



# GERAÇÃO ELÉTRICA NUCLEAR: as quatro transições



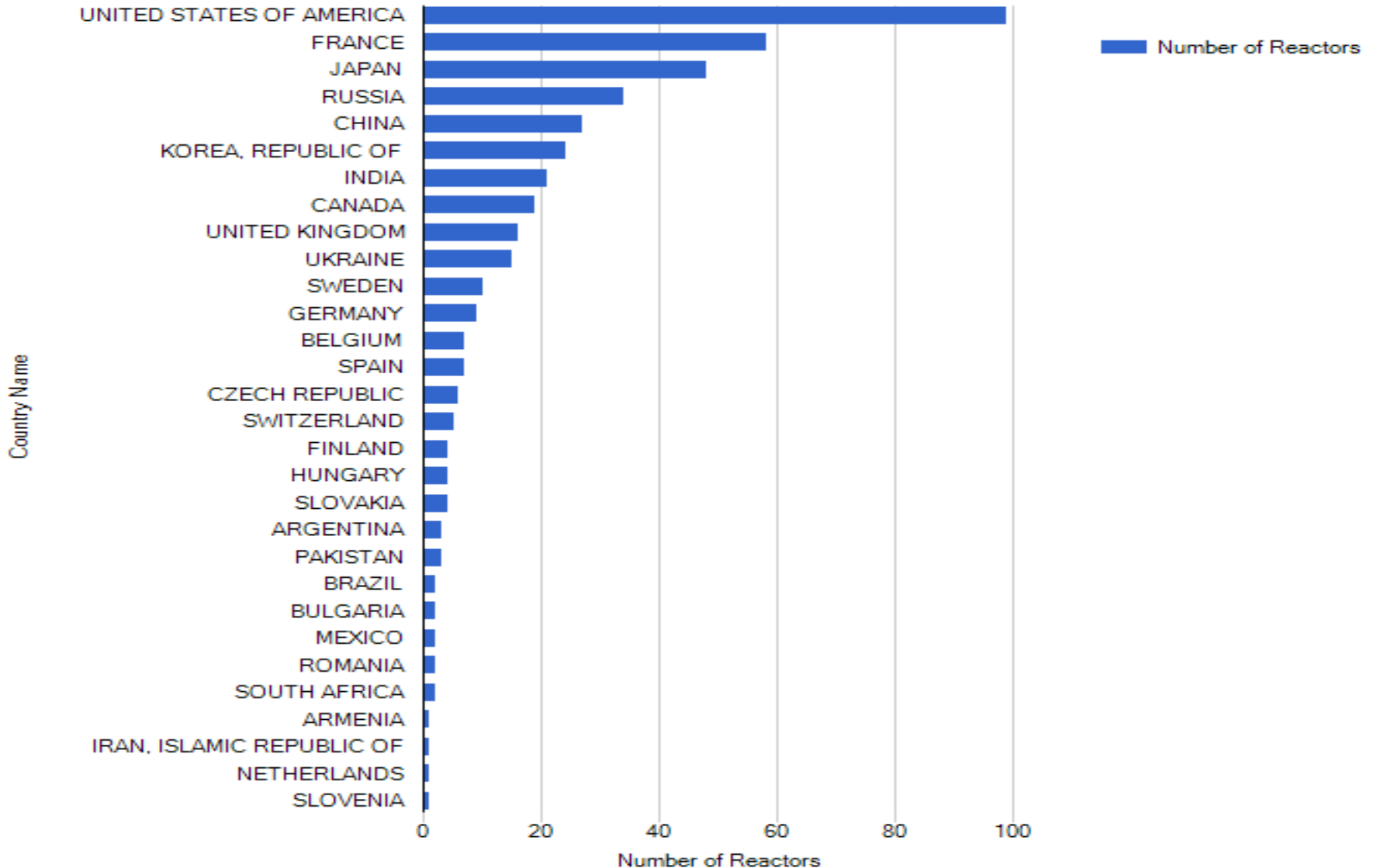
Leonam dos Santos Guimarães



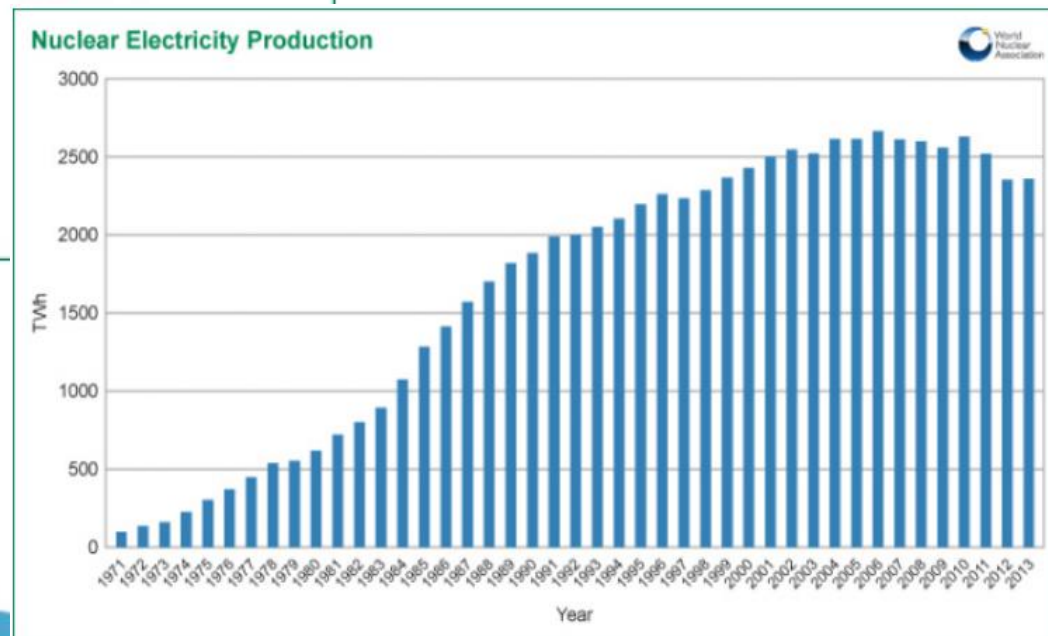
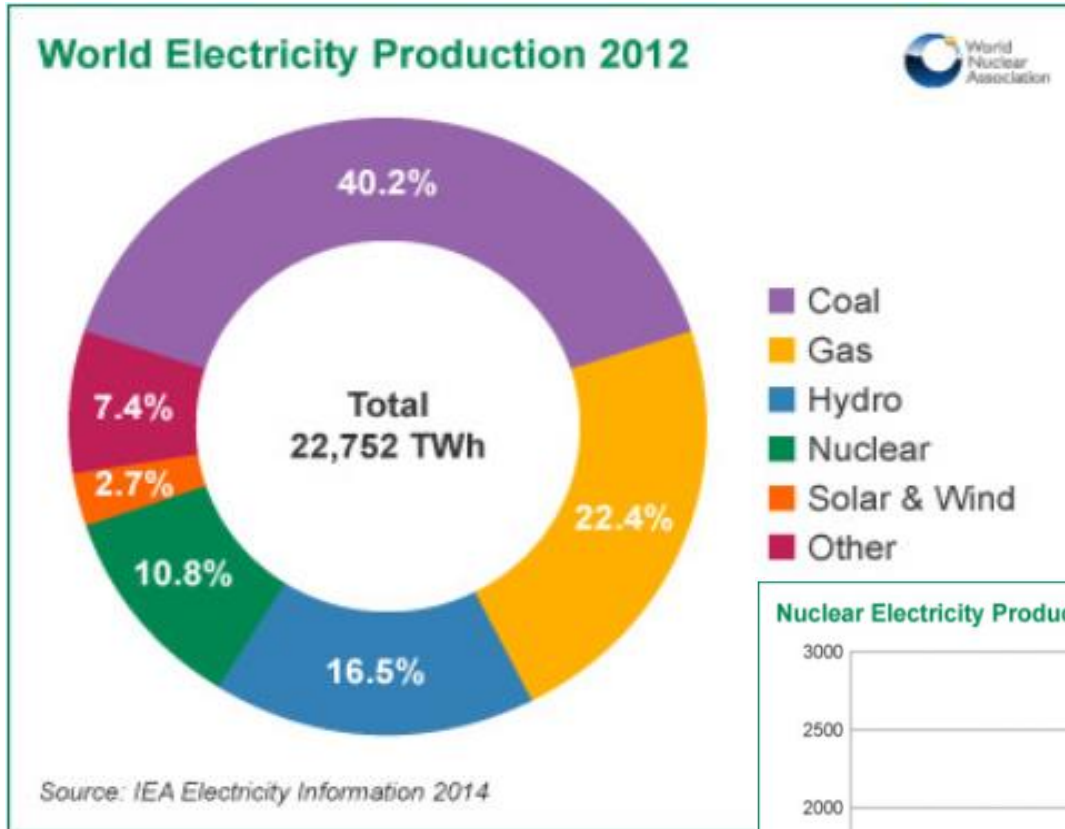
# Geração Nuclear não é um “bicho raro”

# 443 usinas operando hoje no mundo

Total Number of Reactors: 443



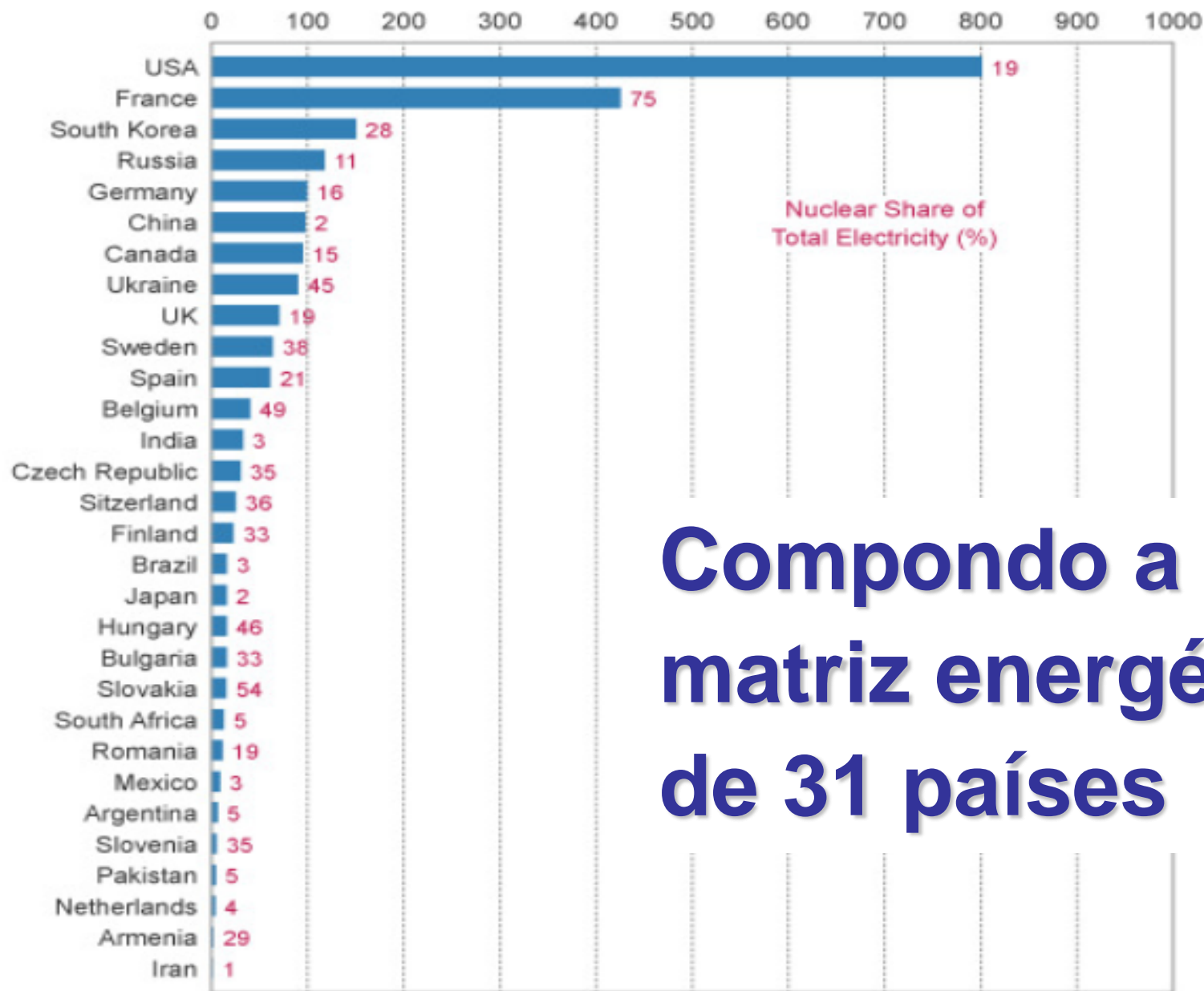
# Gerando 11% da eletricidade mundial



# Nuclear Generation by Country (TWh) 2012



Eletrobras  
Eletronuclear

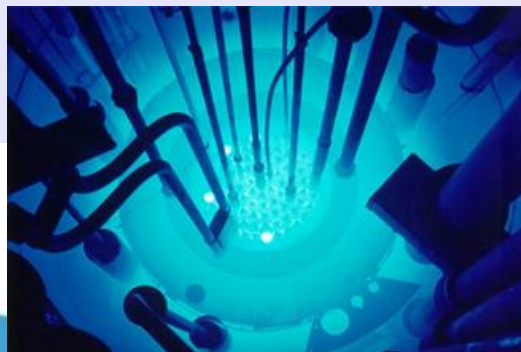


**Compondo a  
matriz energética  
de 31 países**



# Sem esquecer também ...

## 248 reatores de pesquisa operando em 56 países



# e 180 reatores movendo 140 navios e submarinos em 6 países ...



**Muito menos um  
“bicho em extinção”**



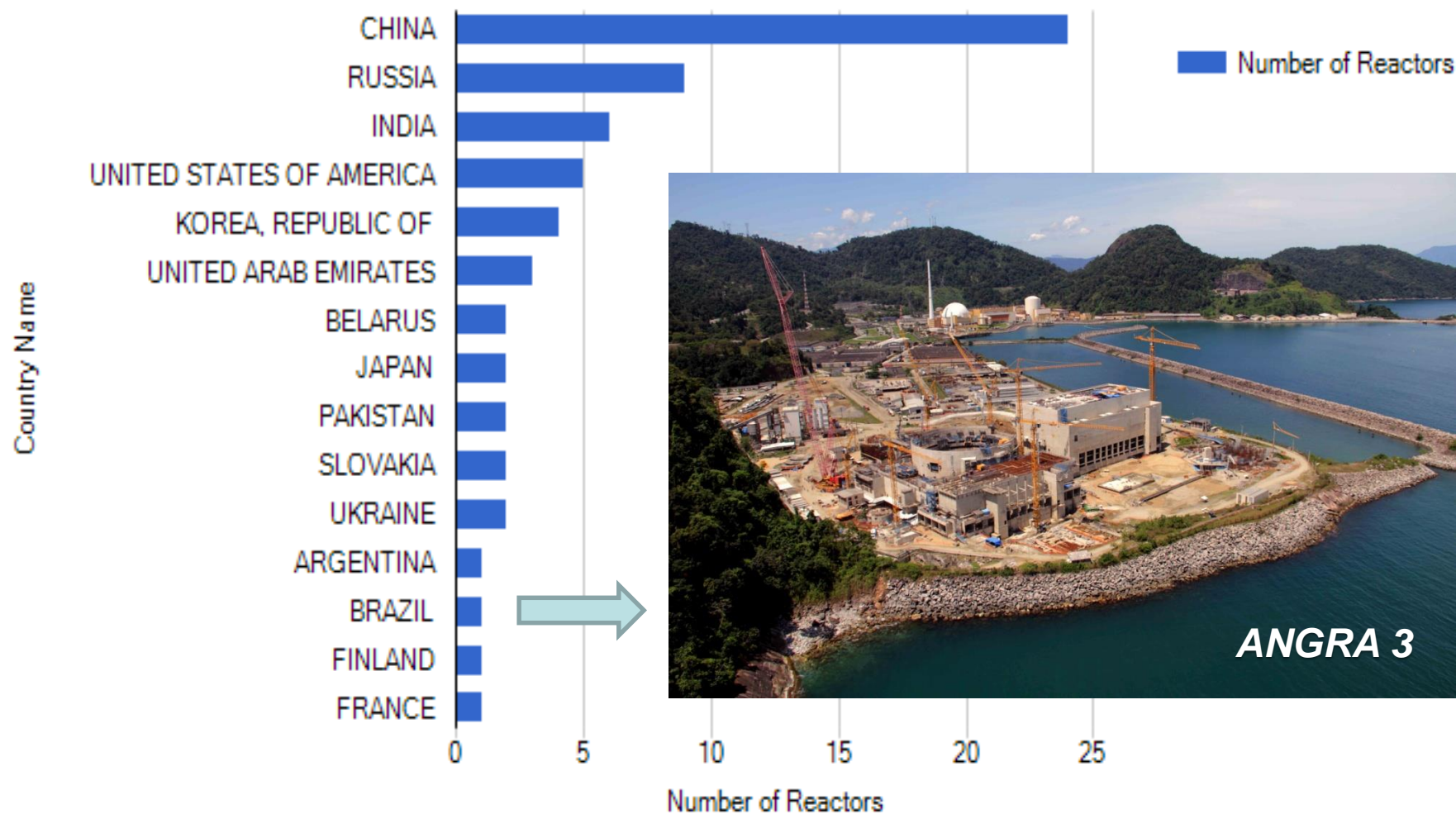
# 67 usinas em construção em 15 países

2005 - 2015: 42 novos sincronismos às redes nacionais

## FUQING-2

6 de agosto de 2015

Total Number of Reactors: 67



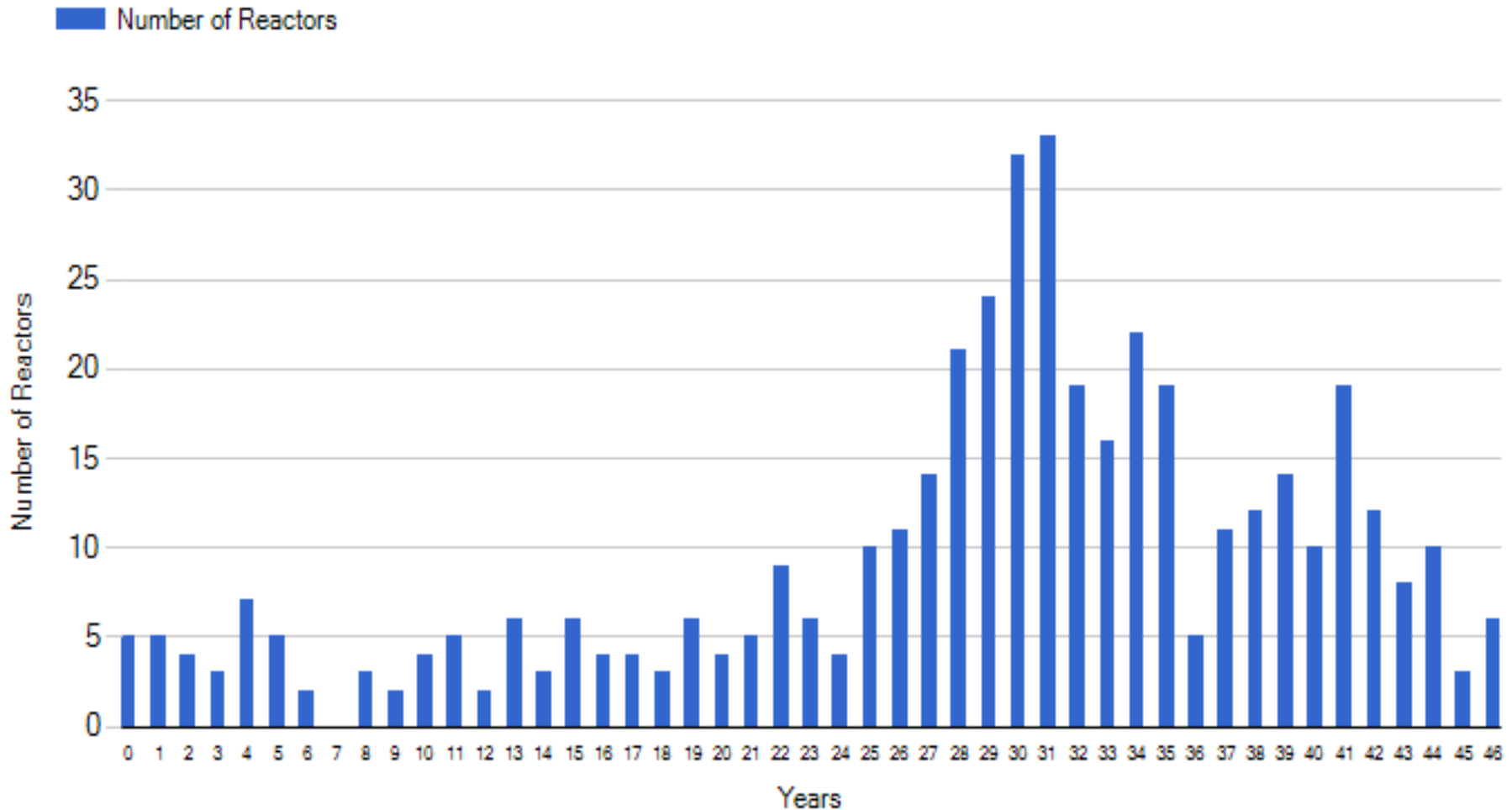
# Geração Nuclear passa por 4 transições:

<b>Transição tecnológica</b>	<b>(global)</b>
<b>Transição da inclusão social</b>	<b>(global)</b>
<b>Transição energética</b>	<b>(global)</b>
<b>Transição elétrica</b>	<b>(brasileira)</b>

# Transição tecnológica nuclear (global)

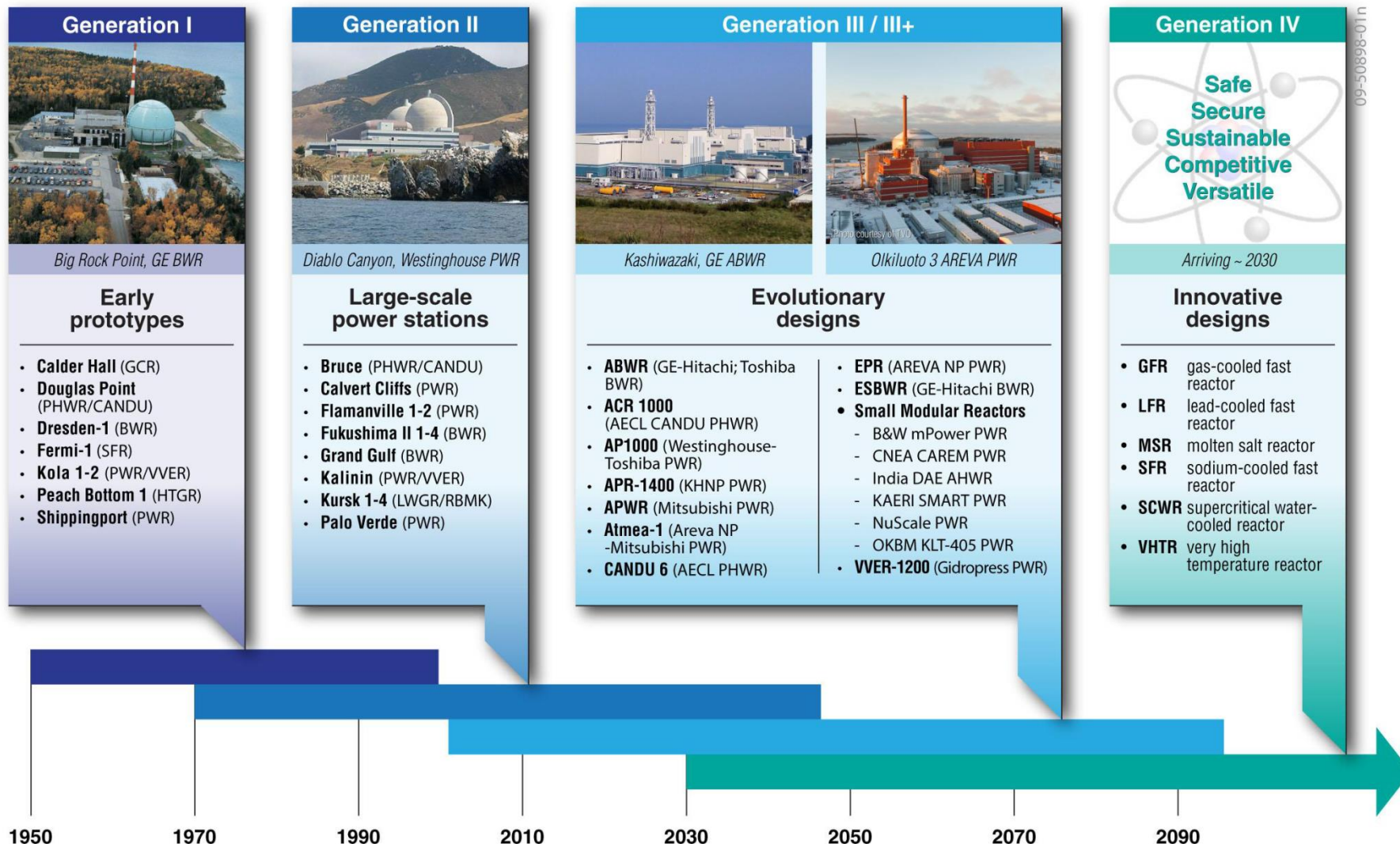
## ENVELHECIMENTO DO PARQUE

Total Number of Reactors: 438



# Transição tecnológica nuclear (global)

## MUDANÇA DE GERAÇÃO: II -> III -> III+ -> IV



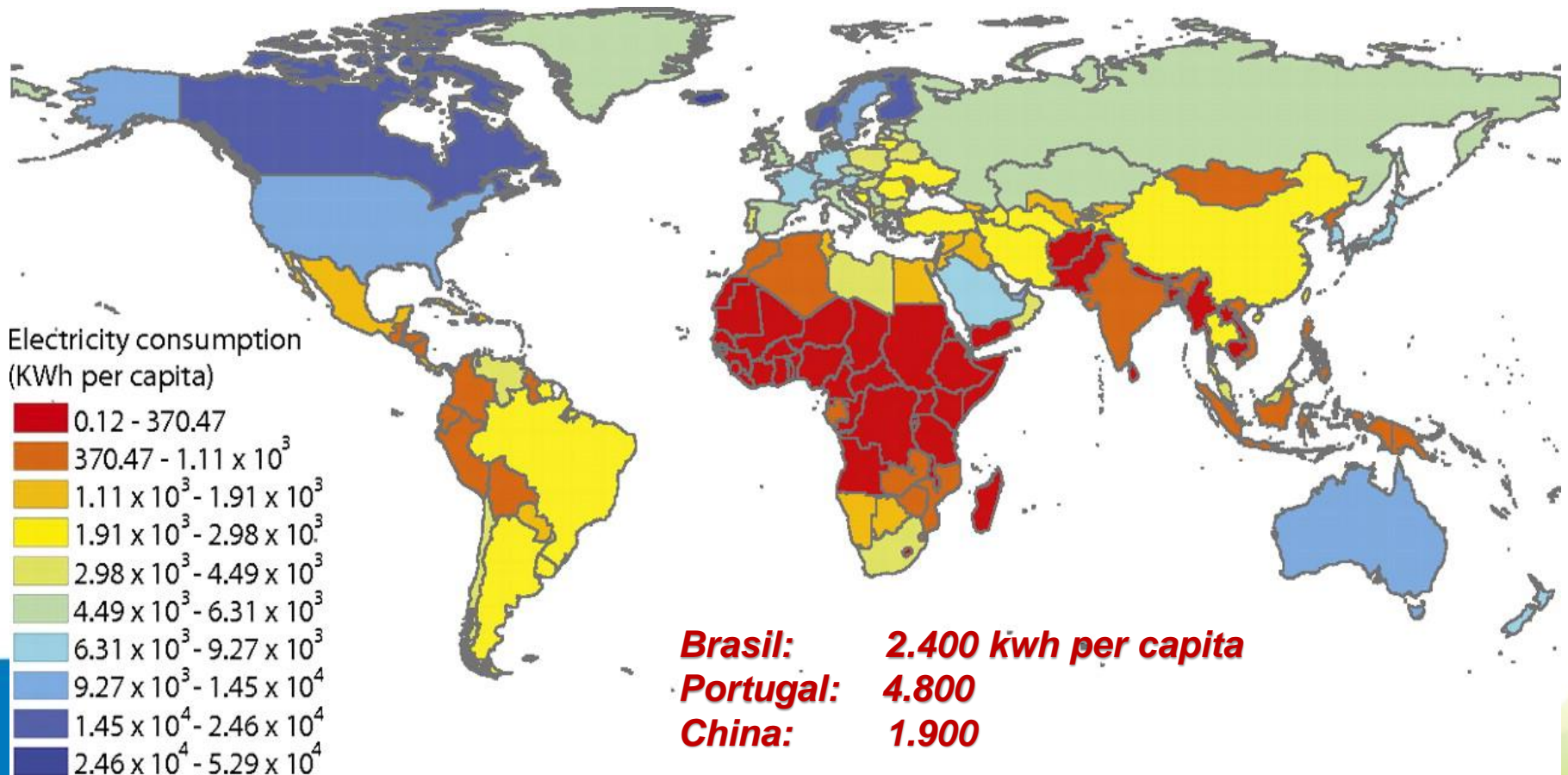
09-50898-01n



# Transição da inclusão social (global)

## DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO:

### EMERGÊNCIA DE PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

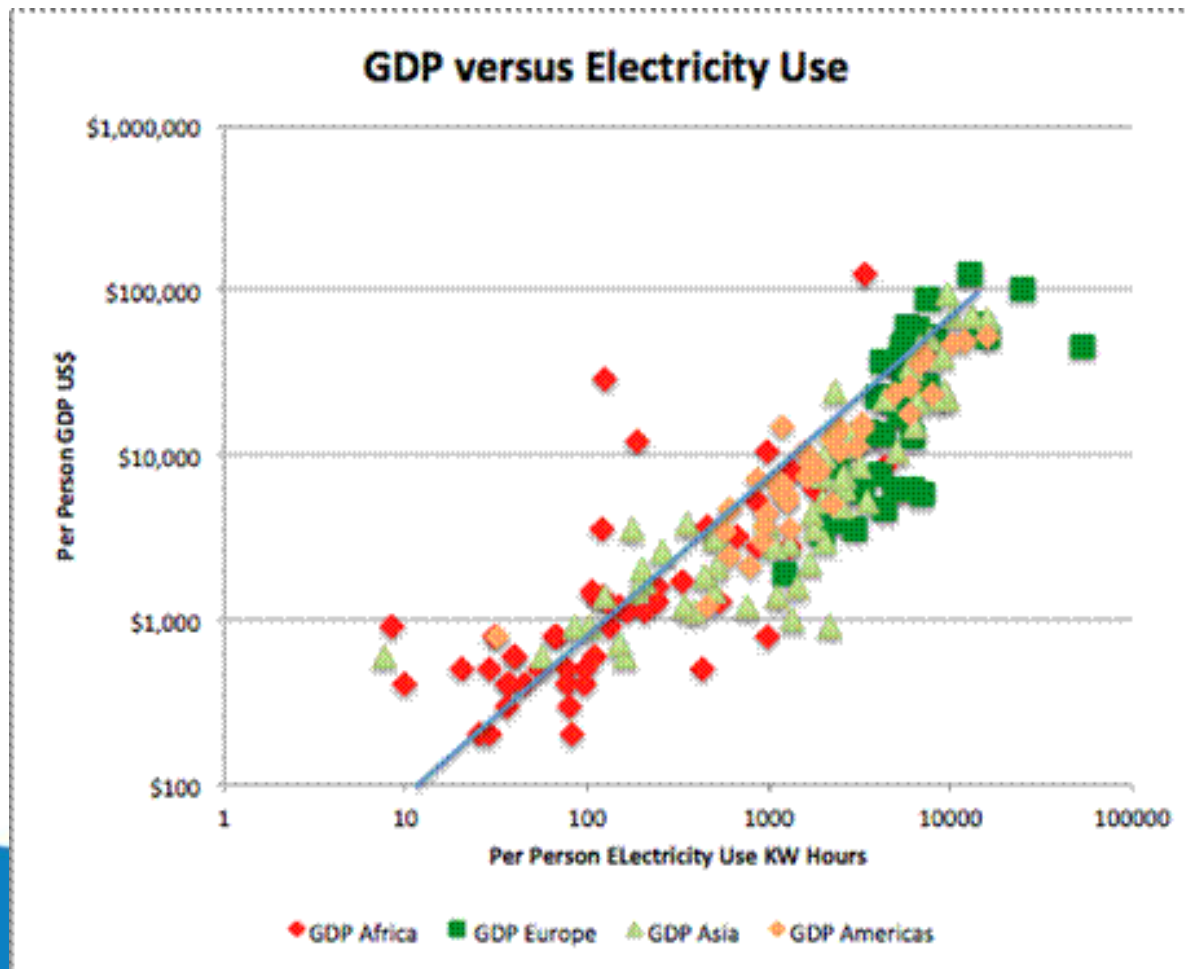




# Transição da inclusão social (global)

## DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO:

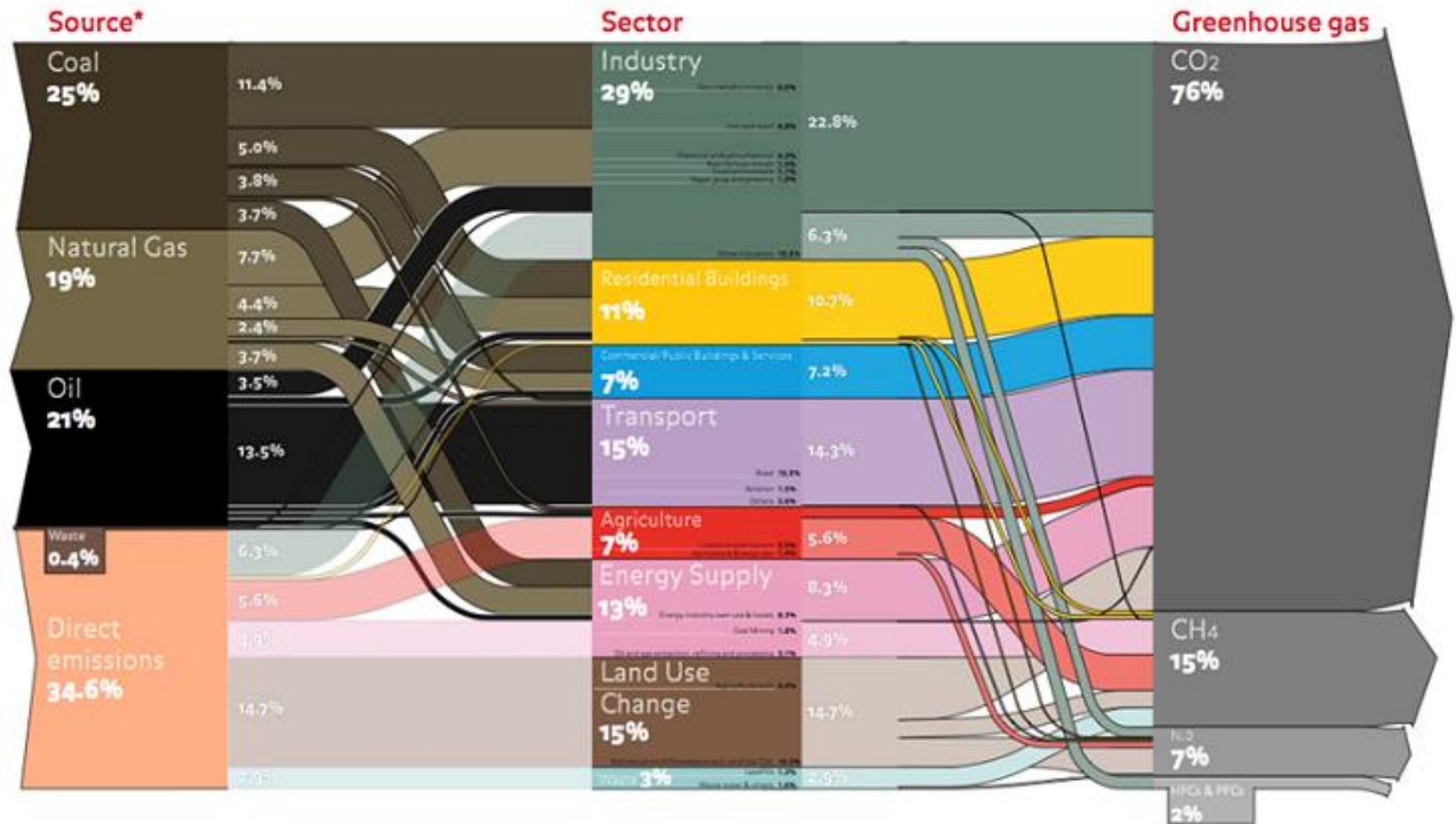
*Impulsionar a prosperidade e o consumo de energia per capita é a maneira de cuidar de nosso planeta*



# Transição energética (global)

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS

### CONTROLE DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

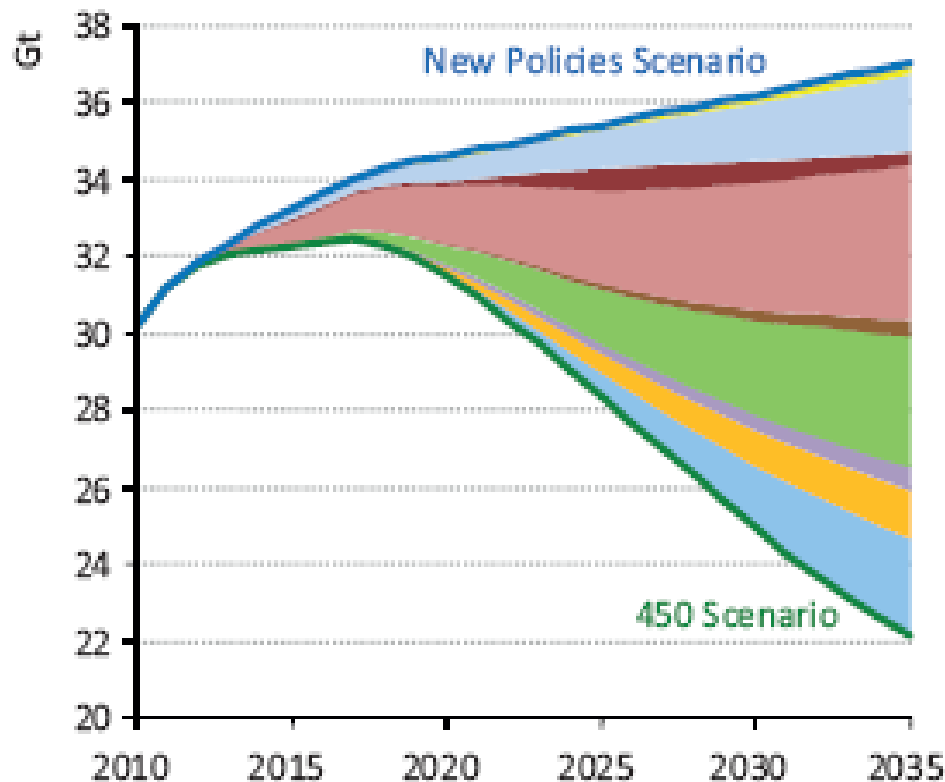


# Transição energética (global)

## MUDANÇAS CLIMÁTICAS

### CONTROLE DA EMISSÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Global energy-related CO<sub>2</sub> emissions abatement in the 450 Scenario relative to the New Policies Scenario

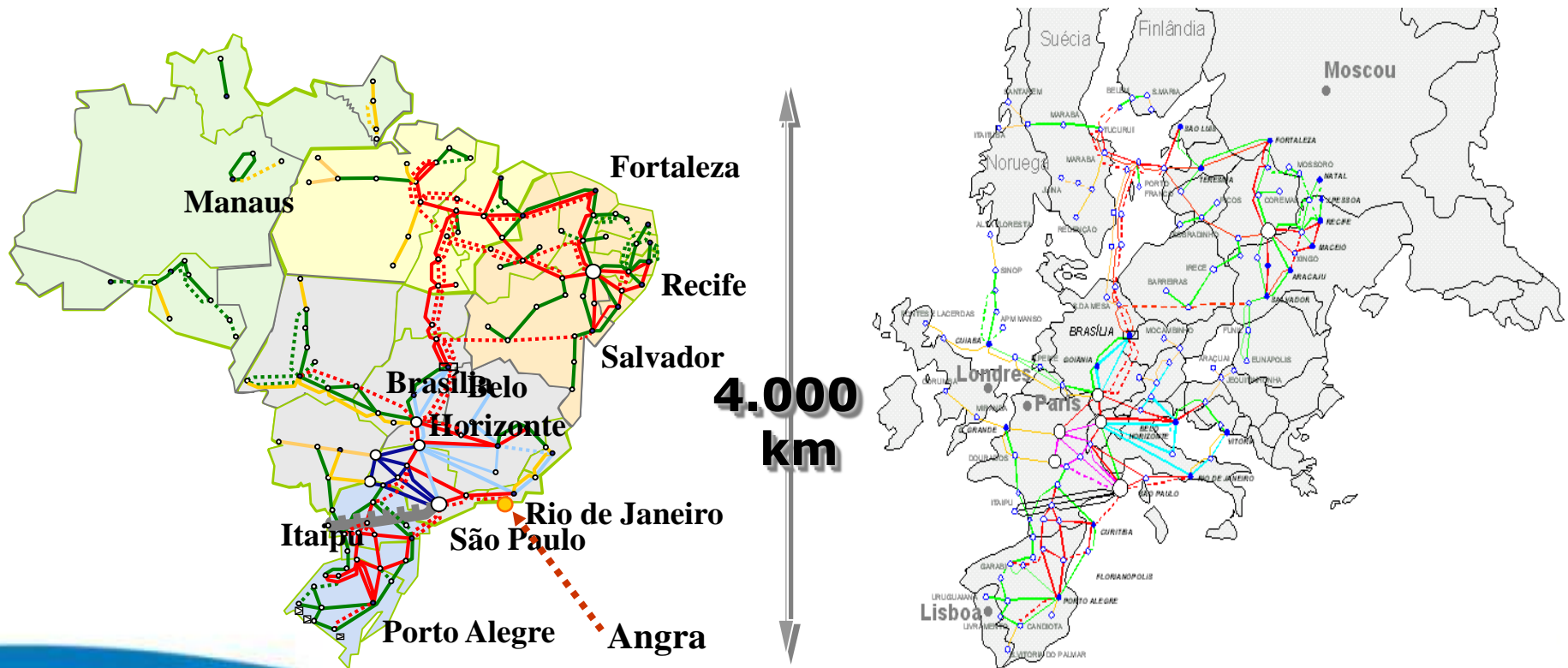


CO <sub>2</sub> abatement	2020	2035
Activity	2%	2%
End-use efficiency	18%	13%
Power plant efficiency	3%	2%
Electricity savings	50%	27%
Fuel and technology switching in end-uses	2%	3%
Renewables	15%	23%
Biofuels	2%	4%
Nuclear	5%	8%
CCS	4%	17%
<b>Total (Gt CO<sub>2</sub>)</b>	<b>3.1</b>	<b>15.0</b>

# Transição elétrica (nacional)

## TRANSIÇÃO HIDROTÉRMICA

**SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL:  
DIMENSÕES CONTINENTAIS – PREPONDERÂNCIA HÍDRICA**

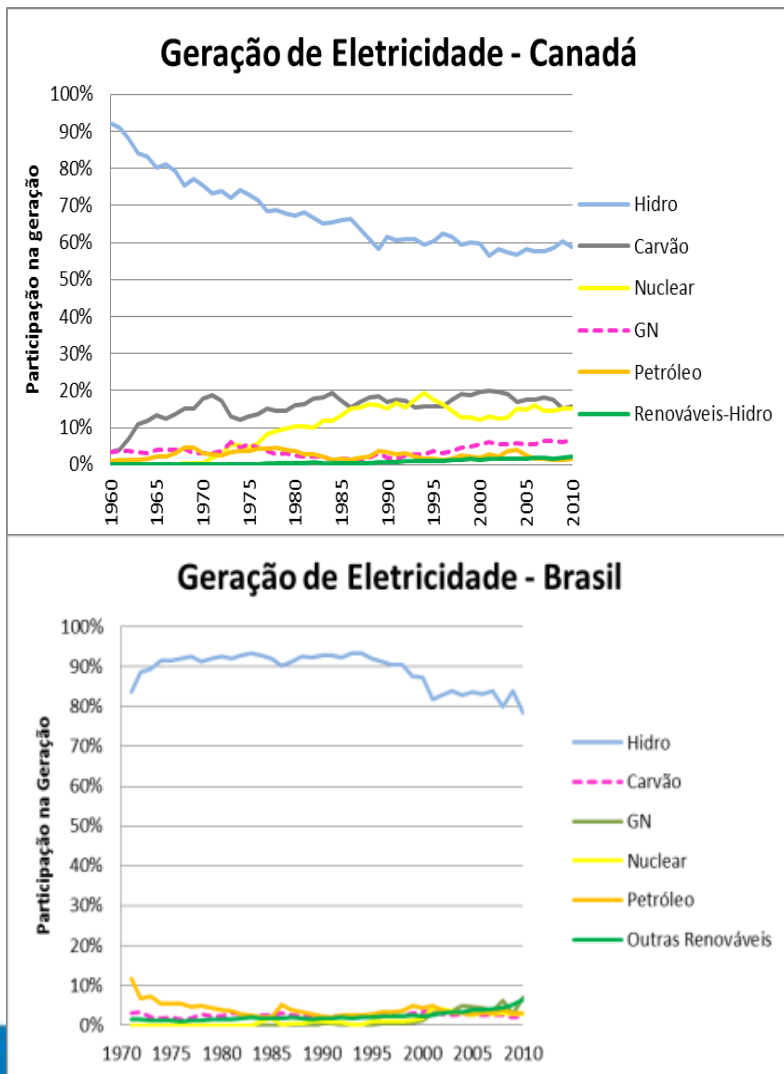


# Conceito de transição hidrotérmica

- a expansão de um **sistema elétrico interligado de grande porte**, com significativa **predominância de fonte primária renovável hídrica** passa a requerer uma **crecente contribuição térmica**,
  - seja por paulatino **esgotamento do potencial econômica e ambientalmente viável** dessa fonte
  - e/ou por **perda de sua capacidade de autoregulação** decorrente da **diminuição da capacidade de armazenagem de água nos reservatórios em relação ao crescimento da carga do sistema.**

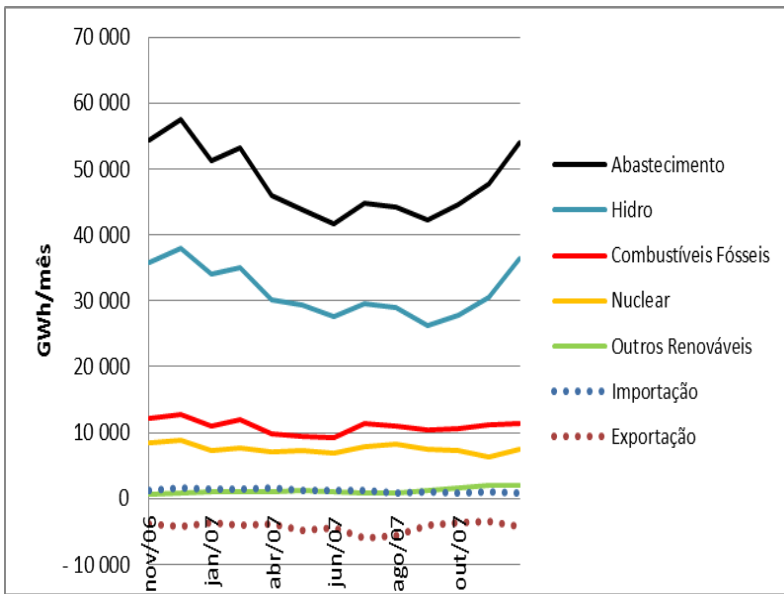


# Um sistema elétrico em transição hidrotérmica

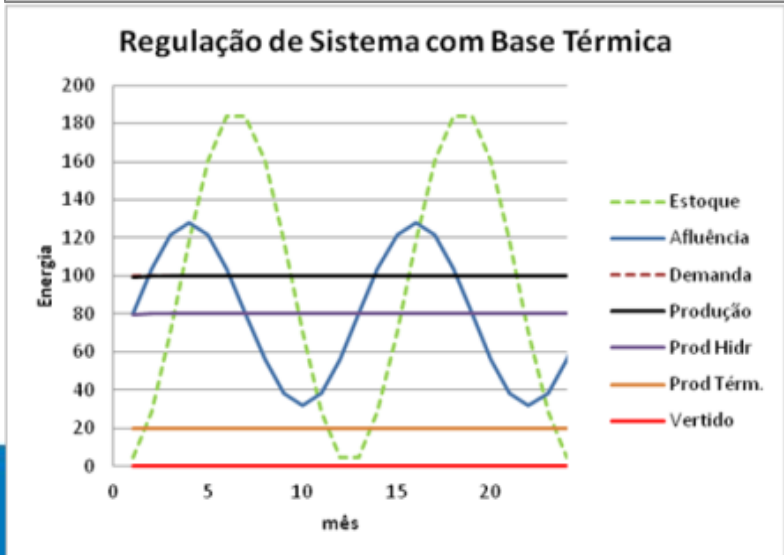


- A **evolução do sistema elétrico canadense** nos últimos 50 anos **guarda muitas similaridades com a situação do sistema elétrico brasileiro** nos últimos 15 anos.
- A partir de uma **contribuição de mais de 90% em 1960**, a participação da **hidroeletricidade** no Canadá **declinou** de forma constante até 1990, quando se estabilizou em torno de **60%**.

# Um sistema elétrico em transição hidrotérmica

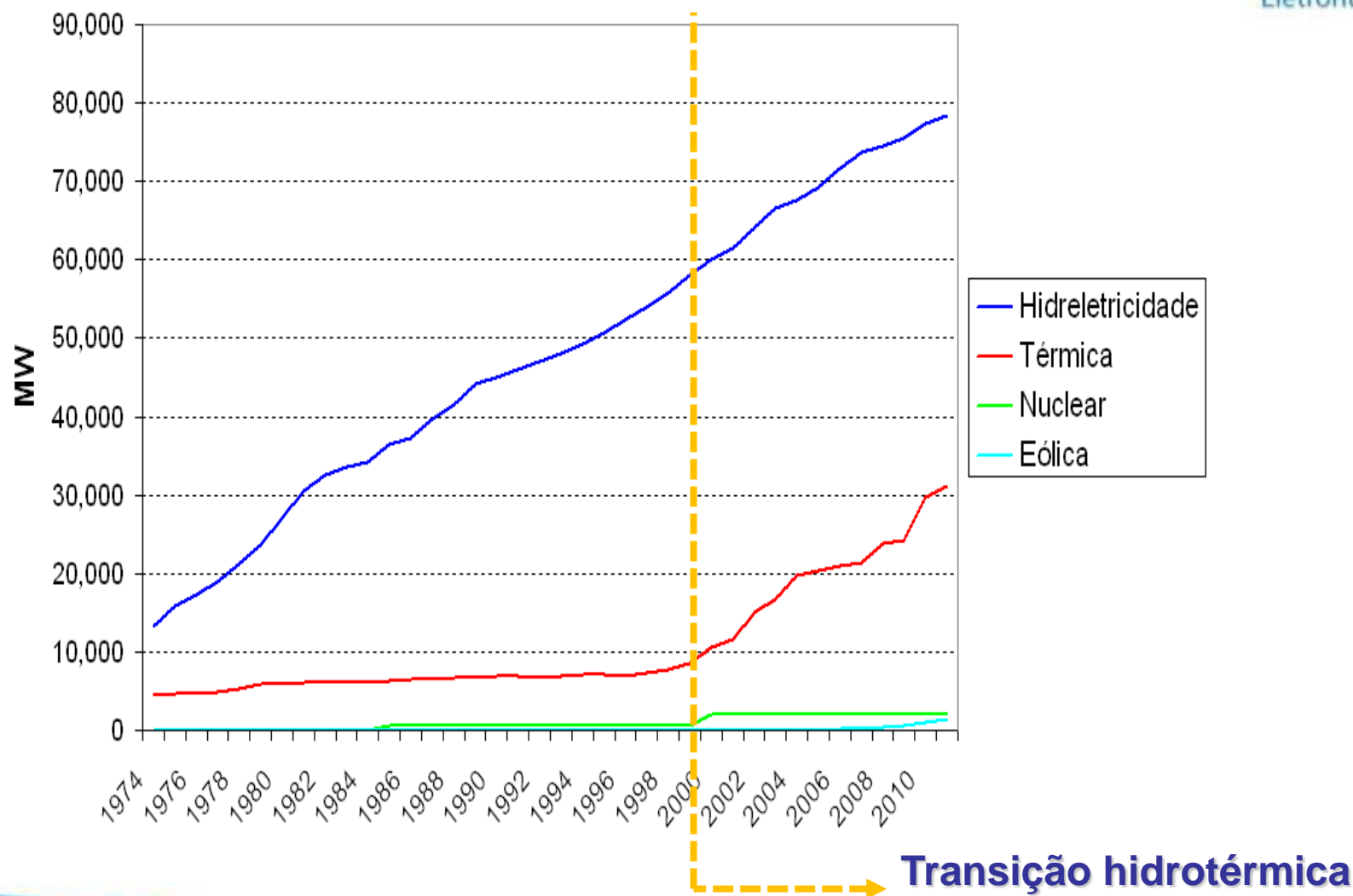


- No Canadá, o **crescimento da geração térmica, operando na base permitiu que a geração hídrica passasse a fazer a regulação de demanda e da sazonalidade das novas renováveis**, que em 2010 representavam cerca de 3% da geração total.

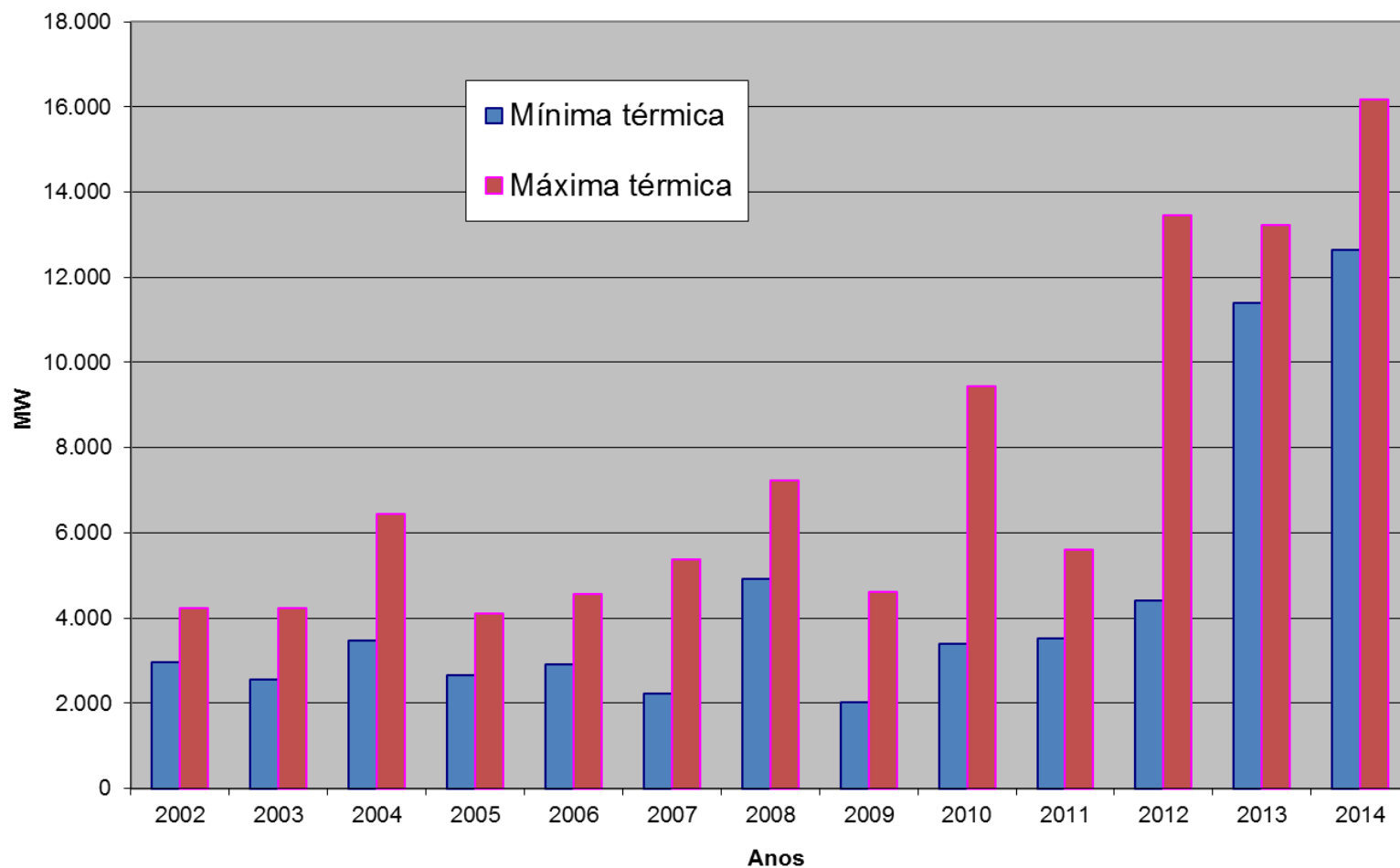


- SERIA ESSE UM MODELO PARA O BRASIL DO FUTURO?**

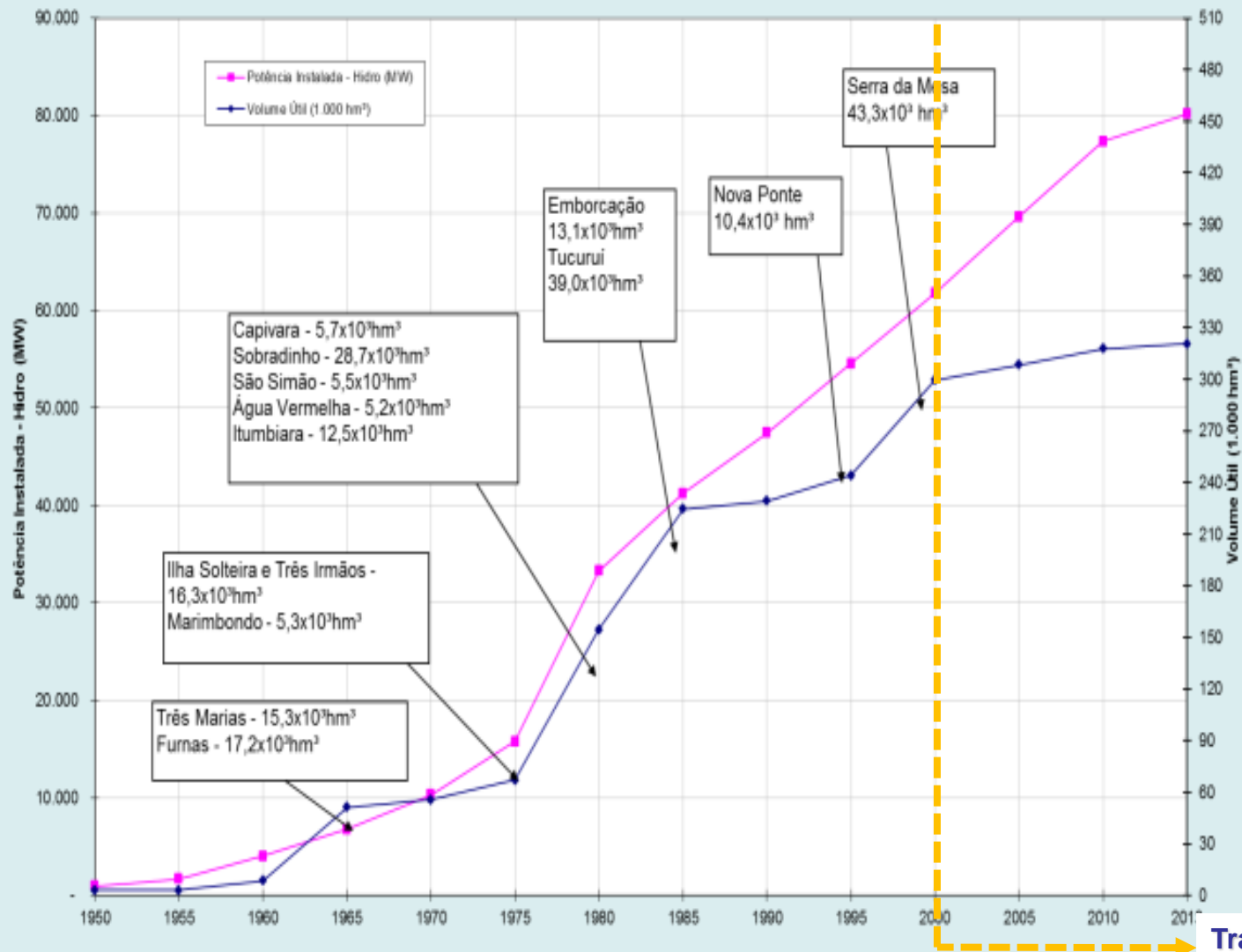
## Evolução da Capacidade Instalada (Brasil)



### Geração térmica máxima e mínima mensal em MW médios



Evolução do Volume Útil Acumulado e da Potência Instalada (Geração Hidráulica) no SIN



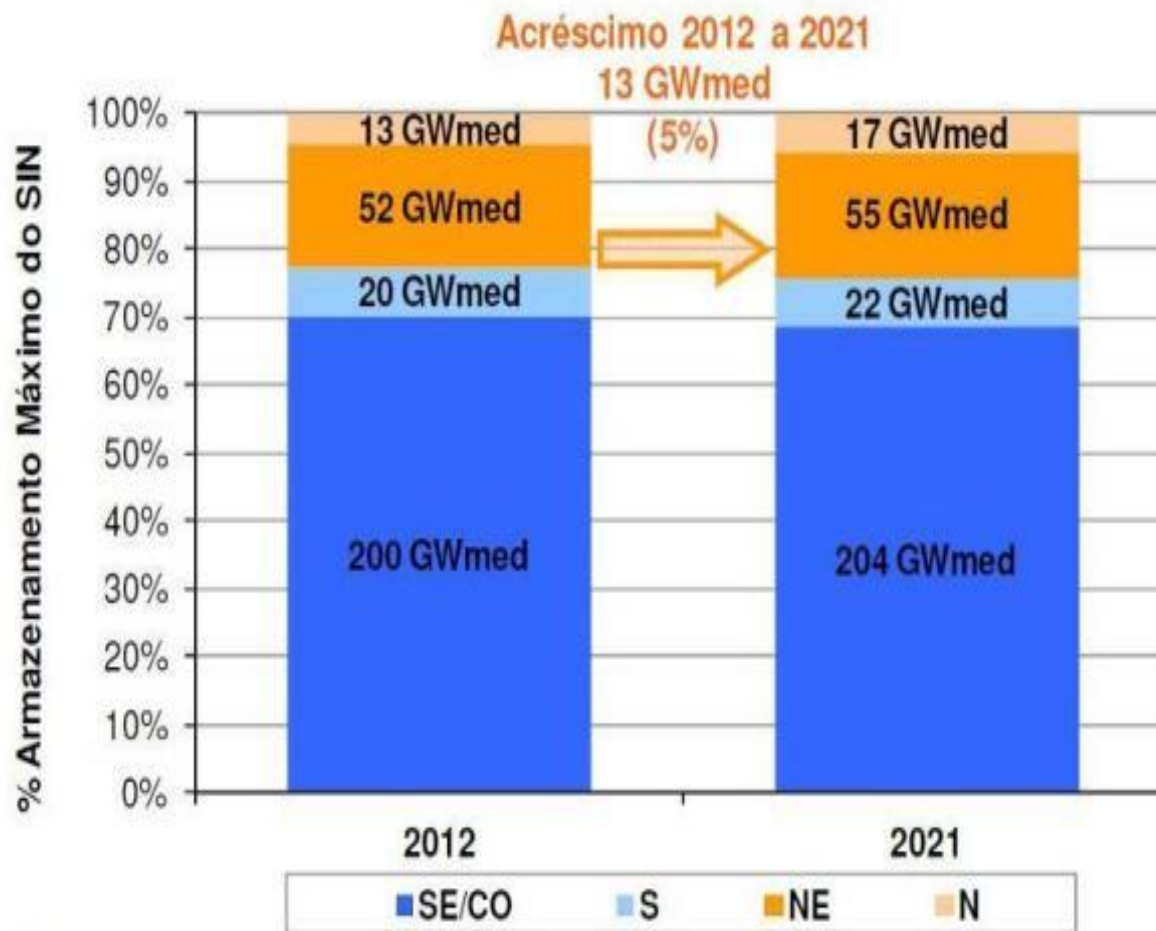
Transição hidrotérmica

Os 13 maiores reservatórios identificados na figura possuem volume útil maior que 5 x 10<sup>3</sup> hm<sup>3</sup> e, juntos, correspondem a 74% do volume útil total acumulado no



# Evolução do armazenamento hídrico

Plano Decenal de Expansão PDE-2021



FONTE: EPE.

# Evolução do armazenamento hídrico

*Contínua perda de auto-regulação requerendo aumento da contribuição térmica na base e na complementação*

Relação entre a Energia Armazenável Máxima e a Carga de Energia





# Perspectivas de expansão hídrica

## Plano Nacional de Energia PNE-2030

Oferta: Eletricidade

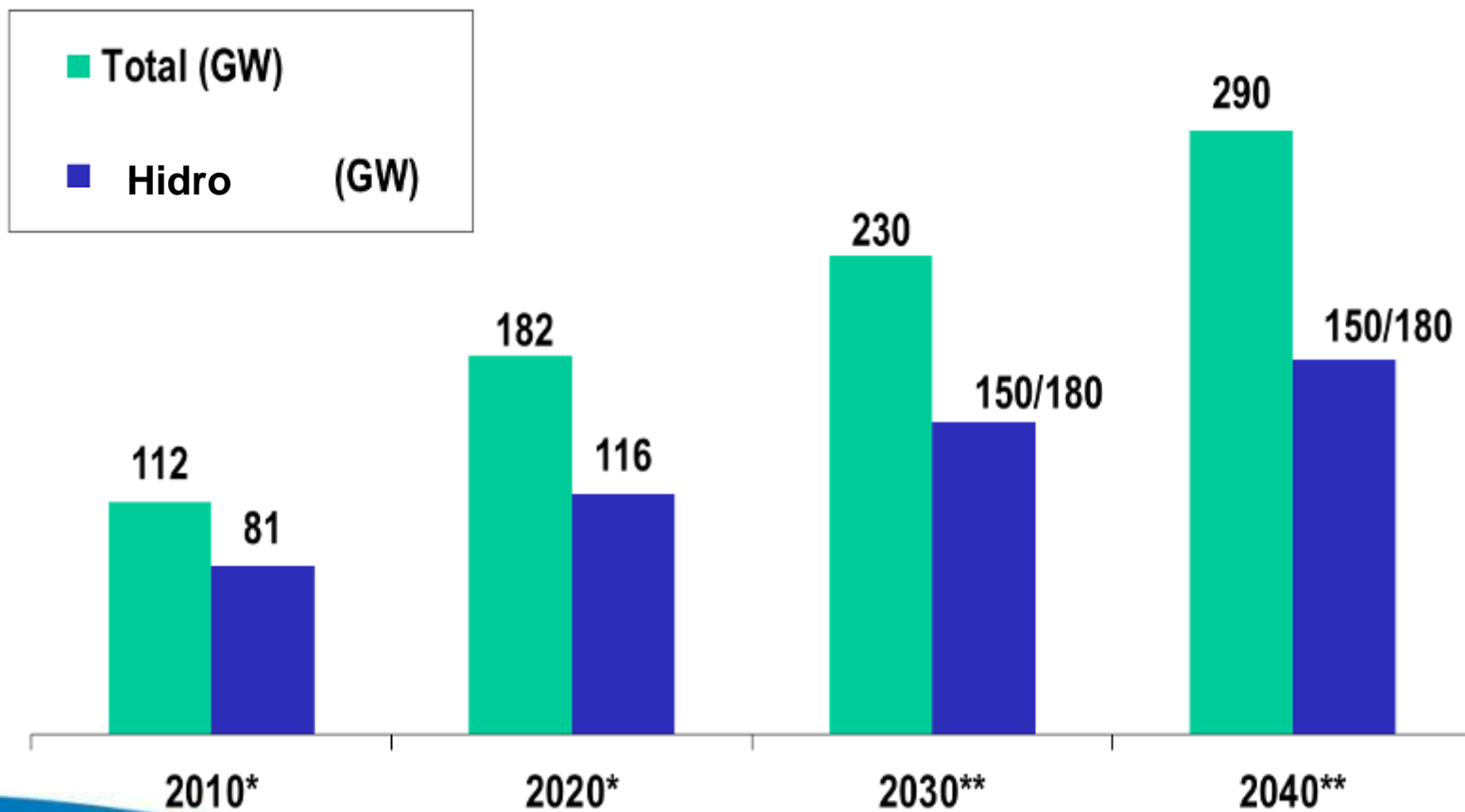
### Critérios para aproveitamento do potencial hidrelétrico

Classe	Descrição	Data mais cedo	Potência GW	%
0	Potencial já aproveitado *	-	68,6	26,3
1	Aproveitamentos considerados no Plano Decenal	2005	30,4	11,6
2	Aproveitamentos em bacias consideradas prioritárias, sem interferência com TI ou UC <sup>1</sup>	2015	19,8	7,6
3	Aproveitamentos em bacias não prioritárias ou próximos a TI ou UC	2020	23,5	9,0
4	Aproveitamentos com grande economicidade mas com interferência em TI ou UC <sup>2</sup>	2025	18,0	6,9
5	Aproveitamentos com grande complexidade ambiental ou baixo nível de investigação	2030	73,7	28,3
<b>SUB TOTAL</b>			<b>234,0</b>	<b>89,7</b>
Potencial de PCH			17,5	6,7
Unidades exclusivamente de ponta			9,5	3,6
<b>TOTAL</b>			<b>261,0</b>	<b>100,0</b>

TI: Terras Indígenas; UC: Unidades de Conservação **Fonte: EPE**

# POTENCIAL HIDRELÉTRICO

Parcela técnica, ambiental e economicamente viável a ser desenvolvida: 150/180 GW do total de 260 GW





# EXPANSÃO PÓS-2030

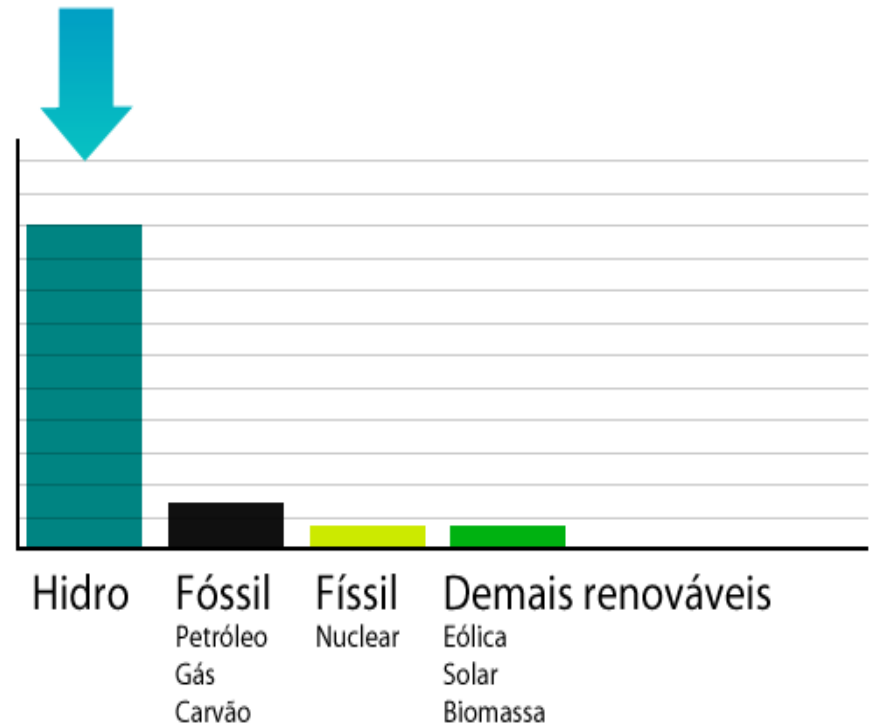
- Mix **Gás natural** (dependendo da quantidade e custo de Pré-Sal), **Carvão** (dependendo da viabilidade de CCS e carvão limpo) e **Nuclear** (aceitação pública)
- Fontes renováveis (**biomassa, eólica, solar**) e expansão dos programas de **eficiência energética** (aumento dos custos marginais de expansão) serão um complemento indispensável

## VANTAGENS COMPETITIVAS DAS NOVAS RENOVÁVEIS ÚNICAS DO BRASIL:

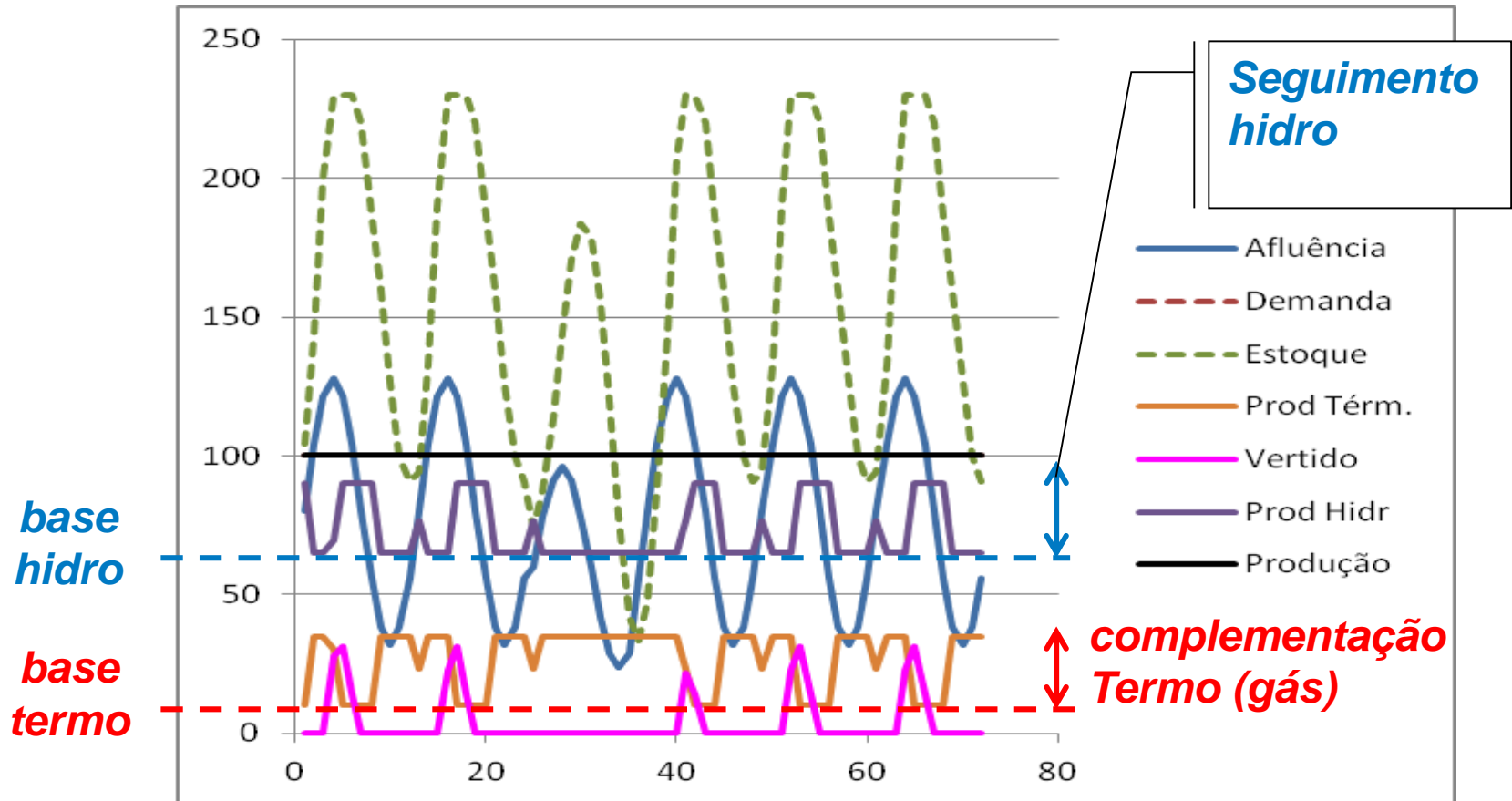
Complementaridade eólica-solar

Complementaridade com as hídricas

- Estocagem de energia nos reservatórios
- **Economizando água**
- Ampliando a capacidade das **hidrelétricas** fazerem **regulação da demanda.**



# Gestão Segura de um Sistema com alta renovabilidade

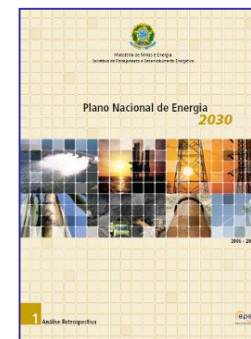


**Base hidro: mínima ENA**

**Base termo: nuclear, carvão**

# Plano Nacional de Energia 2030

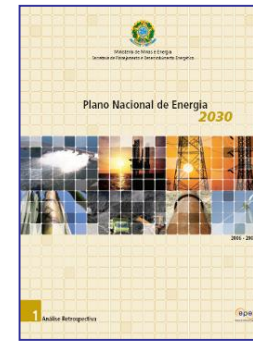
## PREMISSAS PARA EXPANSÃO DA OFERTA NA REDE:



	2007-2015	2016-2020	2021-2025	2026-2030	2016-2030
<b>REFERÊNCIA</b> <i>cenário 1</i> <i>cenário 2</i>	1.360 MW Angra 3	1.000 MW NE 1	1.000 MW NE 2	2.000 MW SE 1+SE 2	4.000 MW
<b>INTERMEDIÁRIO</b> <i>cenário 3</i> <i>cenário 5</i>	1.360 MW Angra 3	1.000 MW NE 1	2.000 MW NE 1+NE 2	3.000 MW SE 1+SE 2+NE 3	6.000 MW
<b>ALTO</b> <i>cenário 4</i>	1.360 MW Angra 3	2.000 MW NE 1+NE 2	3.000 MW SE 1+SE 2+NE 3	3.000 MW SE 3+SE 4+NE 4	8.000 MW

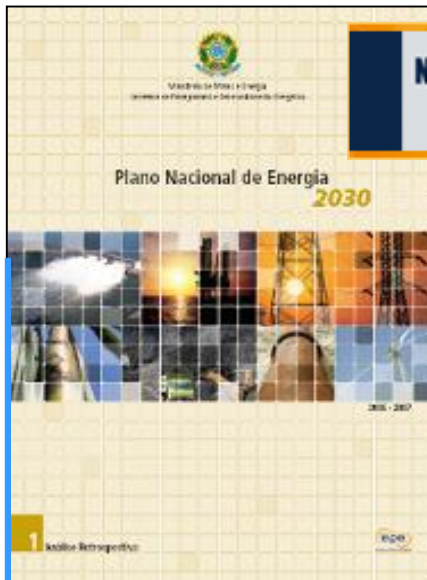
# Plano Nacional de Energia 2030

PREMISSAS PARA EXPANSÃO DA OFERTA NA REDE:



	Cenário “alto” Adicional MW	Cenário “baixo” Adicional MW
BRASIL	9.360	5.360
RÚSSIA	33.760	26.760
ÍNDIA	32.160	16.260
CHINA	43.830	24.830

# Plano Nacional de Energia 2030



## EPRI SITTING CRITERIA SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS



1) Nordeste  
2.000 MW

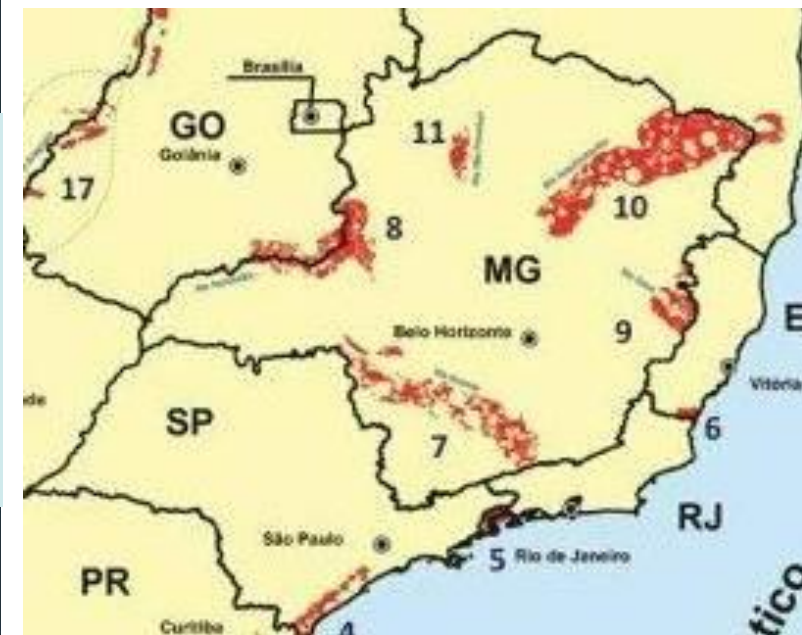
2) Sudeste  
2.000 MW

OPERAÇÃO: 2025 - 2030

**ATLAS DO POTENCIAL NUCLEAR**



# Plano Nacional de Energia 2030





# Plano Nacional de Energia 2030



- **Plant Parameter Envelope**
  - RFIs para fornecedores
  - Early Site Permit Report
- **Brazilian Utility Requirements**
  - Modelo URD/EUR
- **Modelo de Negócios**
  - Participação privada
- **Estudo de viabilidade econômico-financeira**
- **Estudos de impacto sócio-econômico**

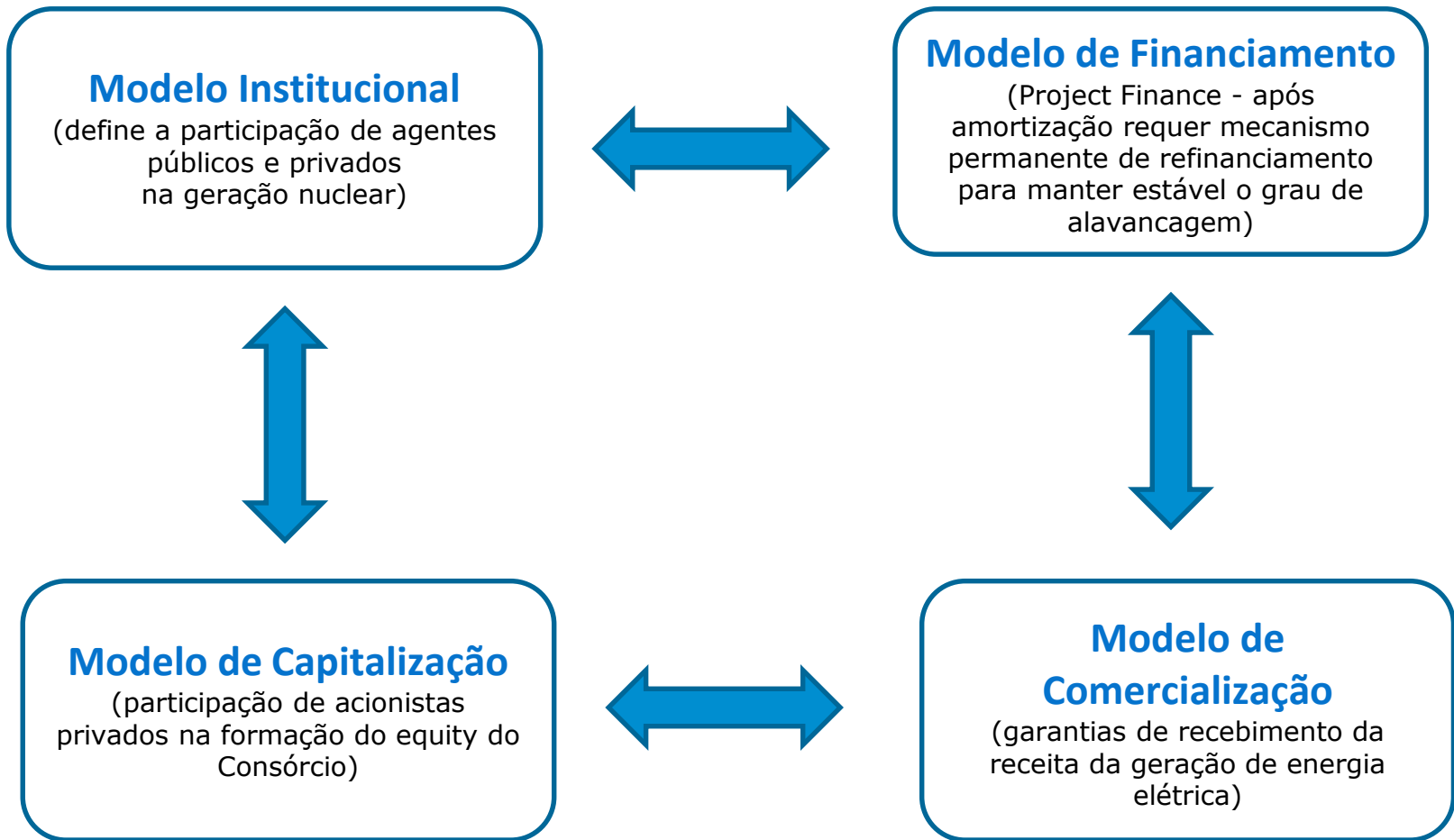


# DESENVOLVIMENTO REGIONAL

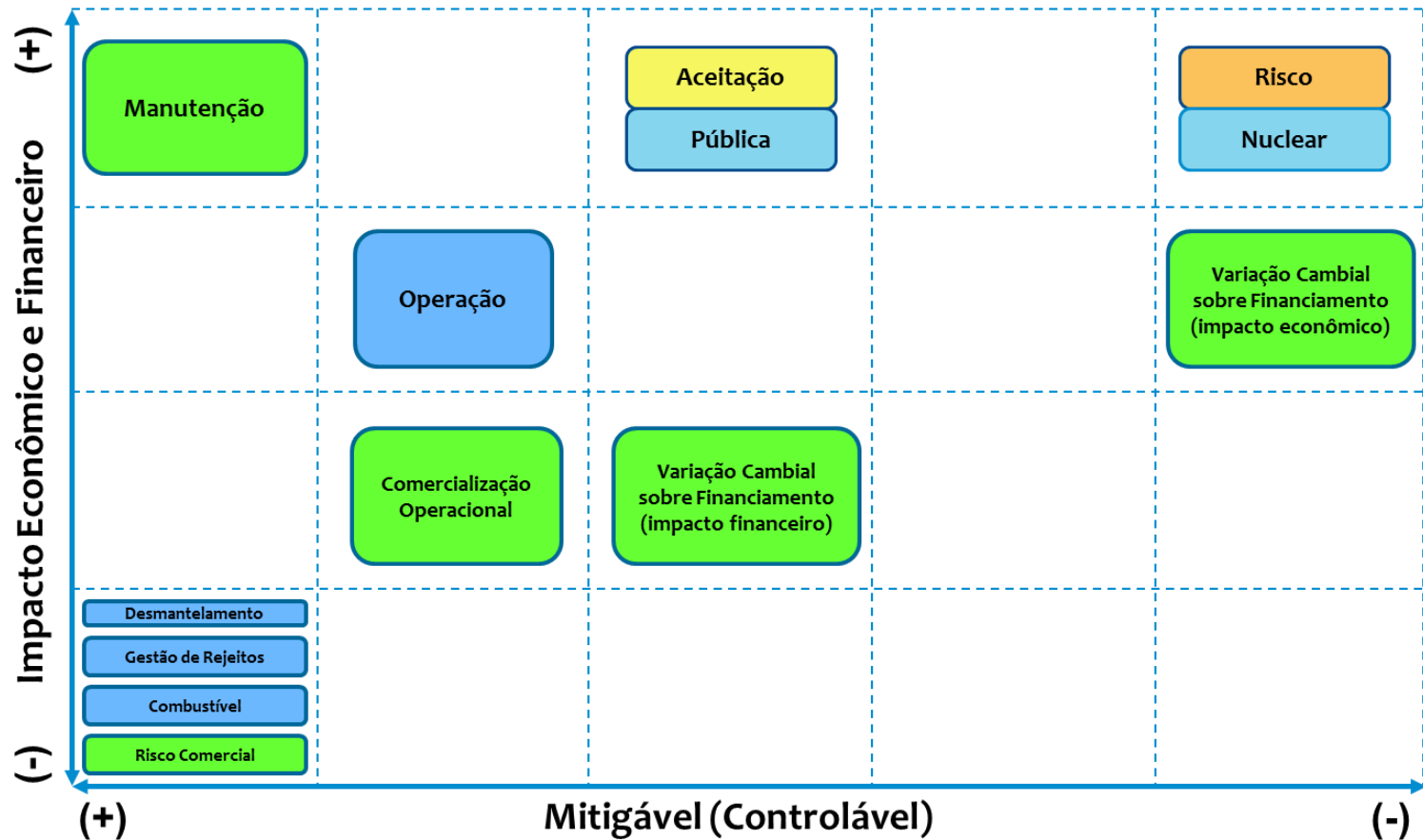
## INSPIRADO NA TVA (EUA)



# UM NOVO MODELO DE NEGÓCIO



# MATRIZ DE ALOCAÇÃO DE RISCOS



Eletronuclear
  Consórcio
  Governo Federal
  Governos Federal e estaduais



# NOVAS USINAS NO BRASIL

## DESAFIOS

### ACEITAÇÃO PÚBLICA

- Liderança do Governo
- Opinião pública ao nível nacional
- Opinião pública ao nível local
- Conquistar apoio do público
  - Fukushima, Chernobyl
  - Gestão de rejeitos
  - Confiança, entendimento e governança dos riscos
  - Benefícios locais e nacionais
    - Diretos e indiretos

### SELEÇÃO DE TECNOLOGIA

- Em operação x construção x projeto
- FOAK x NOAK
- Segurança Passiva x Ativa

### CADEIA DE SUPRIMENTO

- Oportunidade para empresas nacionais
- Potencial de gargalos e atrasos
- Capacitação de pessoal

### FINANCIAMENTO

- De onde virá o capital?
- Barreiras para obtenção de financiamento
- Abordagens alternativas

### MODELO DE NEGÓCIOS

- Inserção no mercado (comercialização)
- Propriedade das usinas
  - Estatal x Privado
  - Nacional x Estrangeiro

# “MITOS” da INDÚSTRIA NUCLEAR

Também temos parte de culpa ...

## Barreiras financeiras

- **Discurso:** escassez de financiamento, ou seu custo, são barreiras para novos projetos nucleares
- **Realidade:** o financiamento não é um pré-requisito – é um resultado.

## SMRs são o futuro

- promovido como alternativa a alguns dos problemas vividos pelos grandes reatores
- a menos que o sistema regulatório seja alterado, eles serão um **produto de nicho**

## Expansão nos países em desenvolvimento

- esses países sofrem dos **mesmos problemas** econômicos e de aceitação pública como nos demais

## Credenciais ambientais

- **Expectativa:** muitas usinas nucleares serão construídas para mitigar as mudanças climáticas, pois é uma “tecnologia verde”
- **Realidade:** nuclear fica sempre fora da agenda “verde” porque o medo que engendra domina a política enquanto suas virtudes são ignoradas
  - Existem e sempre surgem novas alternativas para que os opositores argumentem contra o nuclear

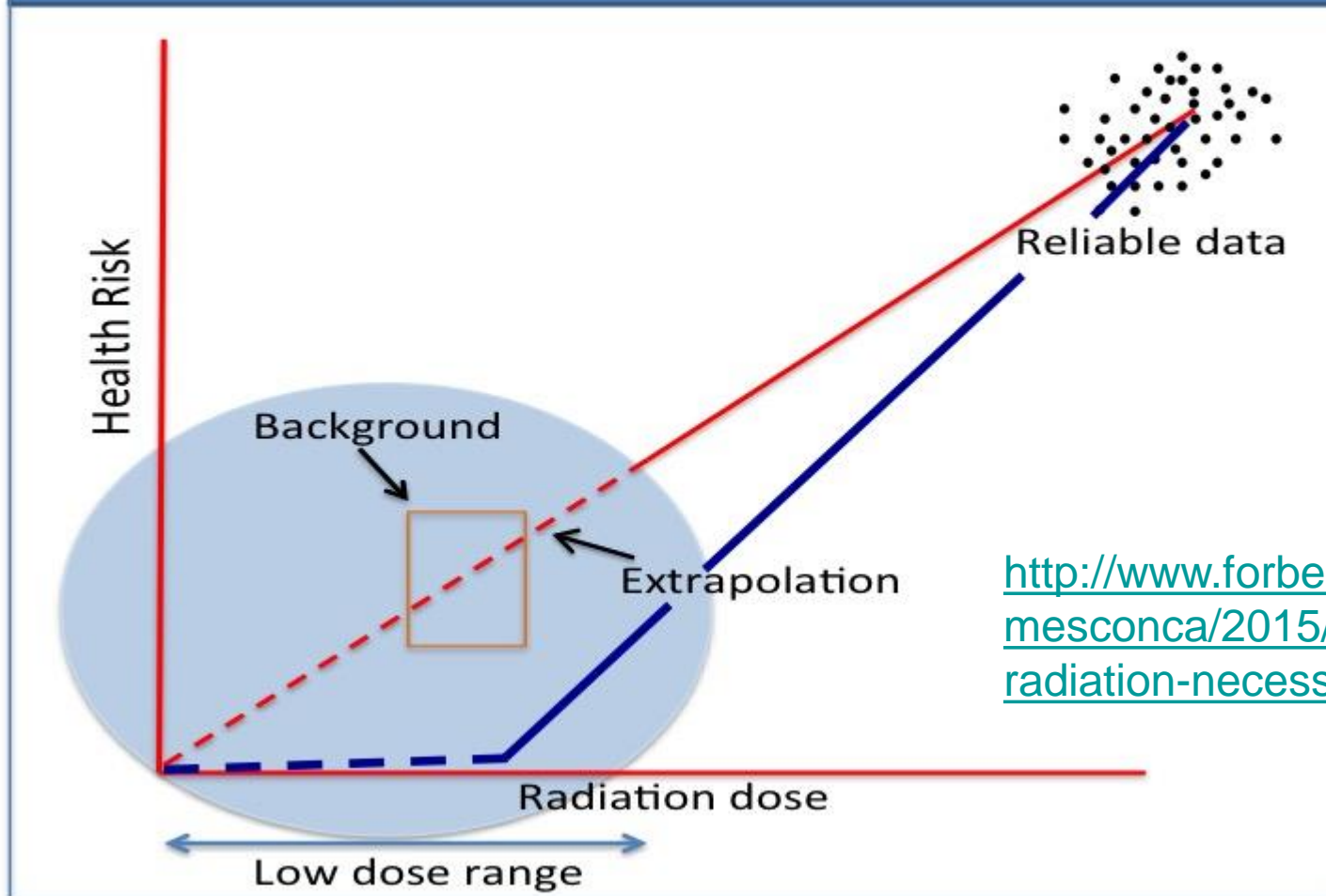
# **Geração Nuclear**

## **BUSCA DO SUCESSO NAS 4 AGENDAS**

<b>Transição tecnológica</b>	<b>(global)</b>
<b>Transição da inclusão social</b>	<b>(global)</b>
<b>Transição energética</b>	<b>(global)</b>
<b>Transição elétrica</b>	<b>(brasileira)</b>

# Is Radiation Necessary For Life?

**Linear no-threshold model (LNT) not biologically predictive at low doses**



<http://www.forbes.com/sites/jamesconca/2015/09/23/is-radiation-necessary-for-life/>



# When Radiation Isn't the Real Risk

New York Times - SEPT. 21, 2015

Disponível: <http://www.nytimes.com/2015/09/22/science/when-radiation-isnt-the-real-risk.html>



Evacuated patients at a hospital near the Fukushima power plant after the nuclear accident in 2011. No one has been killed or sickened by the radiation, according to the International Atomic Energy Agency. But about 1,600 died of causes related to the evacuation. Credit Daisuke Tomita/Yomiuri Shimbun, via Associated Press



# Chernobyl supports 'abundant' mammal life, says new study

**06 October 2015**

A scientific study has for the first time demonstrated that, regardless of potential radiation effects on individual animals, the Chernobyl exclusion zone supports an abundant mammal community after nearly three decades of chronic radiation exposures. The study, conducted by scientists from Belarus, Japan, the UK and the USA was published yesterday in the journal *Current Biology*.

<http://www.world-nuclear-news.org/EE-Chernobyl-supports-abundant-mammal-life-says-new-study-6101501.html>

## **Long-term census data reveal abundant wildlife populations at Chernobyl**

T.G. Deryabina , S.V. Kuchmel , , L.L. Nagorskaya, , T.G. Hinton, J.C. Beasley, , A. Lerebours, , J.T. Smith,

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2015.08.017>

Open access funded by Natural Environment Research Council

[http://www.cell.com/current-biology/abstract/S0960-9822\(15\)00988-4](http://www.cell.com/current-biology/abstract/S0960-9822(15)00988-4)

# MUITO OBRIGADO!

*Leonam Guimarães*

