



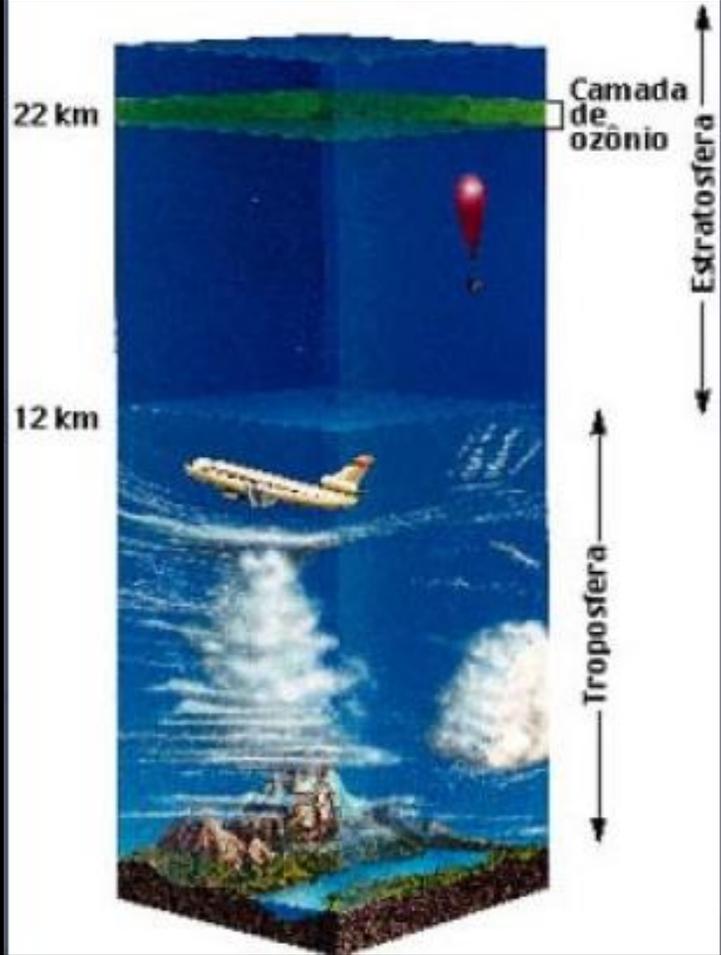
Matriz Energética Brasileira – Mudanças e Investimentos

Roberto Pereira D'Araujo

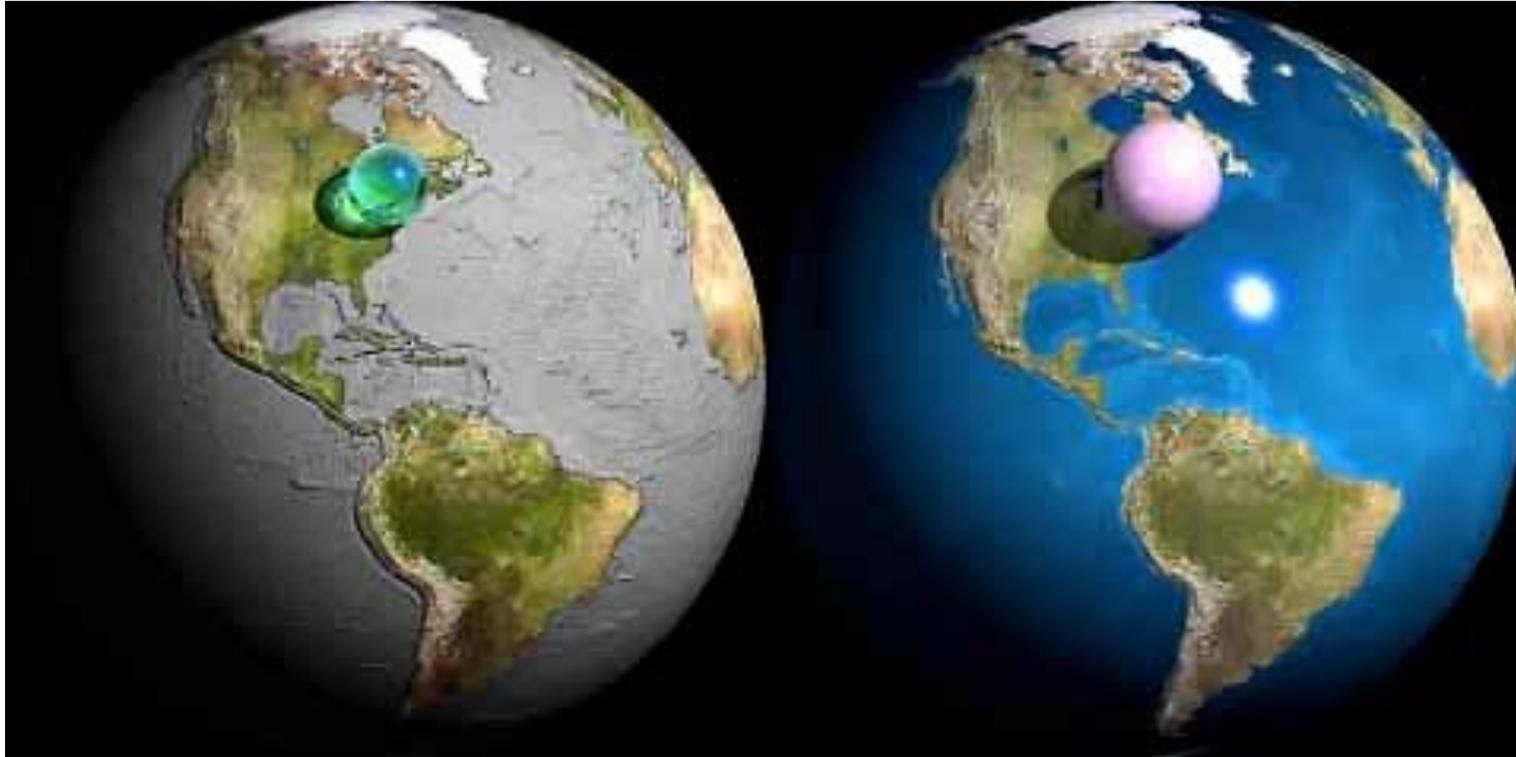
Diretor do Instituto de Desenvolvimento Estratégico do Setor Energético

I - Preâmbulo Ambiental

ATMOSFERA



- ✓ O volume do gás “atmosfera” é equivalente a **0,2% do volume do planeta.**
- ✓ Quase tudo o que a humanidade construiu foi **extraído do primeiro volume e inserido nesse gás.**
- ✓ Apesar do Brasil ser um privilegiado em recursos naturais, **ele está “a bordo”.**



Água doce

Atmosfera

O momento atual é particularmente instigante, pois apresenta **ineditismo e incerteza.**

- **Alterações ambientais em escala planetária.**
- **Novos rumos tecnológicos.**
- **Novas energias renováveis**
- **Novos paradigmas de consumo.**



A competição entre fontes energéticas se dará sob a ótica da **eficiência energética e da preservação dos recursos naturais.**

Resumo da visão da Agência Internacional de Energia sobre o futuro energético do mundo – **World Energy Outlook 2018**

A restrição ambiental

- As atuais tendências de consumo energético são **insustentáveis** sob o ponto de vista ambiental, social ou econômico. (!)
- Petróleo continuará a ser a principal fonte energética, mas...
- Termina a “era do petróleo” – **alta volatilidade**.
- Geopolítica poderá exigir alterações das políticas nacionais e **provável mudança do papel do petróleo**.

A visão da Agência Internacional de Energia

Dúvidas sobre o ritmo e direção da mudança na energia global.

- A emissão de **CO2 relacionada a energia atingiu um recorde em 2018!**
- Grandes expectativas sobre a eletricidade. Dúvidas sobre **a extensão dessa penetração e da base de sustentação dos sistemas de potência no futuro.**

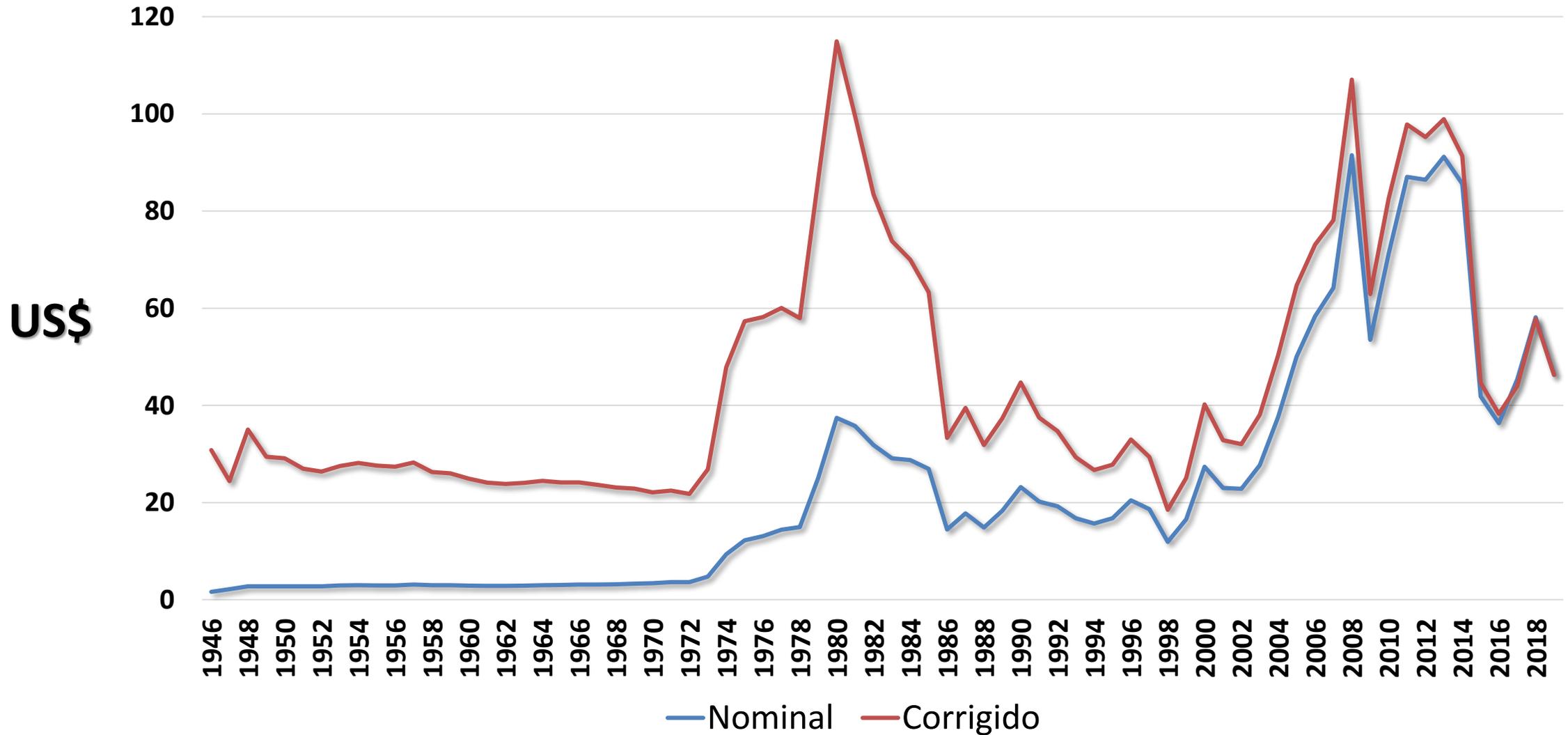


Eficiência Energética > 90 %

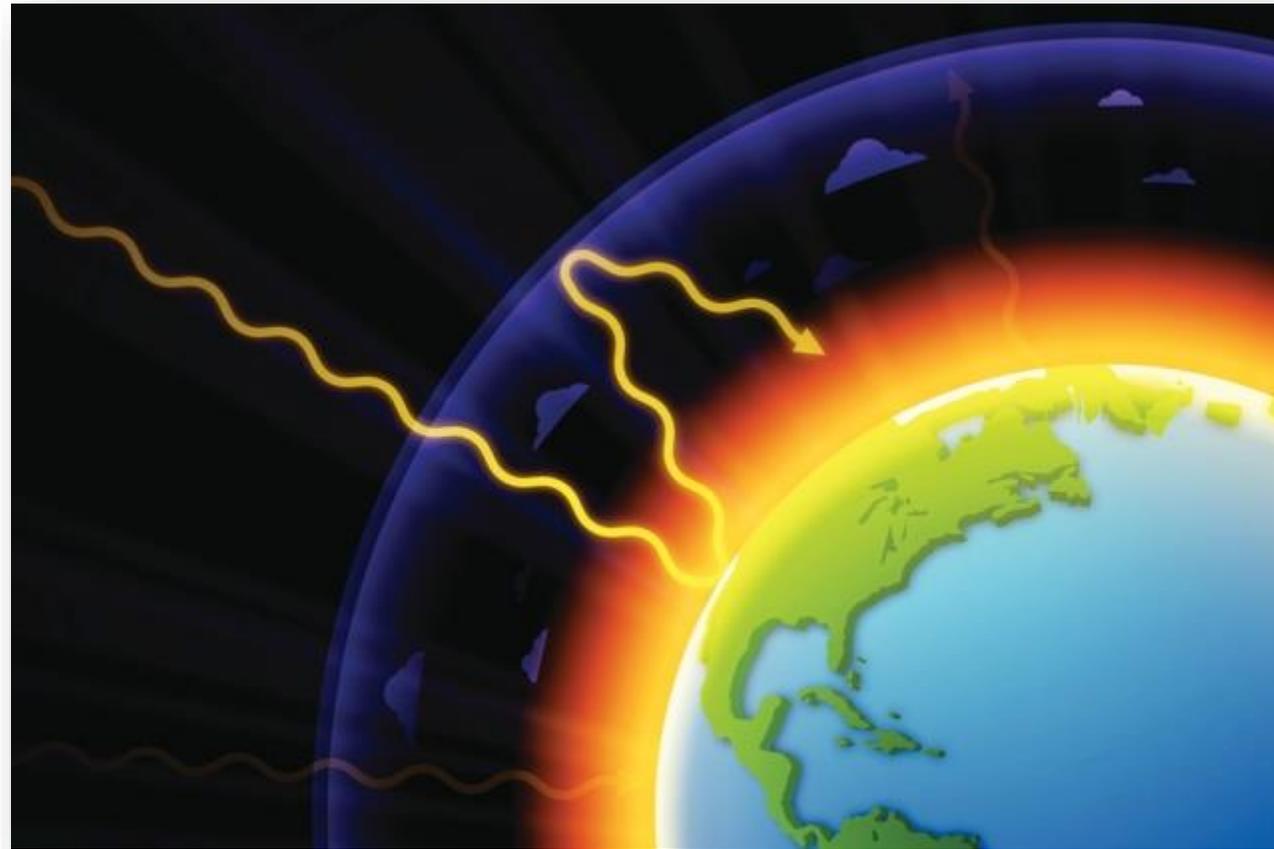


< 40 %

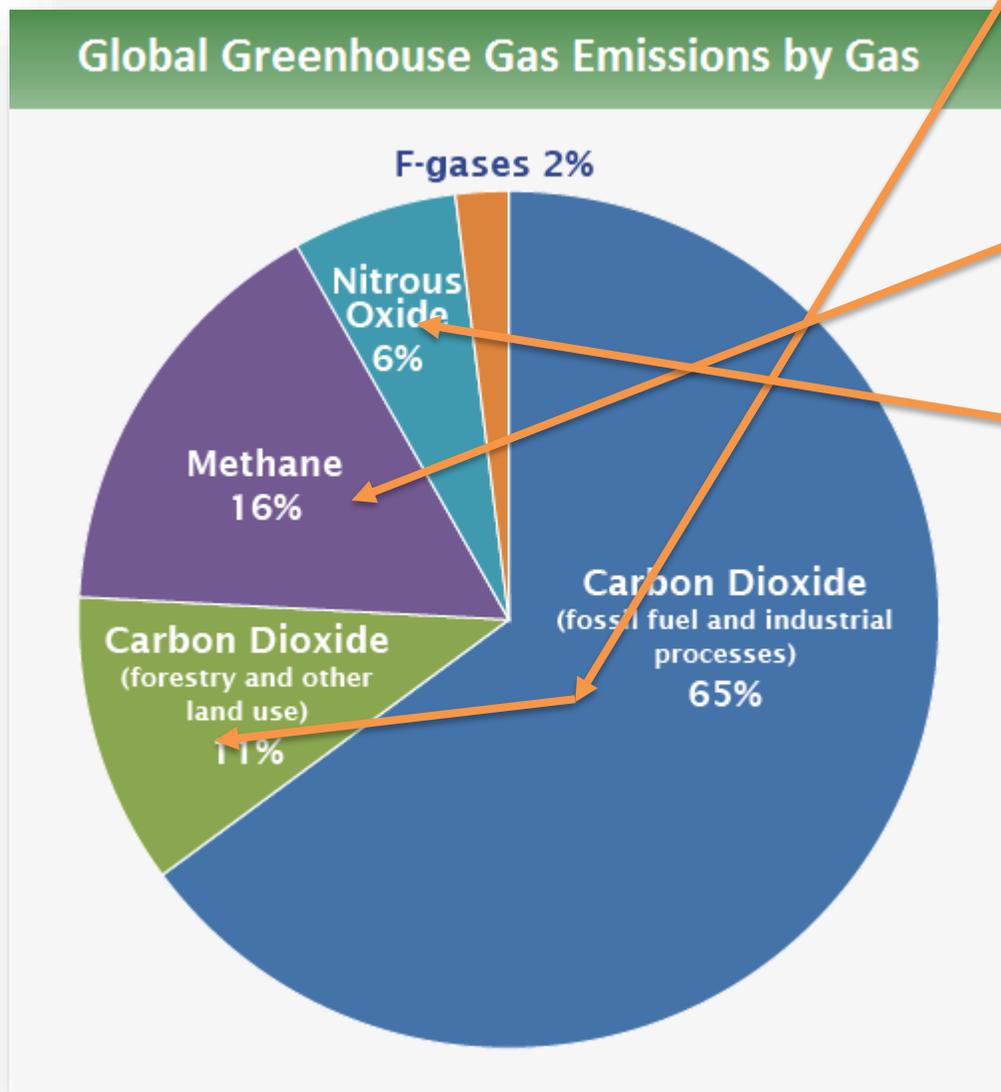
Histórico de preços do Barril de Petróleo



Afinal, que gases efeito estufa são esses e de onde se originam?



Quais gases?



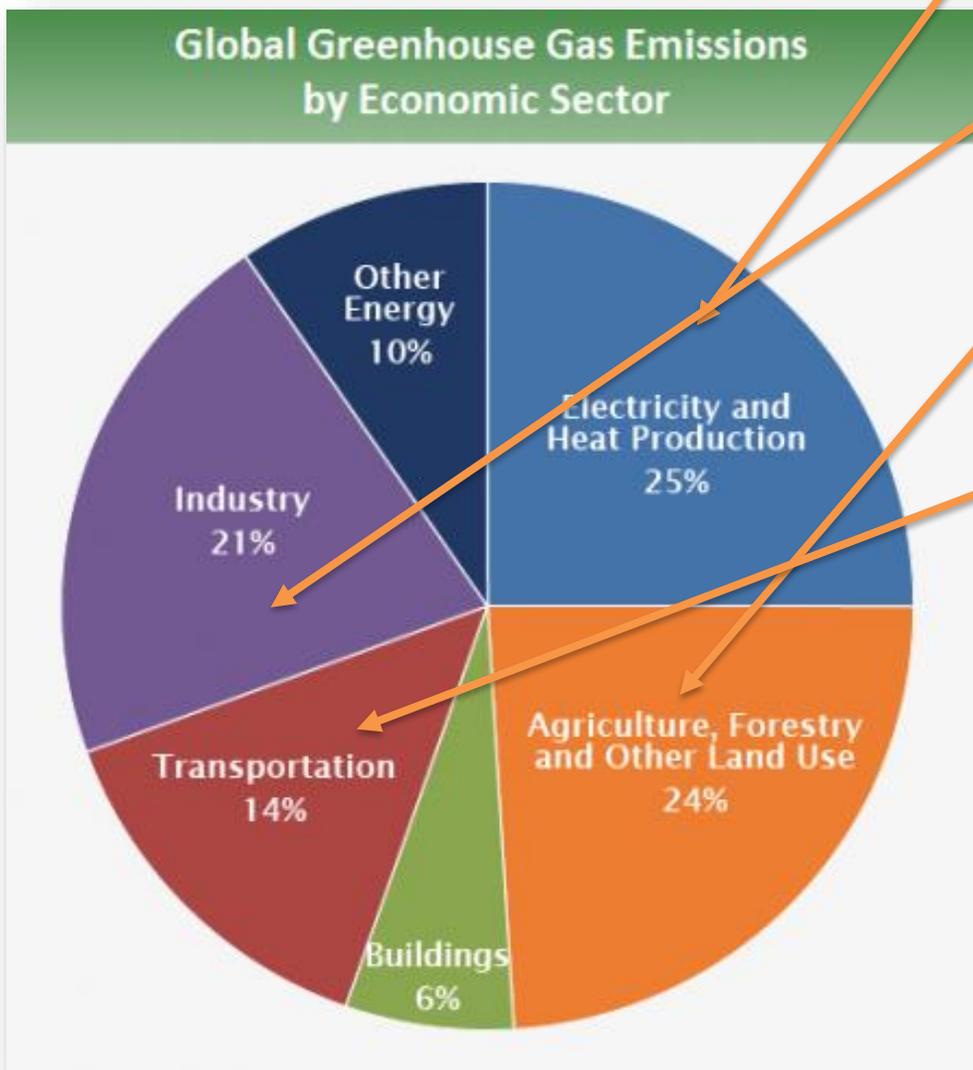
Dióxido de carbono (CO₂): Combustível fóssil. Impactos diretos causados pelo homem como o desmatamento, atividades ligadas à agricultura e a degradação dos solos.

Metano (CH₄): Atividades agrícolas, gerenciamento de resíduos, uso de energia e queima de biomassa contribuem para as emissões de CH₄.

Óxido nitroso (N₂O): Fertilizantes são a principal fonte de emissões de N₂O. A combustão de combustíveis fósseis também gera N₂O.

Gases fluorados (gases fluorados): Processos industriais, refrigeração hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆).

Que setores emitem?



Eletricidade e Produção de Calor :

Carvão, gás natural e óleo para eletricidade e calor.

Indústria: Principalmente combustíveis fósseis queimados no local em instalações de energia.

Agricultura, florestas e outros usos da terra : agricultura (cultivo de culturas e pecuária) e do desmatamento.

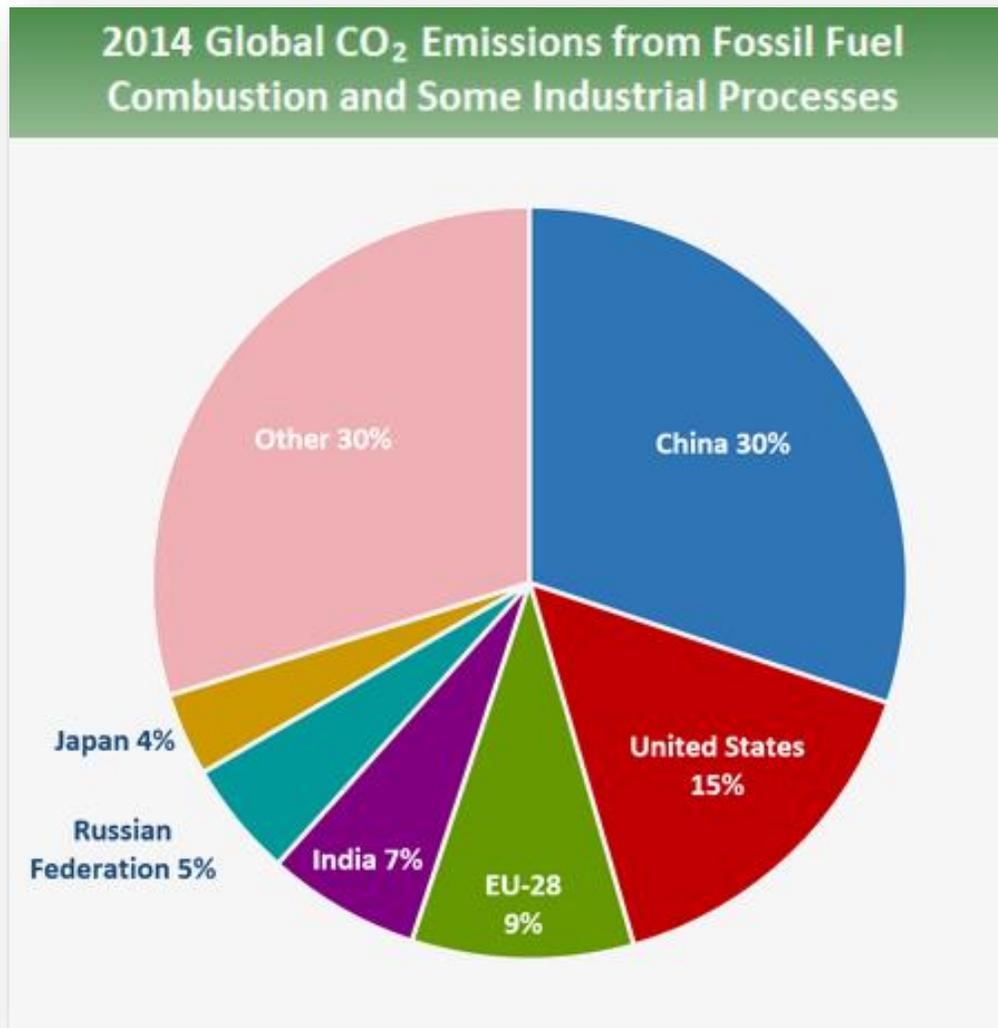
Transporte :

transporte rodoviário, ferroviário, aéreo e marítimo. Quase todos (95%) da energia de transporte.

Edifícios: Geração de energia no local e queima de combustíveis para aquecimento em edifícios ou para cozinhar em residências.

Outras energias : extração de combustível, refino, processamento e transporte.

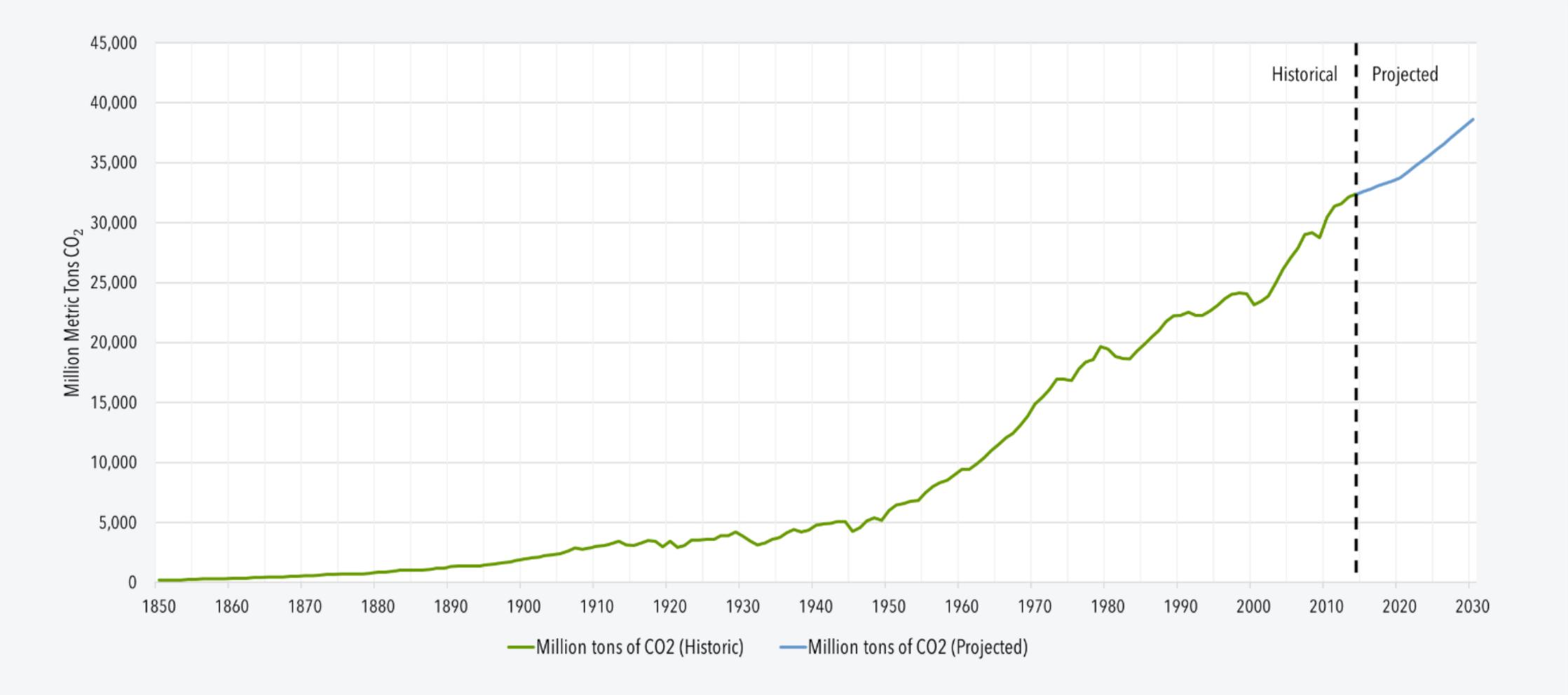
Que países emitem?



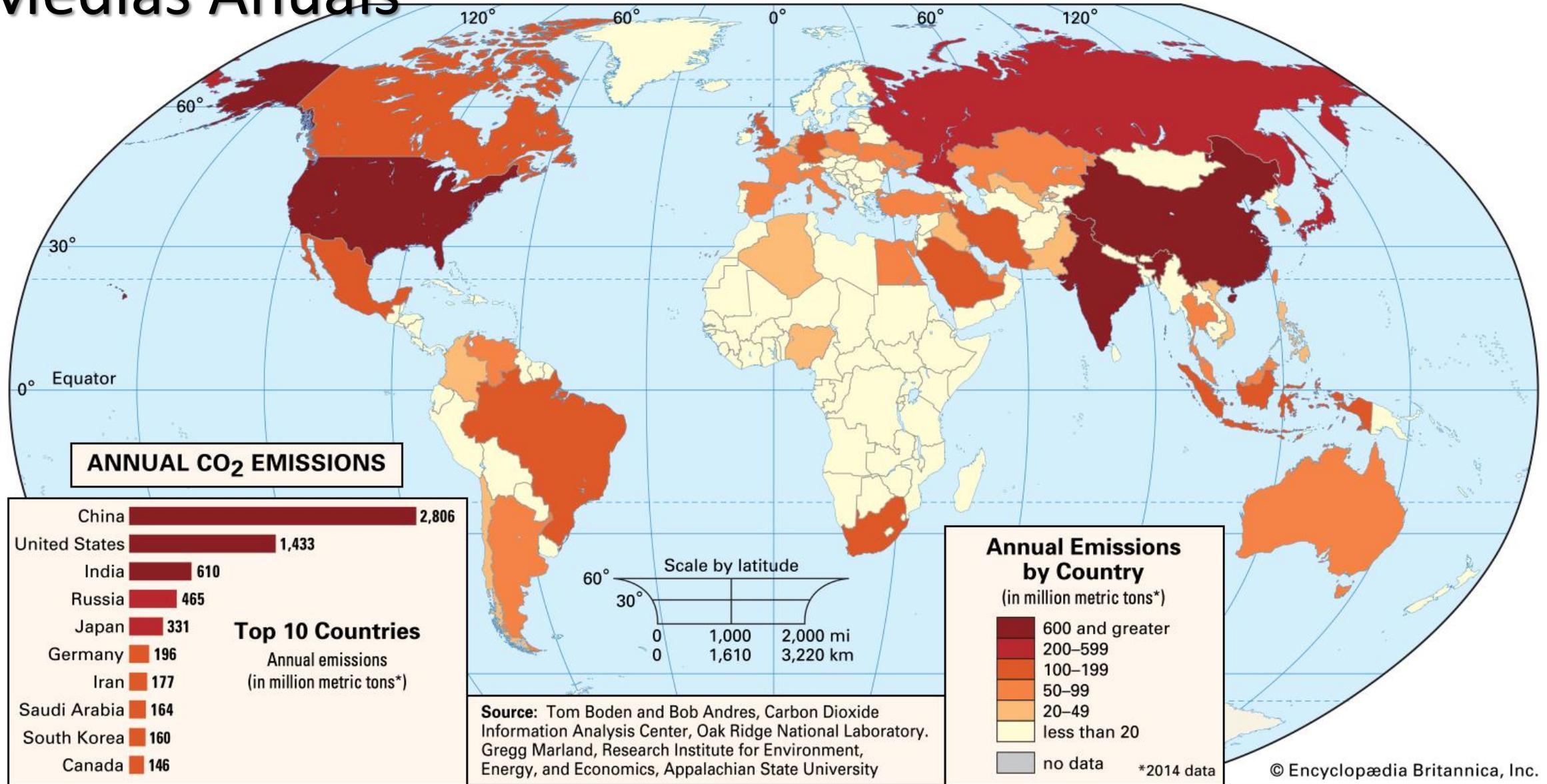
Em 2014, os principais emissores de dióxido de carbono (CO₂) foram a **China**, **os Estados Unidos**, a **União Européia**, a **Índia**, a **Federação Russa** e o **Japão**. Esses dados incluem as emissões de CO₂ da combustão de combustíveis fósseis, bem como a fabricação de cimento e a queima de gás. Juntas, essas fontes representam uma grande proporção do total de emissões globais de CO₂.

Emissões e sumidouros relacionados a mudanças no uso da terra não estão incluídas nessas estimativas. No entanto, podem ser importantes: estimativas indicam que as emissões líquidas globais de gases do efeito estufa provenientes da agricultura, silvicultura e outros usos da terra foram de mais de 8 bilhões de toneladas métricas de CO₂ equivalente, ou cerca de 24% do total global de emissões de gases de efeito estufa.

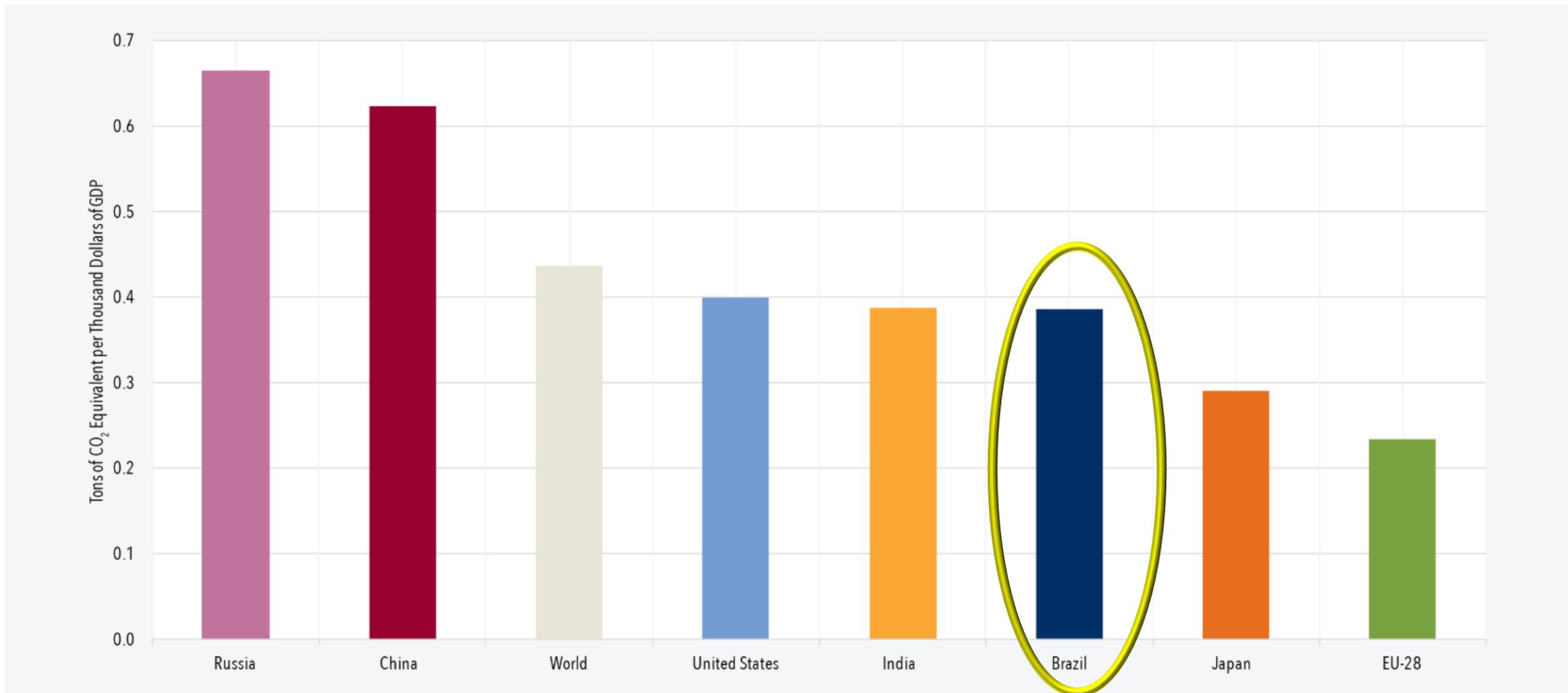
Emissão de Dióxido de Carbono Global – Center for Climate and Energy



Médias Anuais

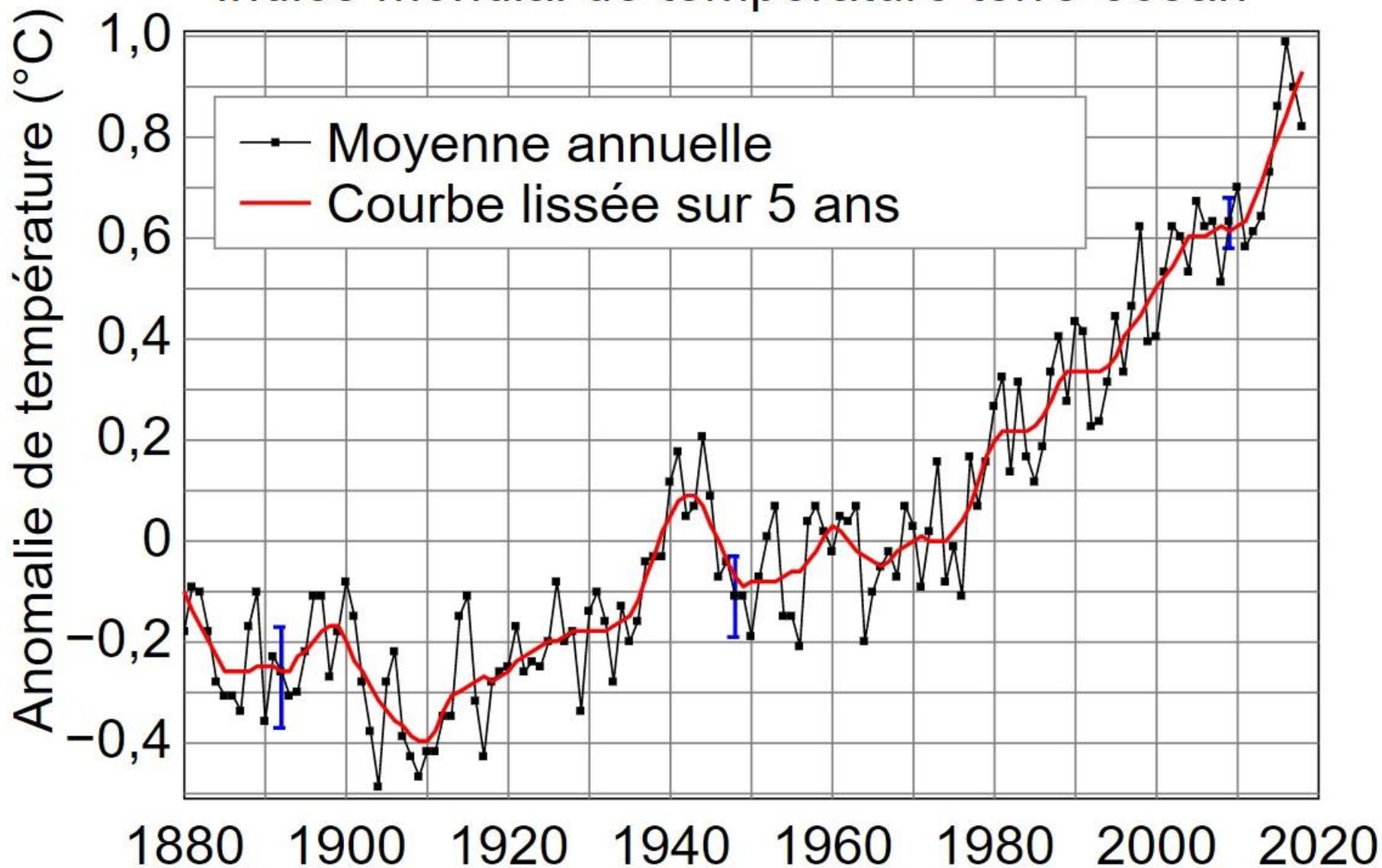


No acumulado histórico de emissões o Brasil é irrelevante, mas quando se considera o dado anual (2014) o Brasil é o 5º!



<https://www.c2es.org/content/international-emissions/>

Indice mondial de température terre-océan

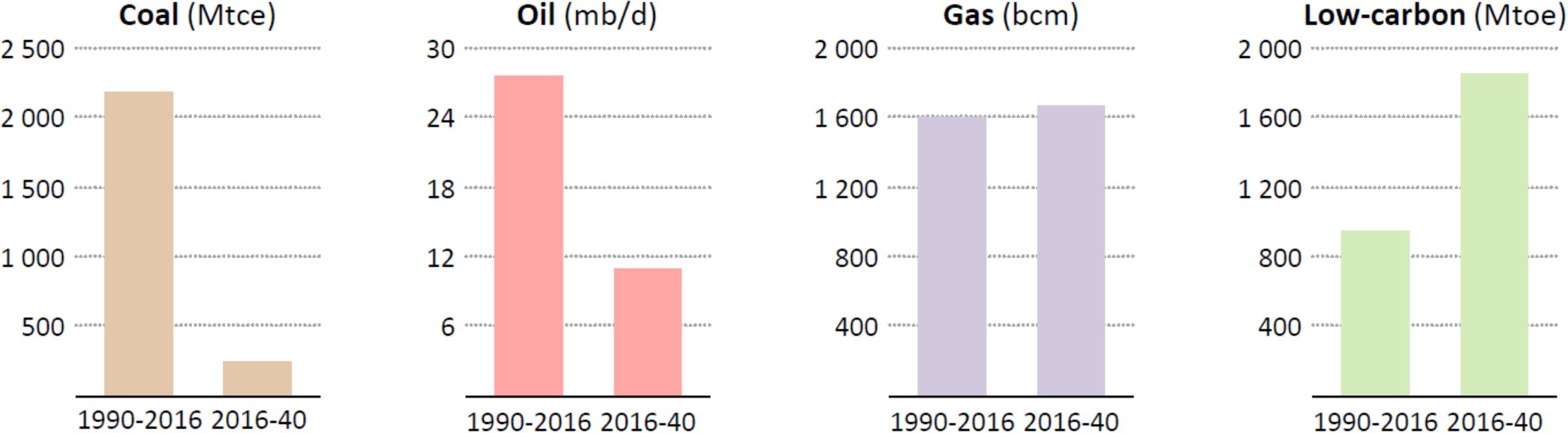


Resumo da visão da Agência Internacional de Energia sobre o futuro energético do mundo – World Energy Outlook 2018

- Para evitar consequências **abruptas e irreversíveis**, é necessário uma **descarbonização** da matriz energética mundial.
- Para um cenário onde o aumento da temperatura possa ser limitado a + 2 °C, **a redução de emissões deve ser significativa** em todas as regiões do planeta.
- **Novas formas de geração de energia** estão surgindo aceleradamente ao longo dos últimos 20 anos.
- **Mudanças tecnológicas** na demanda também serão necessárias.

Comparação da demanda por fontes dos últimos e dos próximos anos

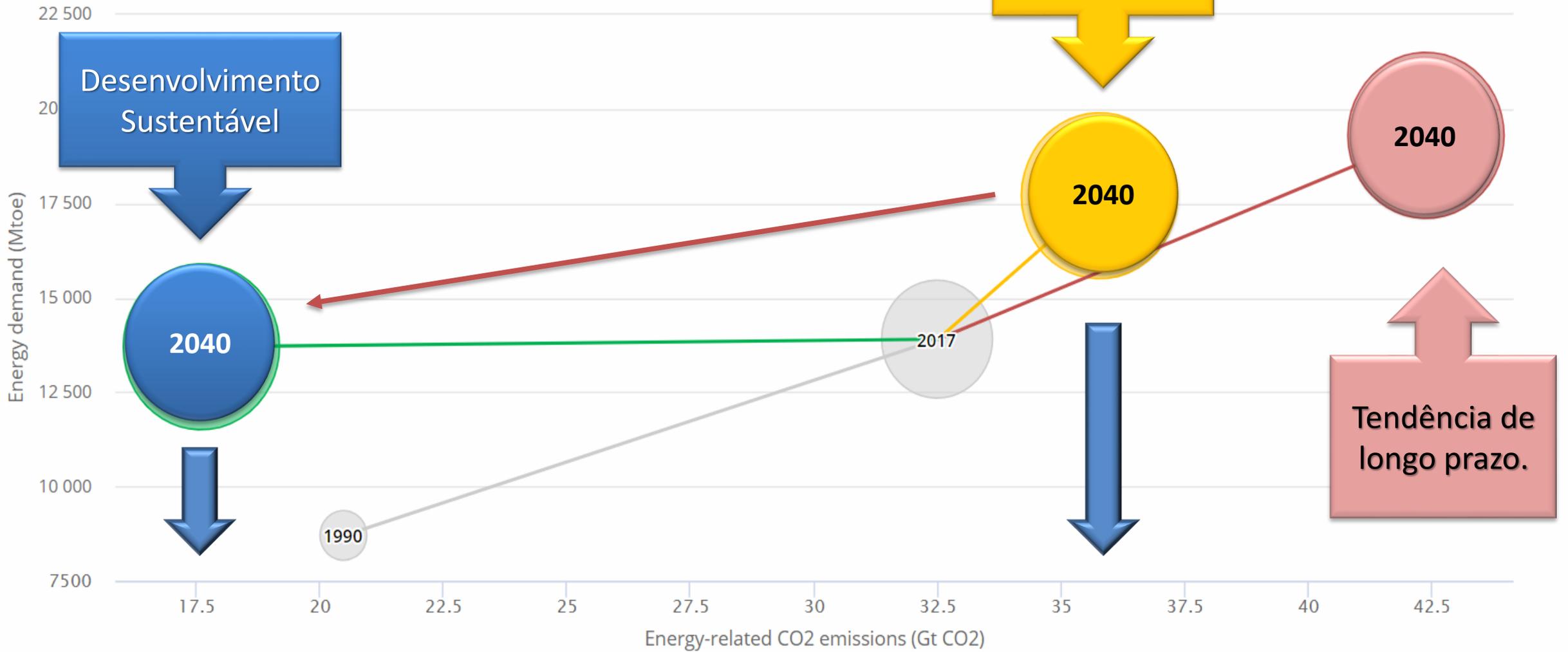
Change in world energy demand by fuel



Low-carbon sources & natural gas meet 85% of the increase in global demand:

World primary energy demand and energy-related CO2 emissions scenario

Bubble size represents size of global economy



II – A questão energética.

Estados nacionais começam a se proteger do preço do petróleo

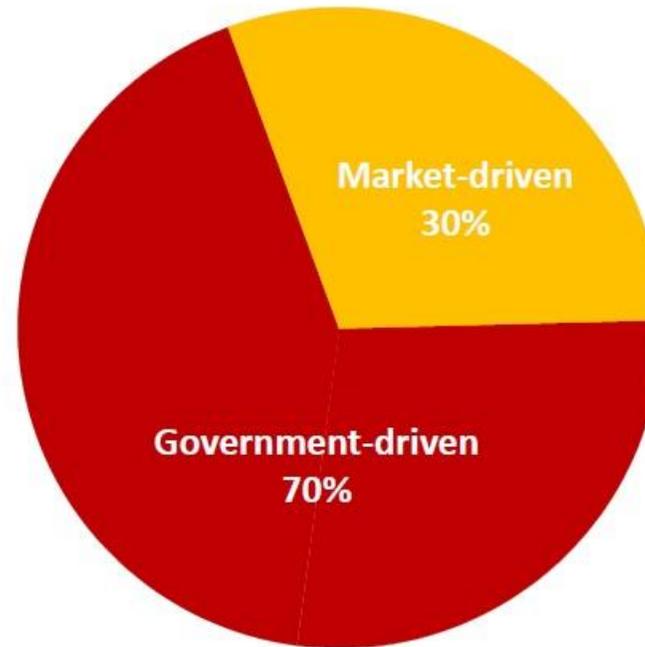
O **fundo soberano da Noruega**, o maior do mundo e sustentado com petrodólares, **vai abandonar as empresas de petróleo para reduzir a exposição do país escandinavo ao combustível**, anunciou o governo norueguês.

“O objetivo é reduzir a **vulnerabilidade de nossa riqueza comum ante um retrocesso permanente dos preços do petróleo**”, afirmou a ministra das Finanças, Siv Jensen, em um comunicado.

A Noruega é o maior produtor de petróleo da Europa ocidental. O petróleo e o gás natural representam quase metade das exportações e **20% do faturamento do Estado, que enriquecem o fundo soberano**, ao qual Oslo recorre para financiar seu orçamento

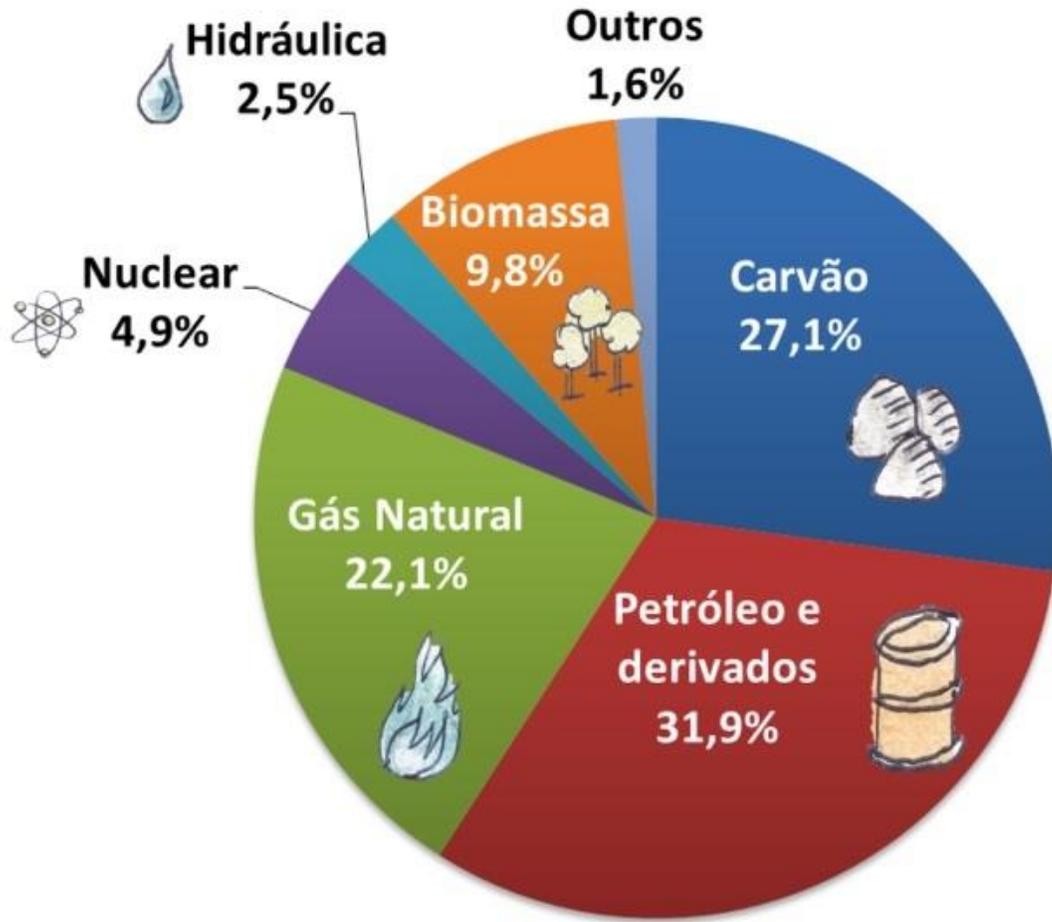
Our energy destiny rests with governments

Total investment in energy supply



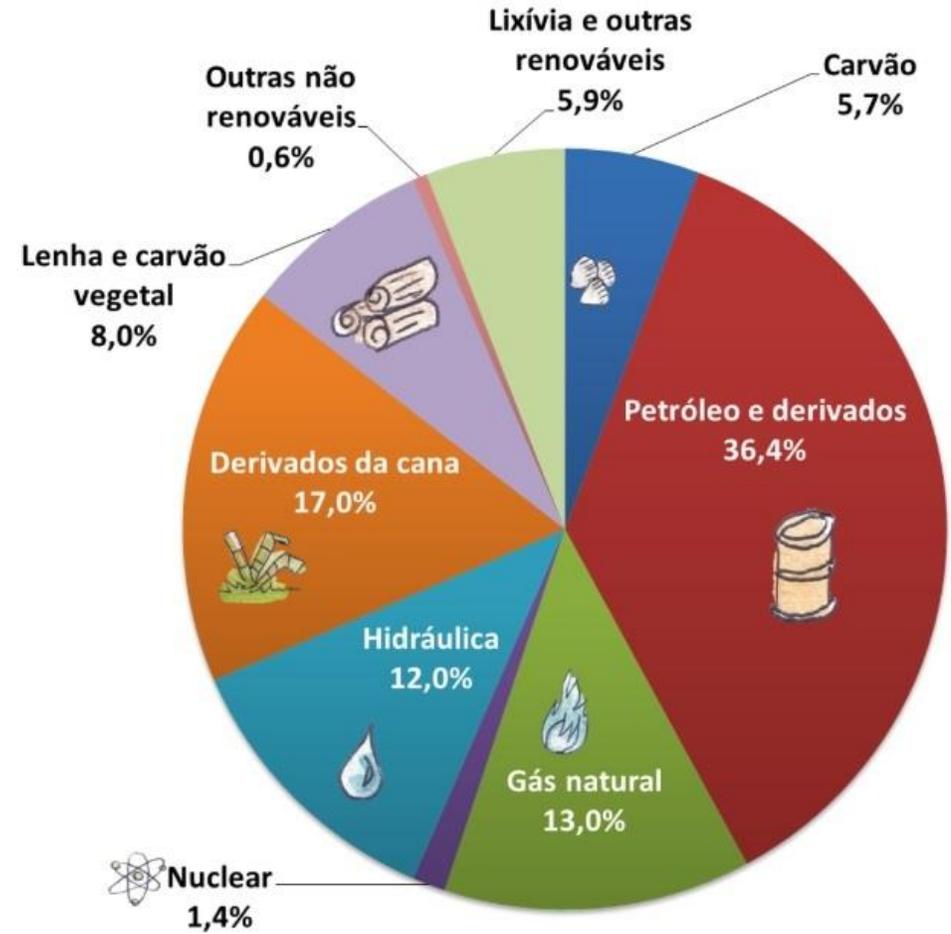
More than 70% of the \$2 trillion required each year in energy supply investment either comes from state-directed entities or receives a full or partial revenue guarantee

Matriz Energética



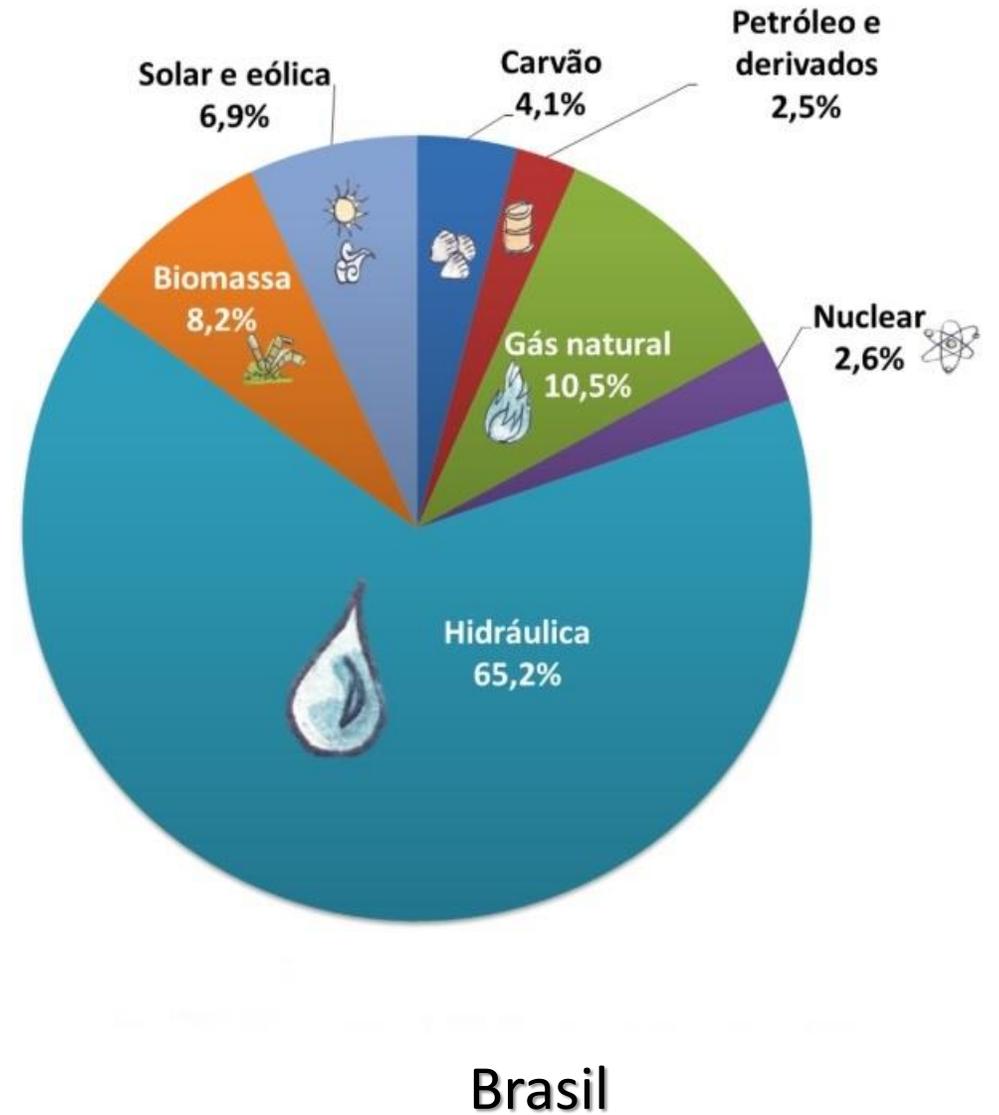
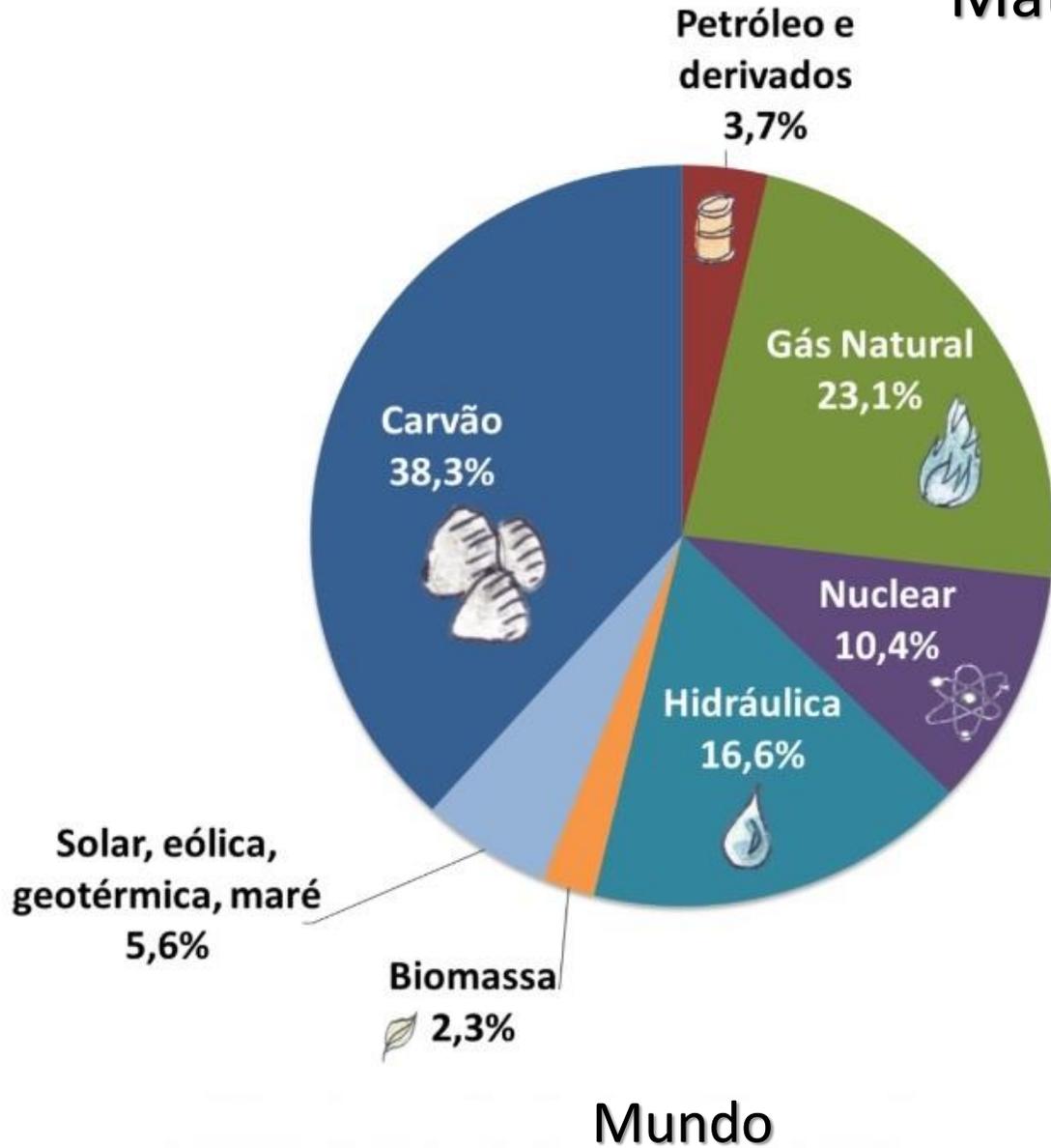
Fonte: EPE

Mundo



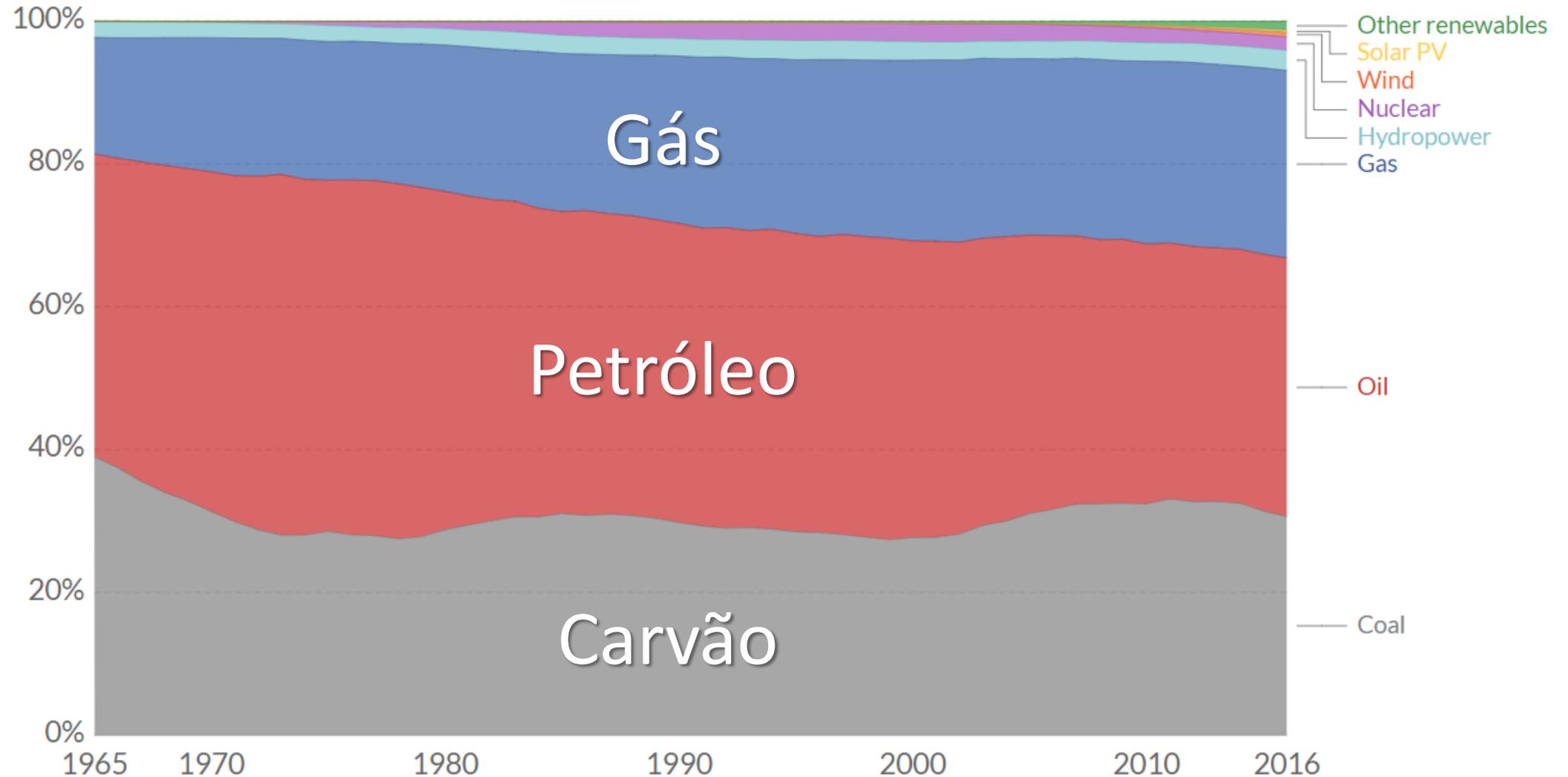
Brasil

Matriz Elétrica



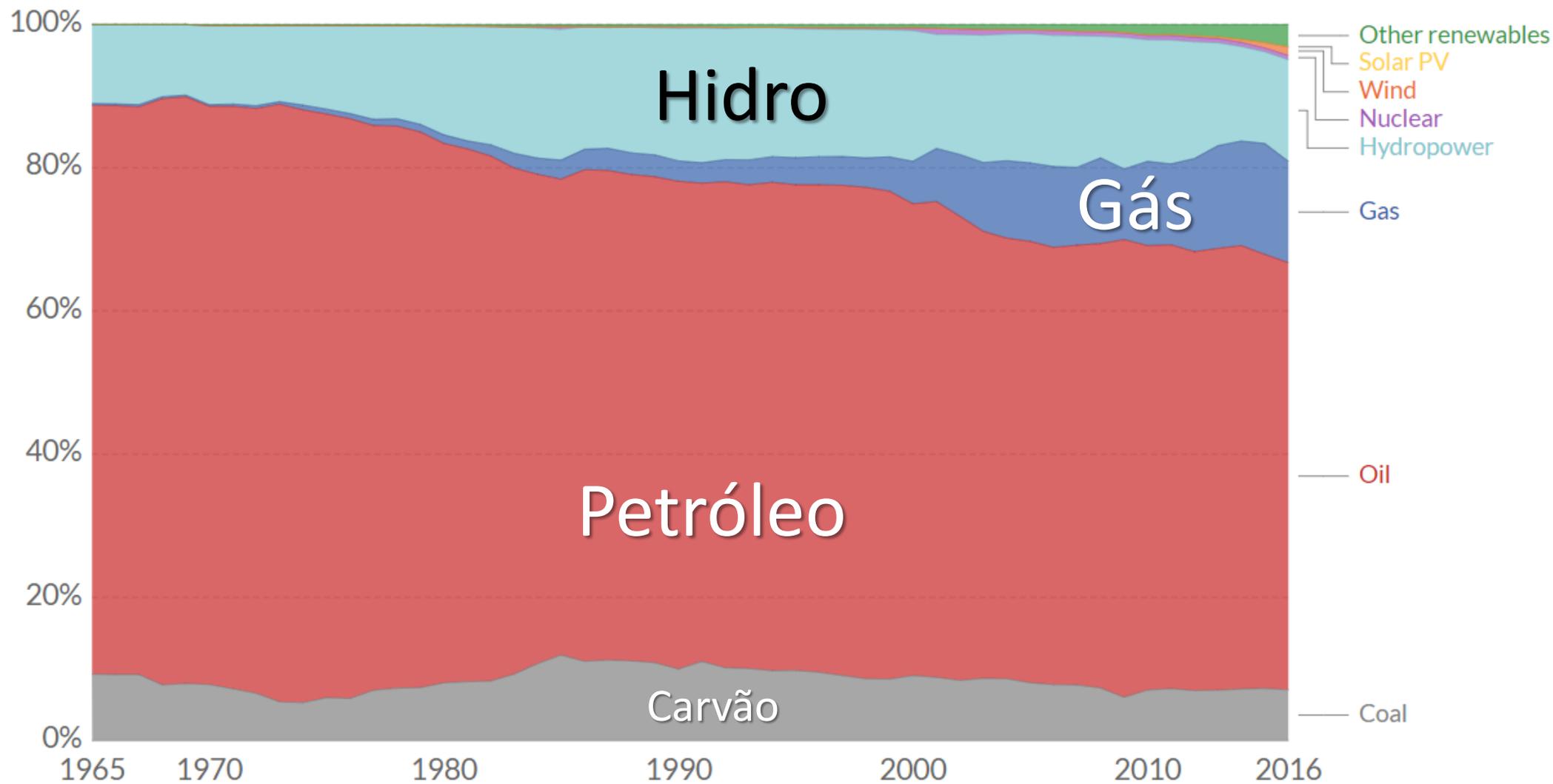
Primary energy consumption by source, World

Primary energy consumption by source across the world's regions, measured in terawatt-hours (TWh). Note that this data does not include energy sourced from traditional biomass, which may form a significant component of primary energy consumption in low to middle-income countries. 'Other renewables' includes renewable sources including wind, geothermal, solar, biomass and waste.



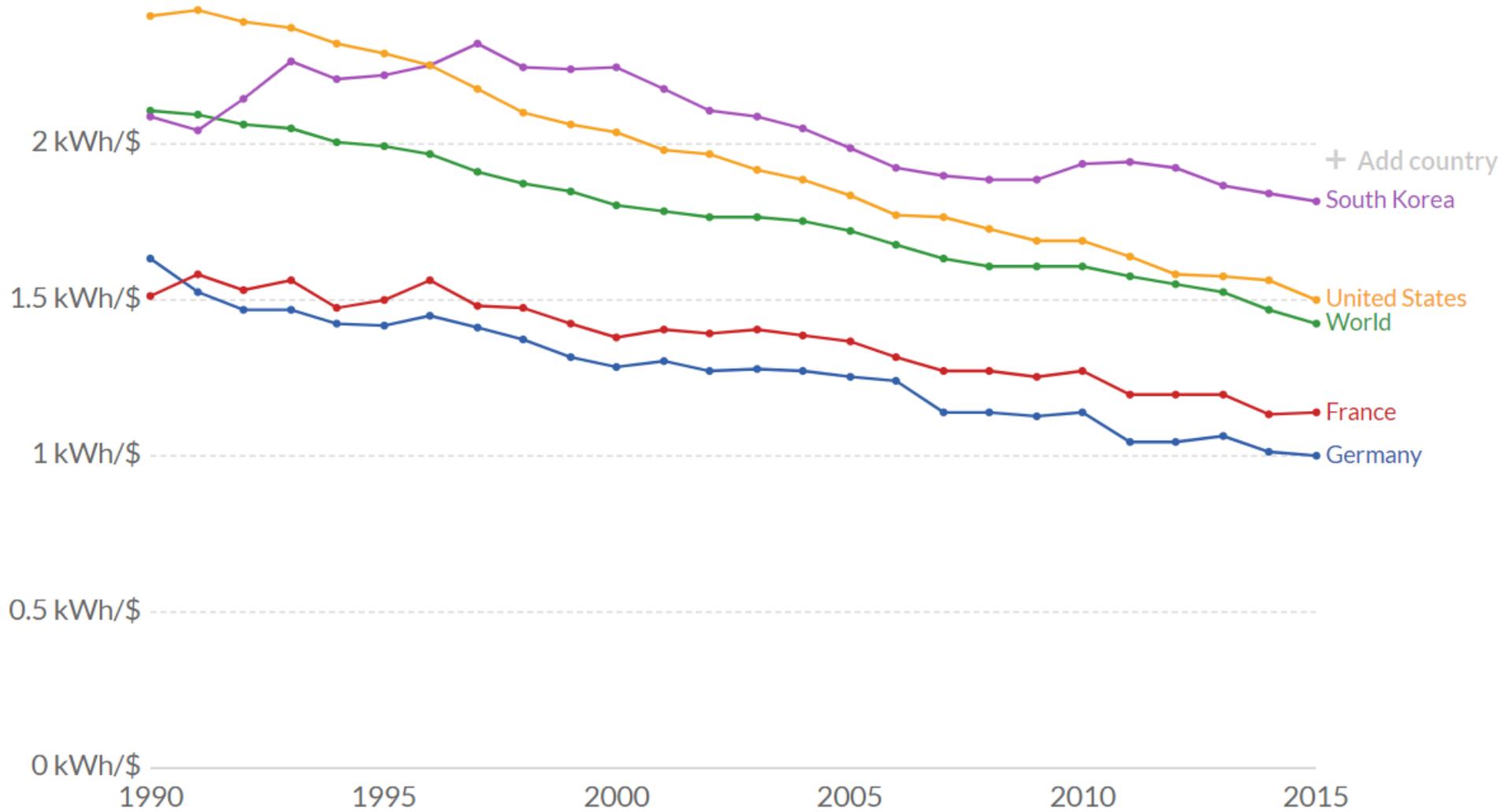
Primary energy consumption by source, Brazil

Primary energy consumption by source across the world's regions, measured in terawatt-hours (TWh). Note that this data does not include energy sourced from traditional biomass, which may form a significant component of primary energy consumption in low to middle-income countries. 'Other renewables' includes renewable sources including wind, geothermal, solar, biomass and waste.



Energy intensity of economies

Energy intensity of production, measured in kilowatt-hours per 2011 international-\$ of gross domestic product (kWh per 2011 int-\$ GDP).



Source: World Bank, Sustainable Energy for All (SE4ALL)

CC BY

1990 2015

CHART

MAP

DATA

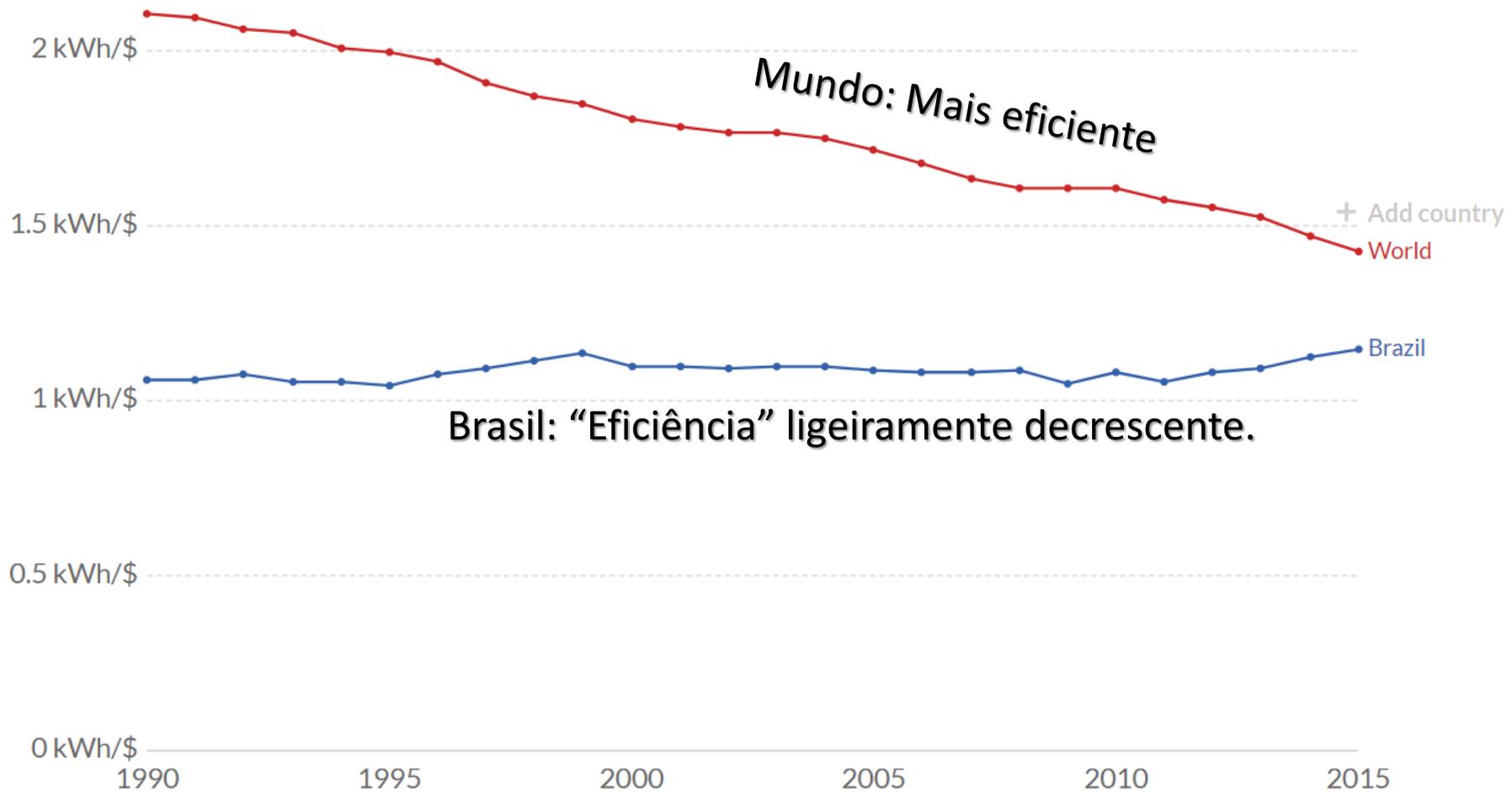
SOURCES



Energy intensity of economies

Energy intensity of production, measured in kilowatt-hours per 2011 international-\$ of gross domestic product (kWh per 2011 int-\$ GDP).

Our World
in Data



Source: World Bank, Sustainable Energy for All (SE4ALL)

CC BY

1990 2015

CHART

MAP

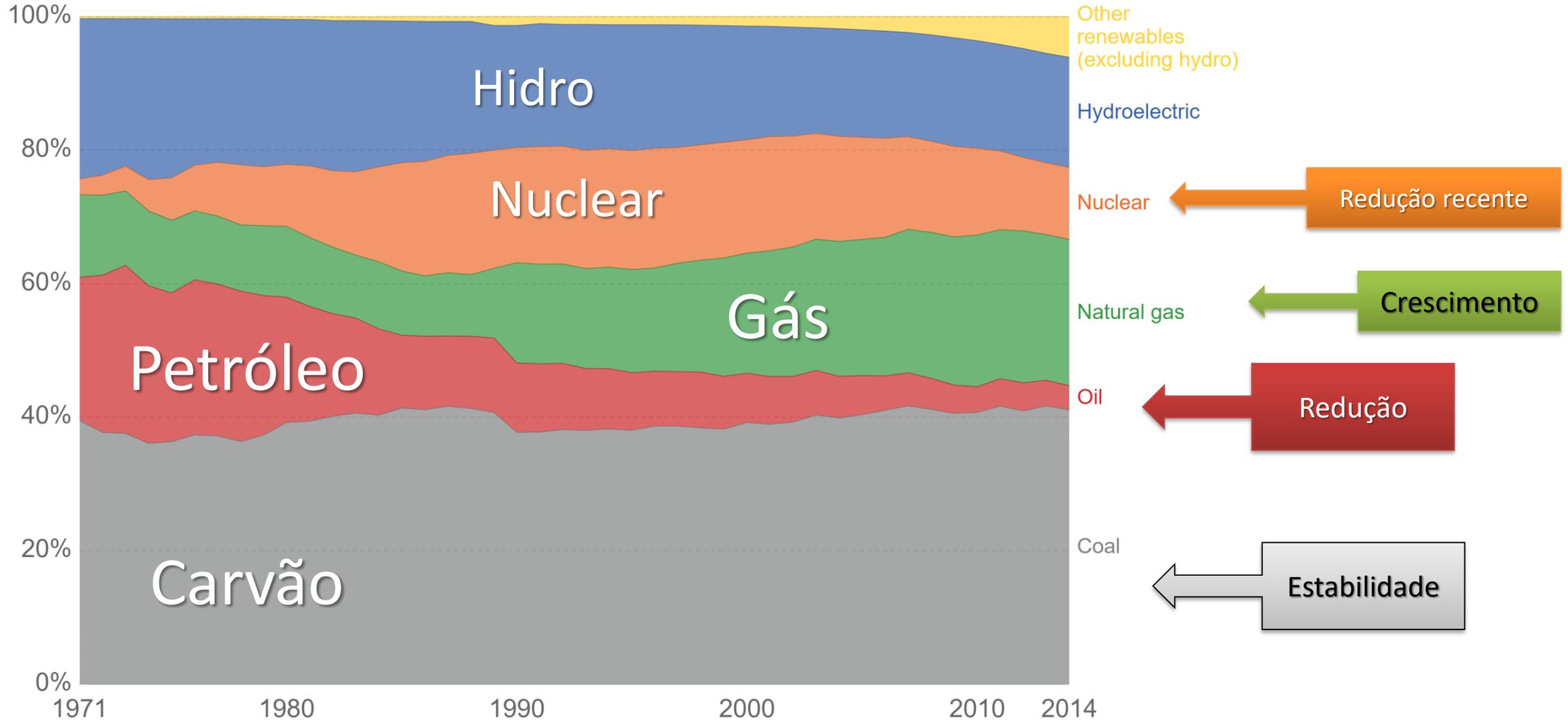
DATA

SOURCES



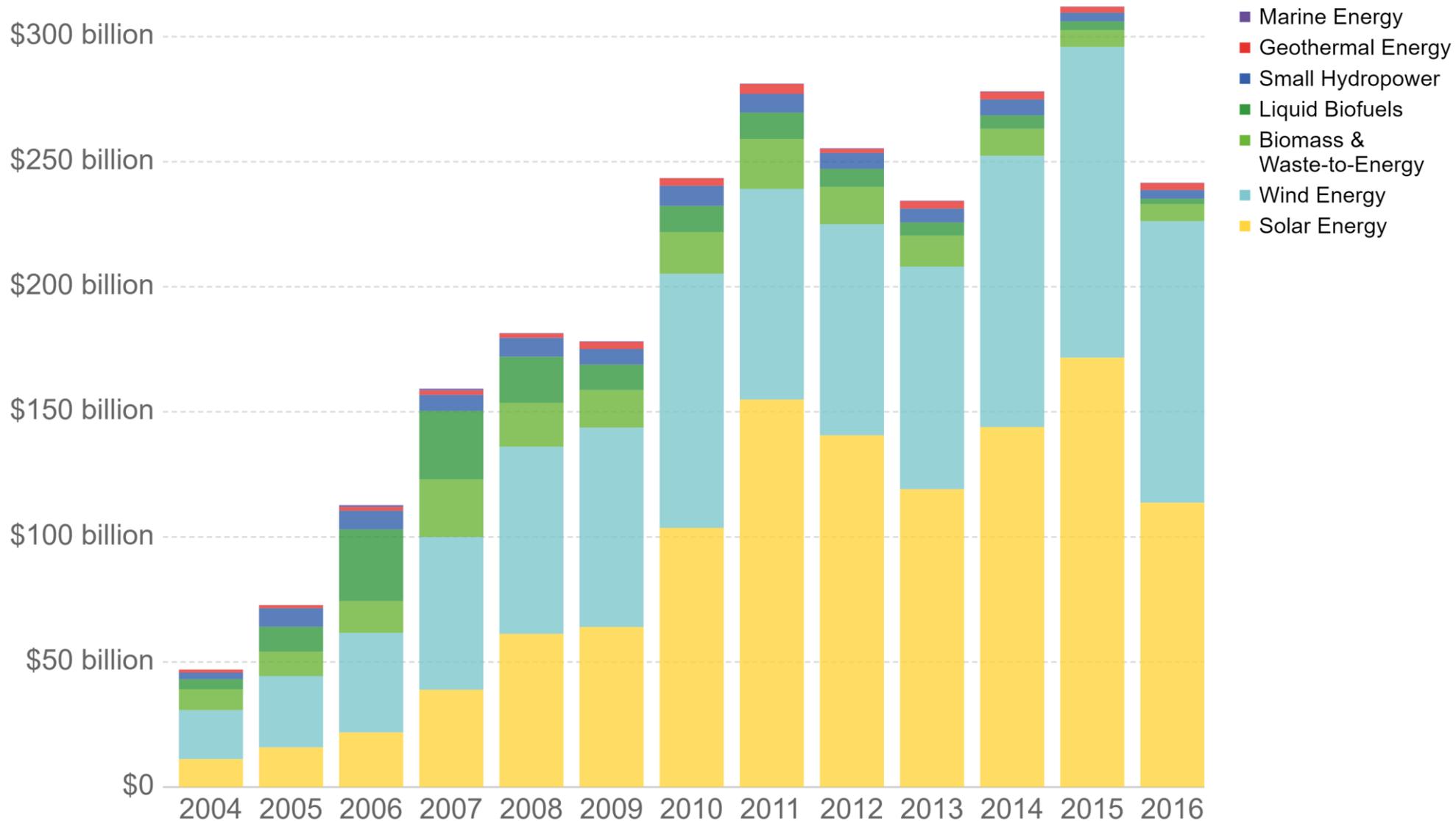
Electricity share by fuel source, World

Electricity production (measured as the percentage of total electricity production) by source (coal, oil, gas, nuclear, hydroelectric power and other renewables). Other renewables in this definition includes biomass, wind, solar, geothermal, and marine power.



Investment in renewable energy, by technology

Global investment in renewable energy technologies, measured in USD per year. Note investment figures exclude large-scale hydropower schemes.



Produzir Energia causa conflitos

- Todas as formas de **produção de energia impactam de algum modo** e em graus diferentes o meio ambiente.
- Mesmo as chamadas energias **renováveis podem causar problemas ambientais**.
- Por exemplo, a energia eólica, frequentemente classificada como limpa, causa problemas de **ocupação de terras, poluição sonora e pode ser uma ameaça à vida de aves silvestres**.

Produzir Energia “polui”.

- A energia solar, apesar de não poluir na fase de operação, utiliza células fotovoltaicas cuja **fabricação envolve mineração e produção de materiais perigosos tais como o arsênico, cádmio ou silício inerte.**
- A queima de **biomassa polui a atmosfera com particulados**, apesar de que, o CO2 emitido seria absorvido pelo replantio. À biomassa também estaria associada a **necessidade de extensas áreas voltadas para o cultivo de energéticos podendo deslocar o plantio de outras culturas voltadas ao consumo humano.**

Entretanto, há uma nova visão sobre a produção de energia

Eficiência Energética : Questionamento que esteve ausente da maioria das análises até agora.

Visão da eficiência da cada fonte **de forma integral**.

Forma de produção de energia **desde sua origem**.

Quanta **energia se dispende** para obter os combustíveis?

Quanta energia é necessária para extrair e produzir o “combustível”?



Certamente não é nula!



Certamente é nula!

Eficiência na Geração de Eletricidade

No atual cenário tecnológico, a quase totalidade das fontes de geração de eletricidade se baseia no **princípio eletromagnético de transformação de “movimento” em energia elétrica.**

Eficiência na transformação da energia primária:

Hidroelétricas (~ 90%)

Eólicas (< 40%)

Marés (~ 90%)

Ondas (< 60%)

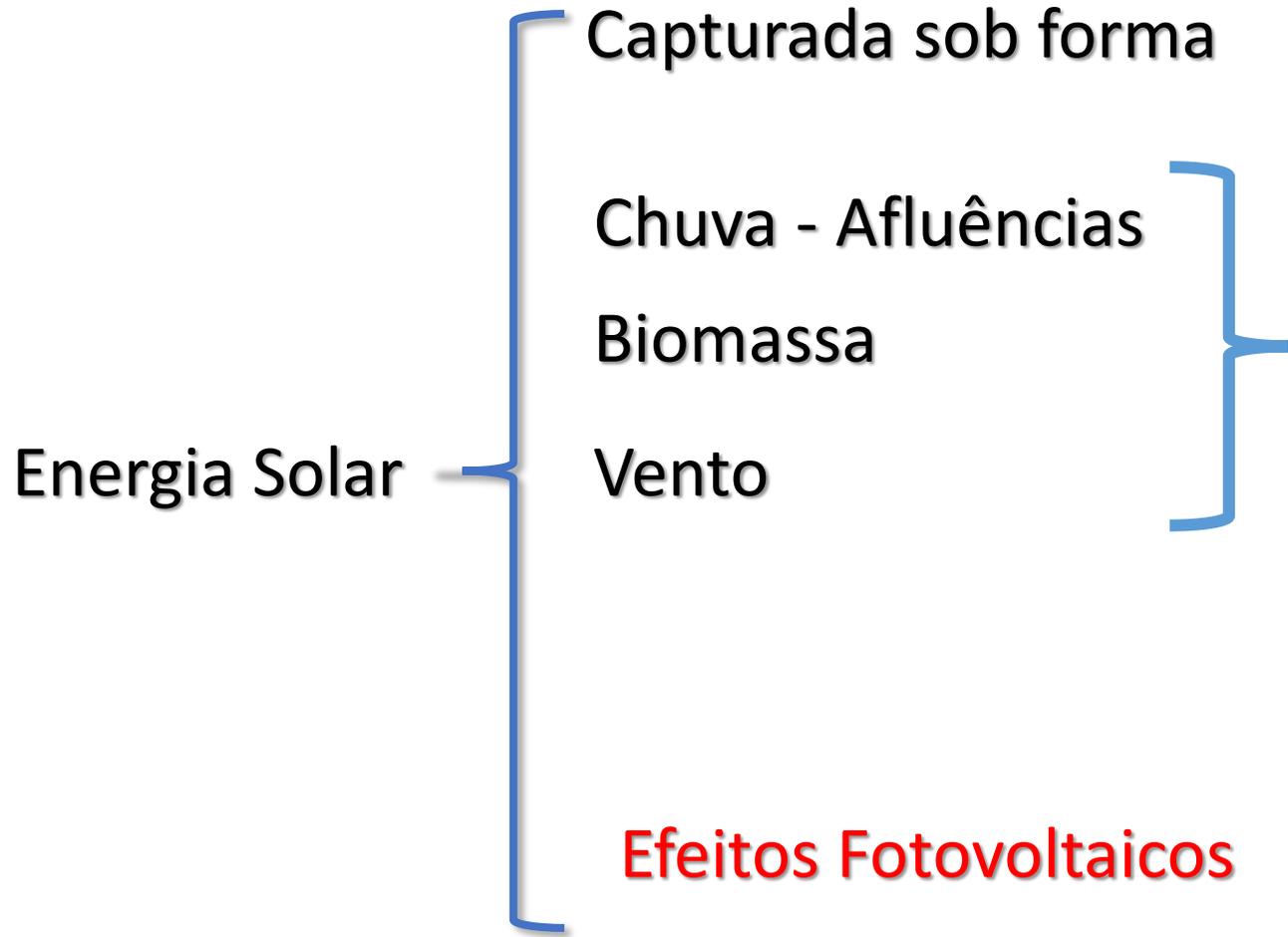
Biomassa (T)

Termoelétricas convencionais. (Diesel, Óleo, Carvão, Gás) (T)

Nucleares (T)

Geotérmicas (T)

(T) Todo processo que gera eletricidade a partir do calor tem rendimento máximo de ~ 55% (Termodinâmica)

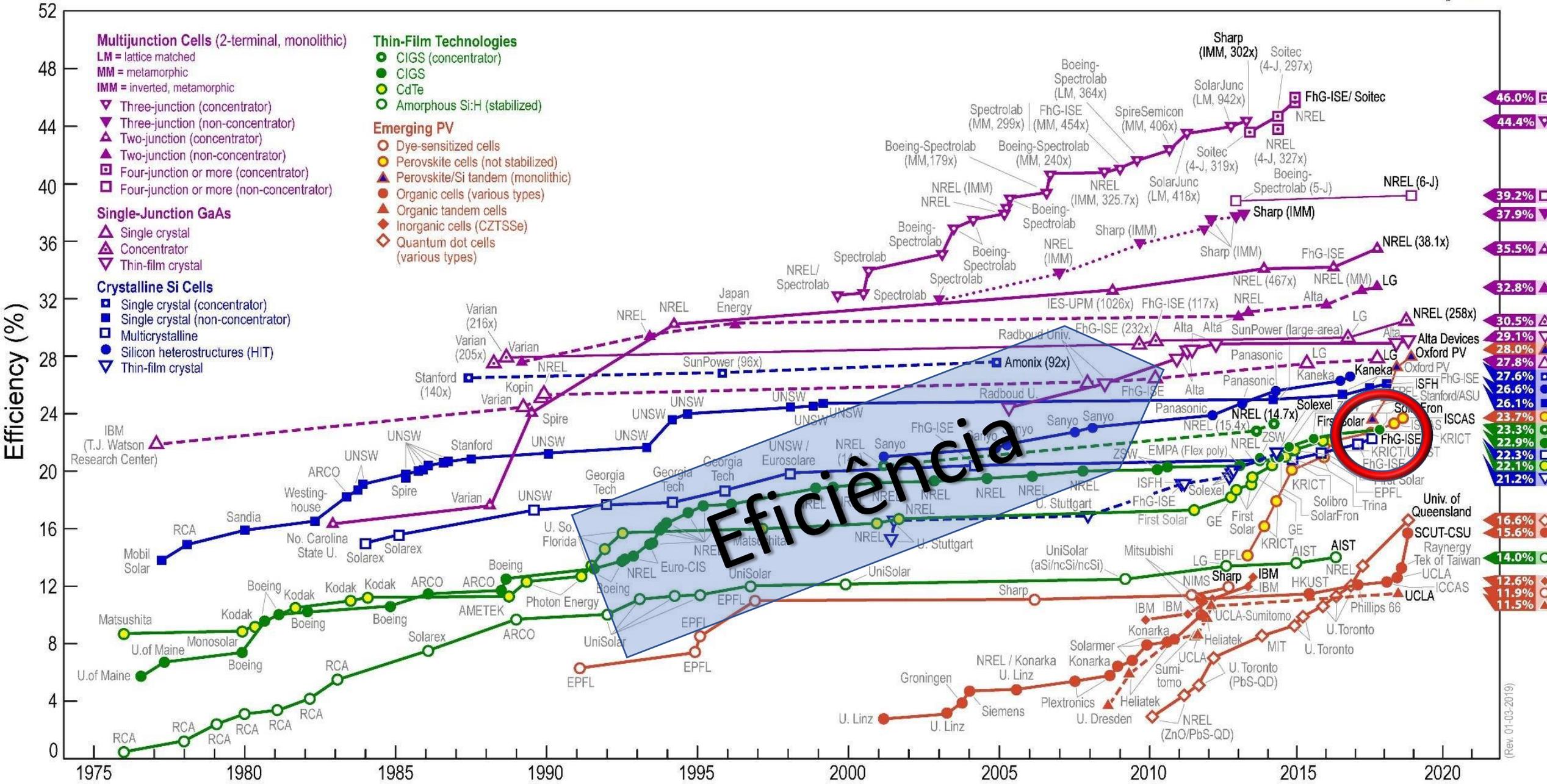


Energia Cinética



Alexandre-Edmond Becquerel

Best Research-Cell Efficiencies



(Rev. 01-03-2019)

III- O setor elétrico brasileiro

singularidade

Singular por sua grande latitude

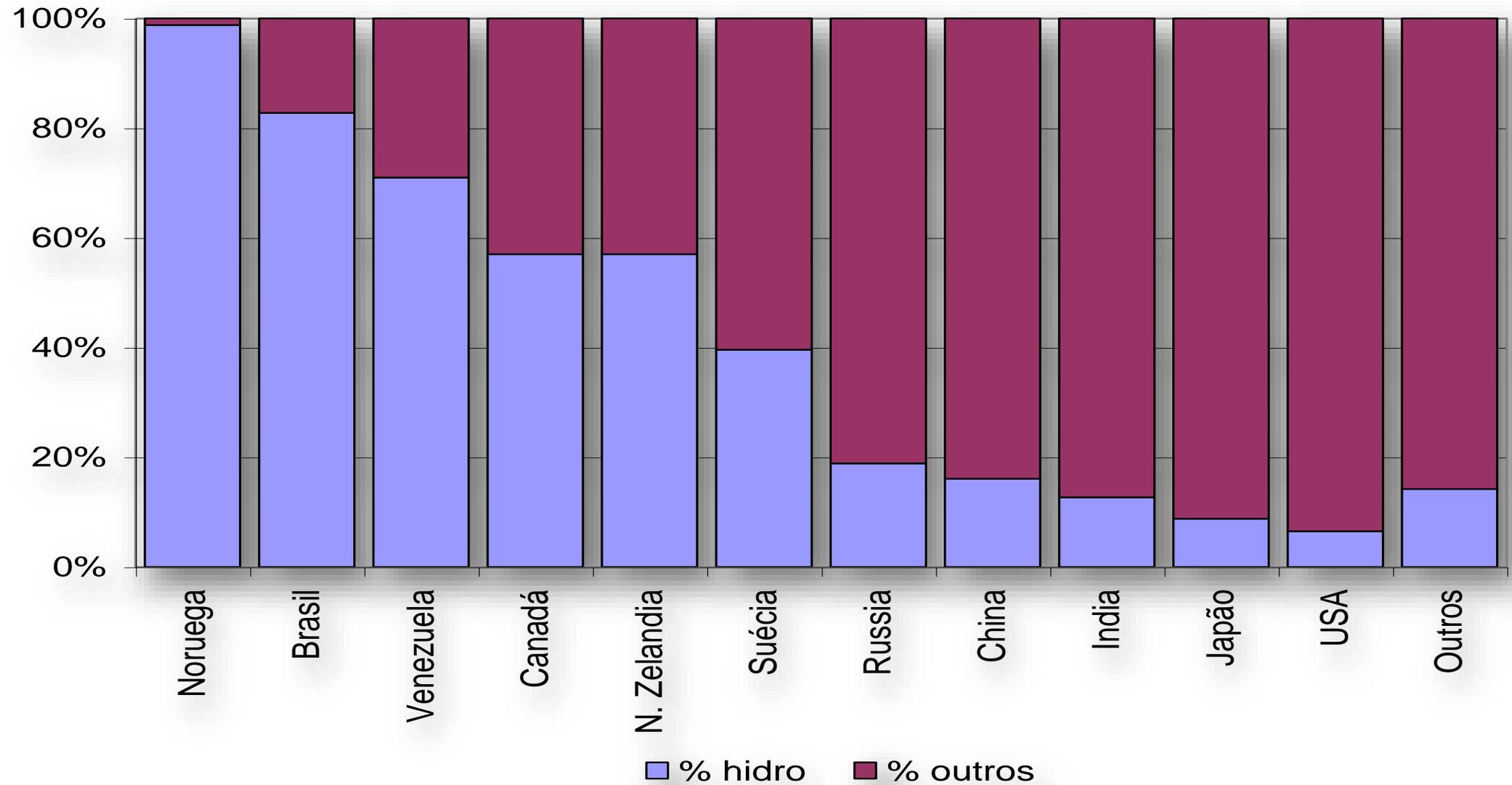


1. O **Brasil** abrange **39** graus desde o $5^{\circ} 16'$ de latitude do ponto mais ao norte até $-33^{\circ} 44'$
2. A **Rússia** vem em segundo lugar com um diferencial de **36,5** graus: o ponto mais setentrional está em $77^{\circ} 43'$ até o $41^{\circ} 11'$
3. O **Chile** em terceiro com **36,4** dos $17^{\circ} 30'$, para $53^{\circ} 53'$ de Cape Froward.

Quatro climas:

1. O equatorial úmido no Norte,
2. O tropical no Sudeste e Centro-oeste,
3. O tropical semiárido no Nordeste e
4. O subtropical úmido no Sul.

O seleteo clube hidroelétrico.



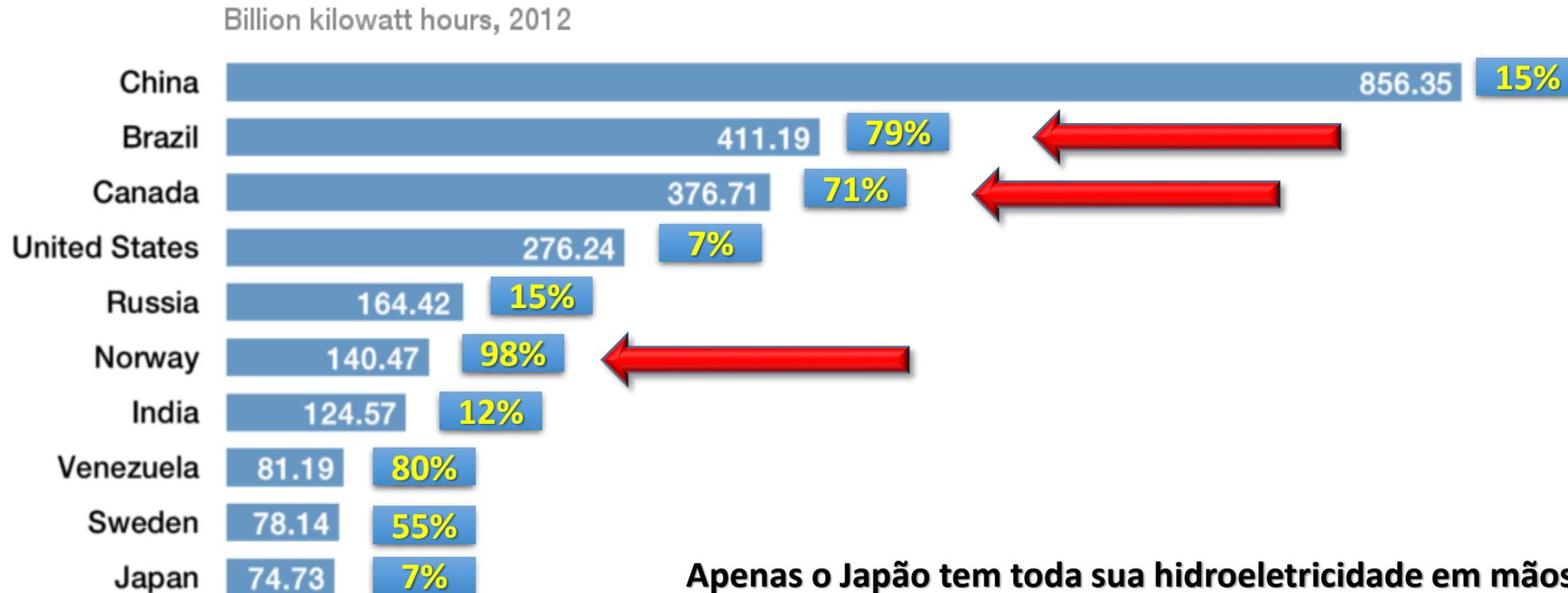
Fonte: : Energy International Agency (dados de 2014)

Energia hidroelétrica no mundo.

Dados de 2012

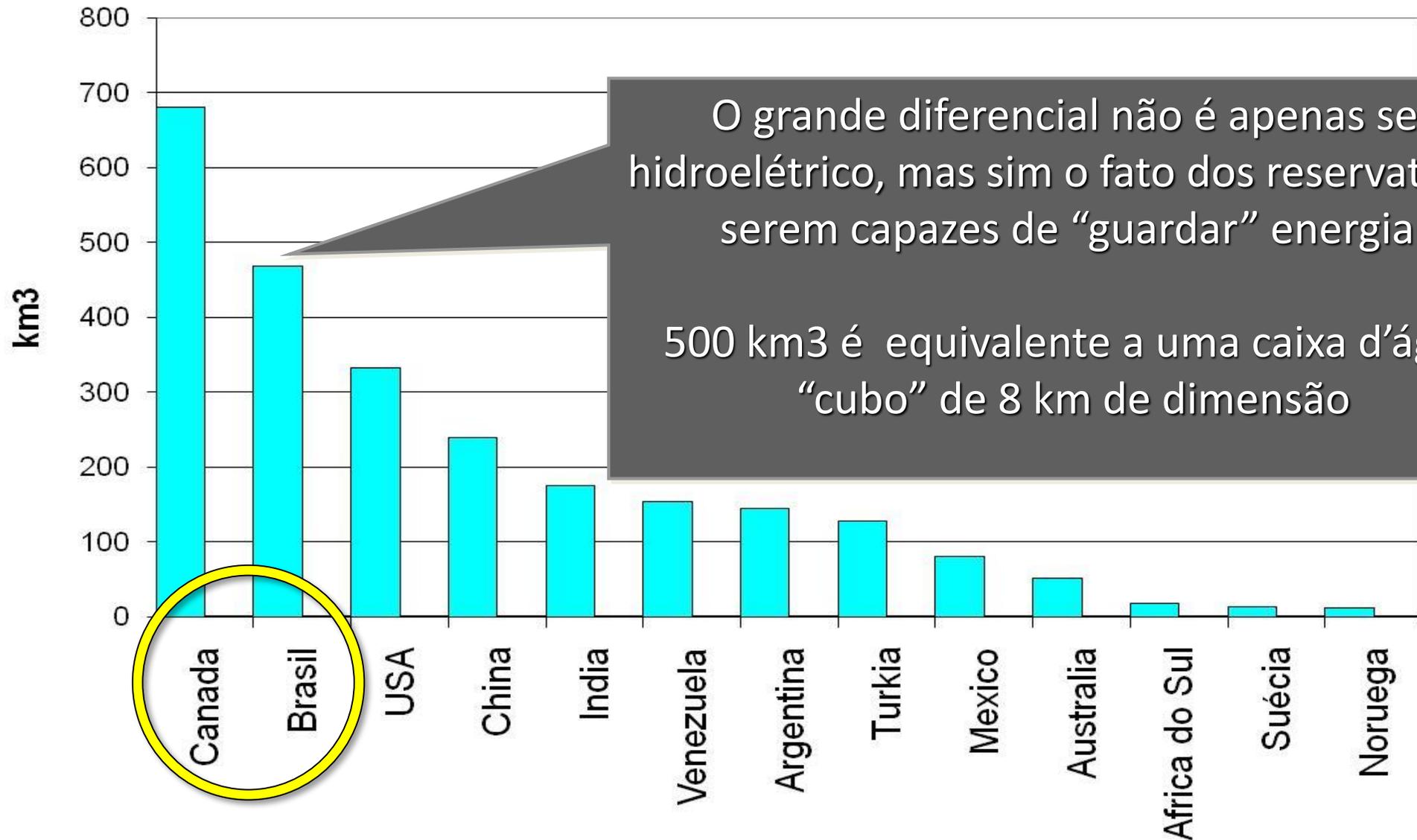


These countries produce the most hydroelectric power



Apenas o Japão tem toda sua hidroeletricidade em mãos privadas

Capacidade de armazenagem dos reservatórios



O conceito de “fábricas” de kWh



Fábrica de kWh
apenas?

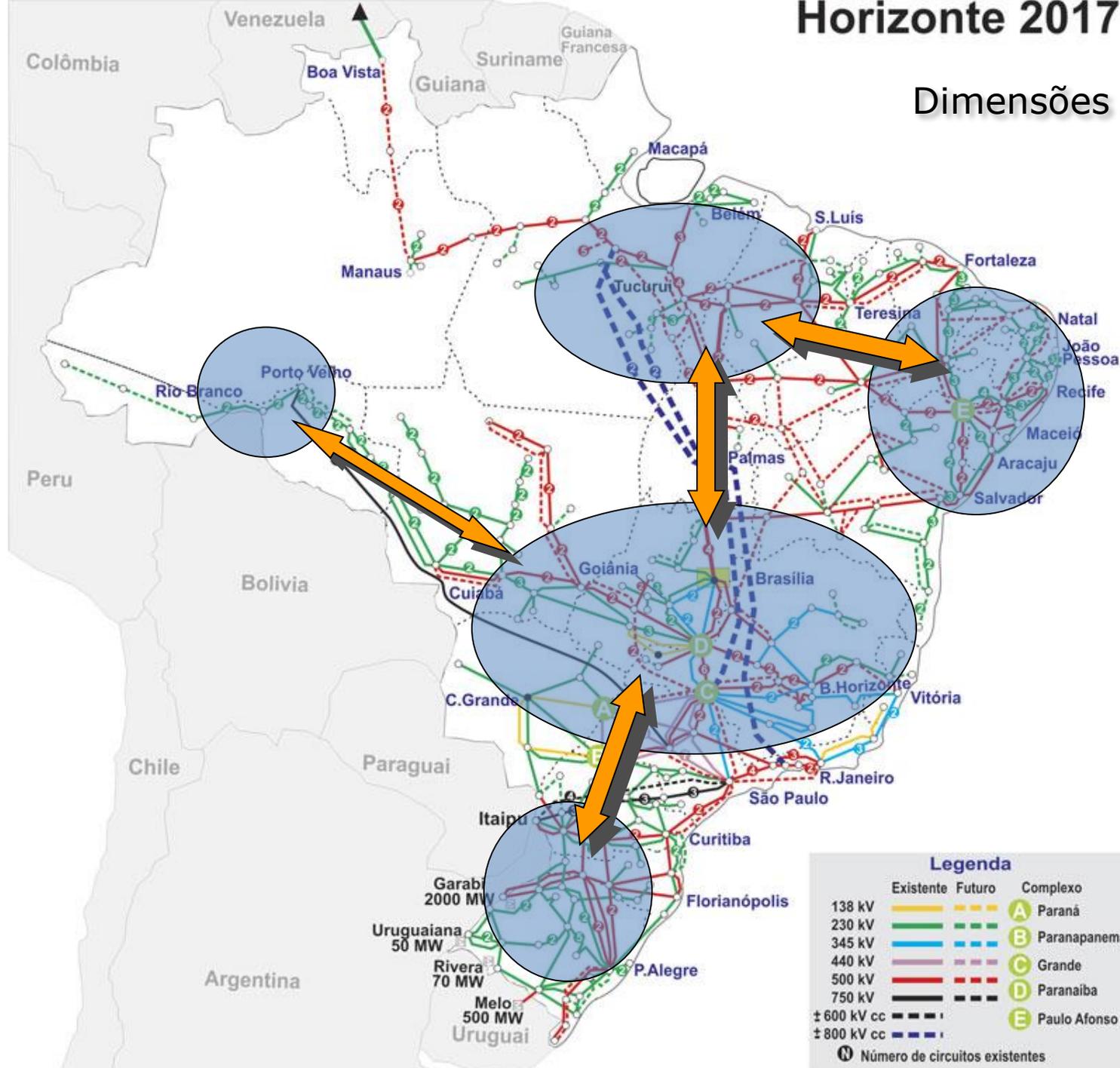
Singularidade do Sistema Brasileiro

(a verdadeira jaboticaba)

1. Rios de Planalto (reservatórios).
2. Grande volume de água.
3. Percorrem grandes extensões no território.
 - Rio Paraná – 3942 km
 - Rio São Francisco – 2800 km
 - Rio Grande – 1315 km
 - Rio Tocantins – 2700 km
4. Apresentam diversidade hidrológica.

Horizonte 2017

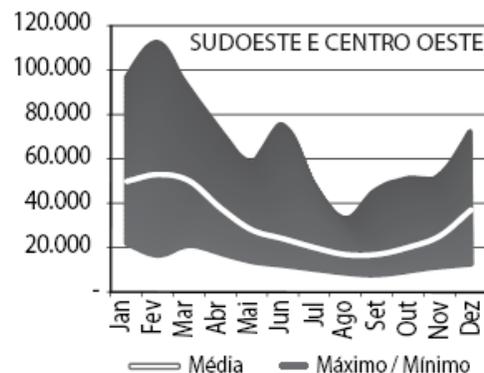
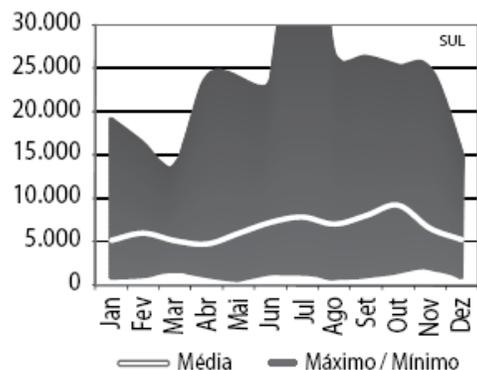
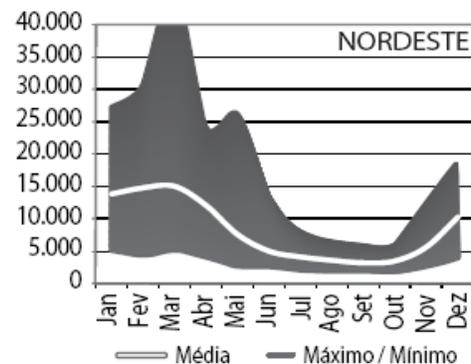
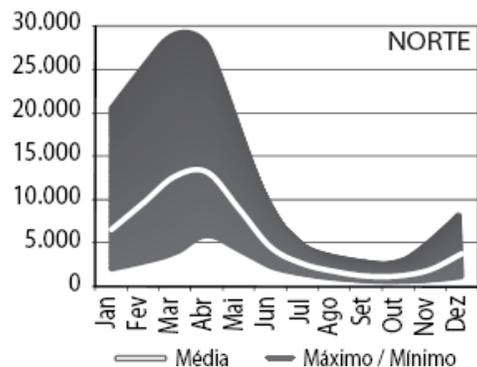
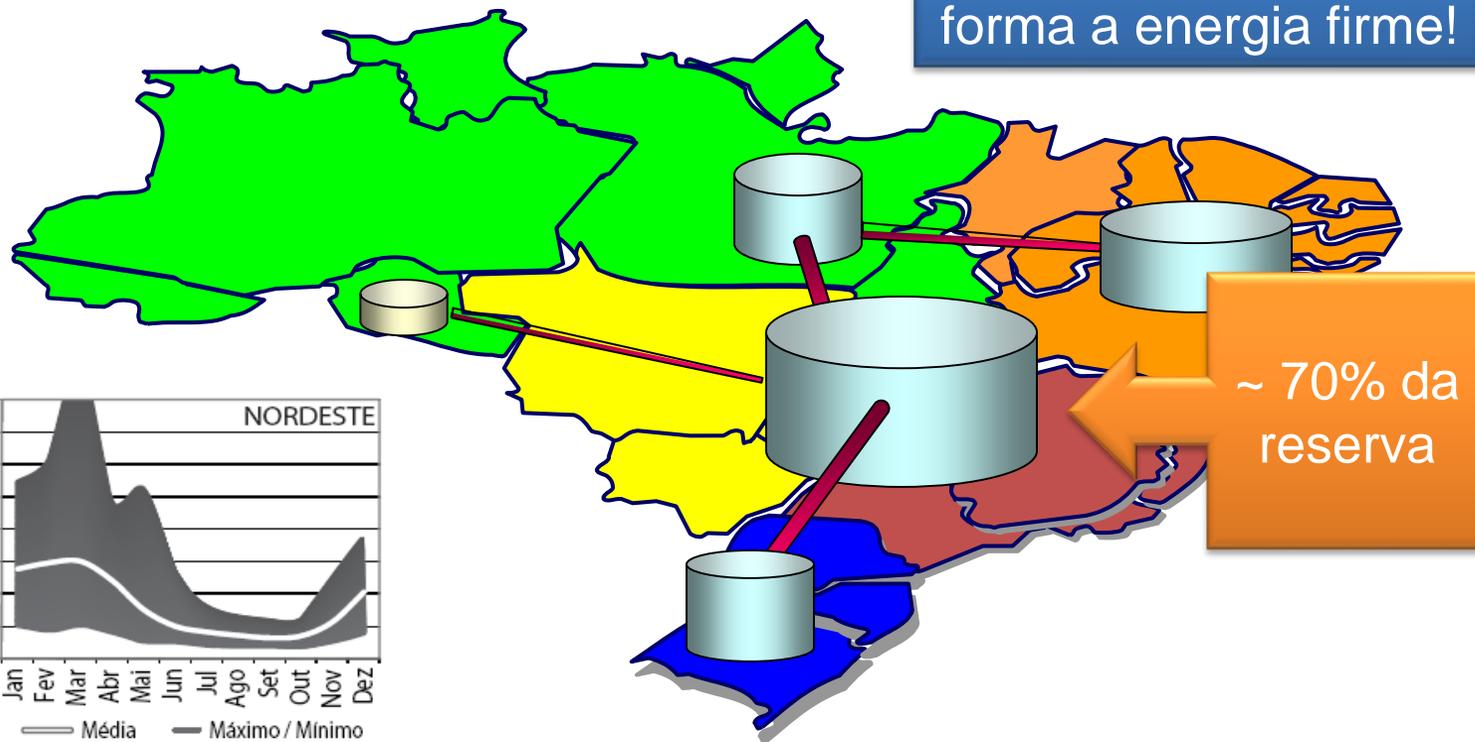
Dimensões Continentais



Vasos comunicantes

A transmissão faz parte da máquina que forma a energia firme!

Energia natural tropical

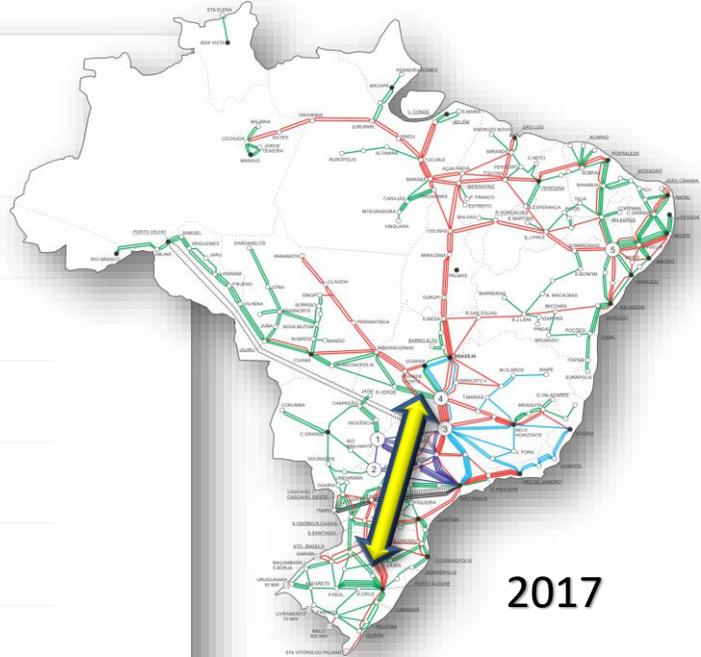
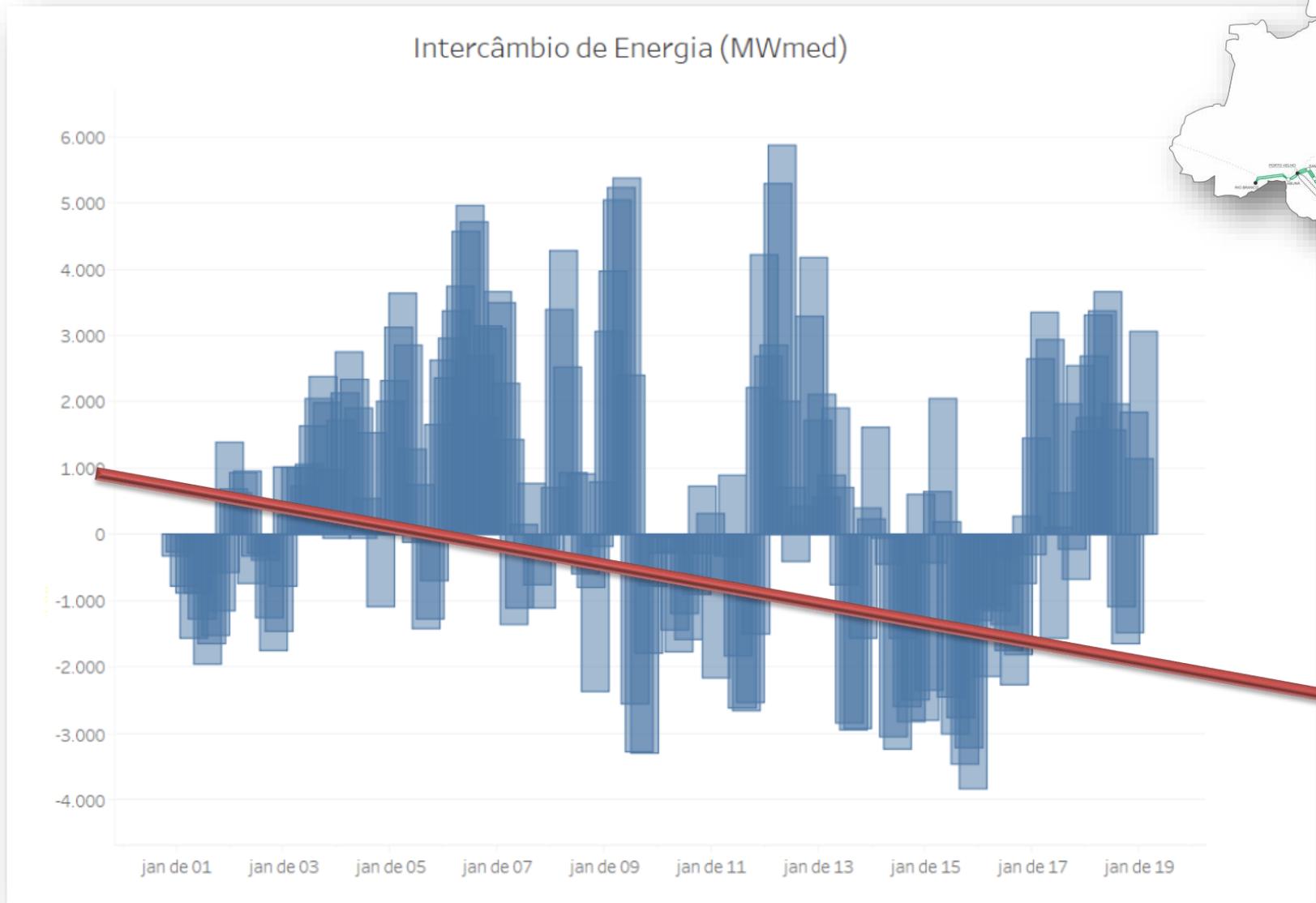


Capacidade de reserva
~ 6 meses de consumo
(recorde no mundo)

Intercâmbio Sudeste - Sul

SE - S

S - SE



Usina de Itumbiara (Paranaíba)

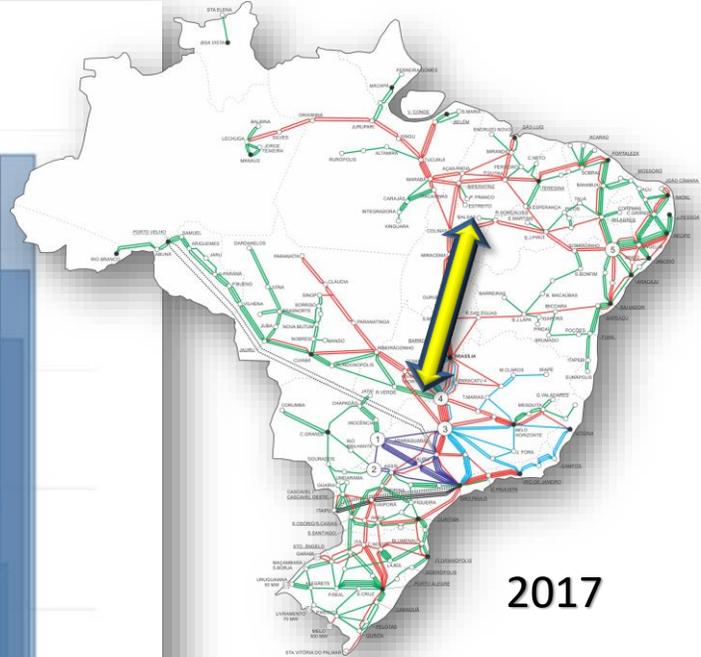
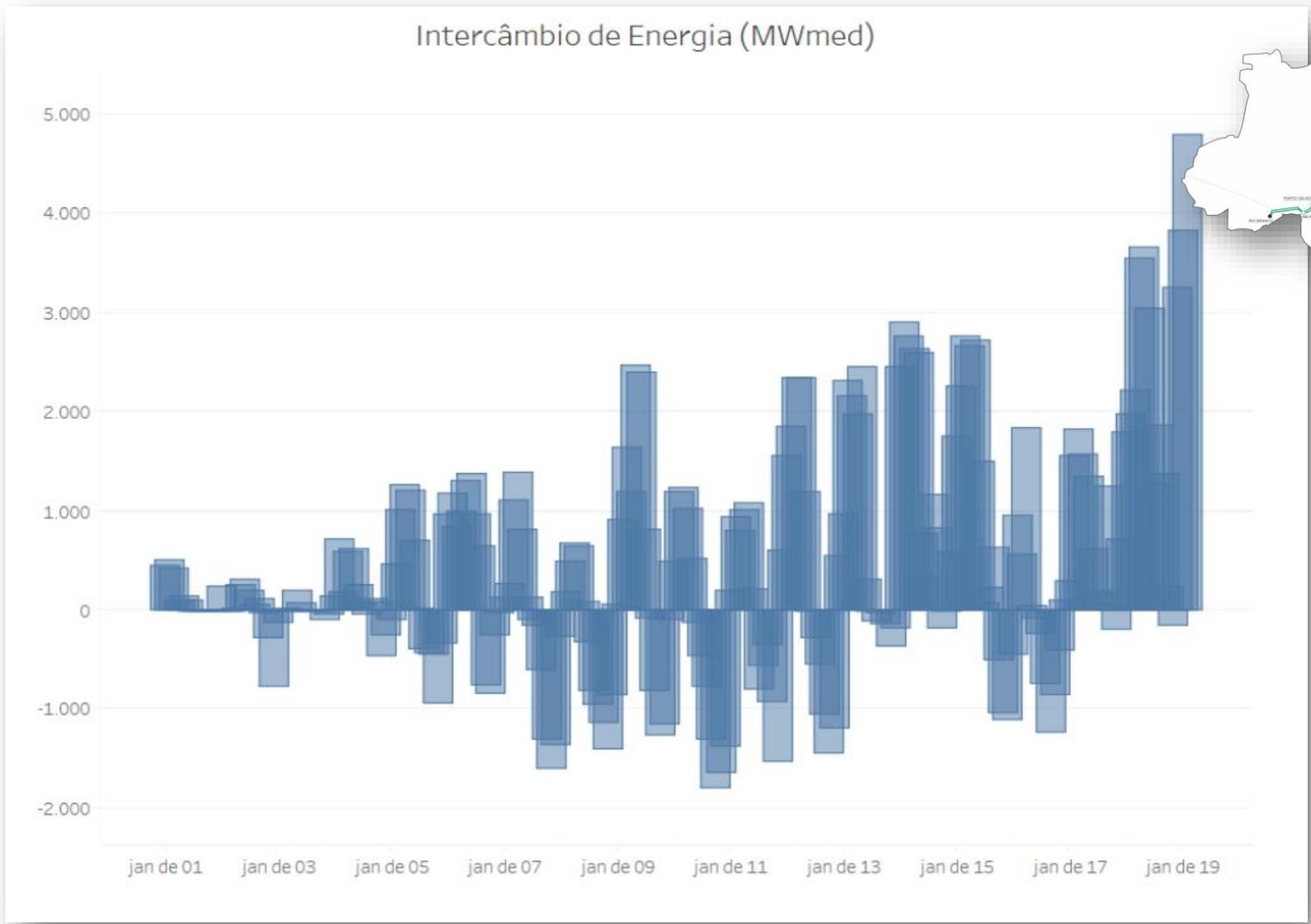


1.000 MW Médios

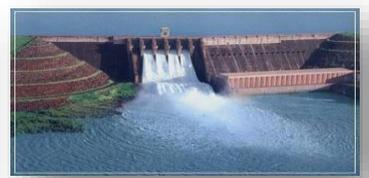
Intercâmbio Norte - Sudeste

N-SE

SE - N



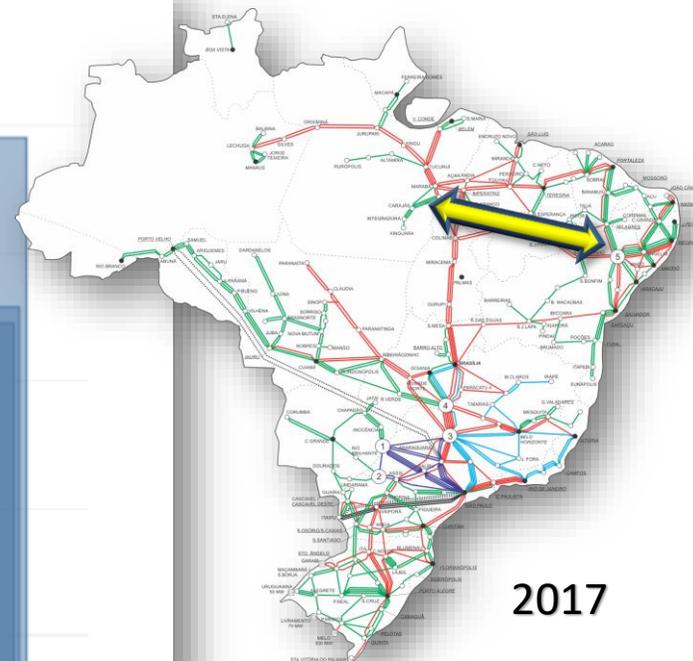
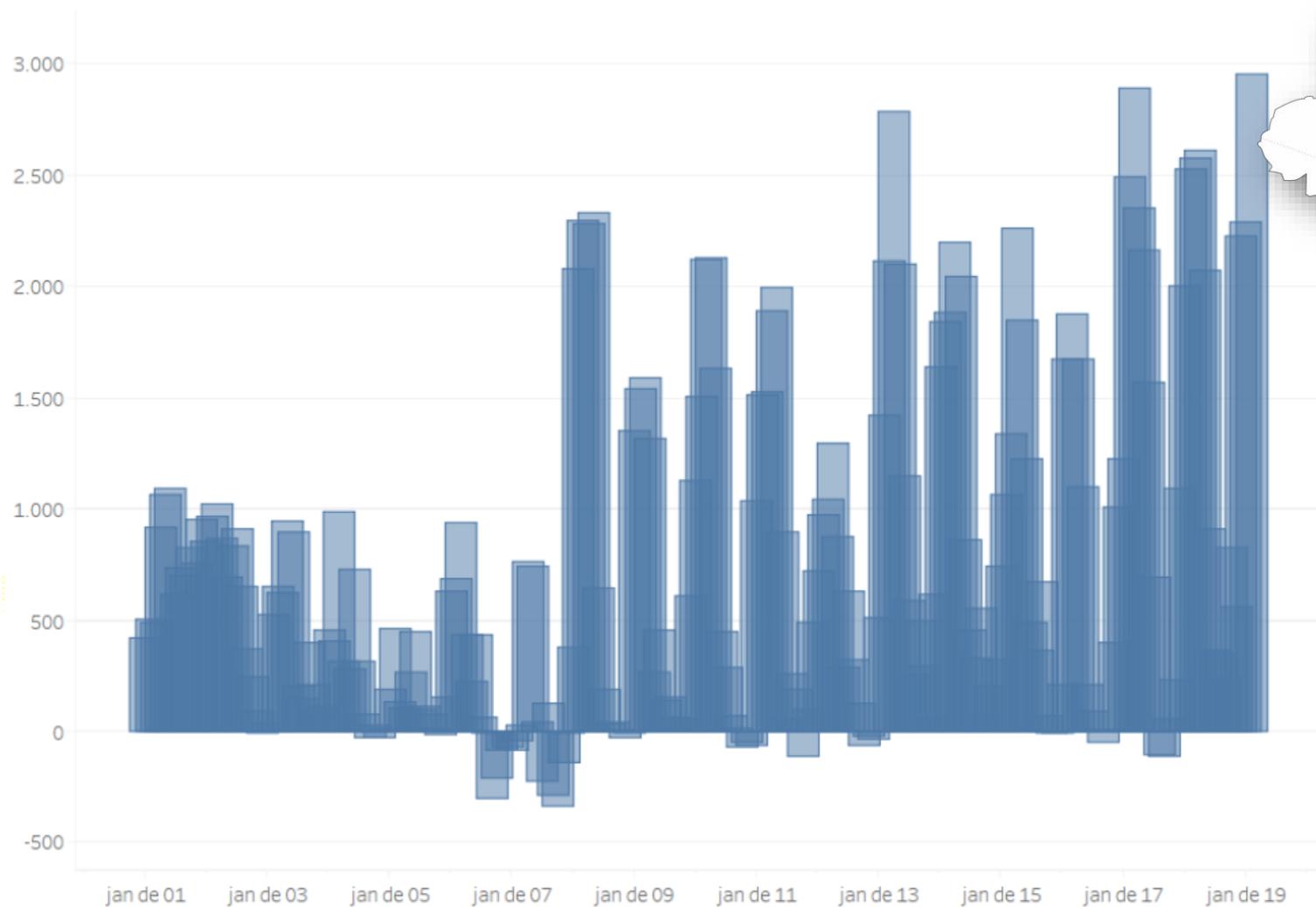
Usina de Itumbiara (Paranaíba)



1.000 MW Médios

Intercâmbio Norte - Nordeste

Intercâmbio de Energia (MWmed)



2017

**Usina de Itumbiara
(Paranaíba)**



1.000 MW Médios

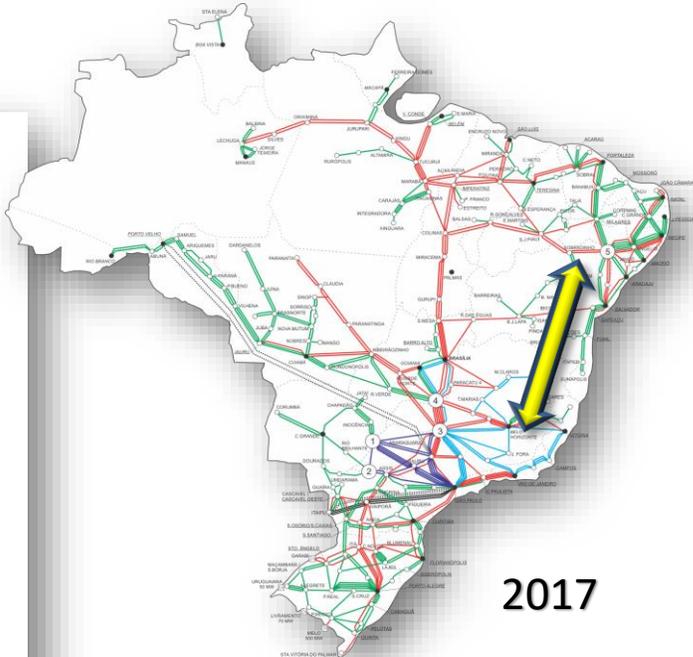
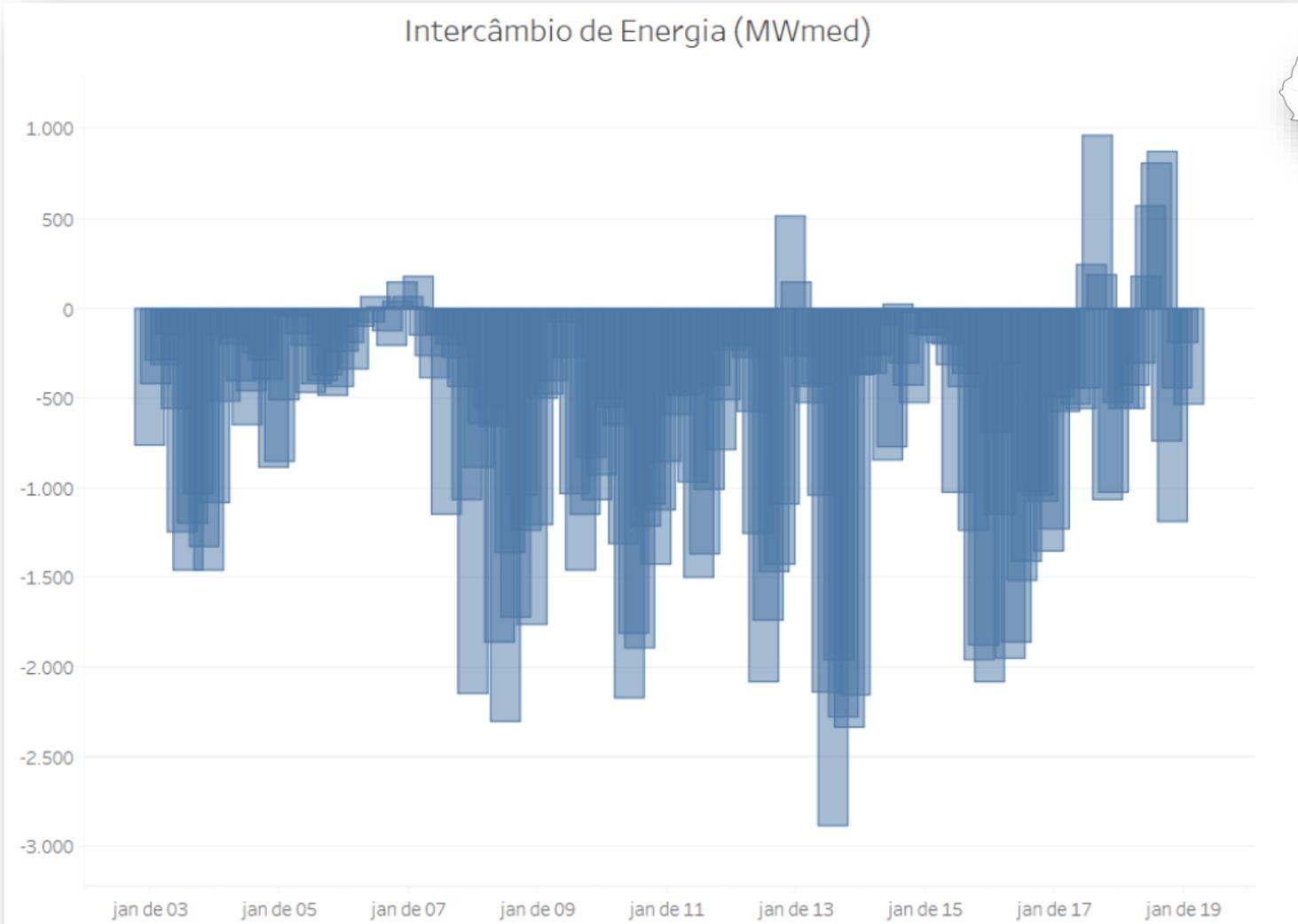
N-N

NE - N

Intercâmbio Nordeste - Sudeste

NE - SE
↑

SE - NE
↓



**Usina de Itumbiara
(Paranaíba)**



1.000 MW Médios

Outros privilégios brasileiros

Vento



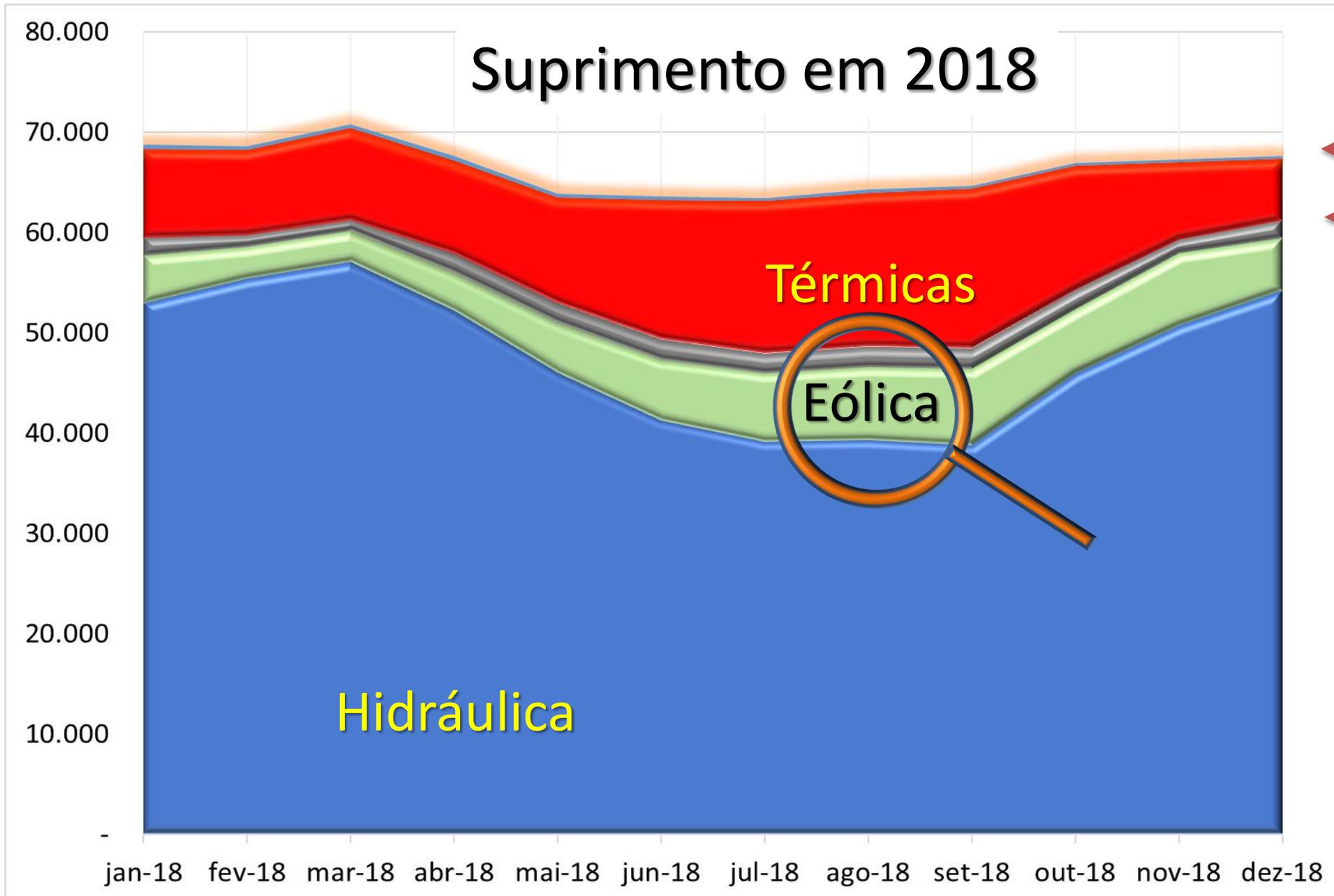
Sol



Sazonalidade das Usinas Eólicas do Proinfa



Potencializa maior estabilidade sazonal de oferta



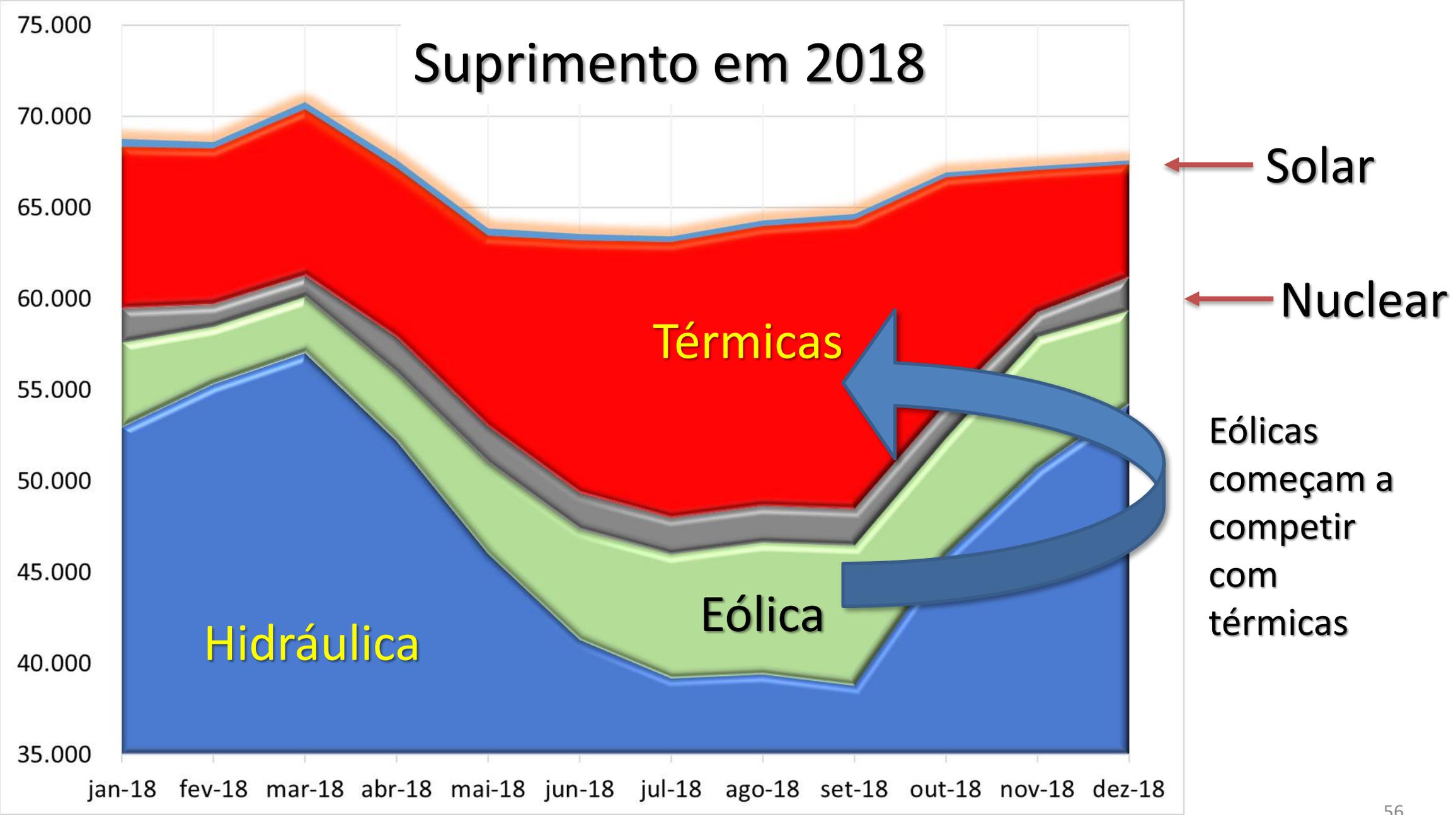
← Solar
← Nuclear

Térmicas

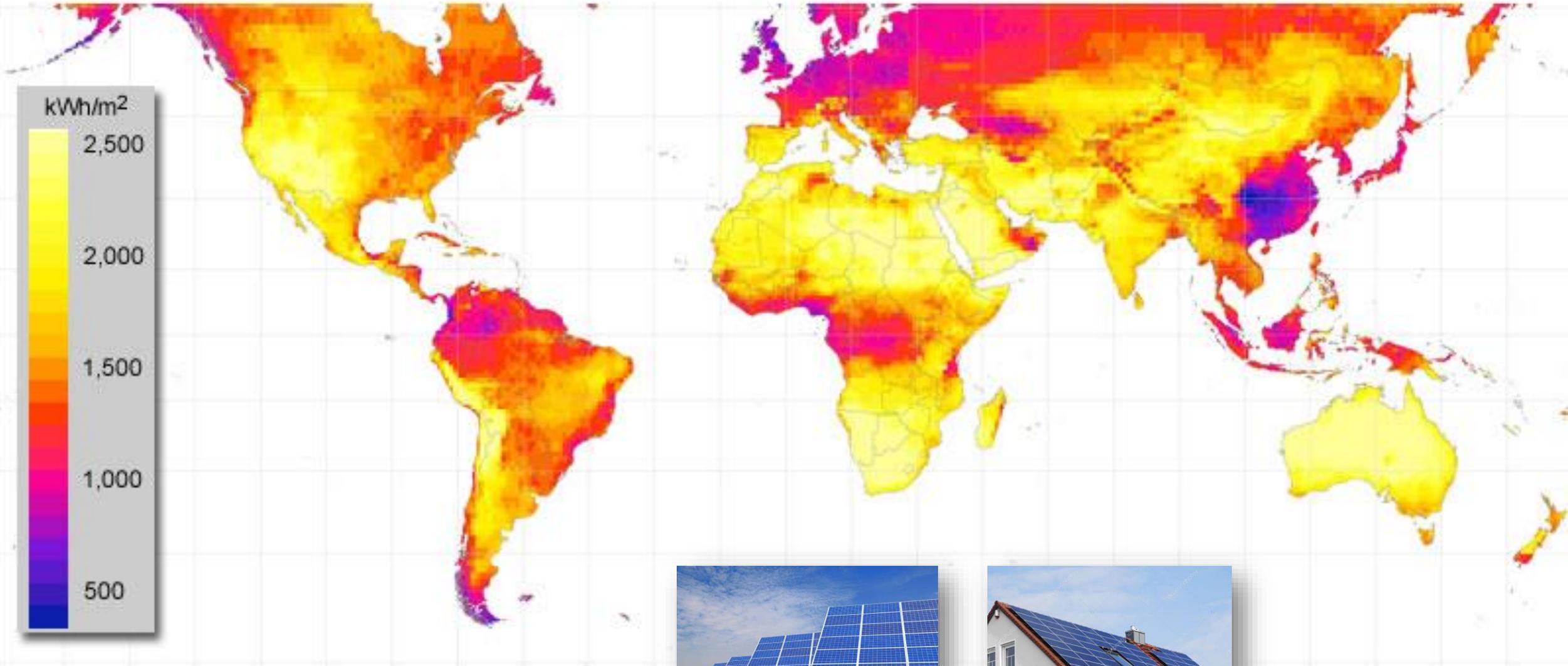


Eólica

Hidráulica



Yearly sum of direct irradiance



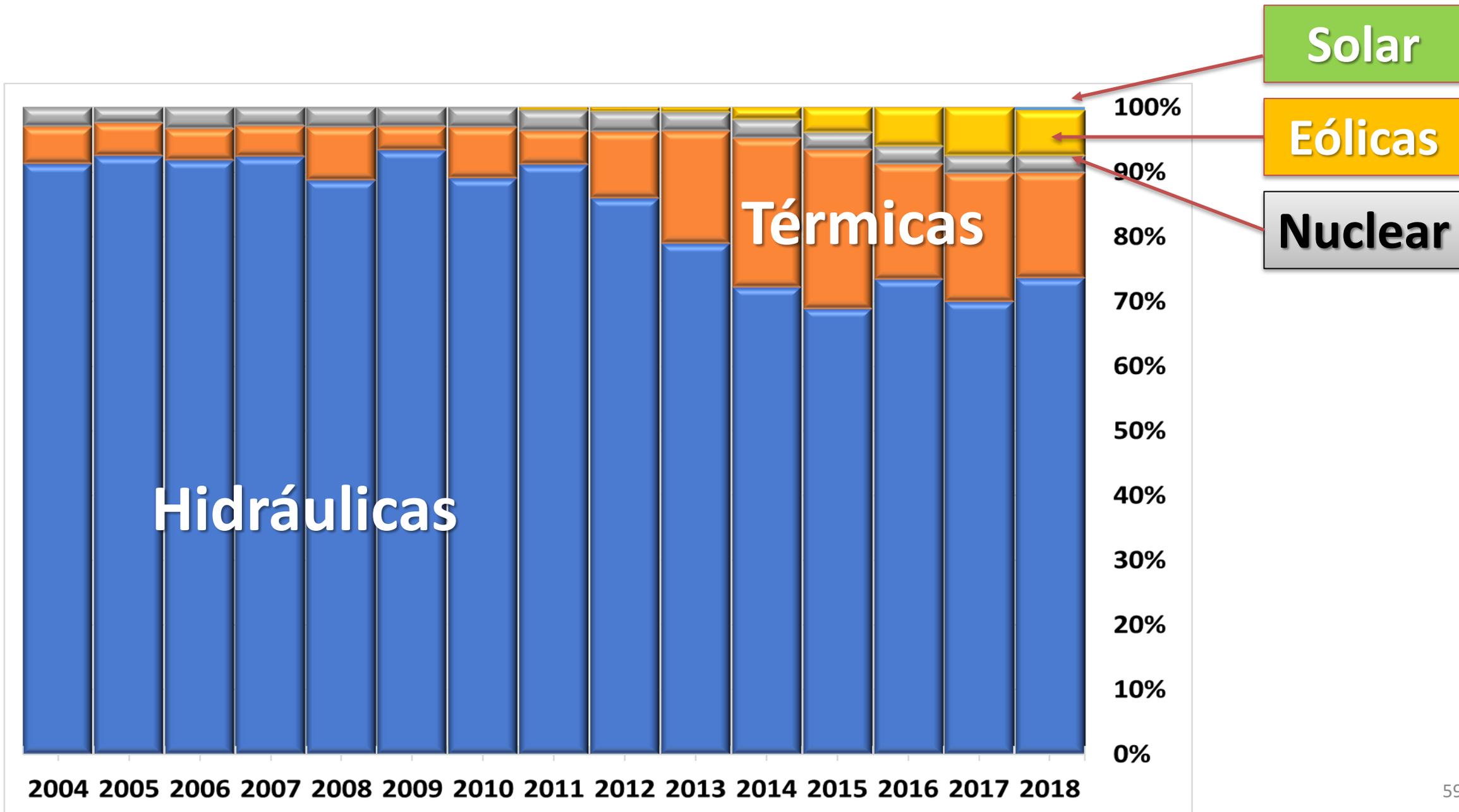
E o sol??



Energia solar no total de energia dos 15 países líderes

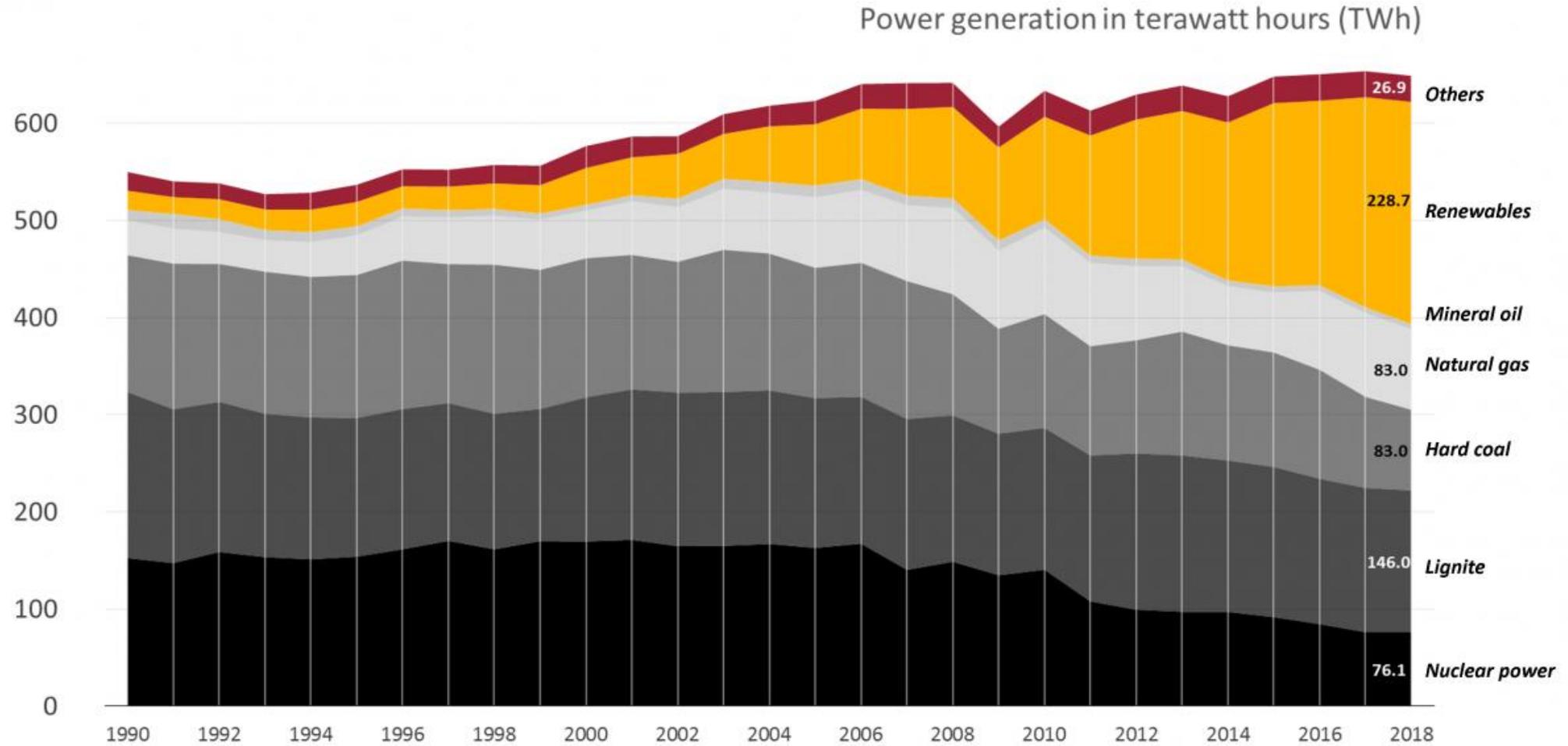
Brasil em 2018 = 0,35%

Coluna1	País	Solar/Total
1	 Italy	7,63%
2	 Greece	7,22%
3	 Germany	5,87%
4	 Spain	4,97%
5	 Japan	4,82%
6	 Belgium	3,61%
7	 Chile	3,33%
8	 Romania	2,80%
9	 Australia	2,42%
10	 Thailand	1,77%
11	 France	1,47%
12	 South Africa	1,32%
13	 United States	1,16%
14	 China	1,09%
15	 Korea Rep	0,91%



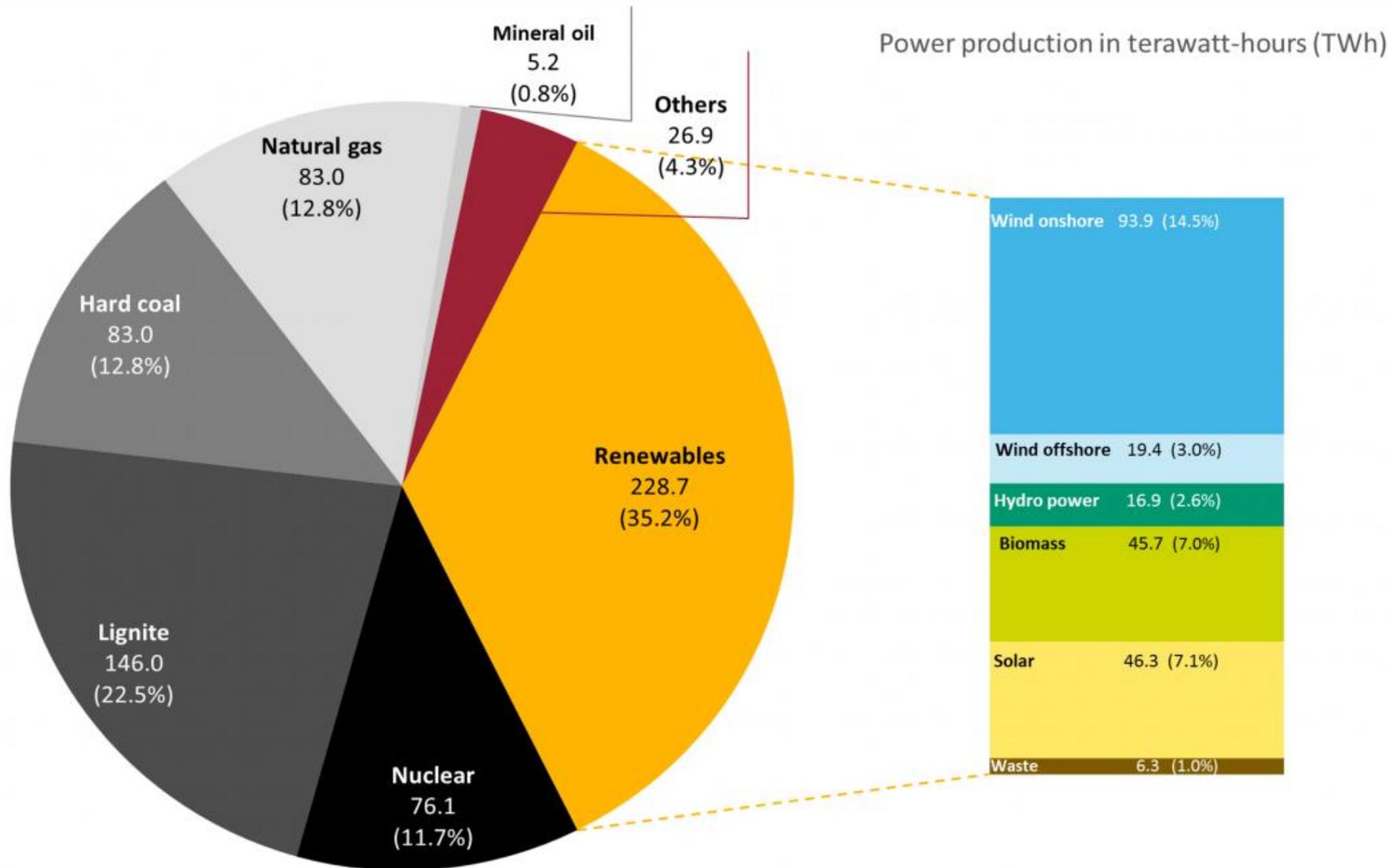
Gross power production in Germany 1990 - 2018, by source.

Data: AG Energiebilanzen 2018, data preliminary.



Share of energy sources in gross German power production in 2018.

Data: AG Energiebilanzen 2018, preliminary.



40 m² (16 placas solares) geram aproximadamente **7 MWh/ano**

Todo o consumo de eletricidade brasileiro em 2018 – **580 TWh/ano**

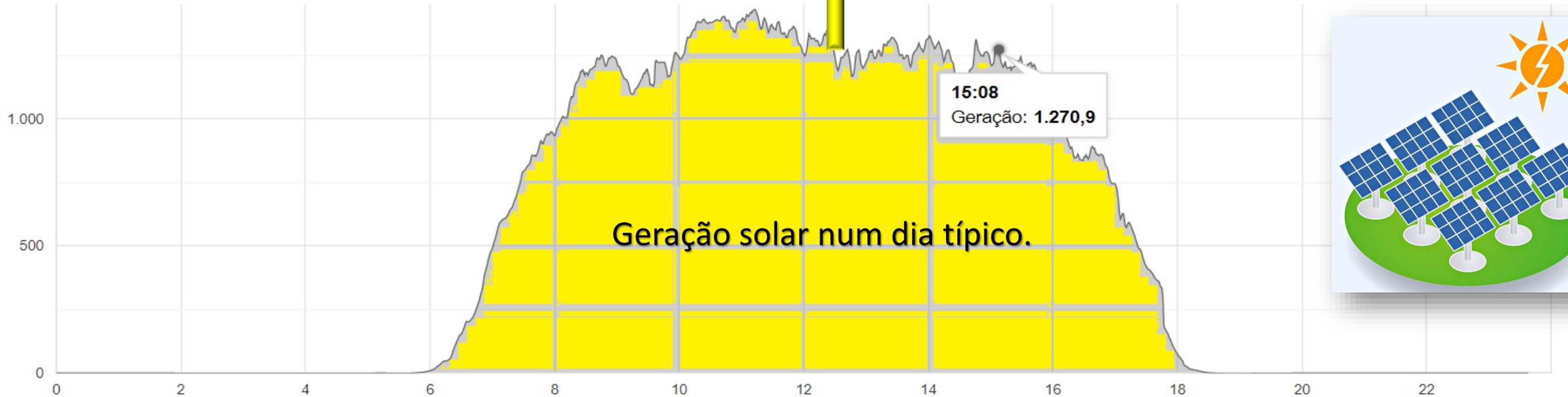
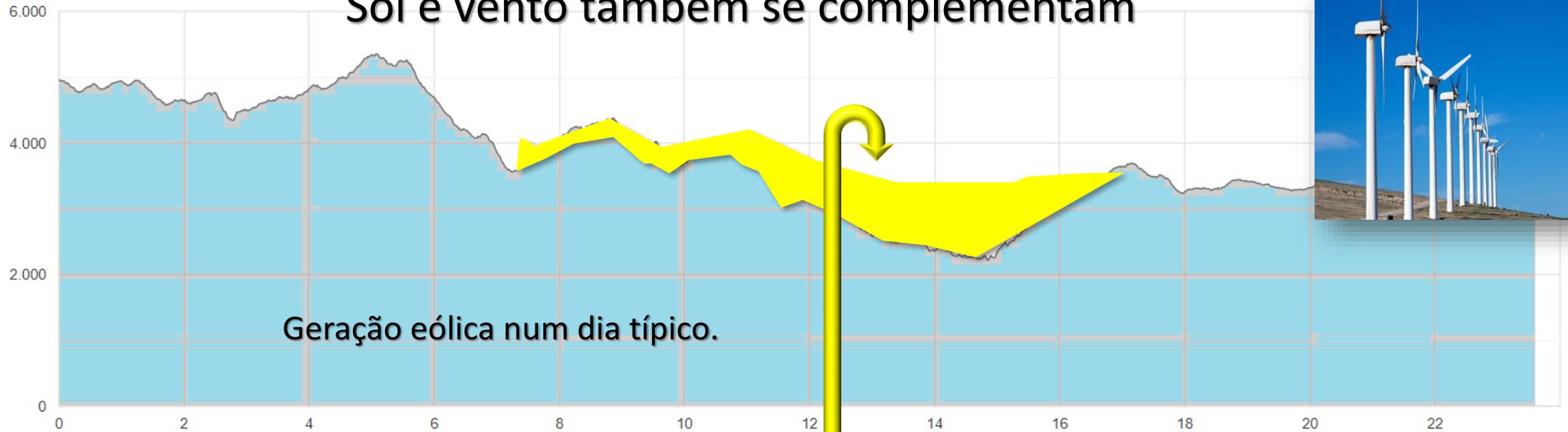
1 TWh = **1.000.000 MWh**

Para gerar toda a energia brasileira é necessário aprox. **3.500 km²**

15% do estado de Sergipe!



Sol e vento também se complementam

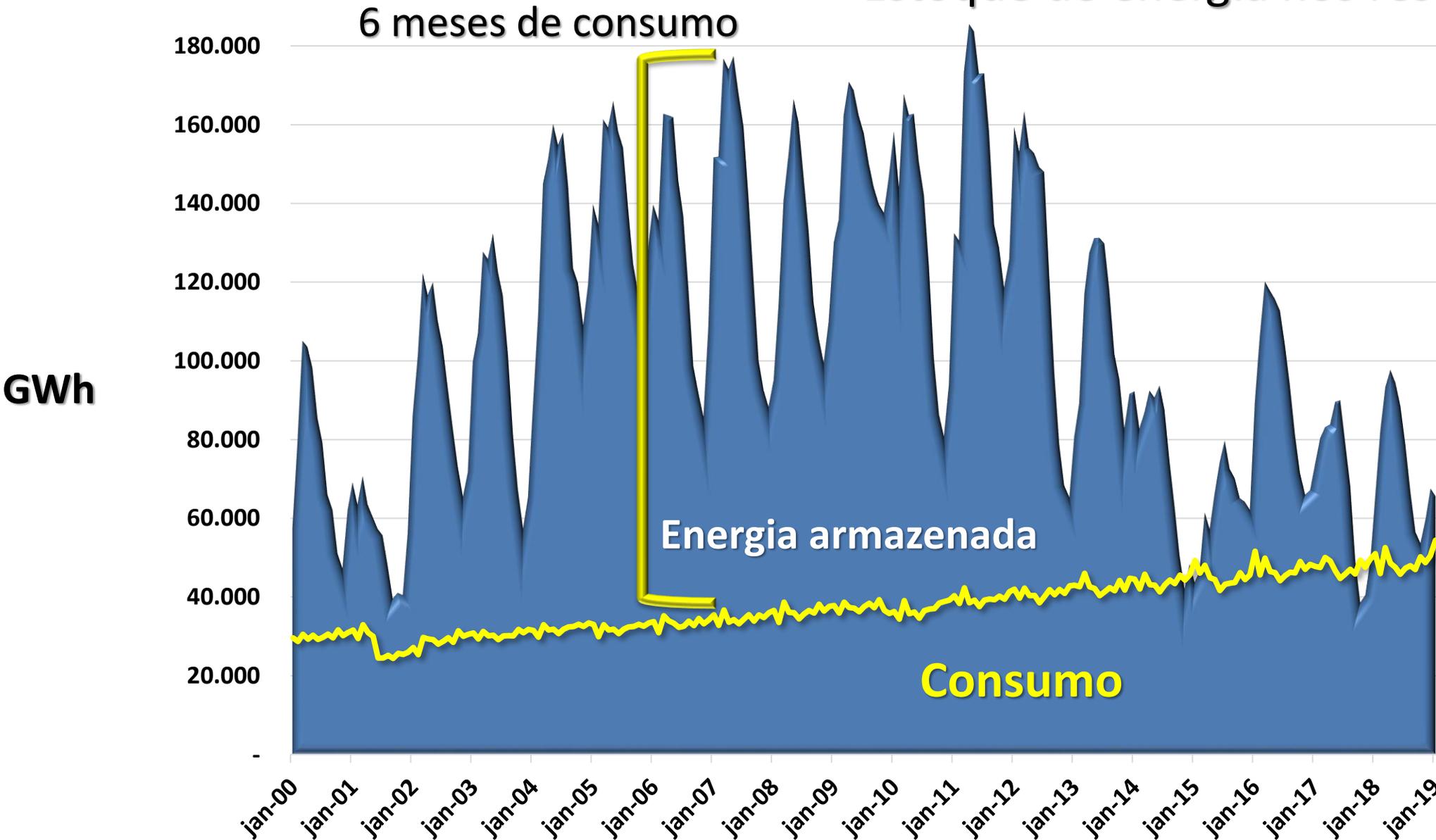


IV- Como funciona o mercado no setor elétrico brasileiro.

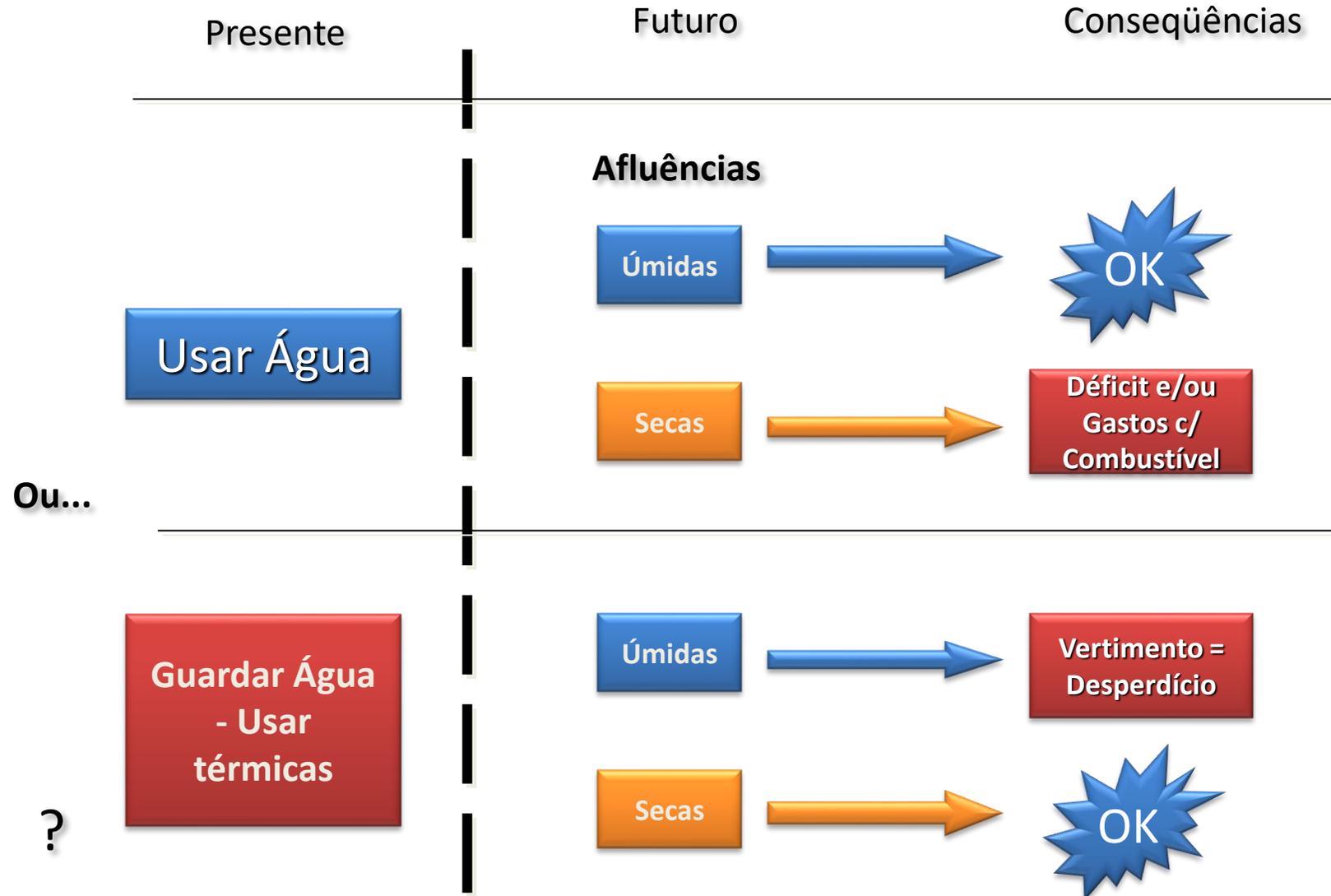
O operador nacional do sistema elétrico brasileiro é um gestor de estoque.



Estoque de energia nos reservatórios



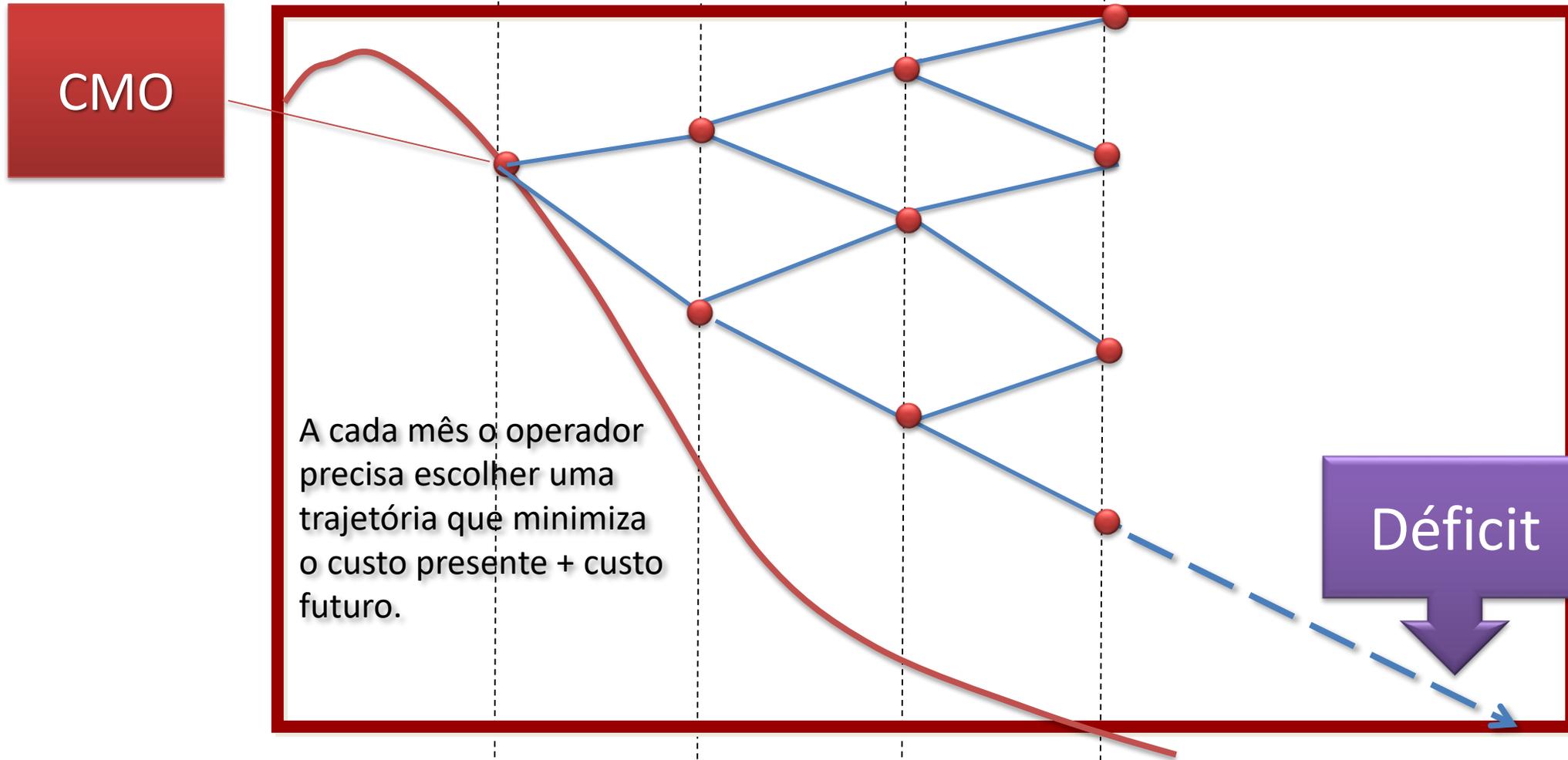
"Dilema" do Operador Brasileiro



- Para fazer esse controle de estoque da água reservada, o operador precisa dar **um valor à água**.
- A cada mês ele calcula o “**custo marginal de operação**” (CMO) ou valor da água.
- A “água” reservada **vale o que ela vai economizar de custos presentes e futuros** (combustível das térmicas e até déficit de energia).
- Portanto, ligada à singularidade do sistema, **a geração de cada usina é determinada pelo operador**.

Processo de decisão do operador – Presente x Futuro

Armazenar ou gastar água ?



Modelos de regulação

Serviço pelo custo

“Return rate regulation”

Consumidor protegido por regulação e fiscalização.

Exemplos: Maioria das províncias canadenses, mais da metade dos estados americanos, Japão, Coréia do Sul

Mercado

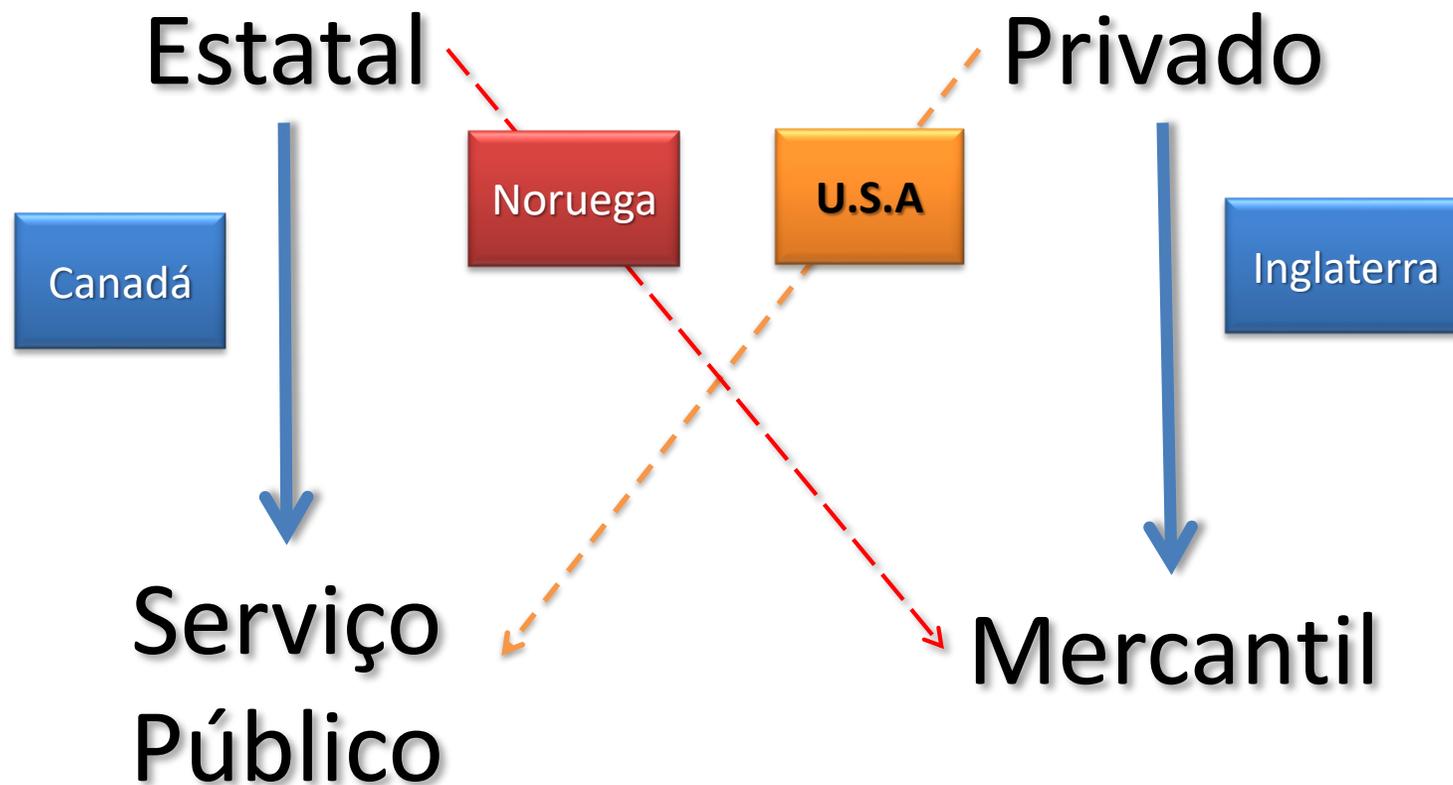
“De-regulation”

Consumidor protegido por competição

Exemplos: Inglaterra, maioria da Europa e outros estados americanos

<http://www.icconnectenergy.com/energy-deregulation-state-by-state-breakdown>

http://www.hydro.mb.ca/regulatory_affairs/energy_rates/electricity/utility_rate_comp.shtml



Brasil

Mercado Cativo – Distribuidoras
(70%)

Mercado Livre (30%)

- O Brasil, apesar de ter um **sistema físico radicalmente distinto** do paradigma inglês, implantou **competição na geração**.
- **Como competir** quando a geração é determinada pelo operador sob uma ótica global?
- Modelo matemático probabilístico calcula a **“Garantia Física” por usina. Importância da usina para o sistema total**. Limite que cada usina pode vender.

A grande singularidade do setor elétrico brasileiro está no fato de que **usinas não vendem exatamente a energia que geram.**

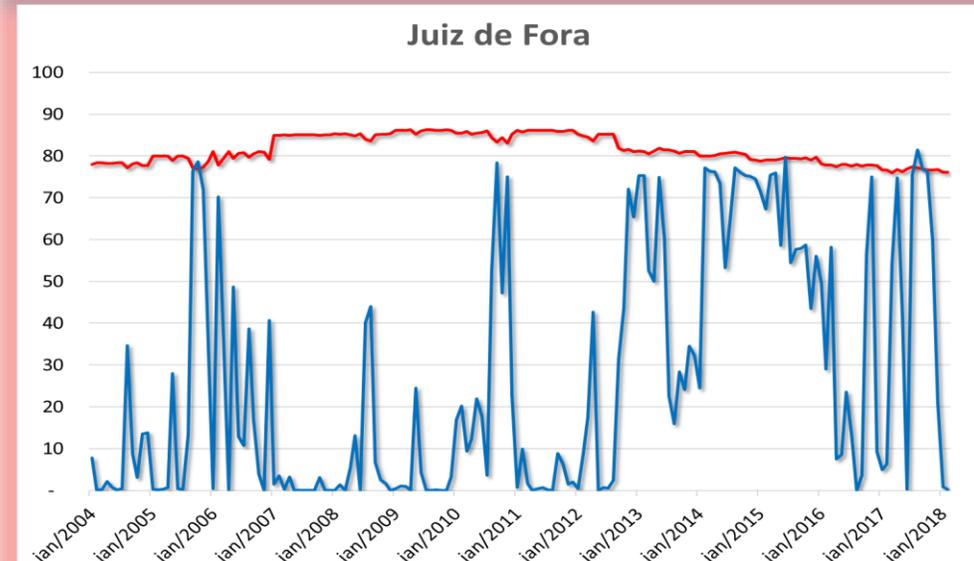
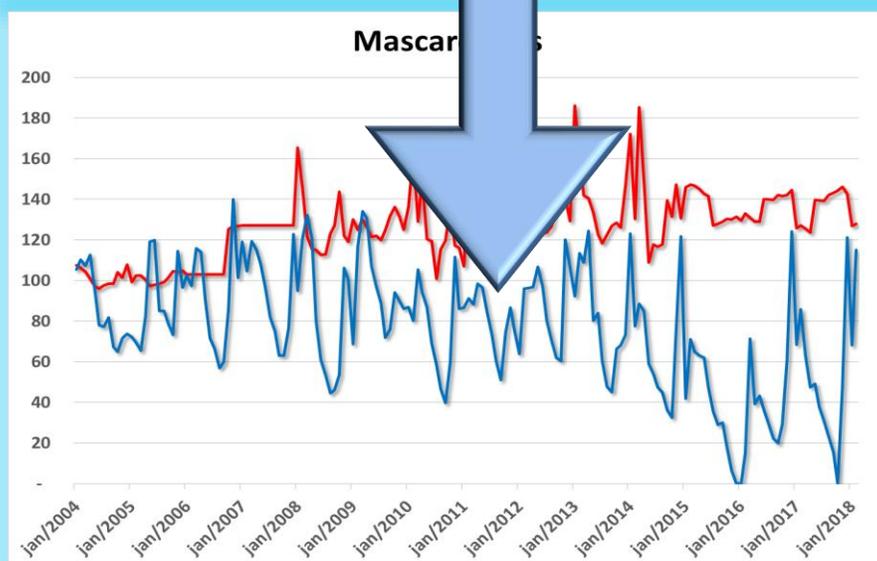
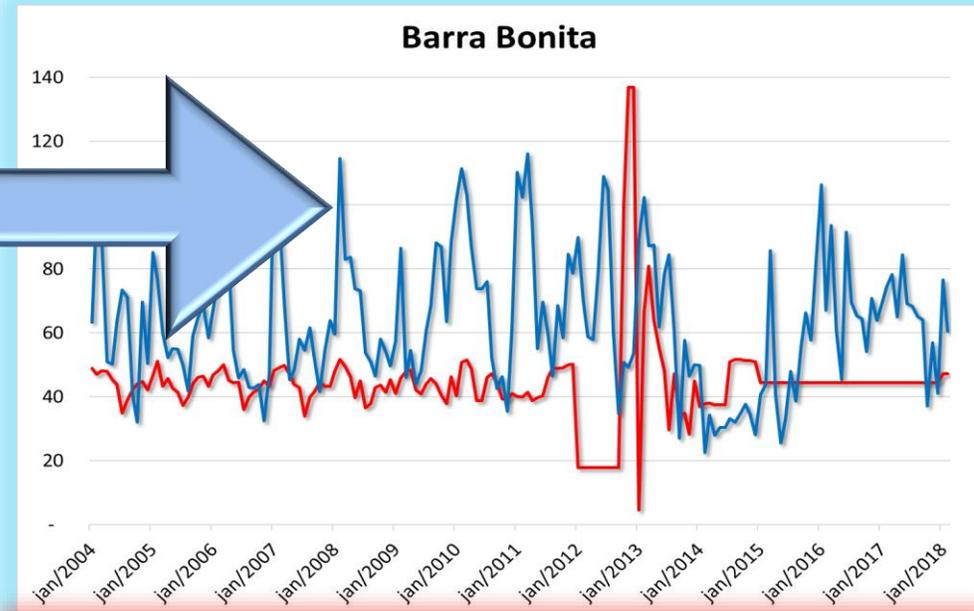
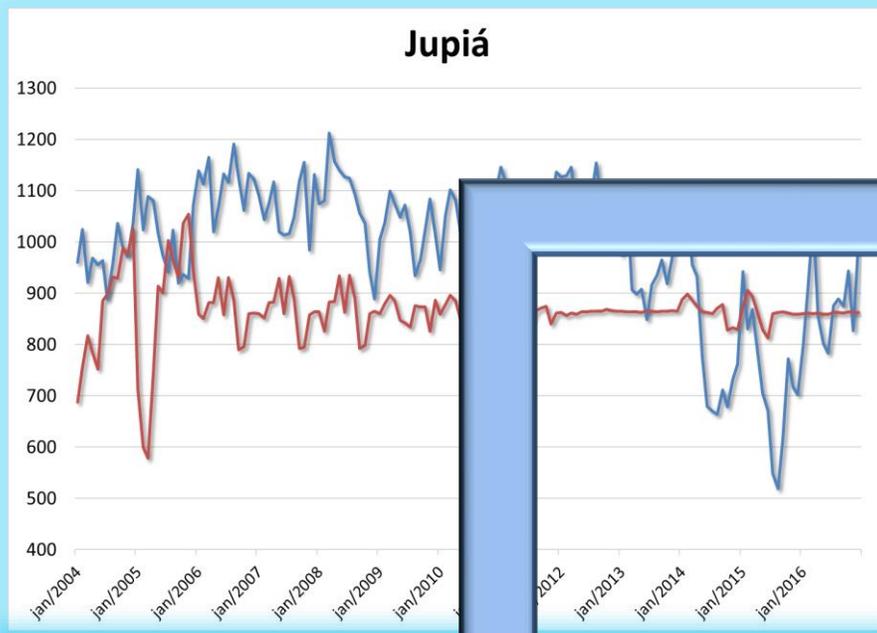
Como a operação é centralizada, cada usina comercializa uma **“cota-parte” da produção total.**

Por exemplo, usinas térmicas podem **vender energia mesmo sem gerar!**

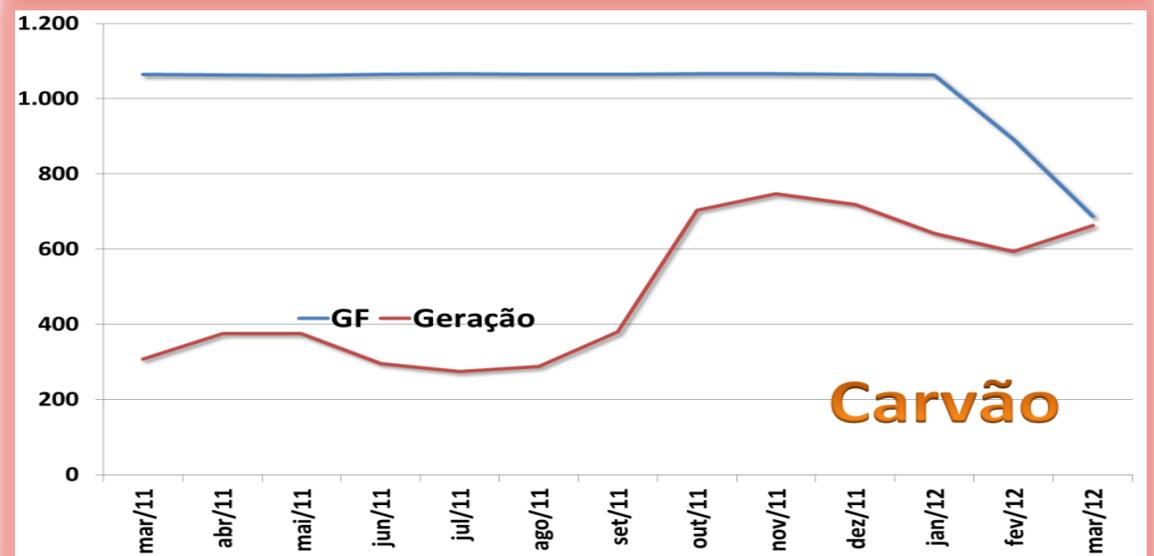
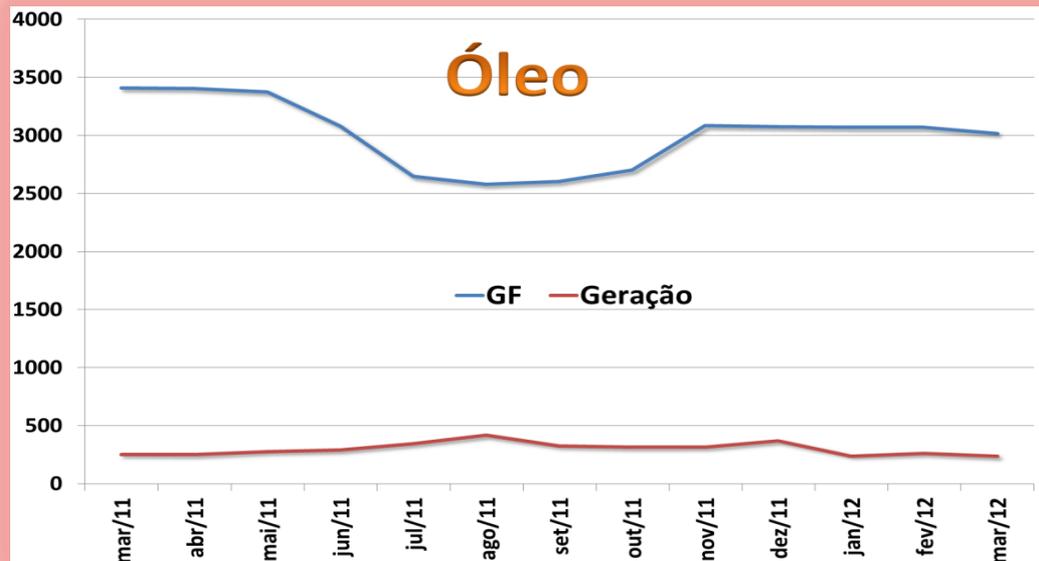
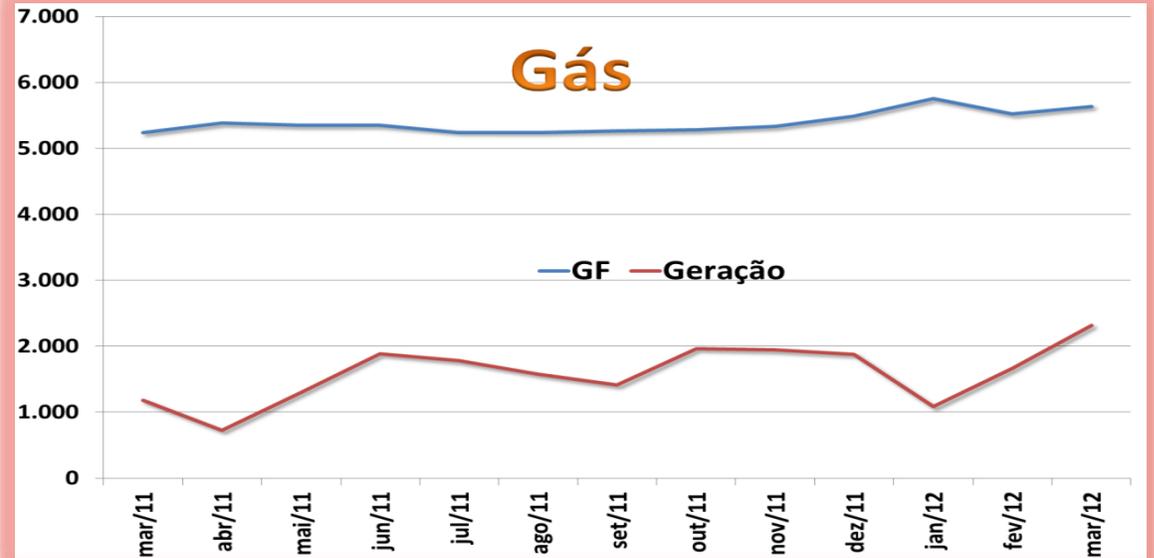
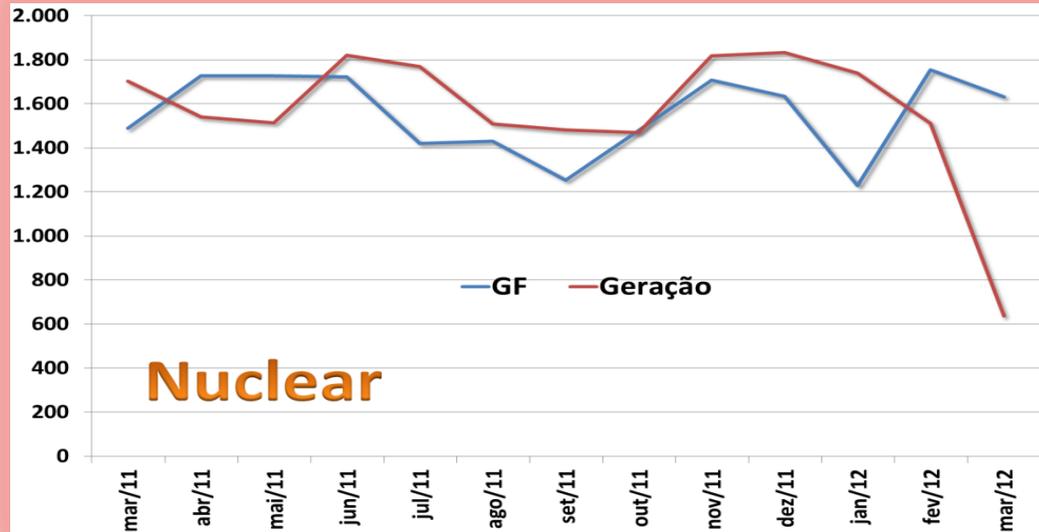
Hidráulicas que geram mais do que sua cota, cedem para outras hidráulicas. **MRE – Mecanismo de Realocação de Energia.**



4 exemplos da singularidade. Azuis – H, Vermelha - Térmica



Exemplos de geração real e da “garantia física” de térmicas



- Por exemplo, uma usina térmica que não opera por ordem do operador, tem direito a sua “garantia física”.
- Ela pode “liquidar” sua “não geração” pelo valor PLD (CMO).
- Portanto, as térmicas podem vender energia que é gerada pelas hidráulicas.
- Teoricamente, essa é a forma correta de otimizar o sistema, mas o problema é saber quem pode “capturar” a vantagem de PLD’s (CMO’s) baixos.

MW med

Evolução do consumo total.

A cada ano ~ 2.200 MW médios adicionais.

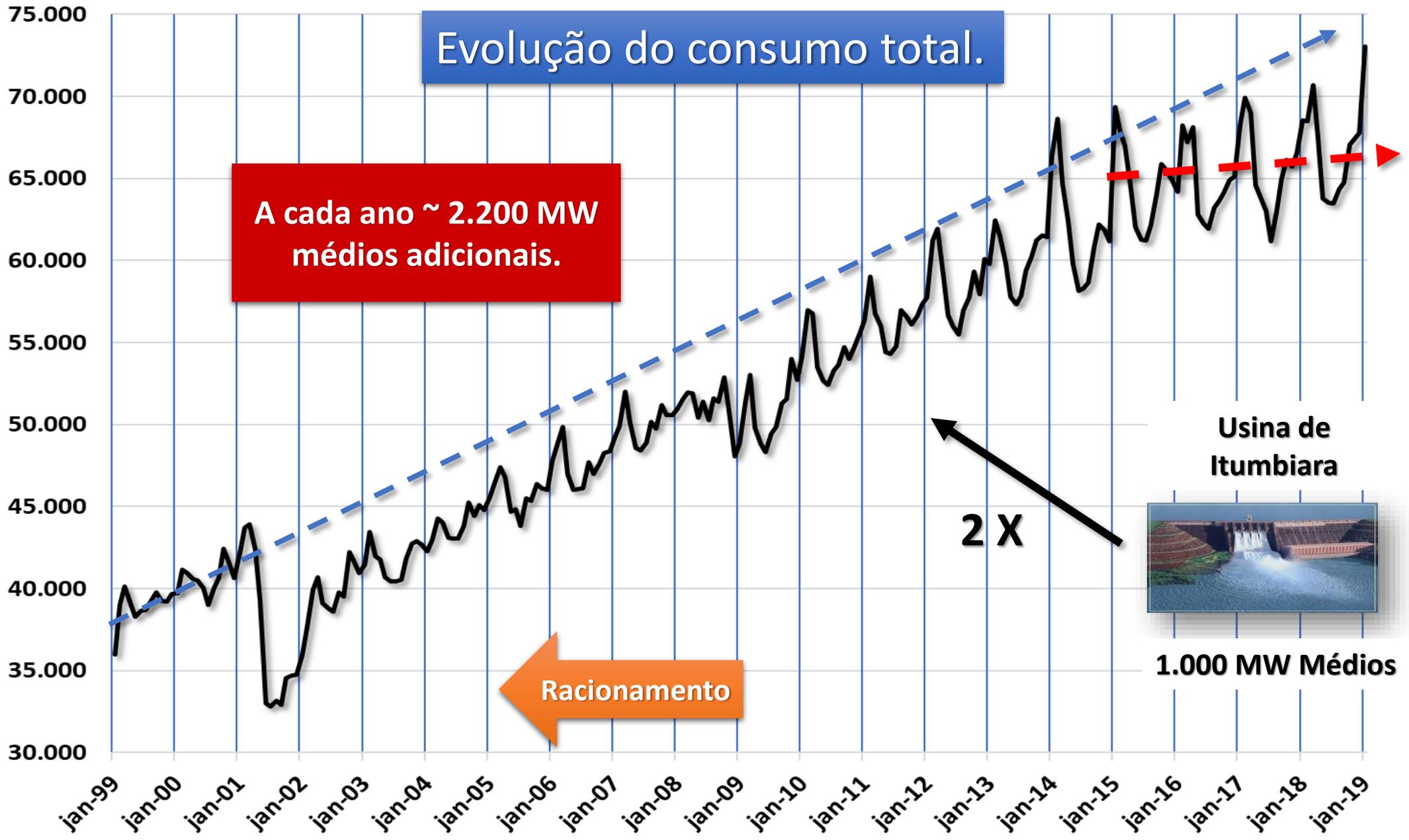
Racionamento

2 X

Usina de Itumbiara



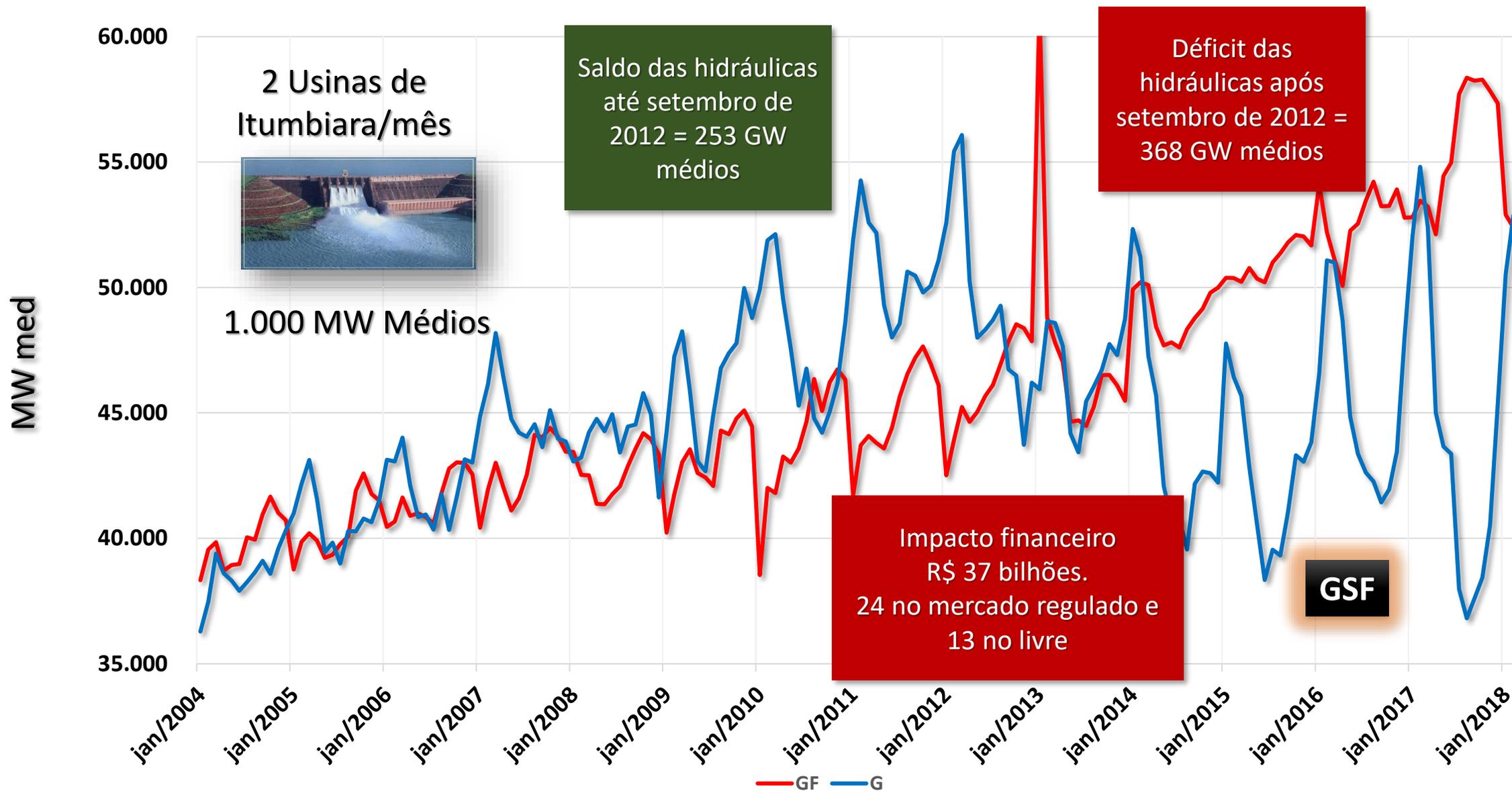
1.000 MW Médios



PLD (referência) do mercado e preço residencial – Um mercado muito singular.



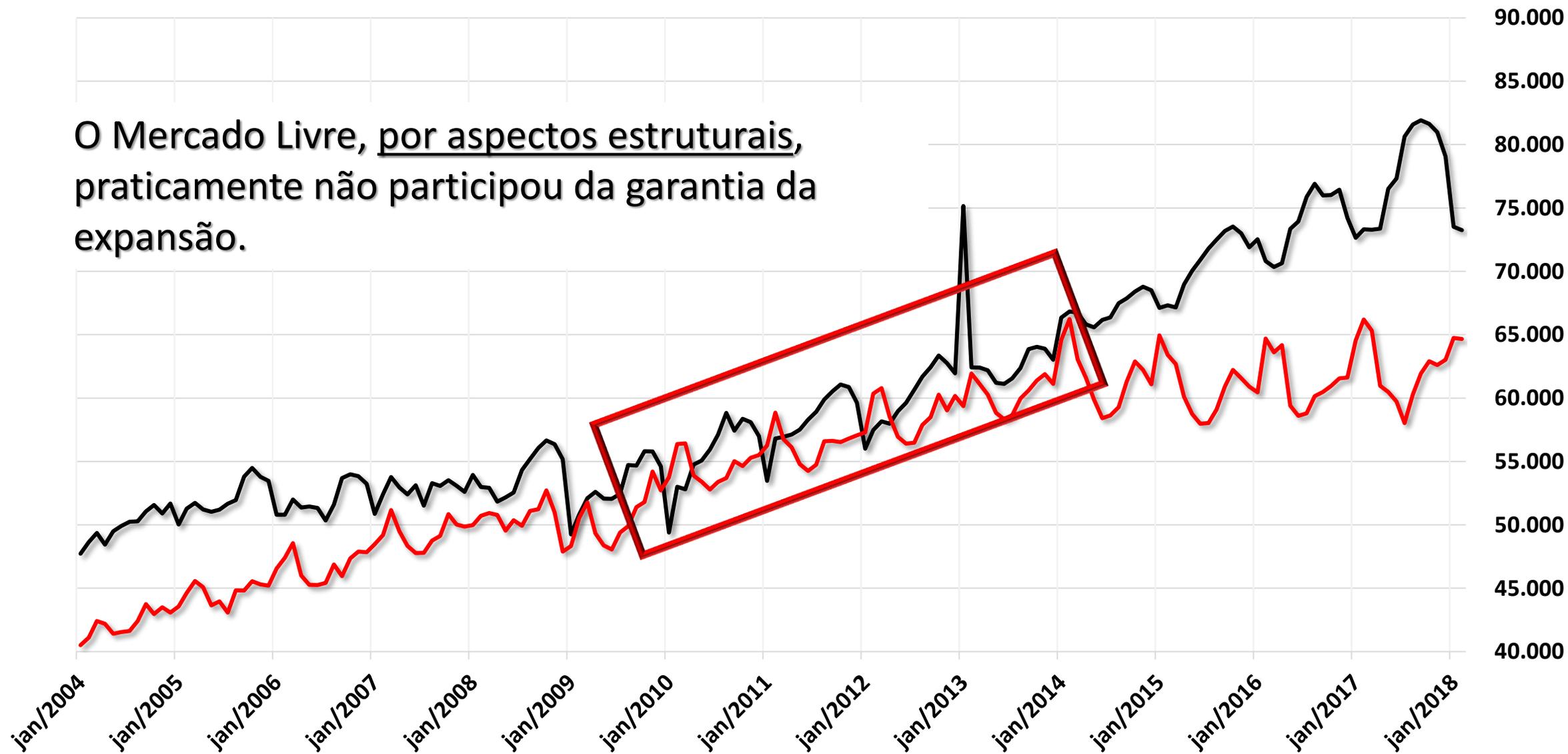
Geração hidráulica, sua “Garantia” e o “Risco Hidrológico”



- Por conta dessa modelagem estrutural, o mercado livre **tendeu a ter muitos contratos de curto prazo.**
- Desse modo **participou pouco da expansão da oferta no longo prazo.**
- A expansão da ficou contratada principalmente **pelas distribuidoras (mercado cativo).**
- Como também há uma superavaliação da garantia física, **a situação começou a se alterar.**

Garantia Física Total e **Geração Total**

O Mercado Livre, por aspectos estruturais, praticamente não participou da garantia da expansão.



Garantia Física Total e **Geração Total**

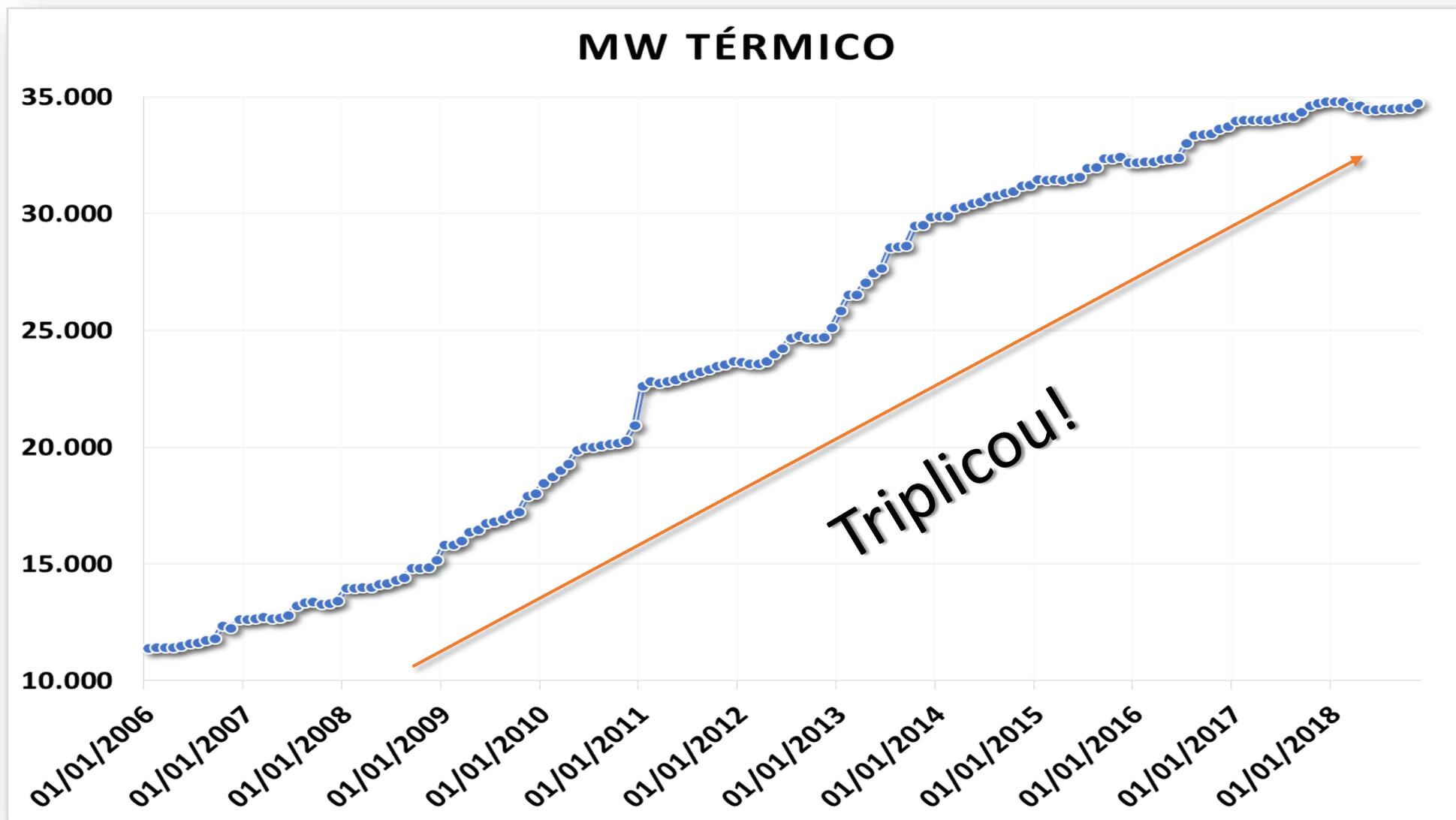


Por que não houve risco de suprimento?
S. Pedro, Sociedades com Eletrobras e “Energia de Reserva” (encargo)

GF superavaliada

Excesso de oferta??

Temos excesso de oferta, mas de kWh caro.



V - Conclusões



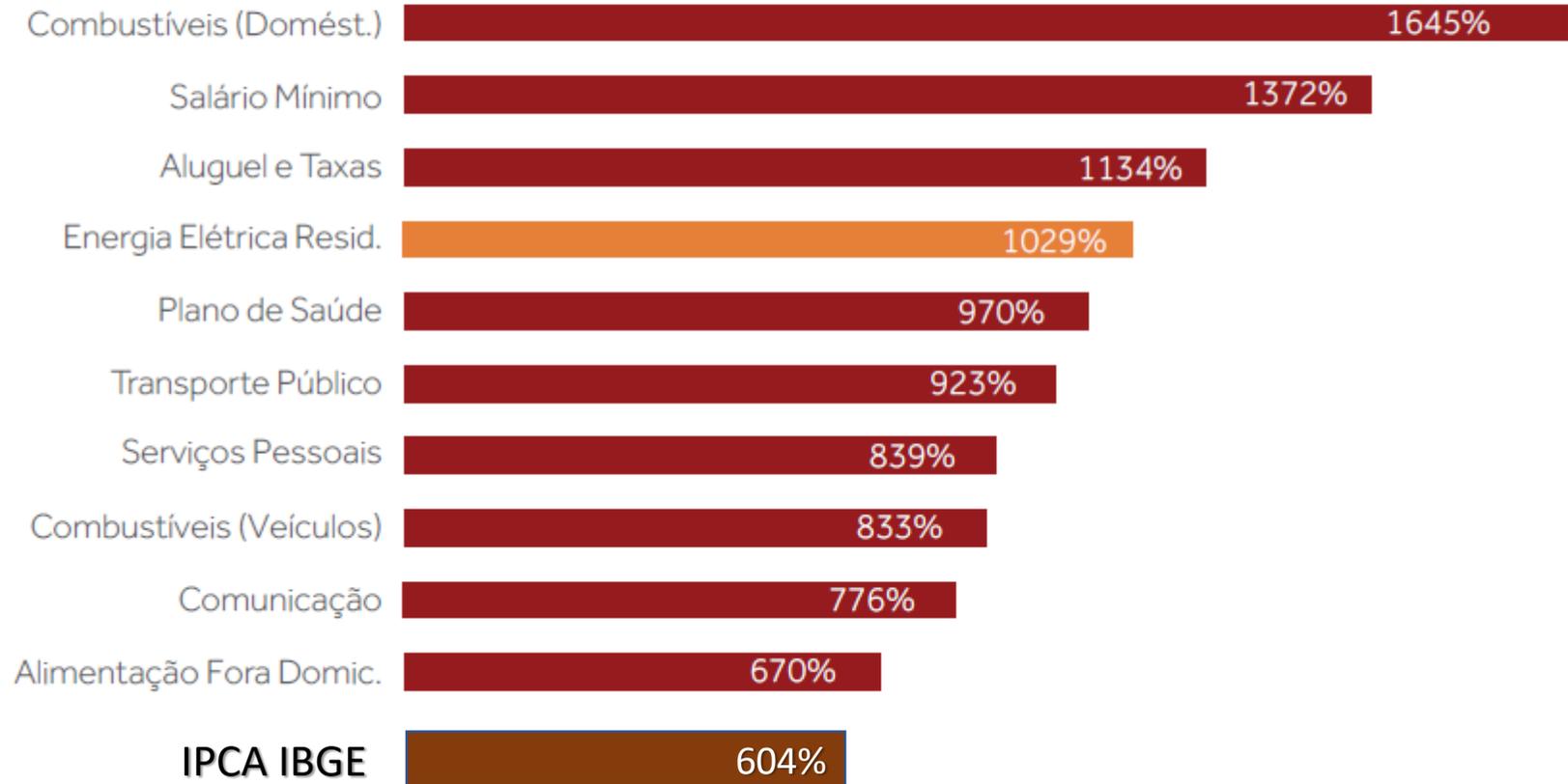
ABRADEE

2018

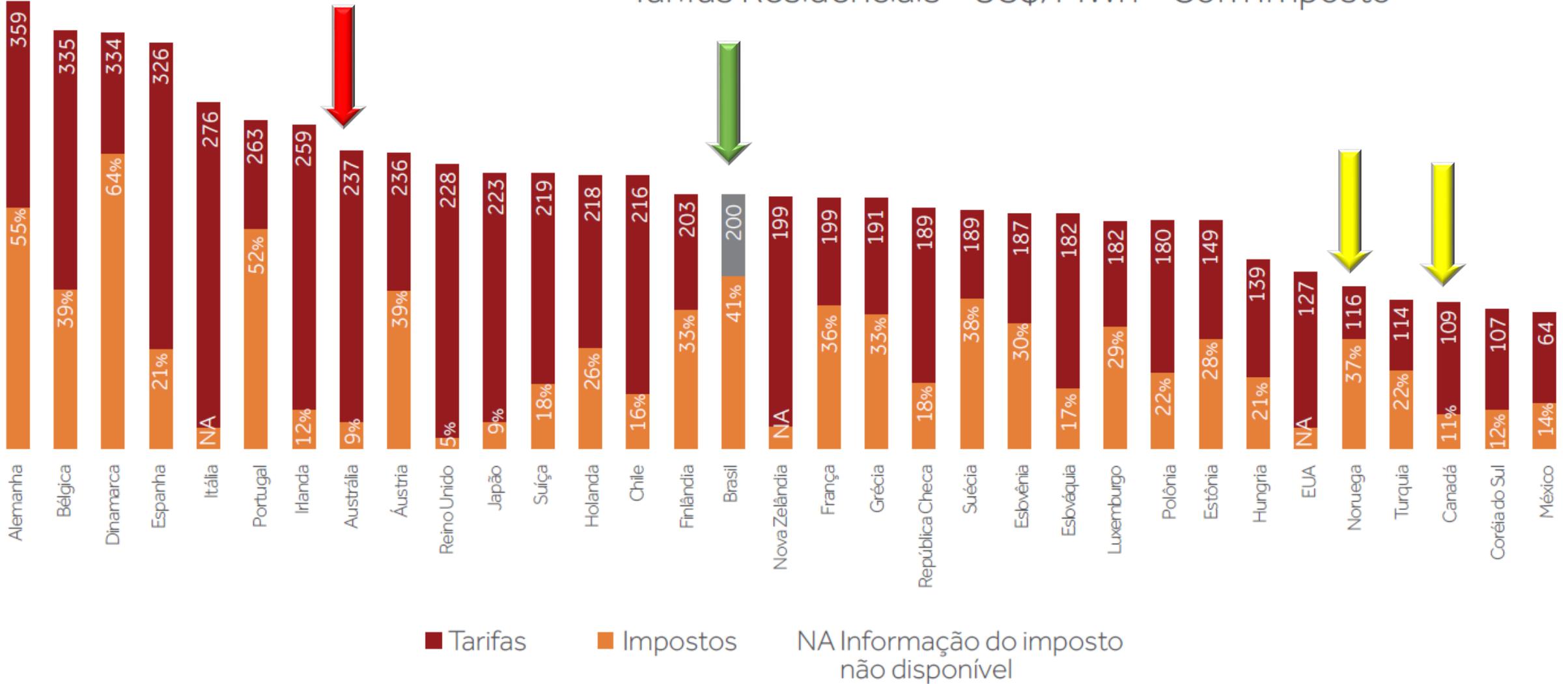


COMPARAÇÃO INTERNACIONAL DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA

VARIAÇÃO ACUMULADA DE PREÇOS DE JULHO|1994 A JULHO|2018



Tarifas Residenciais - US\$/MWh - Com Imposto



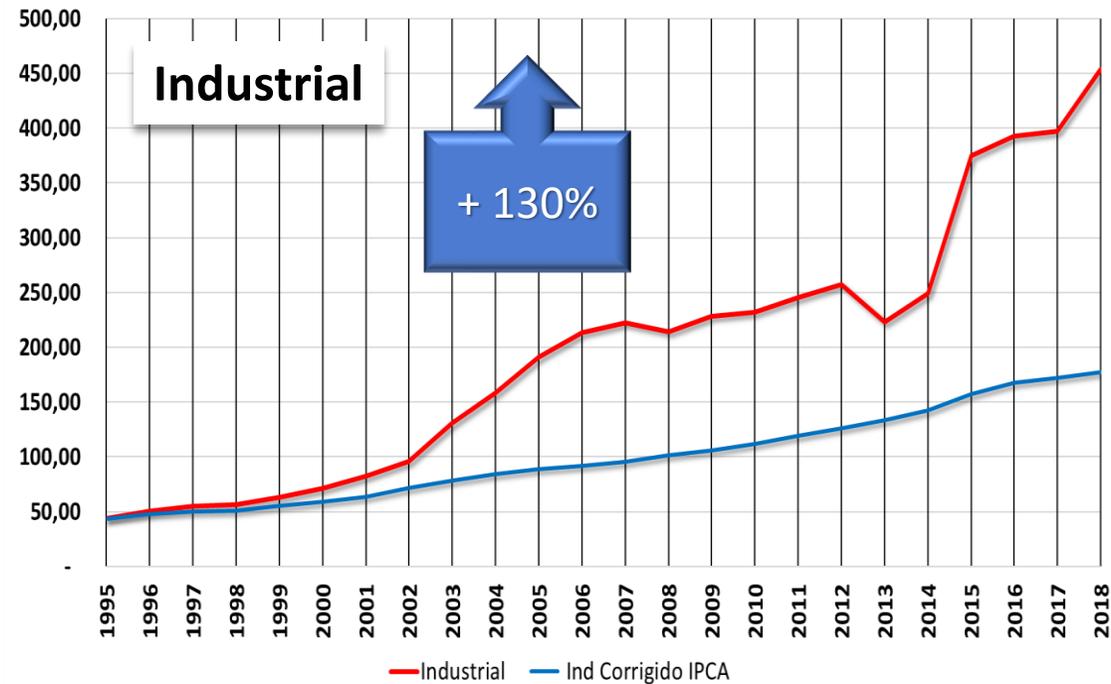
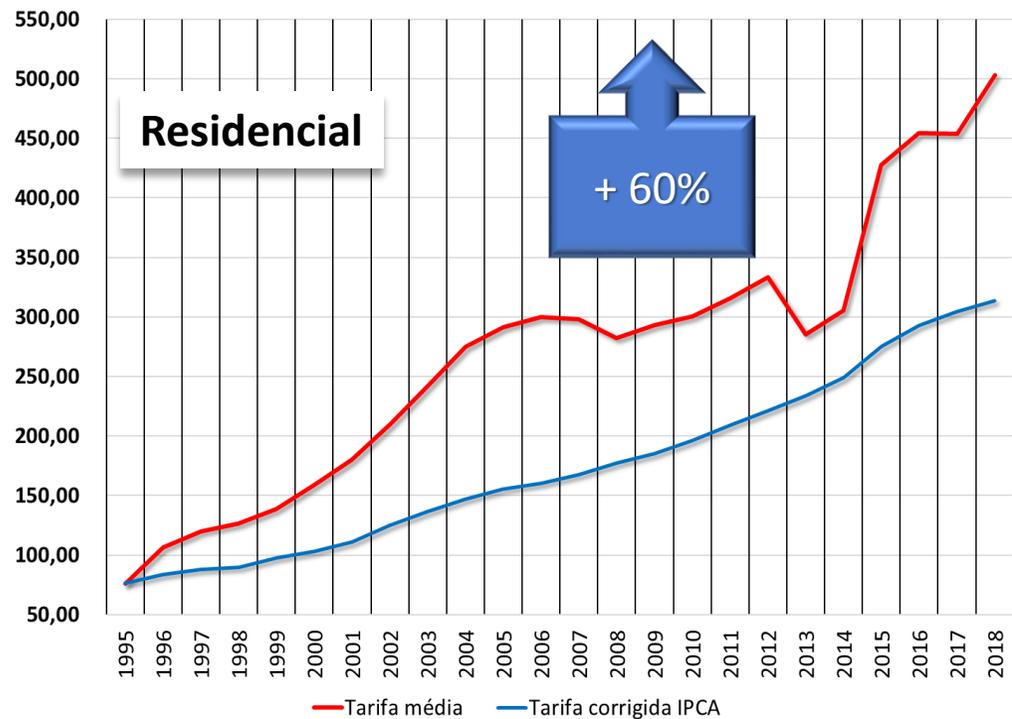
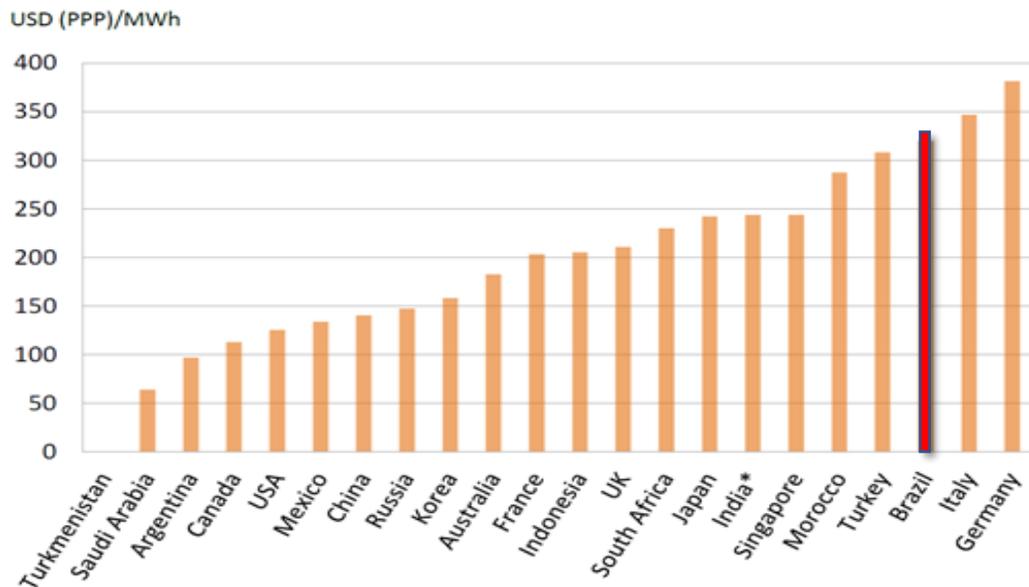


Figure 5b – Residential electricity prices in selected economies, PPP adjusted - 2016



Os dados são oriundos da ANEEL coletados historicamente.

Dilemas do setor elétrico brasileiro.

- Apesar das suas vantagens naturais, o Brasil está **atrasado na implantação das “novas renováveis”**.
- A tarifa brasileira está **mais cara que a da praticada nos países de matriz semelhante**.
- O modelo mercantil, na atual configuração, está repleto de conflitos. **Inadimplência e judicialização**.
- Dúvidas quanto a uma **ampla reforma e privatização da Eletrobras**.

Dilemas do setor elétrico brasileiro.

- A “repactuação” do “risco hidrológico” certamente deixará aumento de custos para o consumidor.
- A finalização da usina de Angra III exigirá aumento de tarifa.
- Há uma proposta de mudança (CP 33) que, apesar, de resolver alguns problemas, trará mais complexidade.
- A crise econômica está deixando dúvidas sobre o crescimento da demanda.

Grato pela atenção

Roberto Pereira D'Araujo