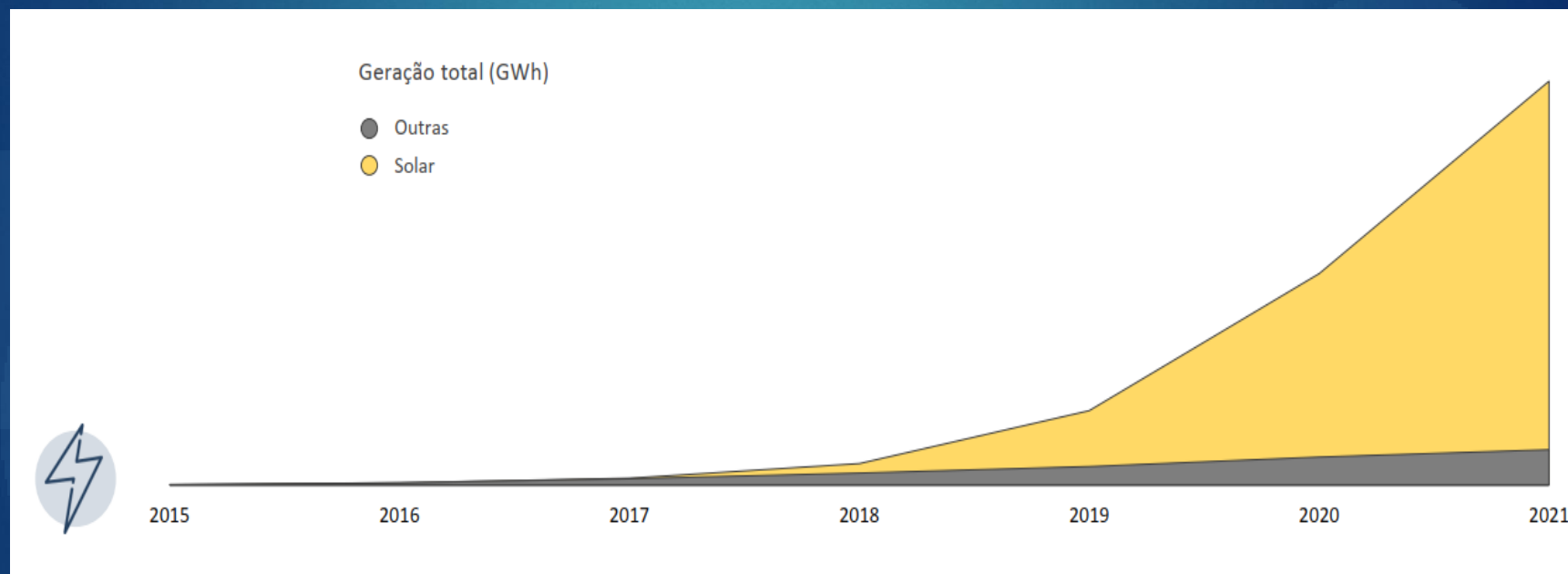
- A Micro e Minigeração Distribuída (MMGD)¹ em 2021 apresentou aumento de 84% em relação a 2020, mantendo a seguinte configuração de participação das fontes na geração de energia:



Matriz Energética Brasileira

19

- A micro e minigeração distribuída no Brasil com base em geração solar fotovoltaica atingiu 8.771 MW de potência instalada e 9.019 GWh de geração em 2021.



Características do Sistema Elétrico Brasileiro

20

- Hidrelétricas
 - Produção longe dos centros de consumo
 - \uparrow distância \uparrow custo
 - \uparrow energia \downarrow custo proporcional
- Térmicas
 - Produção mais próxima dos centros de consumo
 - Disponibilidade de transporte da energia primária
 - Restrições ambientais

Itaipu



UEG Araucária



Características do Sistema Elétrico Brasileiro

21

- Eólicas
 - A geração eólica ultrapassou a geração nuclear em de consumo
 - A geração eólica atingiu 42,4 TWh crescimento de 26,5%
 - 156 aerogeradores e potência instalada de 359 MW
- Biomassa
 - Cana de açúcar
 - Celulose
 - Madeira
 - Resíduos

Ventos do Araripe III – Fronteira PE/PI



Termelétrica Usina Gasa



Características do Sistema Elétrico Brasileiro

22

- Nuclear
 - Duas usinas em operação
 - Uma em construção
 - 2.007 MW
 - Problema = Segurança
- Fotovoltaica
 - Abundância de recurso
 - Disponibilidade de área
 - Problema= impedimento de uso do solo

Usina Nuclear Angra I



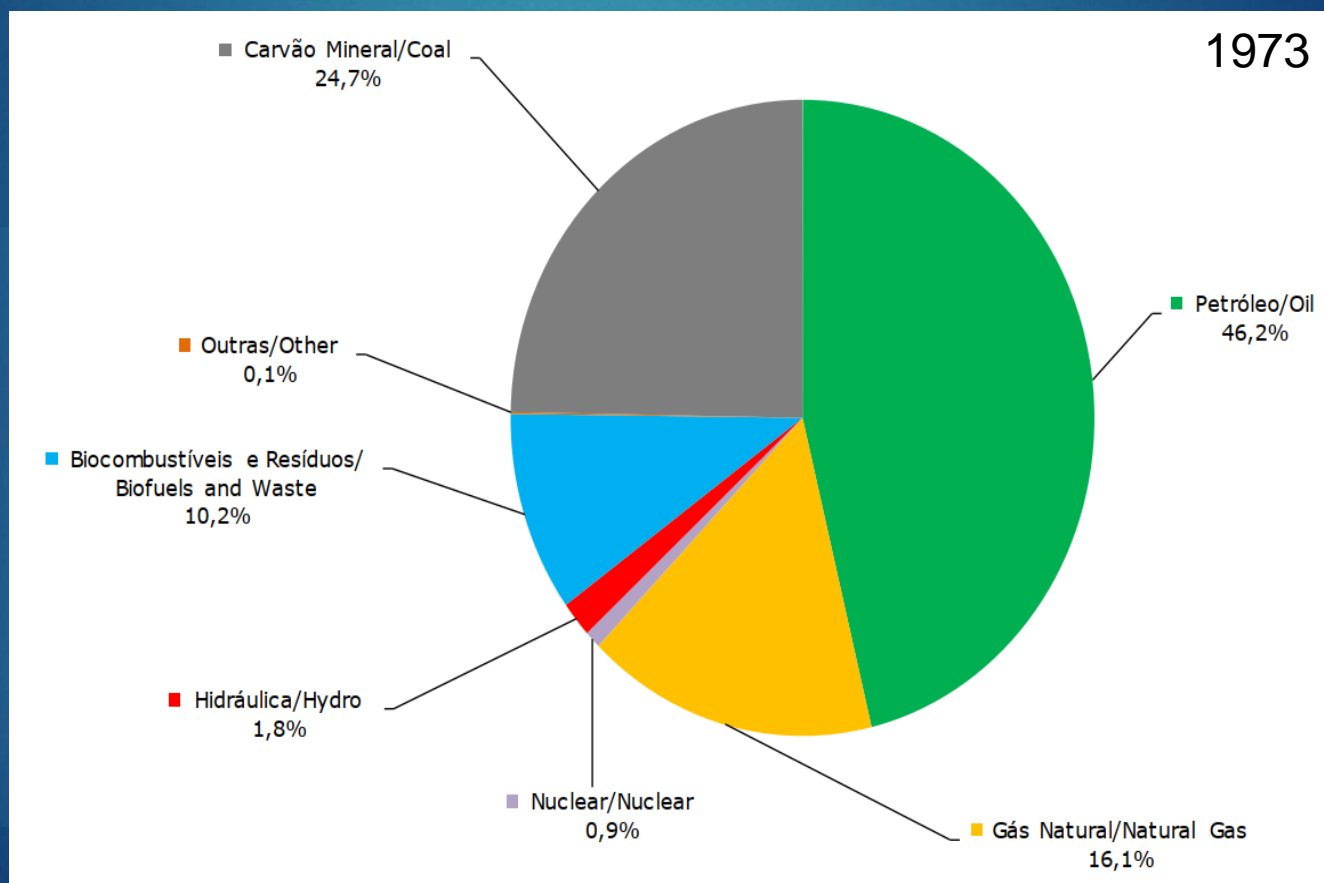
Usina Solar Tubarão/SC



Matriz Energética Mundial

23

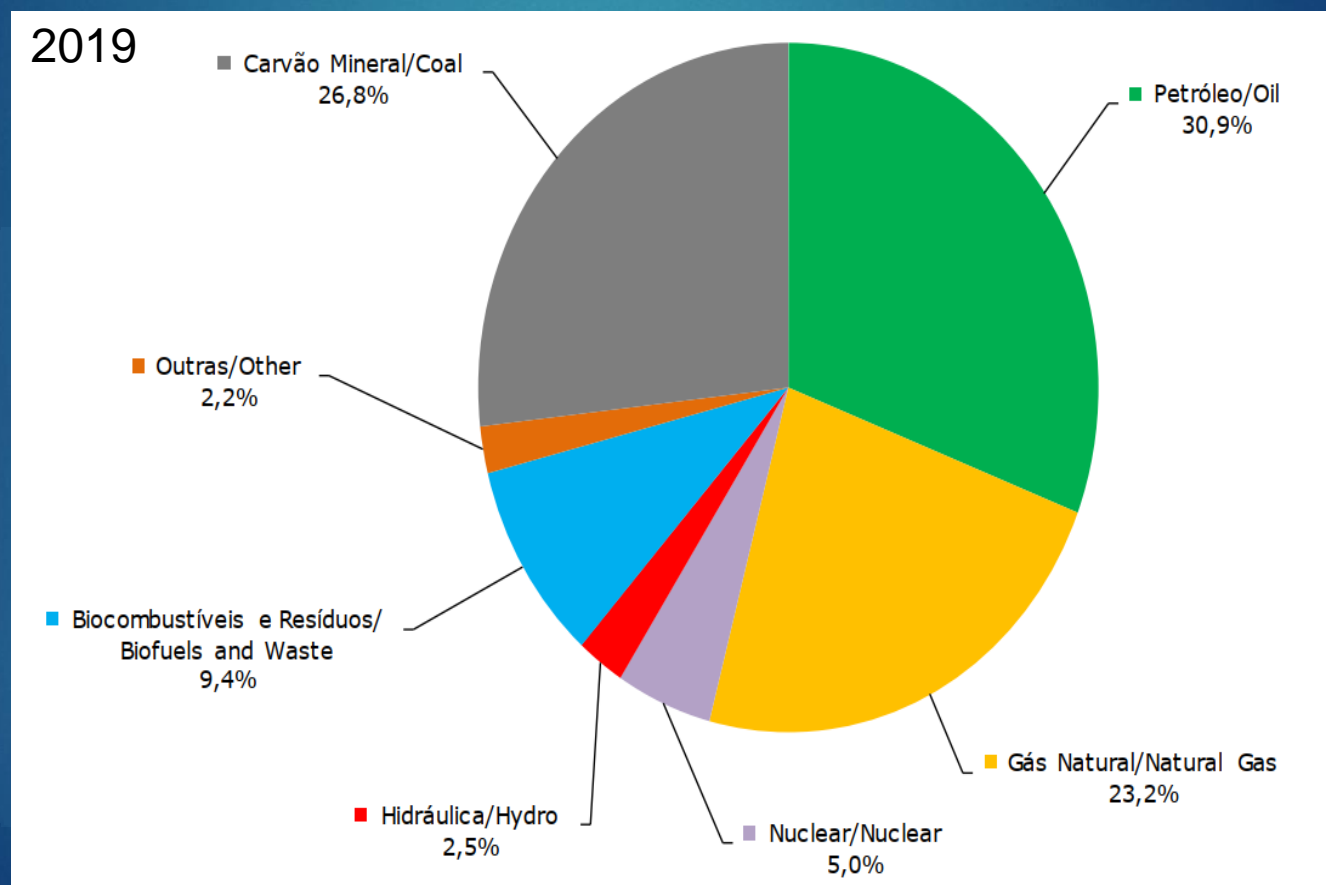
- Quando ouvimos sobre a transição energética e comparamos a oferta mundial de energia por fonte, notamos a urgência do tema. Afinal, as três maiores delas ainda são não-renováveis: o petróleo, o carvão mineral e o gás natural.



Matriz Energética Mundial

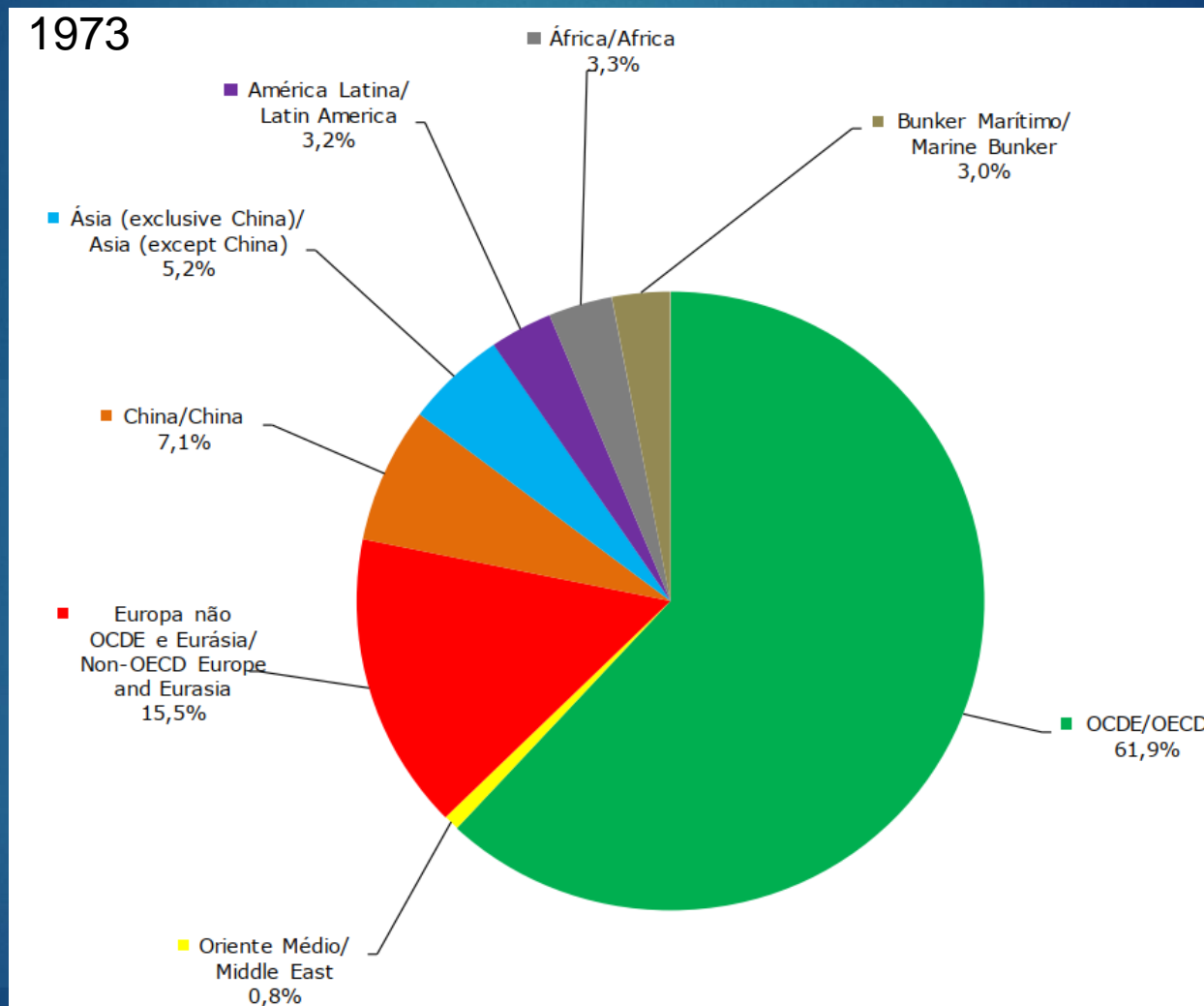
24

- Quando ouvimos sobre a transição energética e comparamos a oferta mundial de energia por fonte, notamos a urgência do tema. Afinal, as três maiores delas ainda são não-renováveis: o petróleo, o carvão mineral e o gás natural.



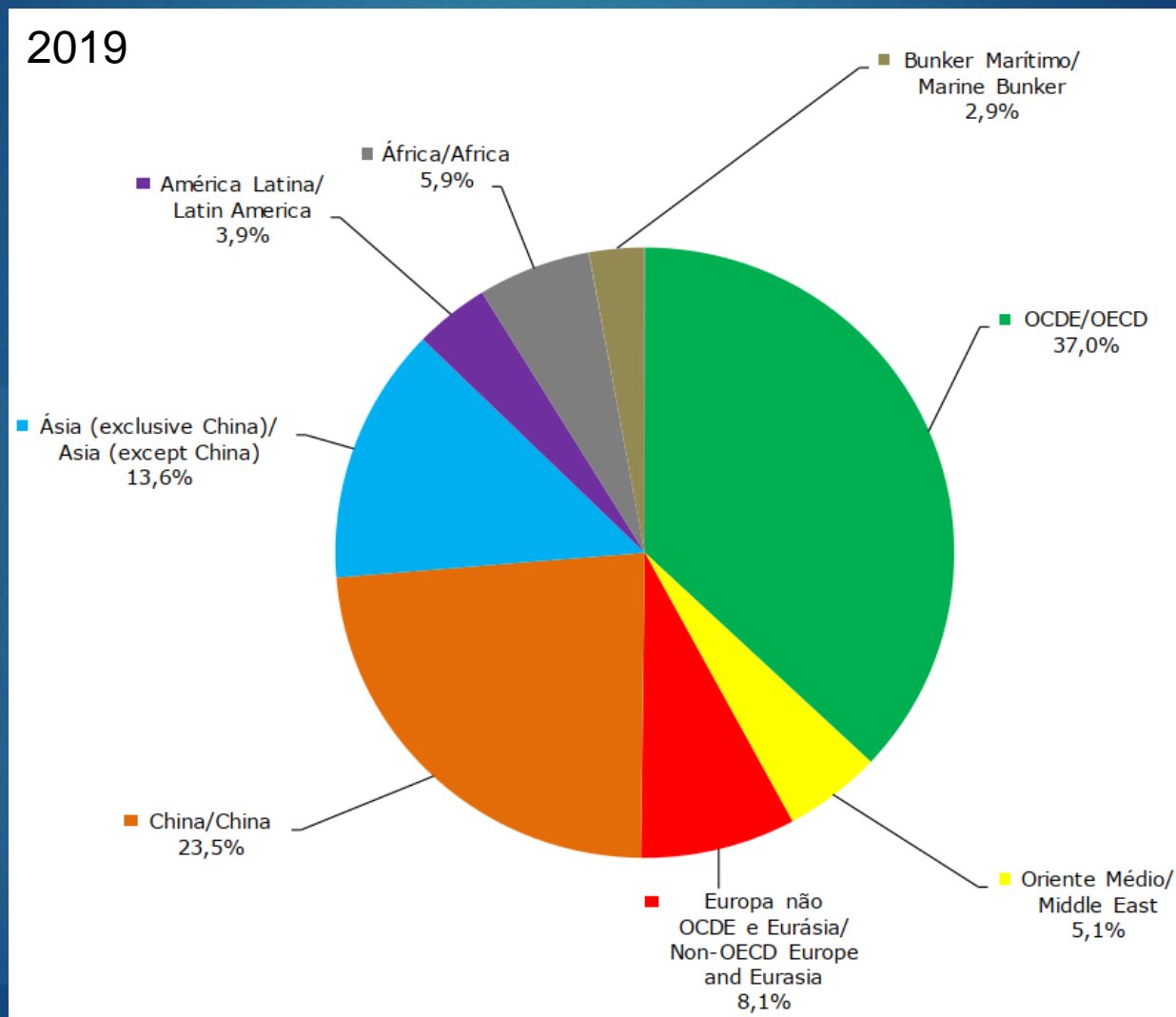
Matriz Energética Mundial

25



Matriz Energética Mundial

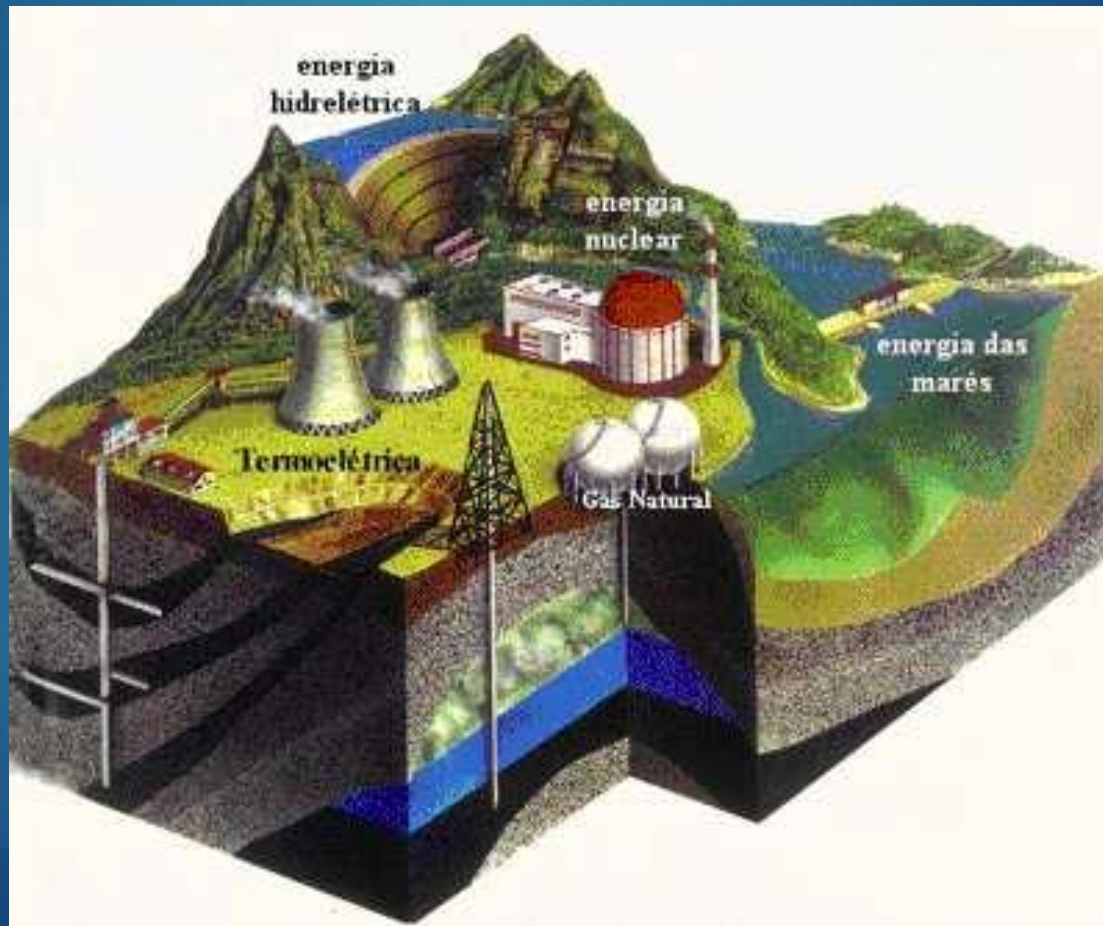
26



Características do Sistema Elétrico Brasileiro

27

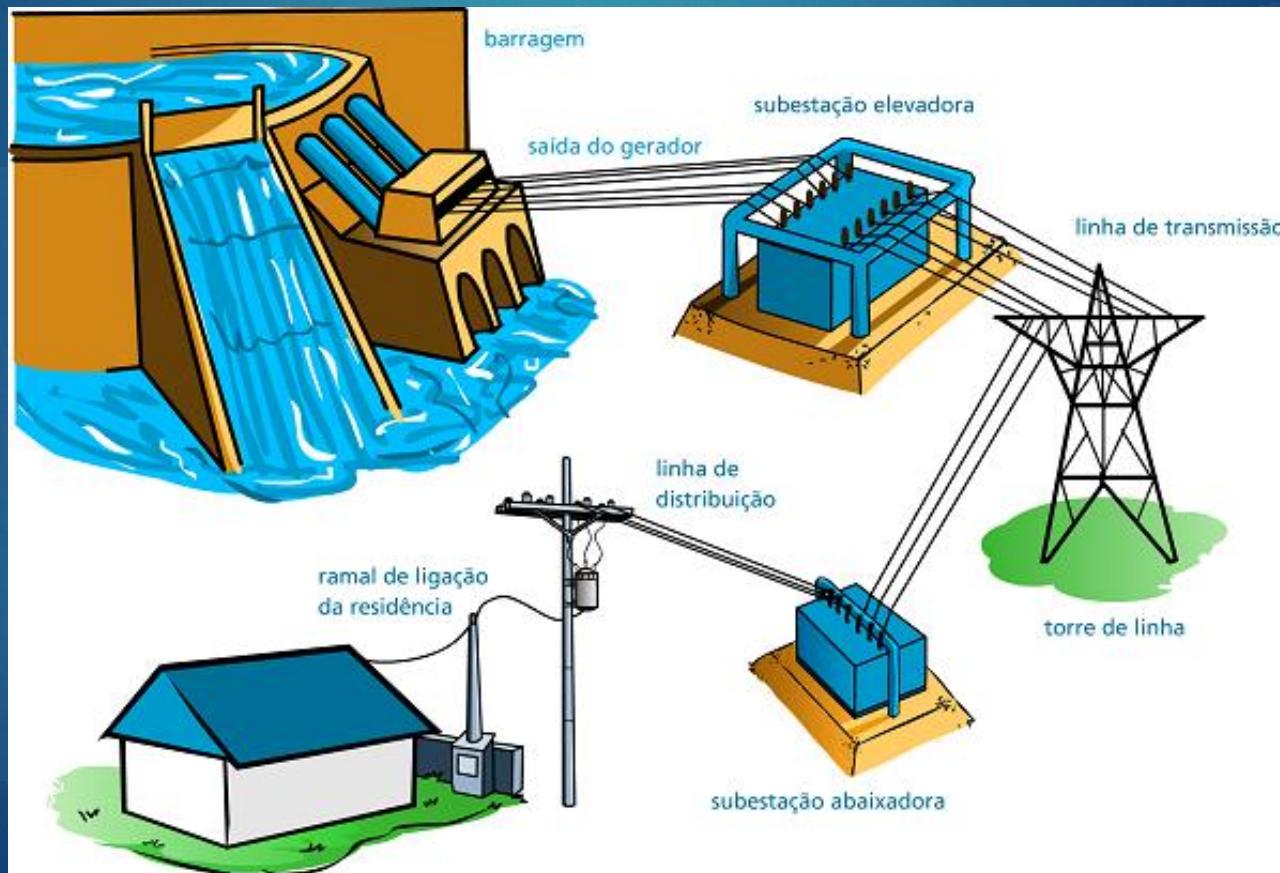
- Geração de Energia Elétrica no Brasil: A geração e a distribuição de energia elétrica no Brasil pode ser classificado como hidrotérmico de grande porte, com predominância hidrelétrica e com múltiplos proprietários.



Características do Sistema Elétrico Brasileiro

28

- SEP: Conjunto de equipamentos que operam de maneira coordenada com a finalidade de gerar, transmitir e distribuir energia elétrica dentro de determinados padrões de confiabilidade, disponibilidade, qualidade, segurança e custos, com o mínimo impacto ambiental.



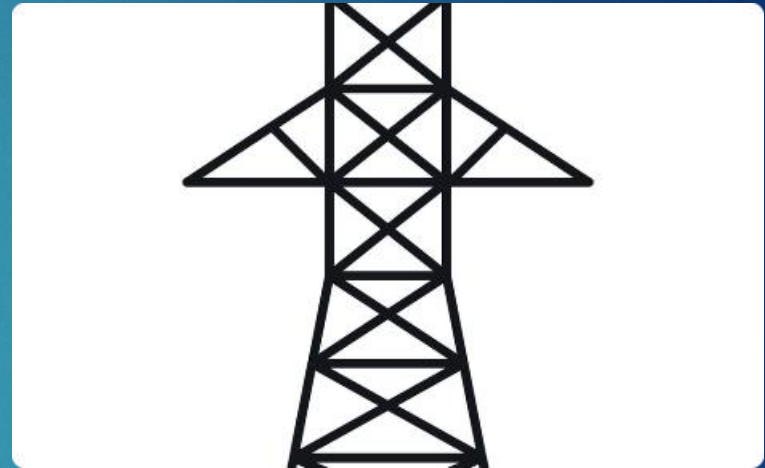
Organização Institucional do Setor Elétrico

29



Década de 50

Criação das primeiras hidrelétricas no Brasil, iniciando o processo de interligação dos sistemas elétricos regionais.



Década de 80

Construção das primeiras linhas de transmissão de alta tensão, permitindo a integração dos sistemas elétricos regionais.

Organização Institucional do Setor Elétrico

30



Década de 90

Criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), responsável pela gestão do SIN.

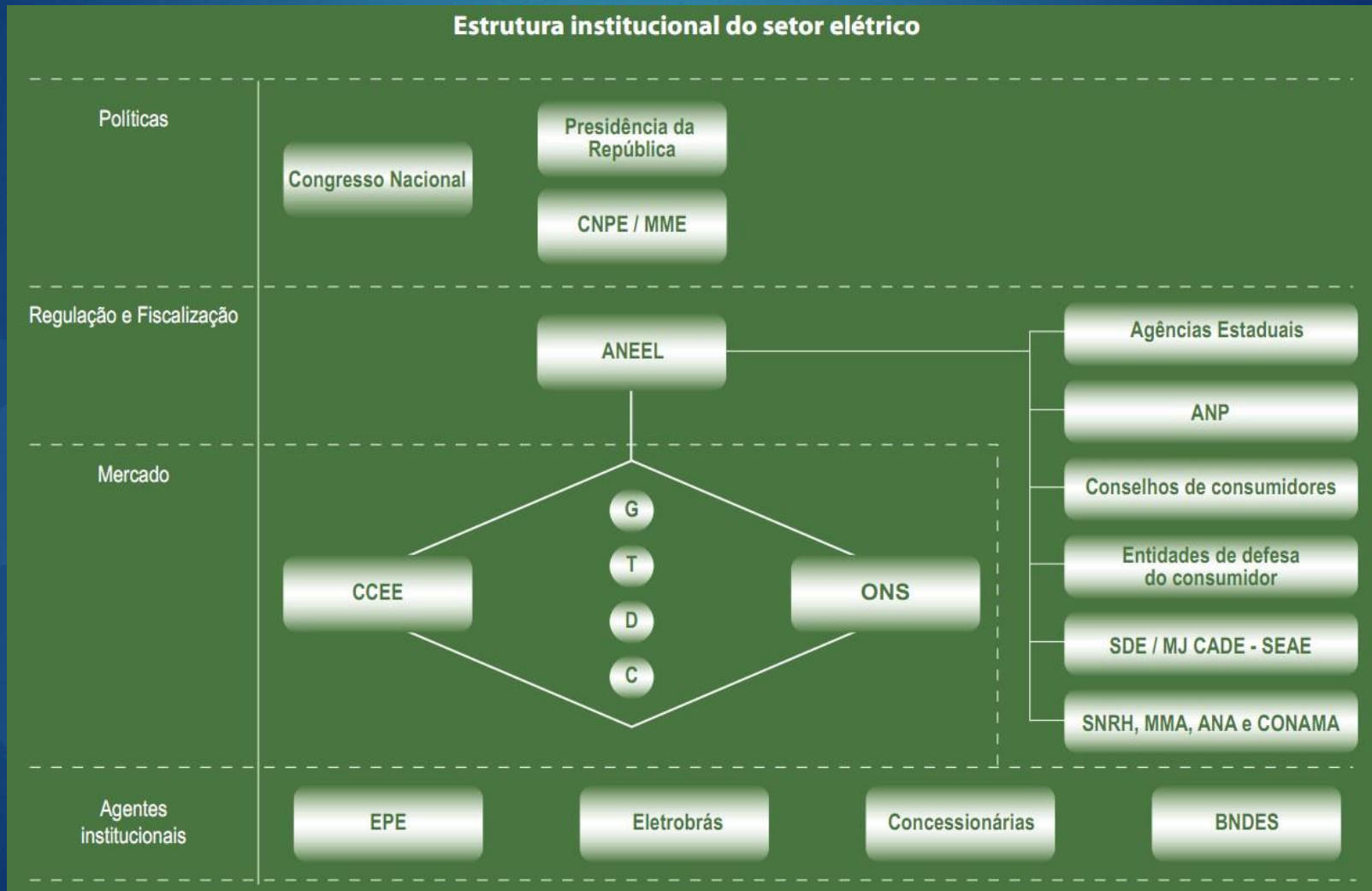


Década de 2000

Início do desenvolvimento das energias renováveis no Brasil, como a solar e eólica.

Organização Institucional do Setor Elétrico

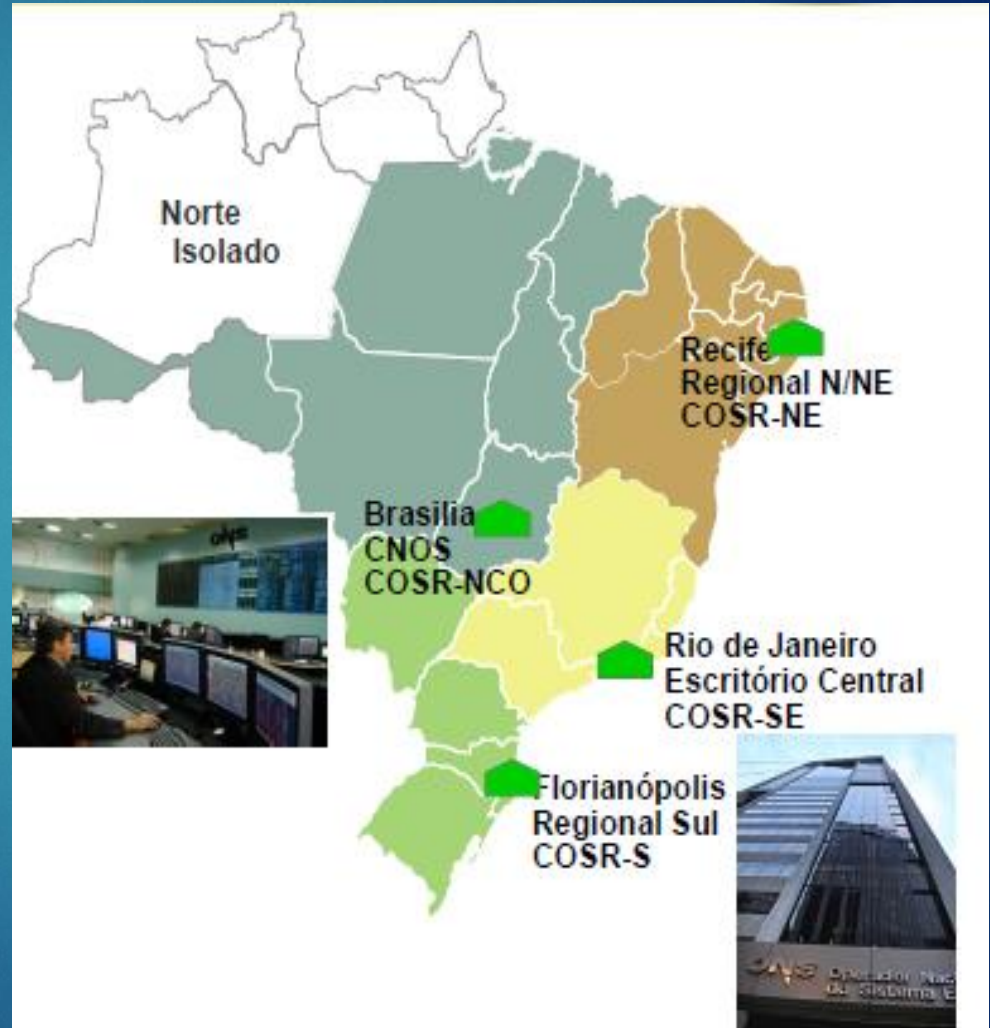
31



Sistema Interligado Nacional (SIN)

32

- ONS é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN).
- A ONS está sob fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel).



Sistema Interligado Nacional (SIN)

33

- ONS desenvolve estudos e ações sobre o sistema visando manejar o estoque de energia para garantir o suprimento contínuo no País. O ONS é formado por membros constituídos por empresas de geração, transmissão, distribuição e consumidores de grande porte. Também participam importadores e exportadores de energia além do Ministério de Minas e Energia (MME).



Sistema Interligado Nacional (SIN)

34

- Único no mundo – tamanho e características;
- Sistema hidrotérmico de grande porte;
- O SIN contempla Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte.
- O SIN é formado por:
 - Mais de 900 linhas de transmissão;
 - Cerca de 140.000 km de linhas de transmissão;
 - Operado por mais de 60 concessionárias;
 - 96,6% da capacidade de produção.

Sistema Interligado Nacional (SIN)

35

- O sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, com predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos proprietários.
- O Sistema Interligado Nacional é constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte
- A interconexão dos sistemas elétricos, por meio da malha de transmissão, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias. A integração dos recursos de geração e transmissão permite o atendimento ao mercado com segurança e economicidade.

Sistema Interligado Nacional (SIN)

36

- A capacidade instalada de geração do SIN é composta, principalmente, por usinas hidrelétricas distribuídas em dezesseis bacias hidrográficas nas diferentes regiões do país. Nos últimos anos, a instalação de usinas eólicas, principalmente nas regiões Nordeste e Sul, apresentou um forte crescimento, aumentando a importância dessa geração para o atendimento do mercado. As usinas térmicas, em geral localizadas nas proximidades dos principais centros de carga, desempenham papel estratégico relevante, pois contribuem para a segurança do SIN.
- Essas usinas são despachadas em função das condições hidrológicas vigentes, permitindo a gestão dos estoques de água armazenada nos reservatórios das usinas hidrelétricas, para assegurar o atendimento futuro. Os sistemas de transmissão integram as diferentes fontes de produção de energia e possibilitam o suprimento do mercado consumidor.

Sistema Interligado Nacional (SIN)

37

- O Operador Nacional do Sistema Elétrico assumiu, a partir de 1º de maio de 2017, as atribuições de previsão de carga e de planejamento da operação dos Sistemas Isolados. Para receber as novas funções, o estatuto do ONS foi modificado, visto que suas atribuições eram direcionadas ao Sistema Interligado Nacional.
- Atualmente, existem 246 localidades isoladas no Brasil, onde vivem cerca de 760 mil consumidores. A maior parte está na região Norte, nos estados de Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Amapá e Pará. A ilha de Fernando de Noronha, em Pernambuco, e algumas localidades de Mato Grosso completam a lista. Entre as capitais, Boa Vista (RR) é a única que ainda é atendida por um sistema isolado. O consumo nessas localidades é baixo e representa menos de 1% da carga total do país. A demanda por energia dessas regiões é suprida, principalmente, por térmicas a óleo diesel.

Sistema Interligado Nacional (SIN)

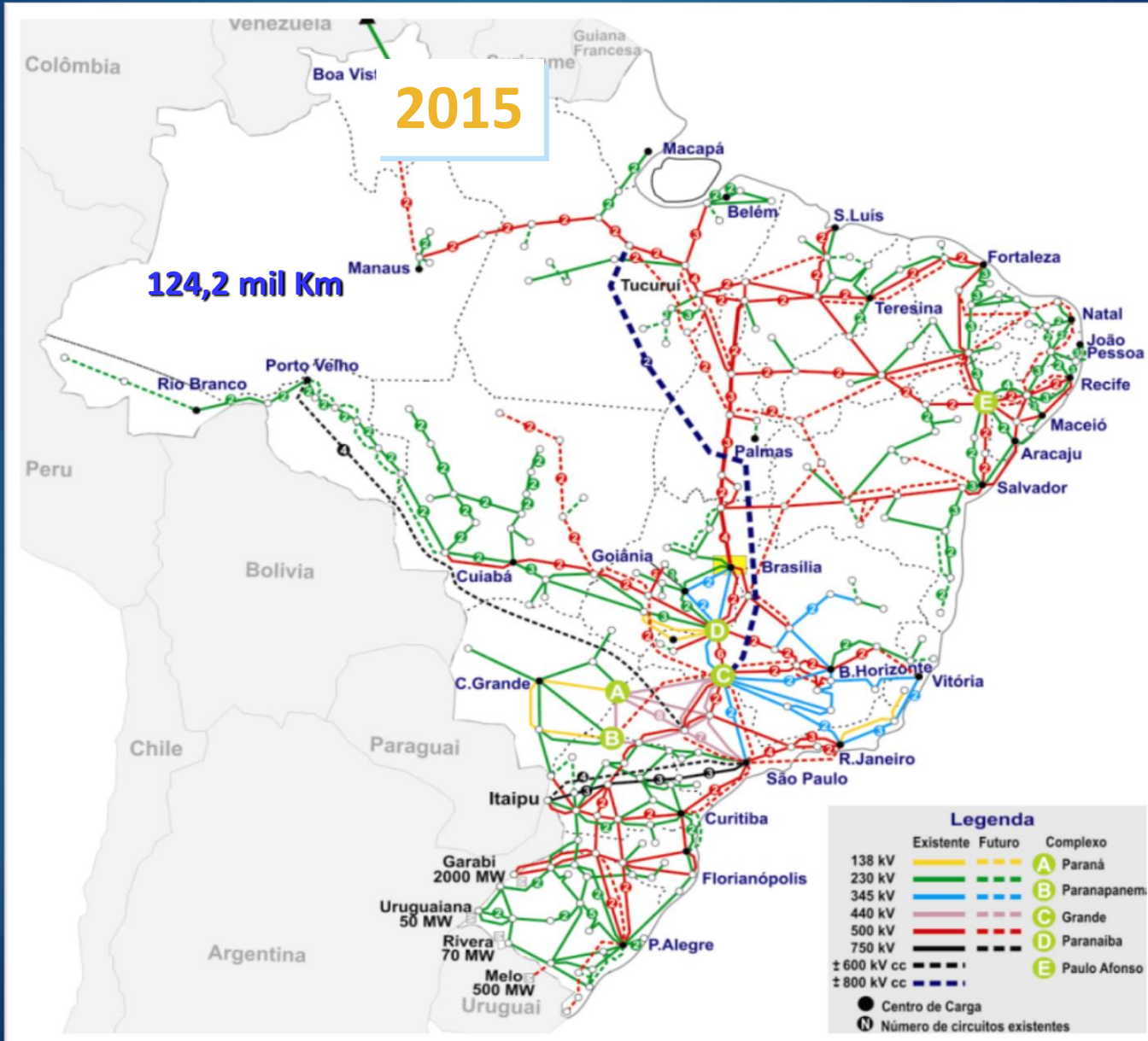
38

- Até 1999 o Brasil possuía vários sistemas elétricos desconectados, o que impossibilitava uma operação eficiente das bacias hidrográficas e da transmissão de energia elétrica entre as principais usinas. Com o objetivo de aumentar a confiabilidade e otimizar recursos, foi criado o SIN.



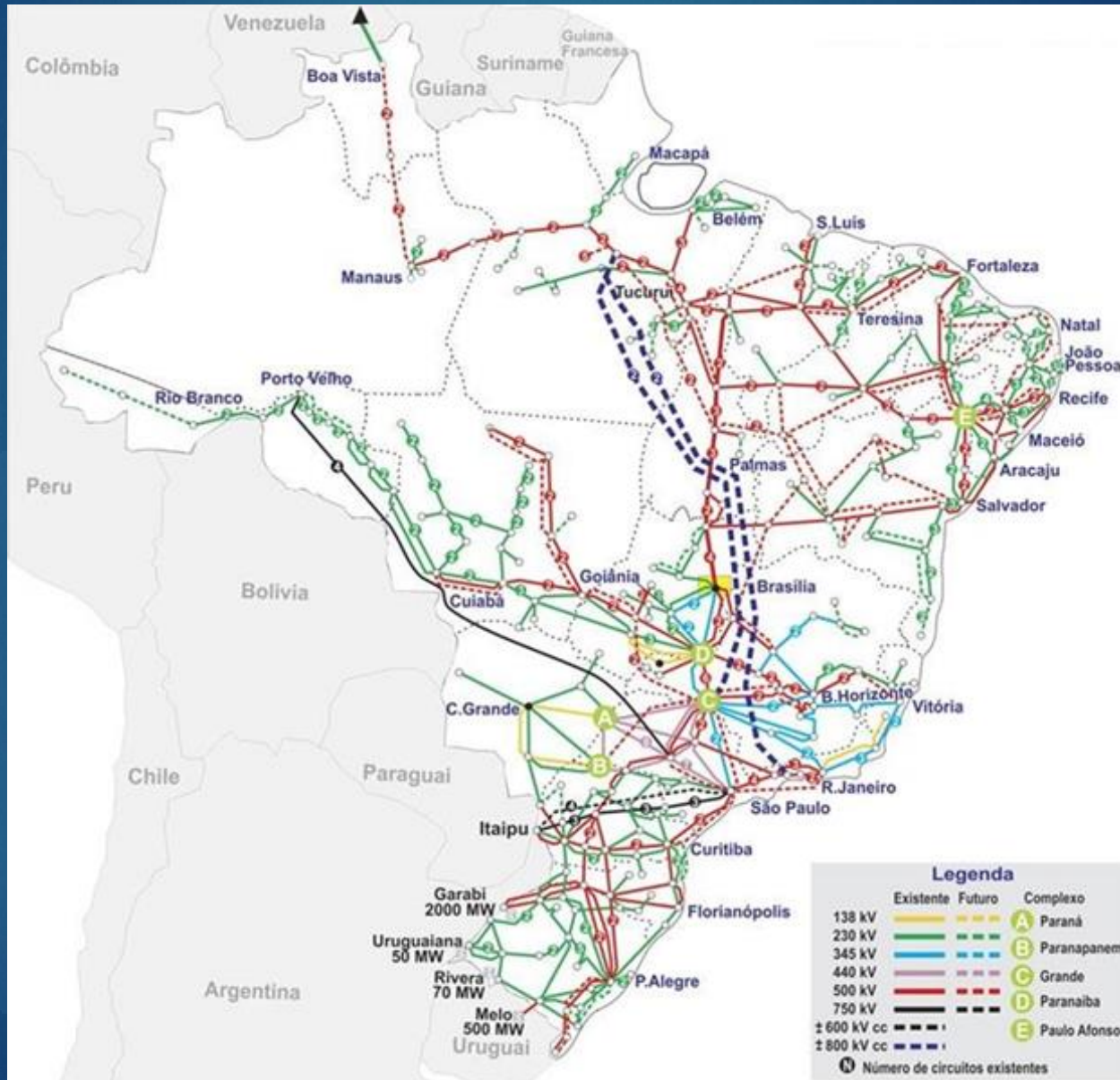
Sistema Interligado Nacional (SIN)

39



Sistema Interligado Nacional (SIN)

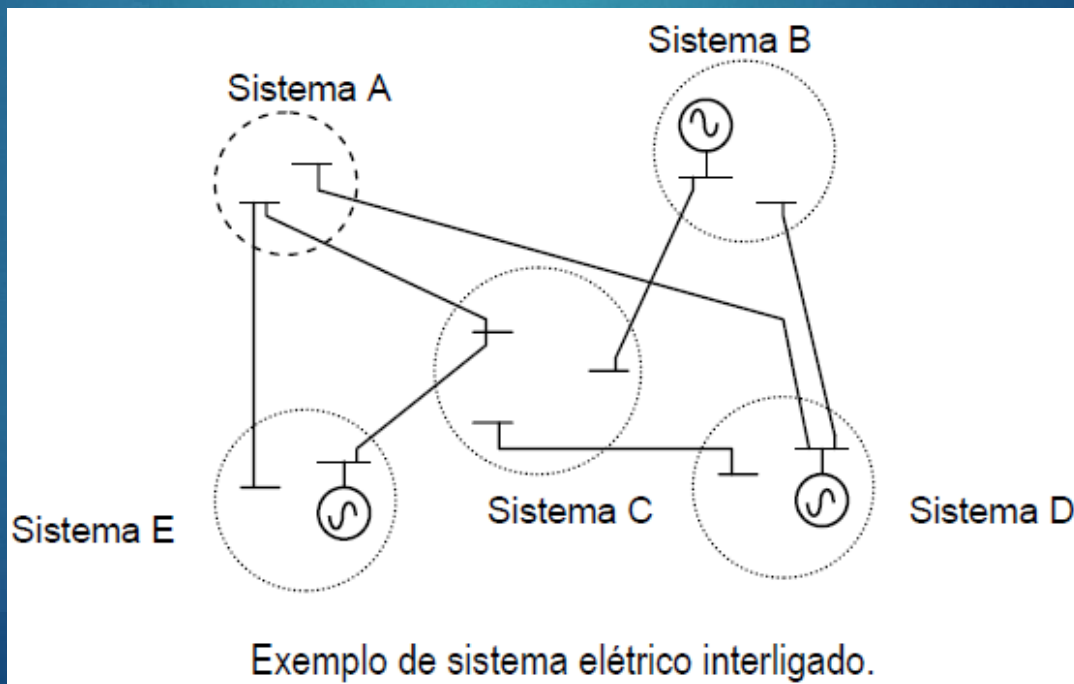
40



Sistema Interligado Nacional (SIN)

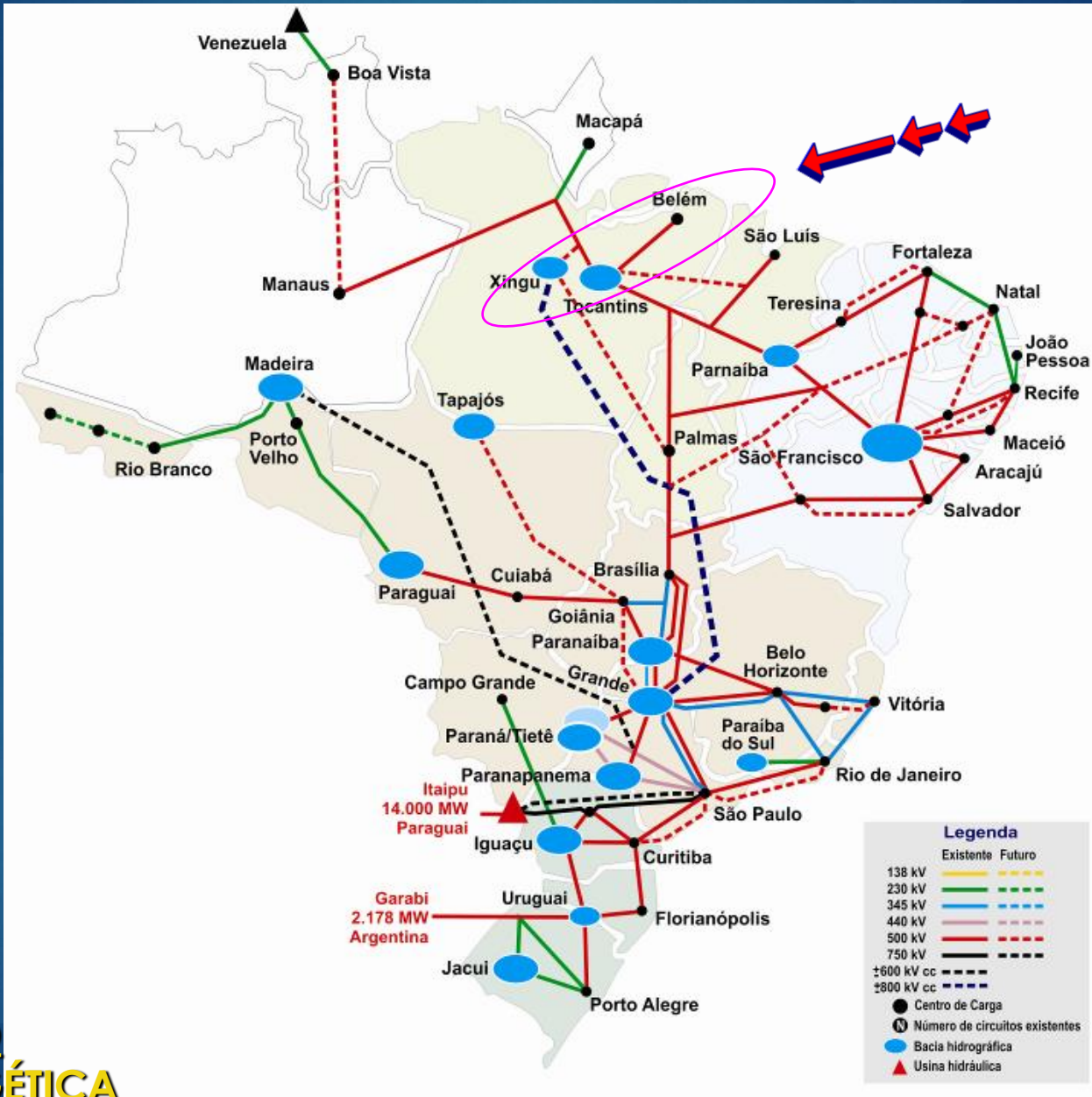
41

- O “SIN” permite que diferentes regiões, permutem energia entre si quando uma delas apresenta queda no nível dos reservatórios. Como o regime de chuvas é diferente nas regiões Sul, Sudeste, Norte e Nordeste, os grandes troncos (LTs de 500 kV ou 750 kV) possibilitam que os pontos com produção insuficiente de energia sejam abastecidos por centros de geração em situação mais favorável.

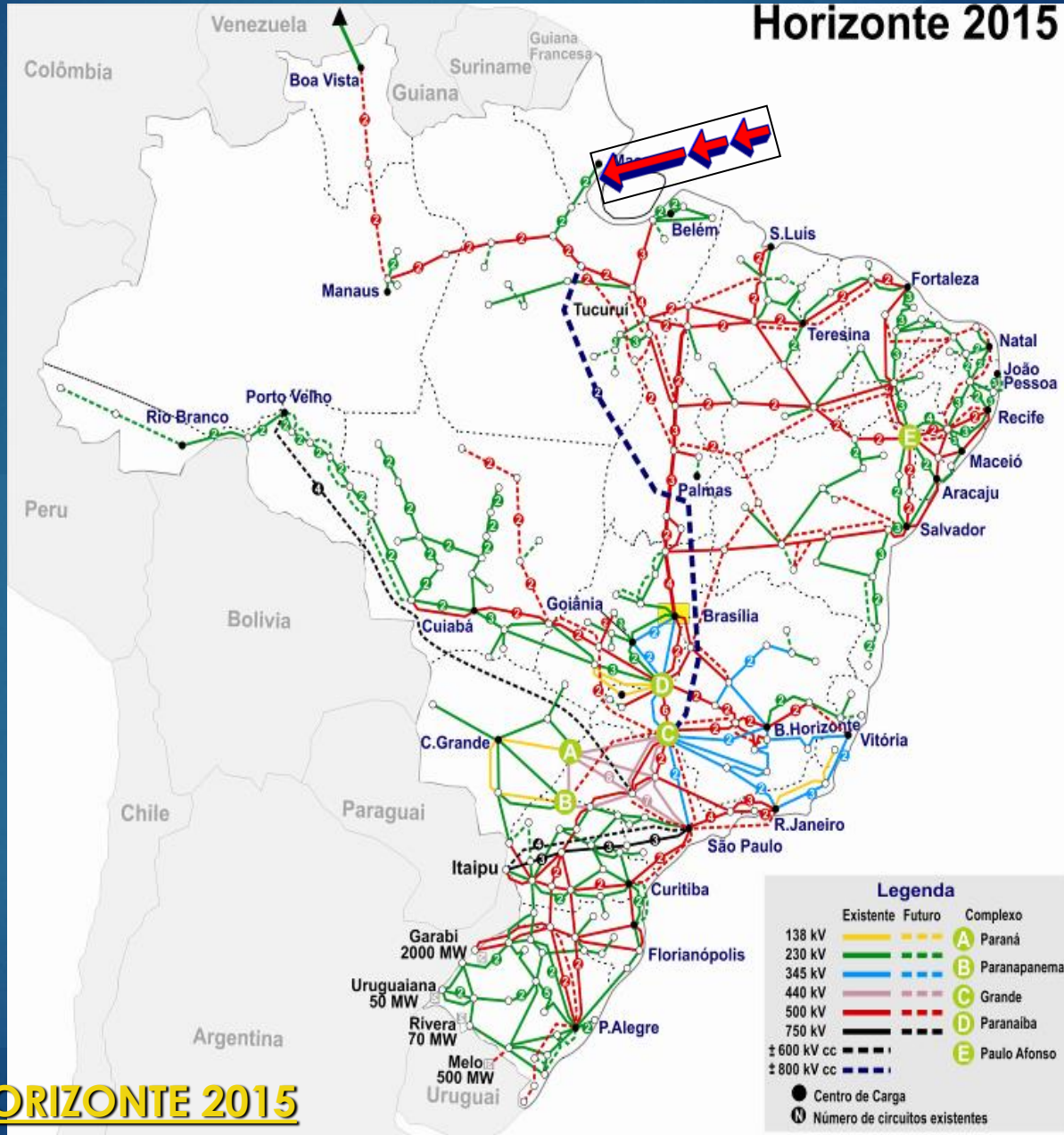


Sistema Interligado Nacional (SIN)

42



Sistema Interligado Nacional (SIN)



Sistema Interligado Nacional (SIN)

44

- Redes de Transmissão: Interligam as grandes usinas às áreas de consumo. Qualquer falta neste nível pode levar a descontinuidade de suprimento para um grande número de consumidores. O nível de tensão depende de cada país. Normalmente o nível de tensão estabelecido está entre 220 kV a 765 kV.



Sistema Interligado Nacional (SIN)

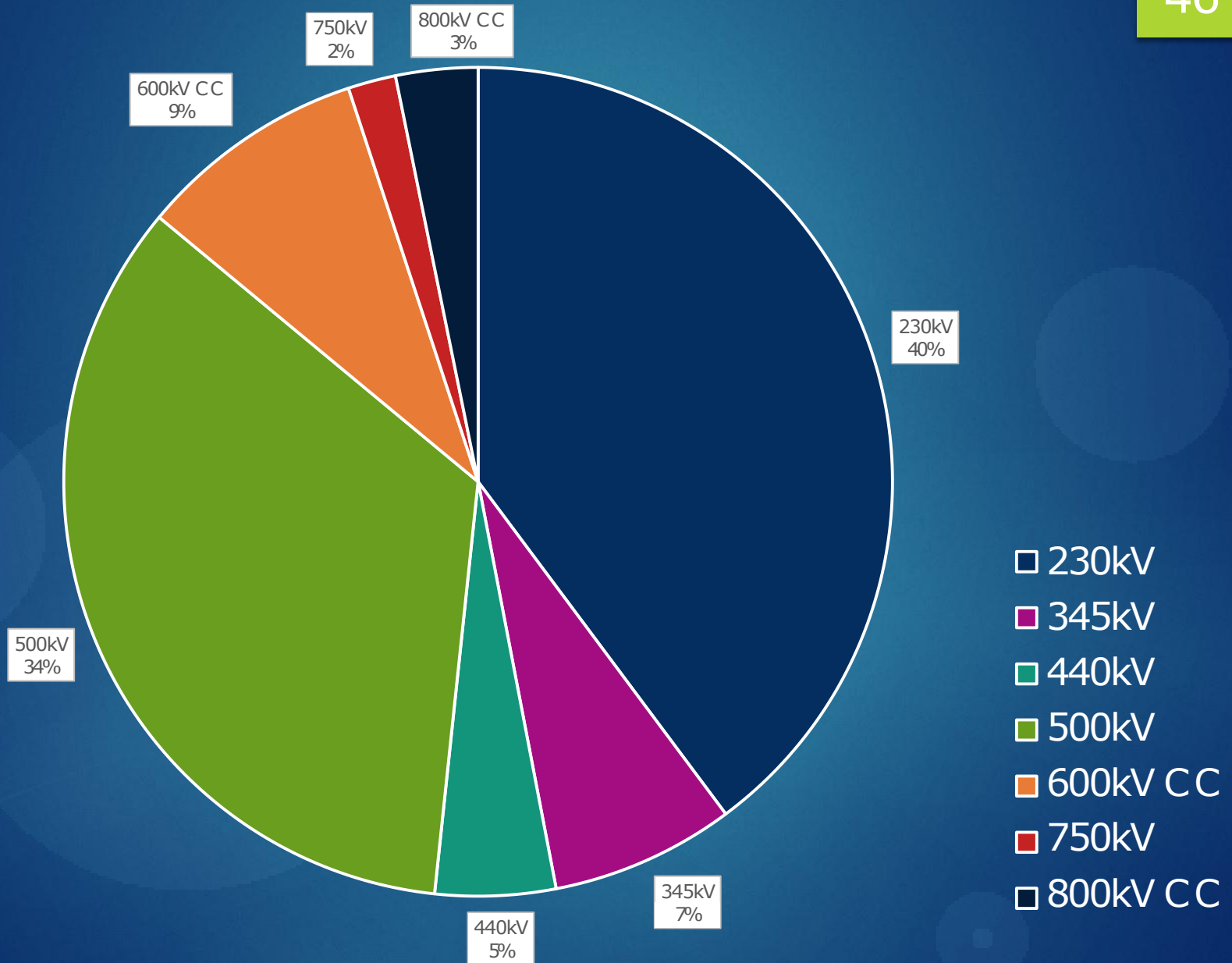
45

Extensão das Linhas de Transmissão do SIN - km

Tensão	2008	2010	2012	2014	2016	2018
230kV	37.709,9	43.184,5	48.123,6	52.580,0	55.816,0	57.214,0
345kV	9.772,1	10.060,5	10.223,8	10.303,0	10.319,0	10.319,0
440kV	6.671,2	6.670,5	6.732,5	6.728,0	6.748,0	6.748,0
500kV	31.868,3	34.356,2	35.689,4	40.617,0	46.565,0	49.359,0
600kV CC	3.224,0	3.224,0	3.224,0	12.816,0	12.816,0	12.816,0
750kV	2.683,0	2.683,0	2.683,0	2.683,0	2.683,0	2.683,0
800kV CC	-	-	-	-	-	4.600,0
SIN	91.928,4	100.178,7	106.676,3	125.727,0	134.947,0	143.739,0

Sistema Interligado Nacional (SIN)

46



Sistema Interligado Nacional (SIN)

47

Rede Básica

Valores em mil km

TRANSMISSÃO	2010	2020	2030
Rede Básica	96,0	142	182

2010



2020



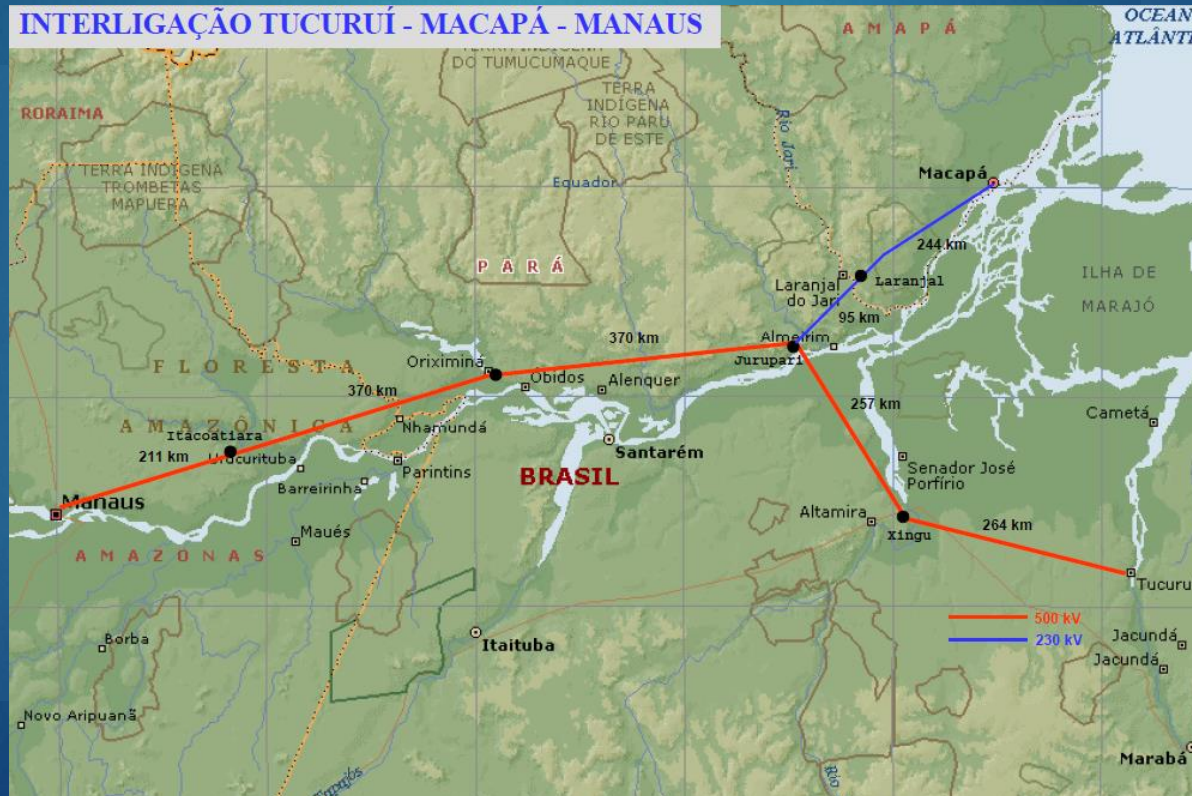
2030



Sistema Interligado Nacional (SIN)

48

- A LT Macapá-Manaus passando por Tucuruí cruza região da Amazônia sem danos ambientais, é a maior LT do Brasil. São 1.191 quilômetros de extensão, numa obra que iniciou em novembro de 2011, em 2013 entregou os primeiros trechos. O empreendimento financiado pela SUDAM (Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia) e pelo BASA (Banco da Amazônia) custou aproximadamente R\$ 3 bilhões.



Sistema Interligado Nacional (SIN)

49

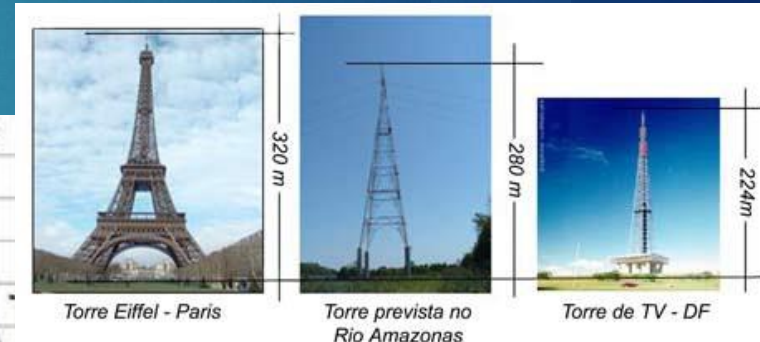
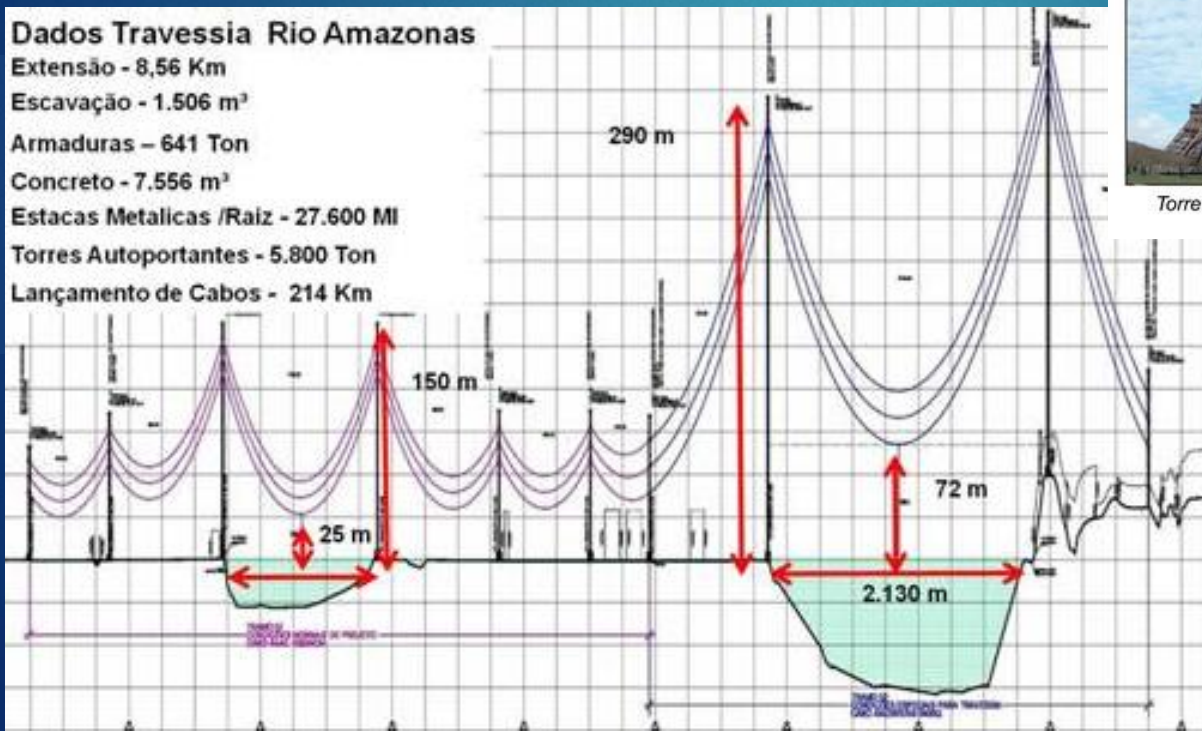
- A linha de transmissão distribuirá (quando concluído) energia da UH de Tucuruí no Rio Tocantins-PA e também leva cabos de fibra óptica à região amazônica. Possibilitará assim acesso à telefonia e à internet às localidades mais longínquas do país. Dados e energia trafegarão por 3.351 torres (uma a cada \pm 355 metros).



Sistema Interligado Nacional (SIN)

50

- As torres da LT medem de 45 metros a 290 metros de altura (exigências ambientais), pois a travessia do rio Amazonas é o ponto crítico. Para cruzar o rio, foram erguidas duas torres de 290 metros (peso unitário de 2.200 toneladas), que são sustentadas sobre 390 pilas de concreto, com 30 metros de profundidade cada uma.



Sistema Interligado Nacional (SIN)

51

- Além de interligar sistemas isolados do extremo norte, o empreendimento irá desonerar custos com Geração termelétrica. A conclusão da obra gerará economia aproximada de R\$ 2 bilhões por ano. Com o fim do uso de combustível fóssil, cerca de 3 milhões de toneladas de carbono deixarão de ser lançados na atmosfera.



Sistema Interligado Nacional (SIN)

52

- A linha de transmissão Tucuruí-Macapá-Manaus é uma obra fascinante, suas 3.351 torres, que chegam a ter 290 metros de altura - o equivalente a um prédio com 100 andares, atravessam quase 1,8 mil quilômetros de selva. O objetivo mais grandioso da obra é de interligar a maior parte da Região Norte ao sistema elétrico nacional.



Sistemas Isolados do SIN

53

- Abastecidos predominantemente por usinas térmicas – óleo diesel e óleo combustível
- Região Norte: Amazonas, Roraima, Acre, Amapá e Rondônia
- Falta de interligação por questões geográficas – florestas densas e rios muito extensos
- Abrangem 45% do território nacional versus 3,4% da produção de energia
- Manaus representa 50% do mercado dos sistemas isolados

Sistemas Isolados do SIN

54

Dificuldade de logística de transporte de combustíveis

Custos de geração superiores

Conta de consumo de combustíveis fósseis (CCC)



Sistema Interligado Nacional (SIN)

55

- **VANTAGENS DOS SISTEMAS INTERLIGADOS:**
- Aumento da estabilidade – sistema mais robusto podendo absorver, sem perda de sincronismo, maiores impactos elétricos.
- Aumento da confiabilidade – permite continuidade do serviço em caso de falha ou manutenção de equipamentos, ou, alternativas de rotas para fluxo da energia.
- Aumento da disponibilidade – acresce a disponibilidade do parque gerador se comparado com parque de cada empresa operando usinas isoladamente.
- Mais econômico – permite a troca de reservas, pois, o intercâmbio de energia está baseado no pressuposto de que a demanda máxima acontece em horários diferentes.

Sistema Interligado Nacional (SIN)

56

- **DESVANTAGENS DOS SISTEMAS INTERLIGADOS:**
- Distúrbio em um sistema afeta os demais sistemas interligados.
- A operação e proteção tornam-se mais complexas.



Sistema Interligado Nacional (SIN)

57

- **DESVANTAGENS DOS SISTEMAS INTERLIGADOS:**
- Distúrbio em um sistema afeta os demais sistemas interligados.
- A operação e proteção tornam-se mais complexas.



Sistema Interligado Nacional (SIN)

58

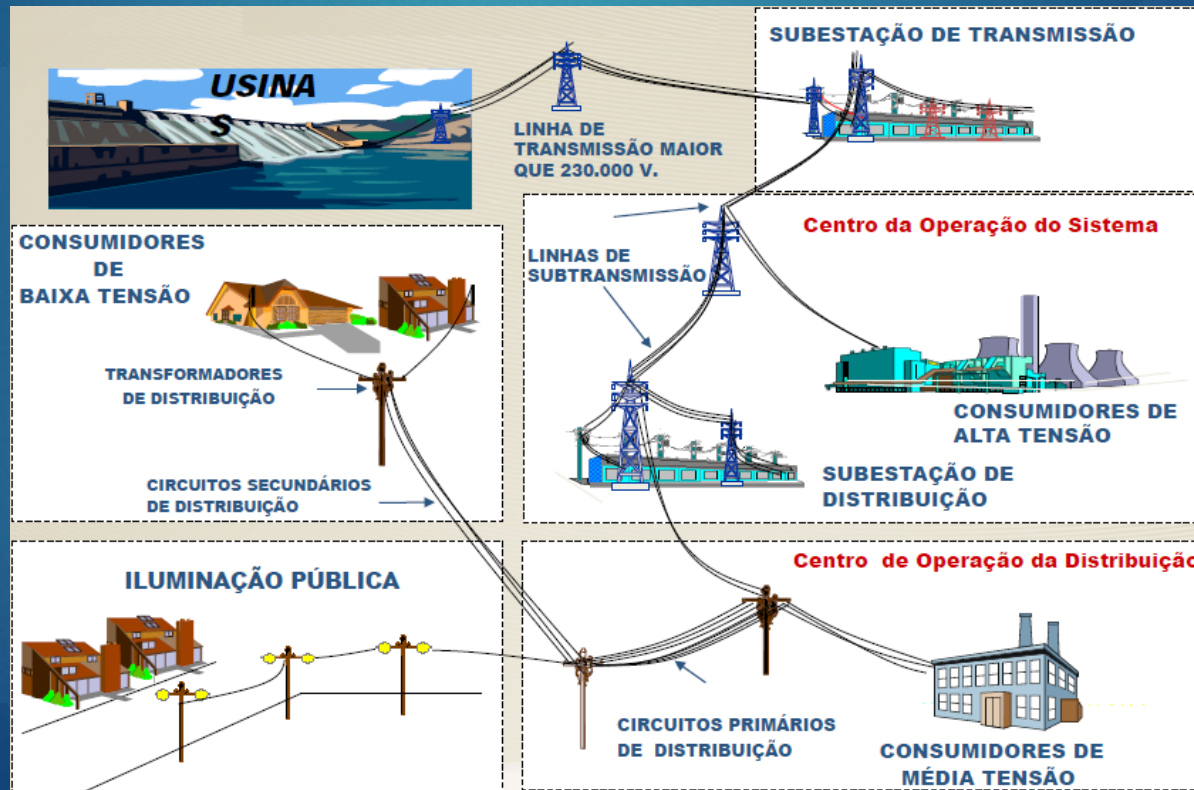
- **DESVANTAGENS DOS SISTEMAS INTERLIGADOS:**
- Distúrbio em um sistema afeta os demais sistemas interligados.
- A operação e proteção tornam-se mais complexas.



Sistema Interligado Nacional (SIN)

59

- Após gerada e transmitida em AT, a energia é distribuída para sistemas de média e baixa tensão. A energia é despachada e controlada por centros de despacho de carga. Os sistemas de distribuição são gerenciados por monopólios empresariais.



SIN Atualmente

60

