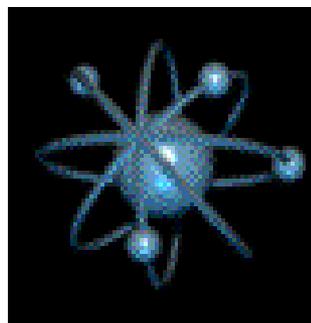


Contribuições da Energia Nuclear para os Desafios do Século 21

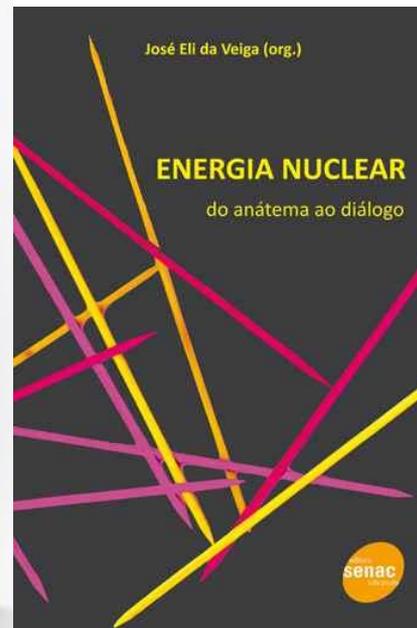
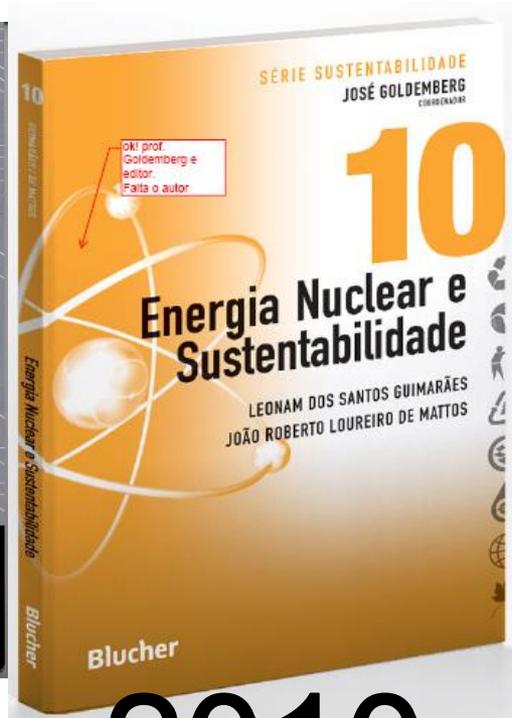
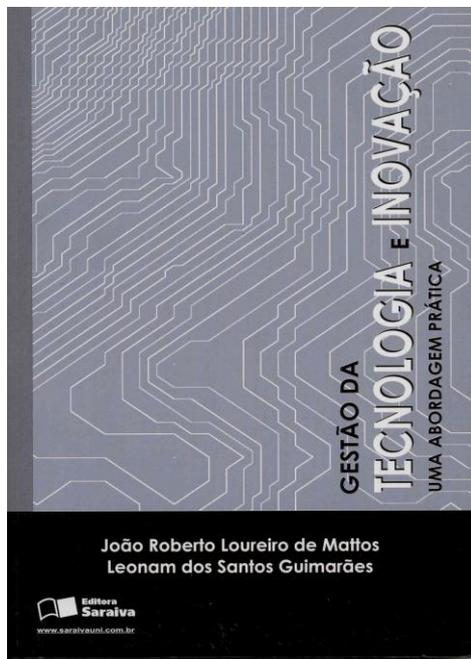


João Roberto Loureiro de Mattos – CDTN
III SENCIR – DEN/UFMG – 04/10/2016

TEMAS INTERESSE: INOVAÇÃO E ENERGIA

JOÃO ROBERTO LOUREIRO DE MATTOS

- Engenheiro Mecânico (UFRGS)
- Mestre em Engenharia Nuclear (UFRGS)
- Doutor em Engenharia Química (UNICAMP)
- Tecnologista do SETRE/CDTN



2005

2010

2011

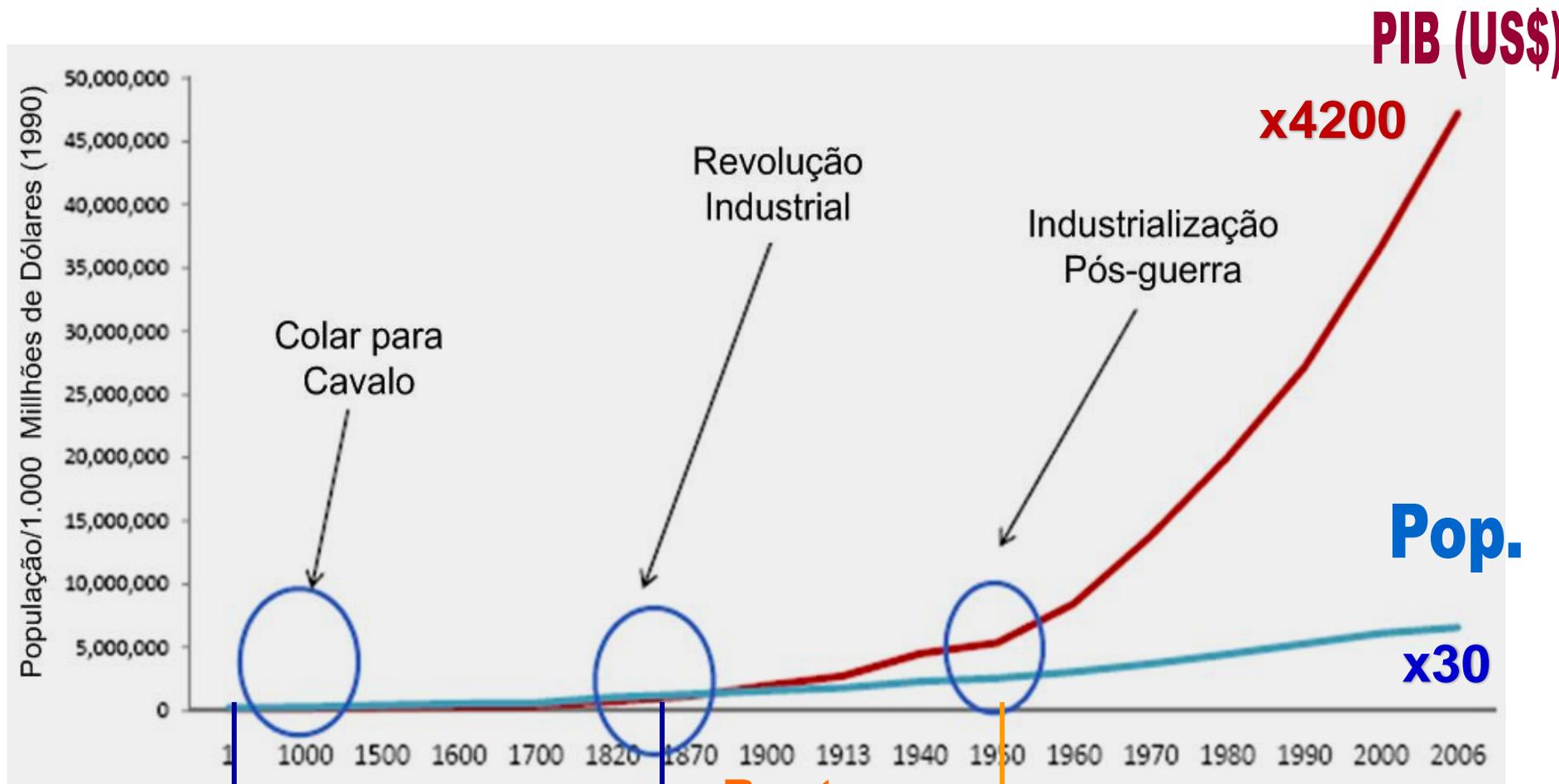
2013

Objetivo da palestra é responder:

1. Por que a Energia Nuclear é importante para o equilíbrio global?
2. Por que a energia nuclear é uma boa opção para contribuir com o desenvolvimento do Brasil?

1. Equilíbrio Global: o maior Desafio da Humanidade

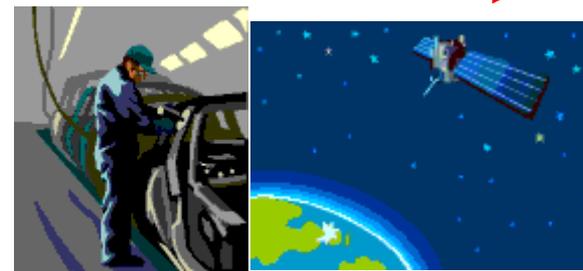
População x Riqueza x Produtividade



O PIB acompanha o crescimento da população

Ruptura

Aceleração



As Revoluções Tecnológicas



Carvão



Petróleo



Nuclear



Hidro



Gás Natural



Eólica/Solar/Biomassa

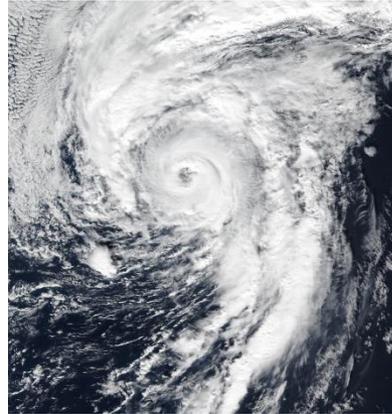


O que implica não cumprir as metas climáticas?

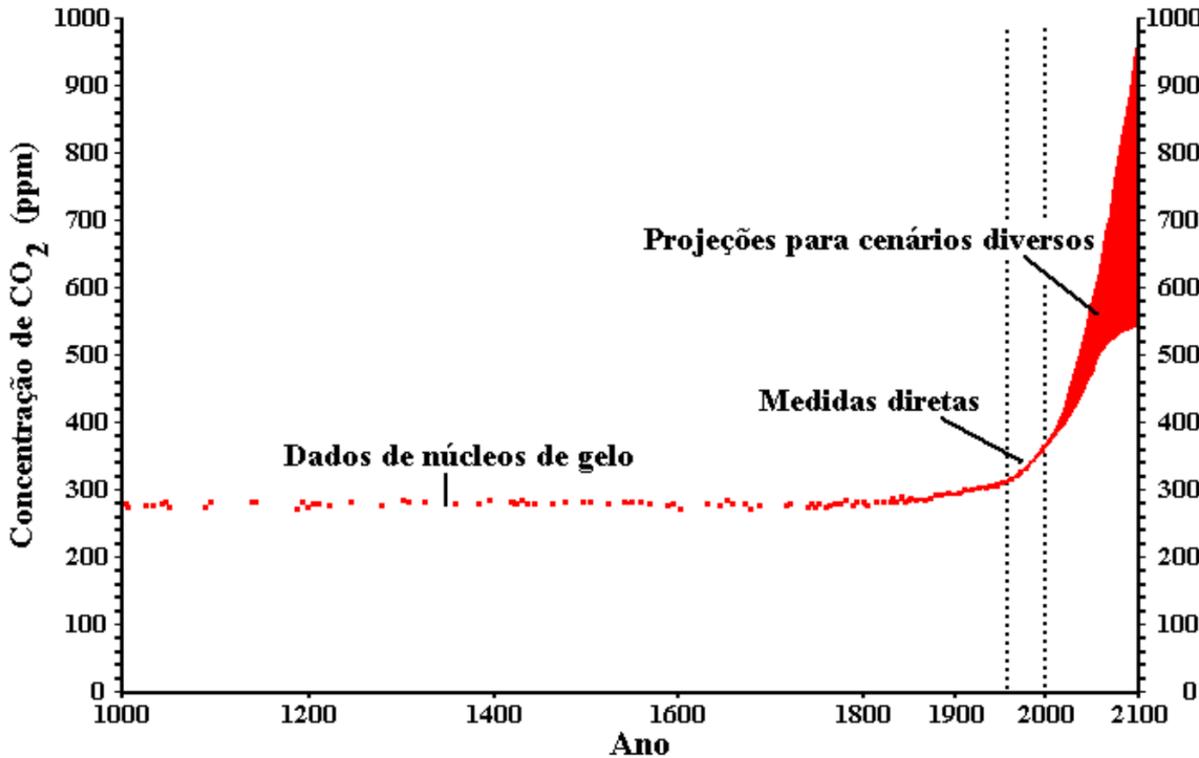
Paris 2016



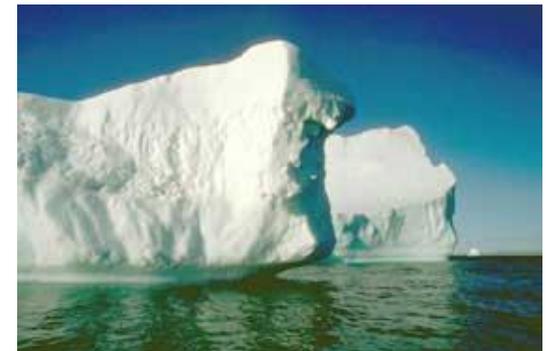
Furacão Gaston 2016



Pequim 2016



**Brasil
2016**





COP 21

Concentração CO₂ eq março 2016: 400 ppm

Aumento da temperatura global média
a dos níveis pré-industriais de equilíbrio

Mudanças já
prováveis e
estabelecidas

Mudanças
prováveis
de
mitigação

Mudanças possíveis
se a resposta de
mitigação for lenta

Mudanças prováveis
sem ação significativa
de mitigação

Regiões
Costeiras

0,2 – 1 m - Aumento do nível do mar e dos danos por tempestades - 0,5 – 3 m

Perda de zonas úmidas costeiras - 30% - 50%

100.000 - Aumento de enchentes costeiras/ano milhões

Saúde

Aumento de doenças, diarreia, doenças cardio-respiratórias e infecciosas

Aumento da mortalidade de calor, secas, inundações

Ecosistemas

Até 30% - Risco de extinção de espécies - Mais de 40%

Aumento de extinção Maloria descolorido Corais Mortalidade Generalizada

Risco de incêndios florestais

Água

Redução da disponibilidade de água e aumento de seca em latitudes médias e baixas

Derretimento das geleiras, suprimento de água ameaçado

Alimentos

Impactos localizados em pequen. proprietários de terra, agric. de subsistência, pescadores

Alguns mudanças - prod. cereais em latitudes baixas - Diminuição de todos os cereais

Riscos irreversíveis

Aumento de risco de reações perig. e mud. abruptas no sistema climático

O Maior Desafio Da Humanidade

- A natureza tem seus limites e com ela não há negociação.
- O Século XXI é crítico para humanidade:
 - Ou vamos confirmar o sucesso de 300 anos de revoluções tecnológicas bem sucedidas, adotando medidas mitigatórias adequadas;
 - Ou vamos experimentar imprevisibilidades e calamidades, que irão consumir de forma crescente a riqueza gerada (vamos trabalhar para pagar os estragos).

2. O Papel da Eletricidade no Equilíbrio Global

Emissões Globais de Gases de Efeito Estufa por Setor da Economia (Fonte: IPCC, 2014)



Geração de Energia
25% CO₂



Edificações
6% CO₂



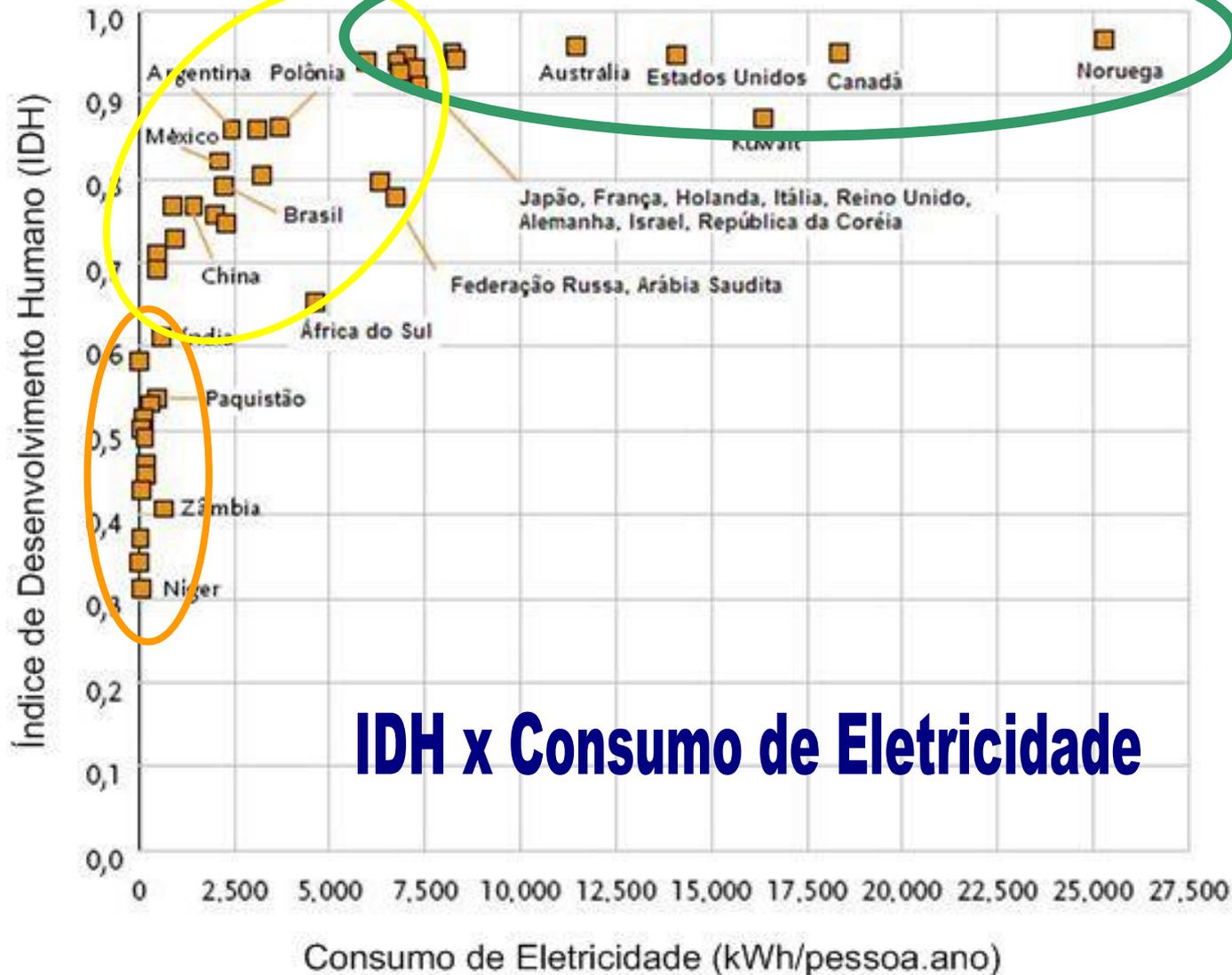
Transporte
14% CO₂



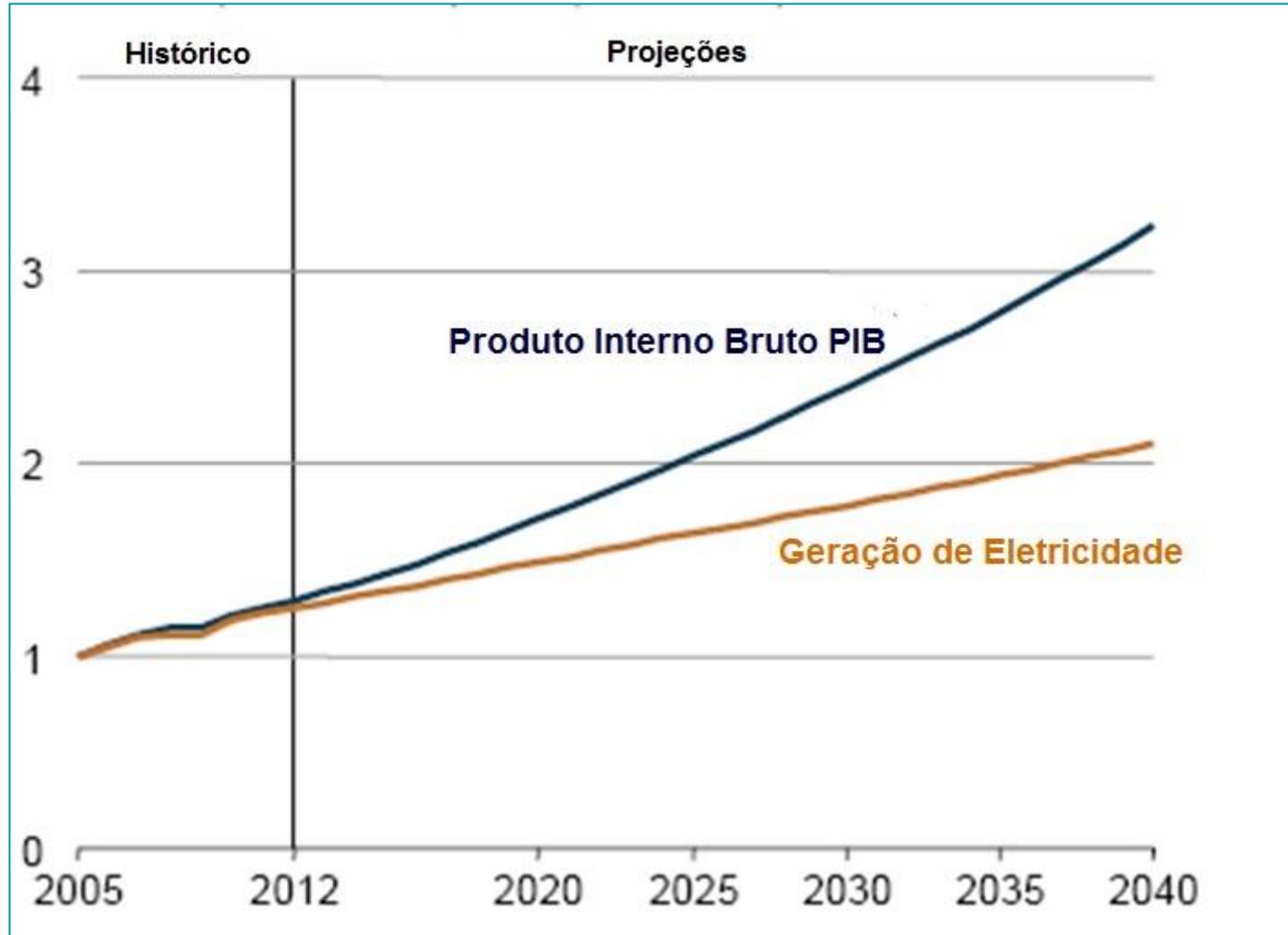
Indústria
21% CO₂

A Eletricidade é Fundamental para o Desenvolvimento

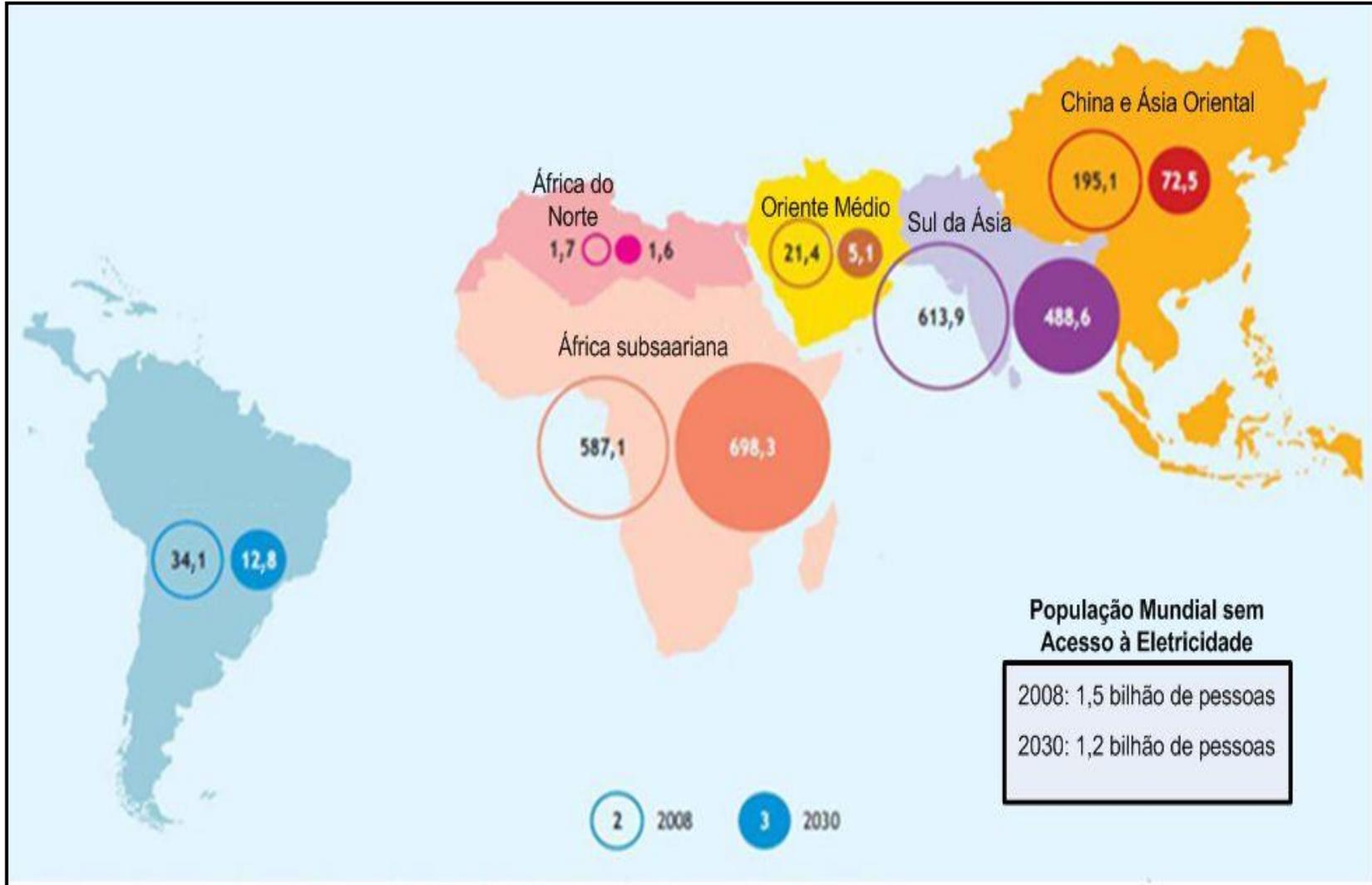
Segurança, Iluminação, Equipamentos, Educação, abrigo



Projeções 2040 (IEA – International Energy Outlook 2016)



Privação de Eletricidade

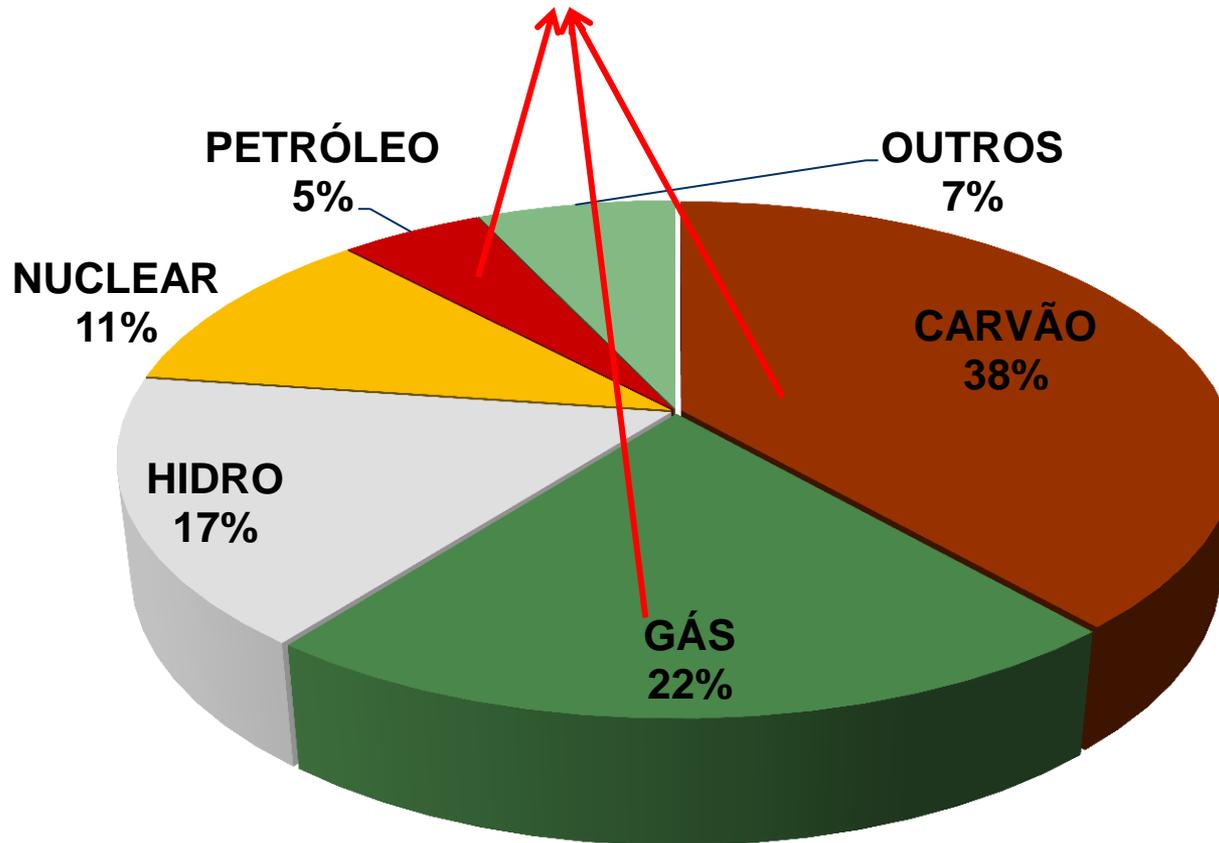


Segurança, Iluminação, Equipamentos, Aprendizado, abrigo

3. Por que a Energia Nuclear é importante para o Equilíbrio Global?

Produção de Energia Elétrica por Fonte

65% combustíveis fósseis

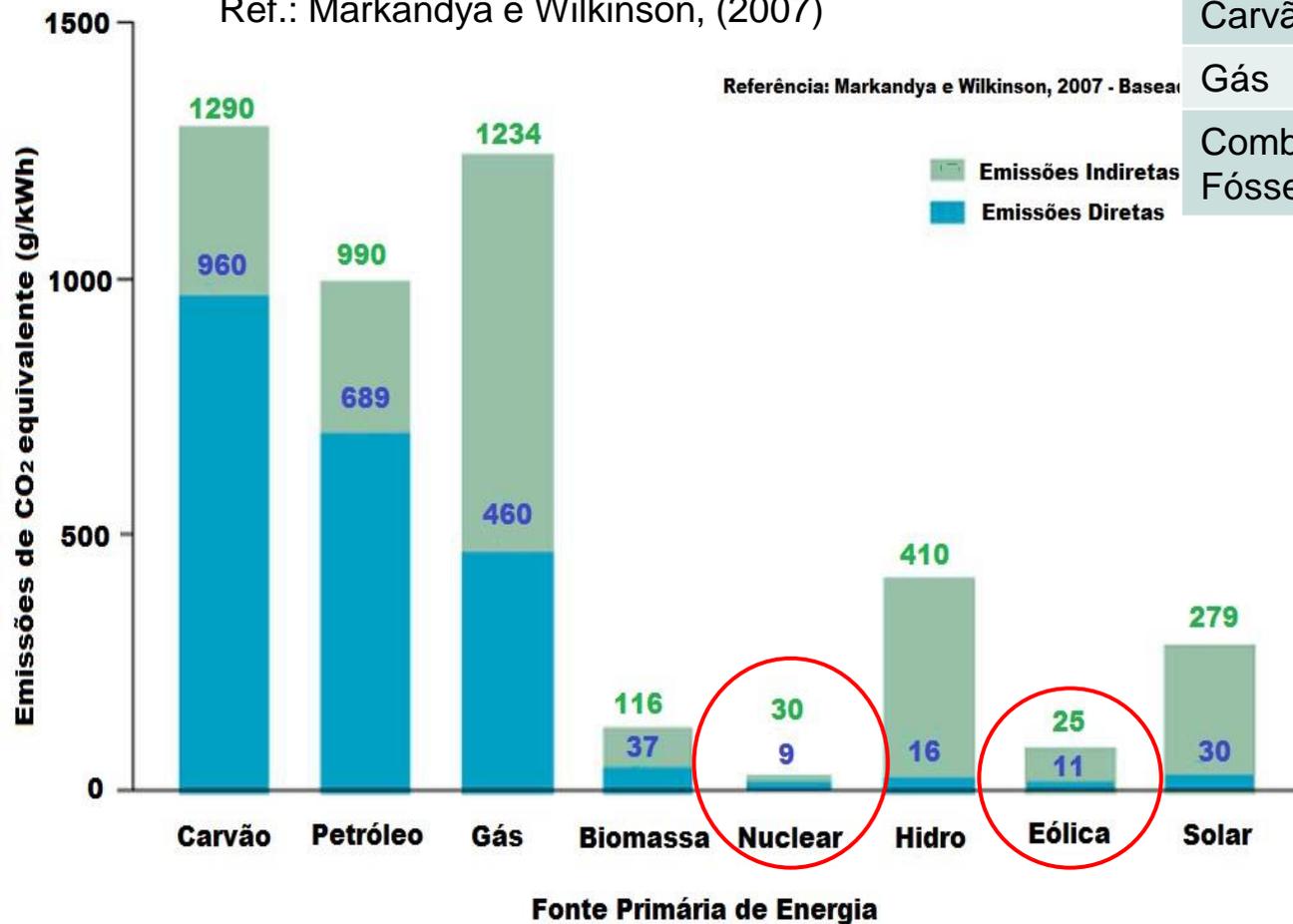


Emissões de CO₂ por Fonte de Energia na Geração Eletricidade

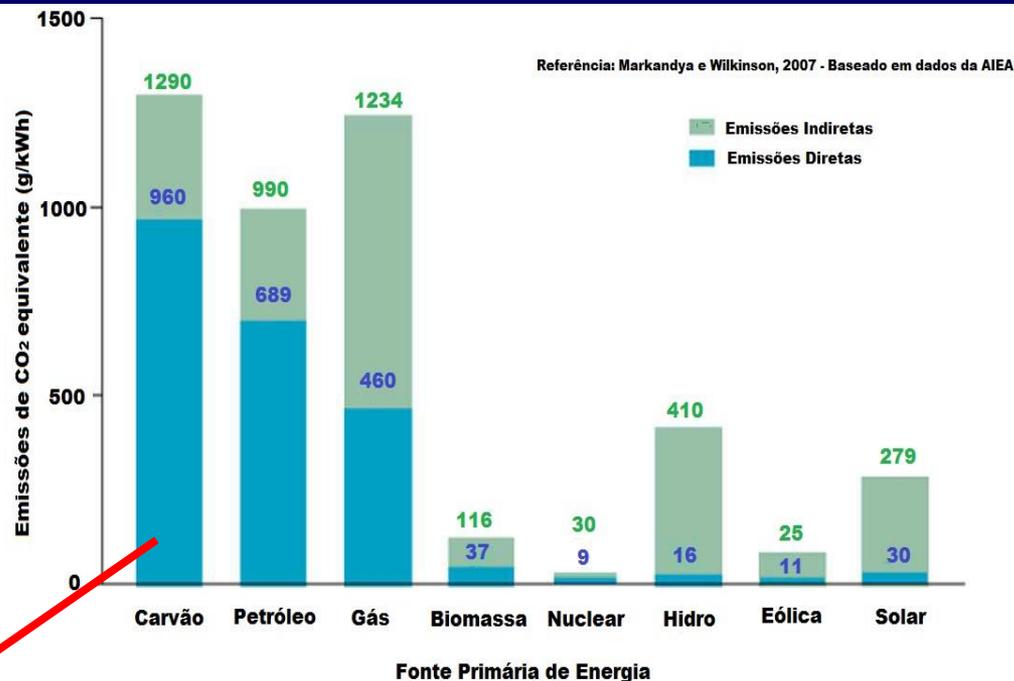
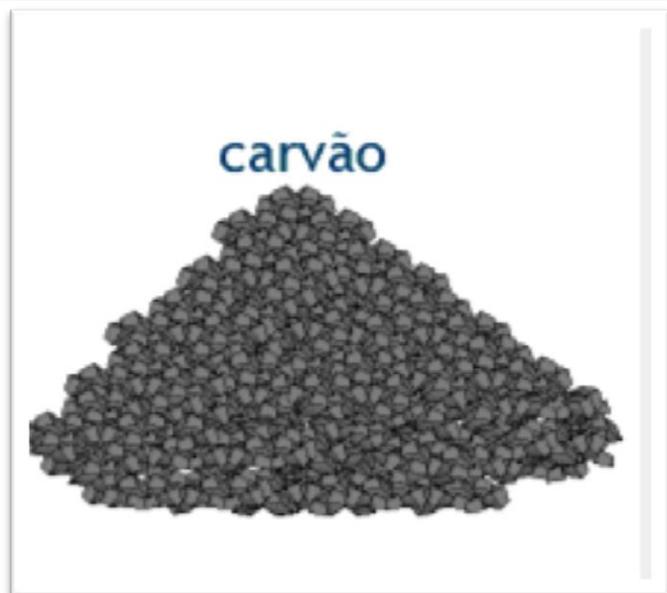
5º Relatório Avaliação do IPCC (2014)

Fonte de Energia	gCO ₂ /kWh(e)
Eólica e Nuclear	12
Hidro	24
Solar	28
Biomassa	220
Carvão	920
Gás	490
Combustíveis Fósseis CCS	160-220

Ref.: Markandya e Wilkinson, (2007)



Os Problemas Ambientais do Uso do Carvão



1 Gwe produzido com carvão gera 400.000 toneladas/ano de cinzas e 8 milhões de toneladas/ano de gases de efeito estufa

Energia Nuclear: Questão de Saúde Pública na China

**Pequim é hoje o que
foi Londres em 1952**



LONDRES 1952

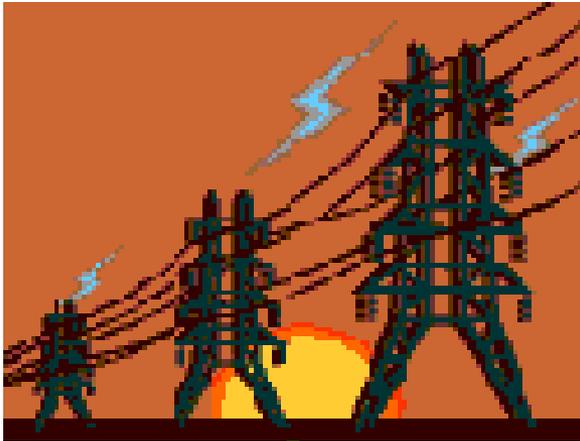
Efeito da Poluição das Usinas a Carvão

- *4.000 pessoas morreram em quatro dias. Outras 8.000 vítimas morreriam nas semanas e meses seguintes.*
- *A causa não foi uma violenta catástrofe natural. A causa foi confluência de eventos meteorológicos comuns que fizeram com que poluentes atmosféricos fossem concentrados sobre a cidade.*



Meta COP21: Reduzir CO₂ na Geração Elétrica

ENERGIA ELÉTRICA
GERA 25% CO₂



Reduzir a participação



**Petróleo
& Gás**

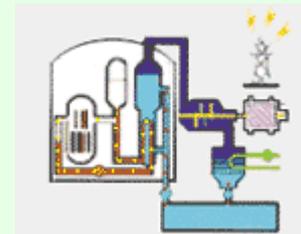


Carvão

Aumentar a participação



Renováveis



Nuclear

Nuclear: Menor Custo

Fonte	US\$/MWh
Eólica onshore	40 - 180
Eólica offshore	130-270
Solar	100-350
Hidrelétrica	25-250
Novas Usinas Nucleares	40-100

Relatório de Mudanças Climáticas e Energia Nuclear 2016
Fonte: Agência Internacional de Energia Atômica

Maior Densidade, Fator de Capacidade e Menor Uso do Solo



carvão

8 kWh/Kg

Bateria Chumbo-Ácido



40 kWh/Kg



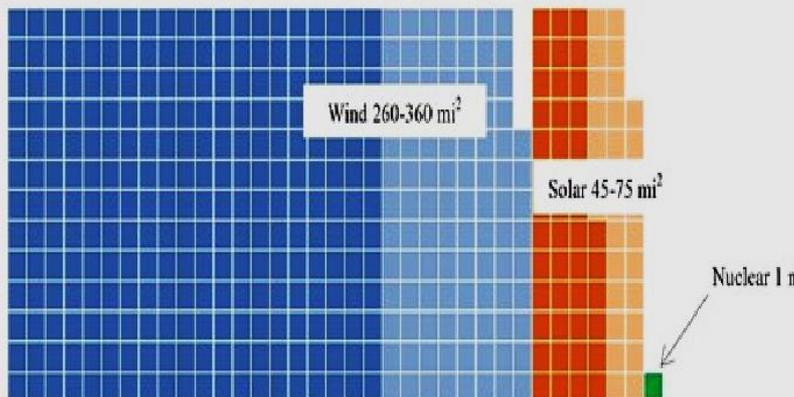
24.000.000.000.000 kWh/Kg

Tecnologia	Fator de Capacidade e %	Capacidade Instalada	mi ² para produzir 1.000 MW
Eólica	32-47	1.900 MW a 2.800 MW	260-360
Solar	17-28	3.300 MW a 5.400 MW	45-75
Nuclear	90	1.000 MW	1

Fonte: Nuclear Energy Institute – Jul, 2015 – EUA

Nenhuma instalação solar ou eólica, atualmente em operação nos EUA é grande o suficiente para igualar a geração de um reator nuclear de 1.000 MW.

O maior parque eólico do país, Alta Wind Energy Center na Califórnia: 1.548 MW. As maiores centrais solares fotovoltaicas de 550 MW são a Topaz Solar Farm e Desert Sunlight Solar Farm, ambas na Califórnia. Entre seis(6) e dez (10) dessas instalações seriam necessárias para igualar a produção média anual de 1 usina nuclear.

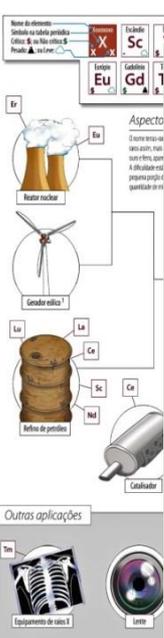


4. Questões Adicionais que Limitam a Expansão das Energias Renováveis

Cadeia de Suprimento

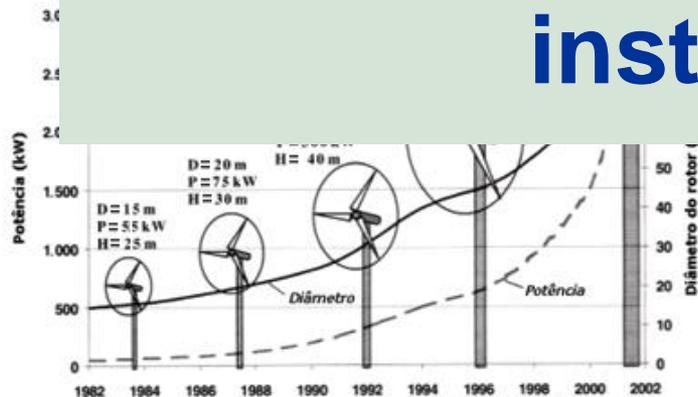
Mil e uma utilidades na alta tecnologia

Os elementos de terras raras têm características eletrônicas, ópticas, magnéticas e catalíticas, associadas a leveza, resistência e eficiência energética. Veja onde estão os terras raras e em que produtos eles são aproveitados



- Tecnologias eólica e solar dependem crescentemente das terras raras

As fontes são renováveis, mas seu aproveitamento depende de insumos não renováveis e com cadeias de suprimento sujeitas a instabilidades



neodímio no seu ímã permanente

Estocagem de Eletricidade - problema antigo e não resolvido



1881-1899: Carro Elétrico de Ford e Thomas Edison ia ser lançado em 1914, mas foi descontinuado por um **desentendimento com relação ao tipo de bateria**. A Ford teria investido, em valores da época, cerca de US\$ 1,5 milhão.



2016: O Tesla Modelo S, por exemplo, requer uma bateria de dois metros de comprimento, instalada no chão da carroceria, e sua recarga é muito mais lenta do que a de combustível. O desafio para tornar o carro elétrico dominante nas ruas do mundo: **suas baterias ainda são grandes, pesadas e caras**.

Estocagem de Eletricidade - problema antigo e não resolvido

Transporte



Solar



Eólica



Desafio

**Estocar
eletricidade**

Solução



**Inovação
Baterias**

- Novas tecnologias promissoras estão em desenvolvimento.
- Porém, depois 216 anos a solução tecnológica para baterias continua sendo não trivial.
- Prazo de viabilidade para baterias adequadas ainda é incerto.
- Altamente improvável surgir uma solução em horizonte próximo.

Resposta para uma Pergunta Recorrente

As renováveis, sem a nuclear, poderiam ser a única solução para aumentar oferta de eletricidade e controlar emissões de CO₂?

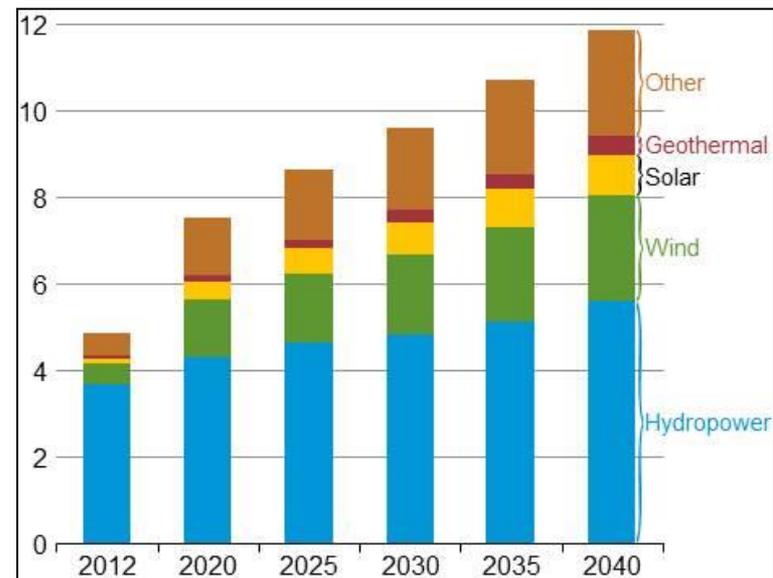
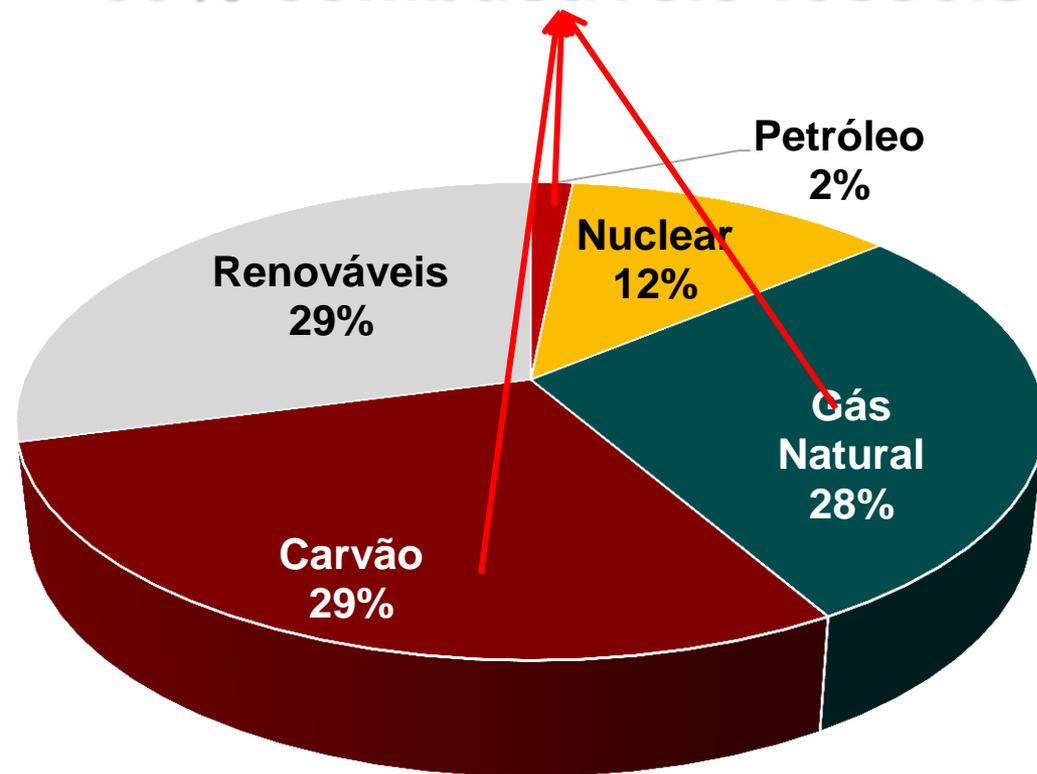


Não

- Não são aplicáveis a todos os países (água, ventos e insolação)
- Baixo Fator de Capacidade (intermitência).
- Uso intensivo do solo (baixa densidade).
- Alta dependência de matérias primas críticas (mercado instável).
- Falta de solução tecnológica para armazenamento de energia em horizonte próximo: demandam backup (usualmente de fonte termoelétrica).

Em 2040 a Produção de Energia Elétrica Deve Dobrar

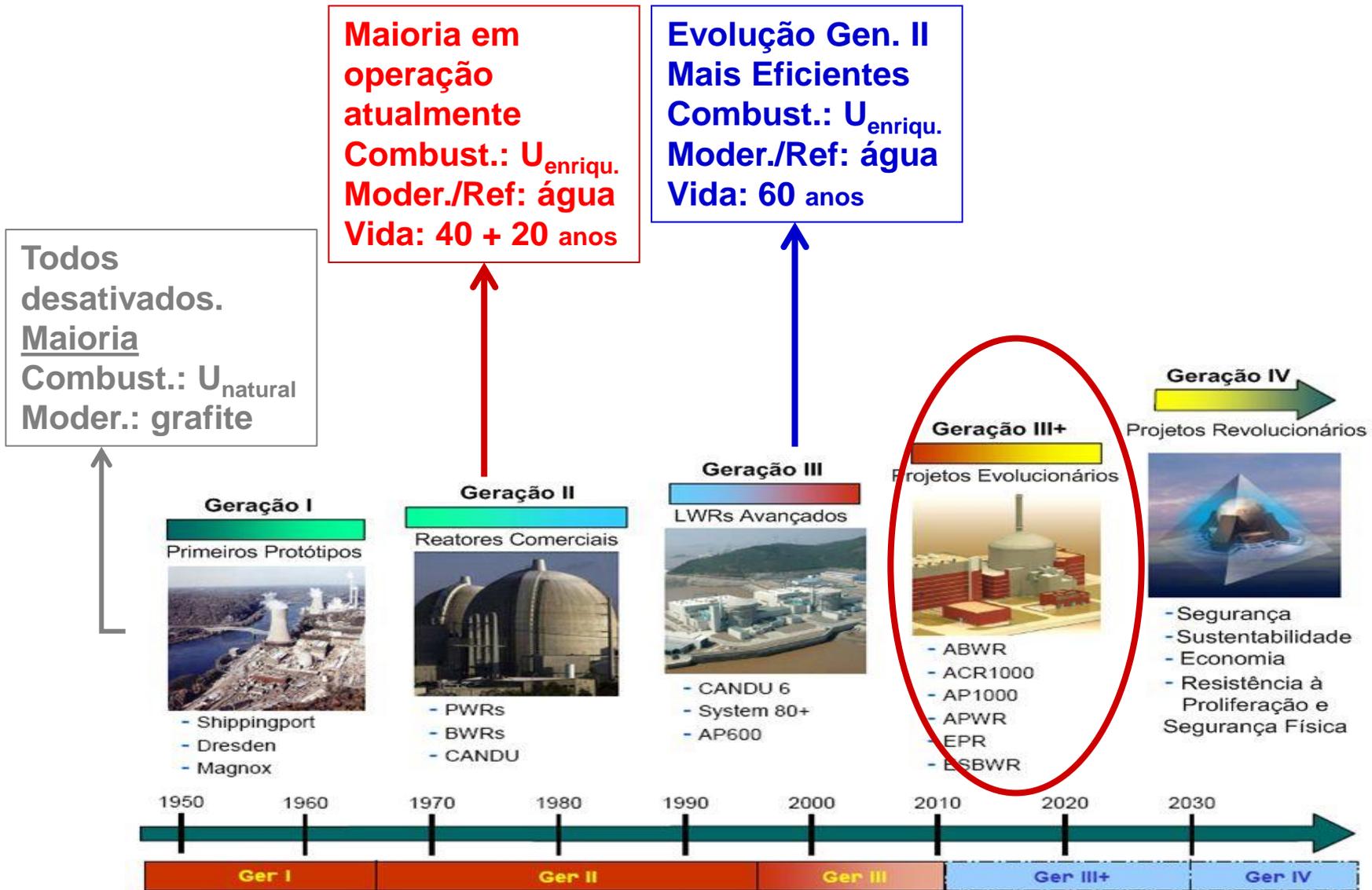
59% combustíveis fósseis



Fonte	Situação em relação ao ano 2012
Petróleo	Redução 47%
Carvão	Aumento 23%
Gás nat.	Aumento 110%
Renováveis	Aumento 124%
Nuclear	Aumento 92%

5. Tecnologia Nuclear no Horizonte 2030

Tecnologia Nuclear no Horizonte 2030



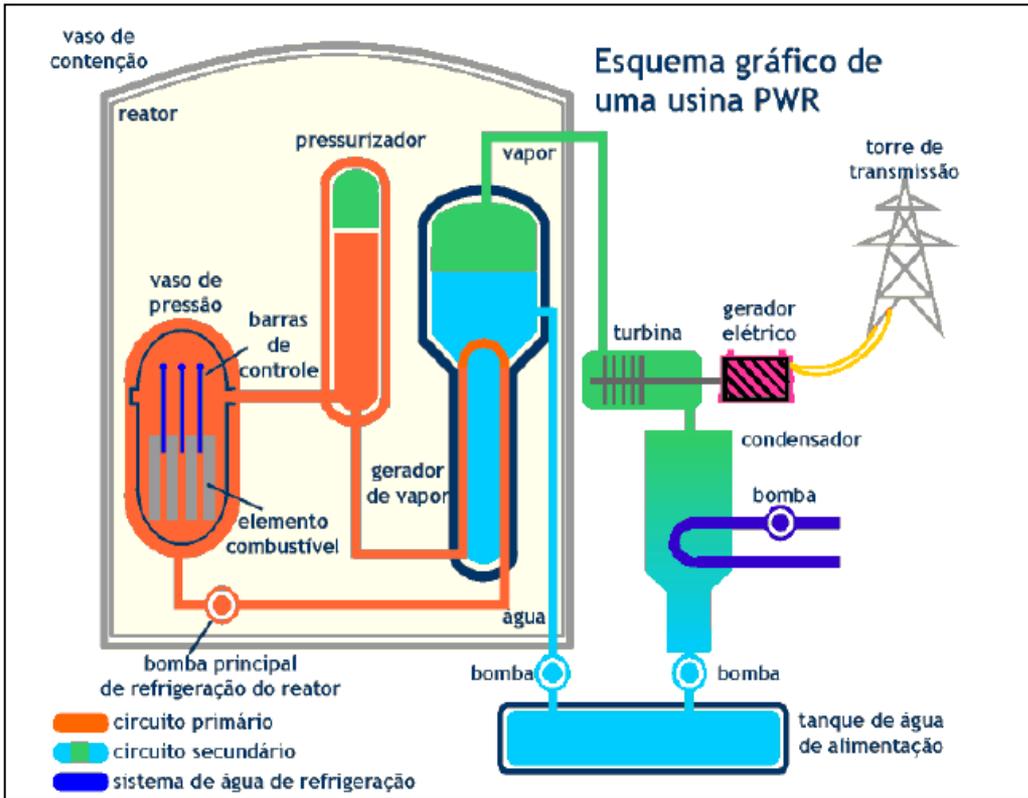
Geração III+

- Características: simplificação, padronização, tecnologia provada, estabilidade regulatória entre outros.
- Incorporaram sistemas “passivos” de segurança. Independem da ação humana ou do fornecimento de eletricidade.
- Os sistemas passivos baseiam-se em fenômenos físicos naturais (gravidade, convecção, resistência dos materiais à variação de temperatura)
- Possuem uma estrutura de construção modular, que reduz o custo e tempo de construção.

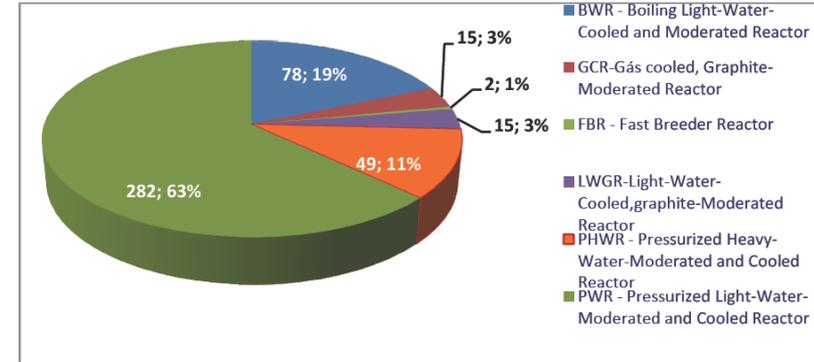
Tecnologias Geração III+ Disponíveis

- **ABWR** (*Advanced boiling water reactor* – BWR avançado) desenvolvido pela GE-Hitachi. Existem quatro operacionais no Japão, que estão passando por revisão pós Fukushima, e outras planejadas no Japão, Taiwan e Lituânia.
- **AP1000** da Westinghouse, americana, cuja proprietária majoritária atualmente é a Toshiba. É baseado no modelo PWR e unidades estão sendo construídas na China e nos EUA, além de outras planejadas na China e Índia.
- **APR1400** da KEPCO, empresa sul-coreana, também é baseado no modelo PWR. A primeira unidade entrou em operação comercial no país em janeiro de 2016. Unidades estão em construção nos Emirados Árabes Unidos.
- **EPR** (*European pressurized water reactor* – PWR europeu) da Areva, cujo maior acionista é o governo francês. Unidades estão em construção na China, Finlândia e França.
- **VVER-1200** da Rosatom, a estatal nuclear russa, baseado no modelo PWR. Unidades estão em construção na Rússia.
- **ESBWR** (*Economic Simplified BWR* – BWR simplificado e econômico) da GE-Hitachi. Tem unidades em fase de planejamento nos EUA.

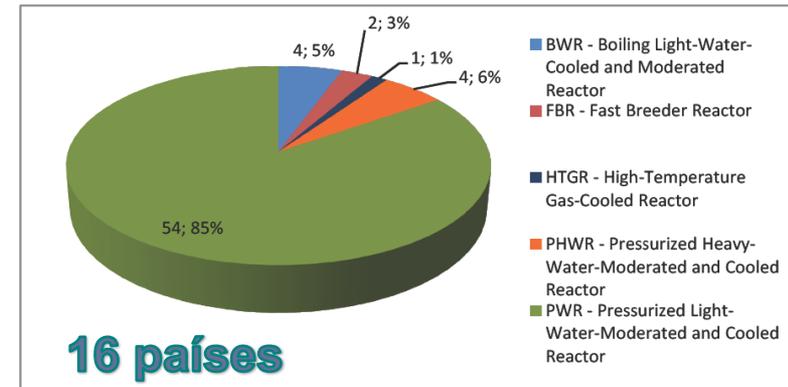
Reatores Nucleares



441 operacionais: AIEA Dez2015



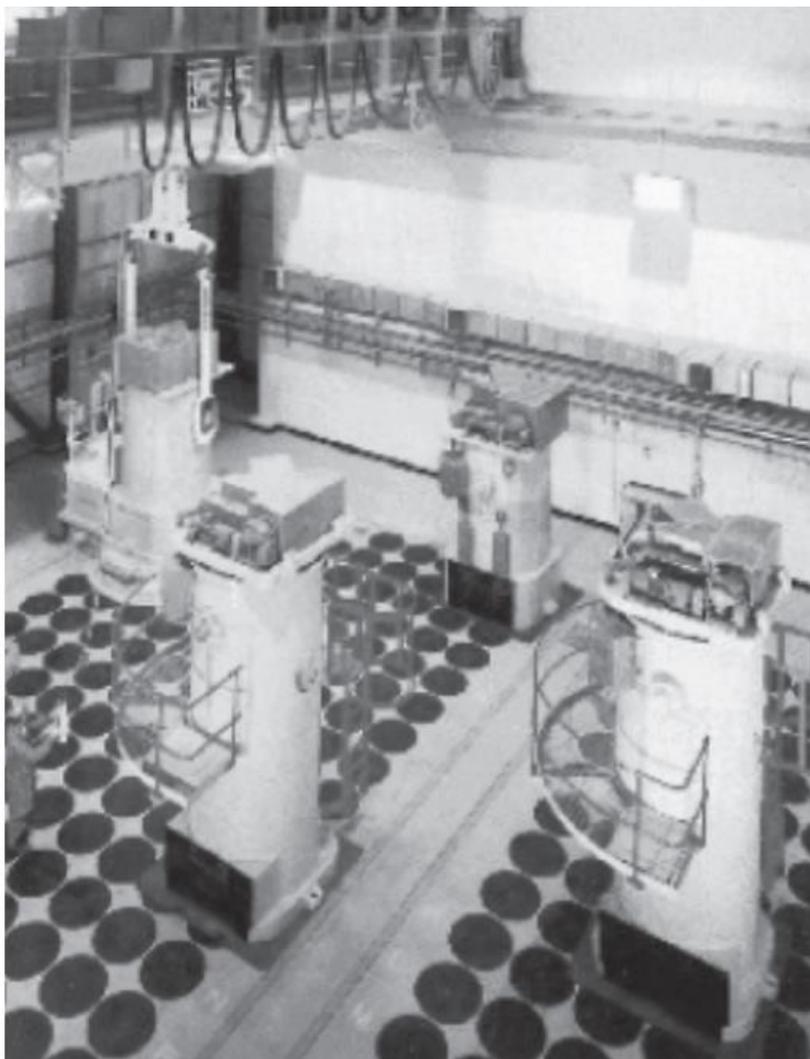
67 construção: AIEA Dez2015



2030: Mais reatores de Geração III+ em construção – manter ou aumentar a participação da Energia Nuclear na Matriz Elétrica

6. Inovações na Energia Nuclear – Horizonte 2050

Resíduos Nucleares Produzidos para Gerar 1 GWe



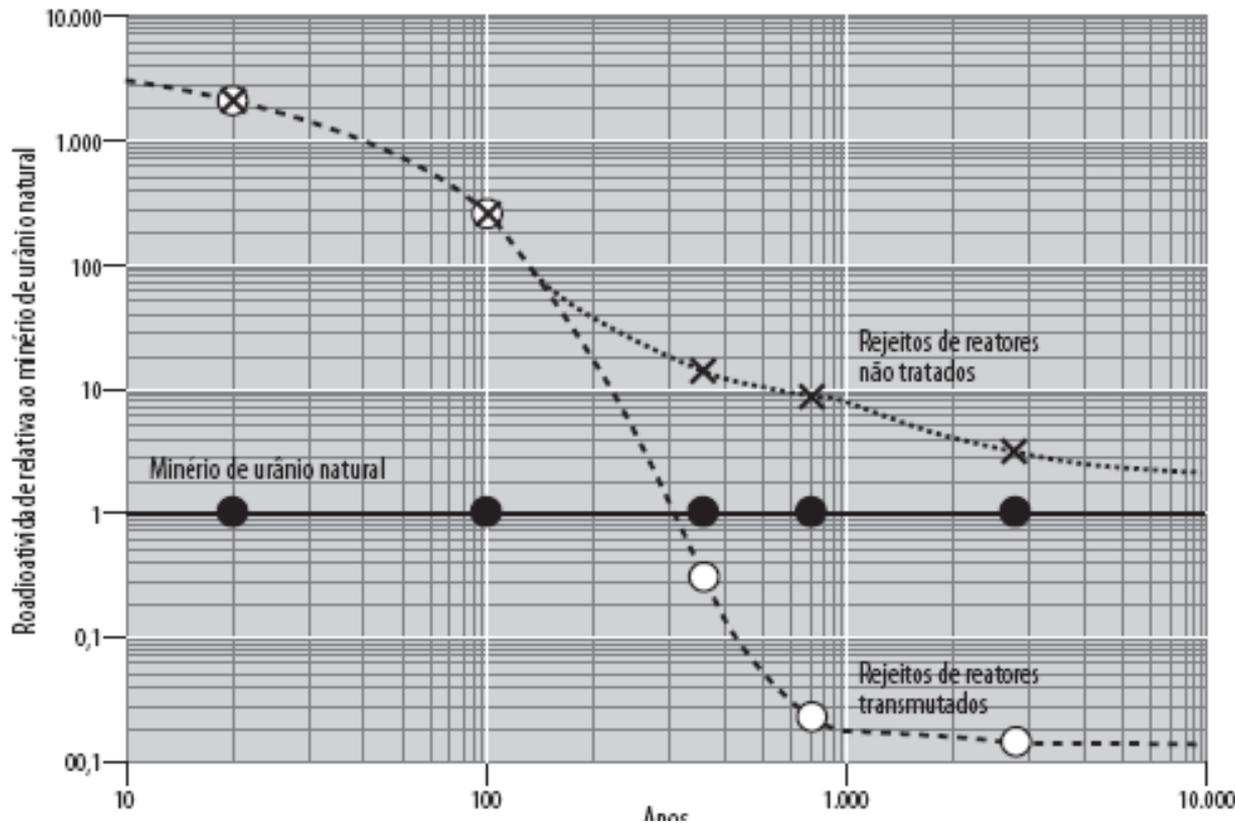
Silos carregados com ampolas contendo rejeitos de alta atividade vitrificados no Reino Unido. Cada disco no chão cobre um silo com dez ampolas.

1 GWe nuclear gera direta e indiretamente:

- 200 a 350 m³ /ano de rejeitos de baixa e média atividade;
- 20 m³ (**27 toneladas**) de combustível irradiado que, se reprocessado, resulta em apenas **3 m³** de rejeitos vitrificados (vidro)

- **É a única indústria que assume a responsabilidade de 100% dos rejeitos gerados;**
- **Gera a menor quantidade de rejeitos;**
- **Possui tecnologia para gestão desses rejeitos.**

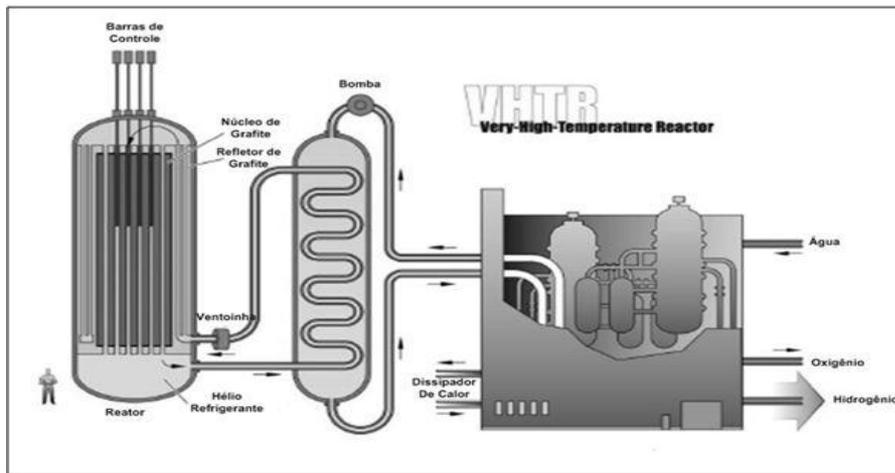
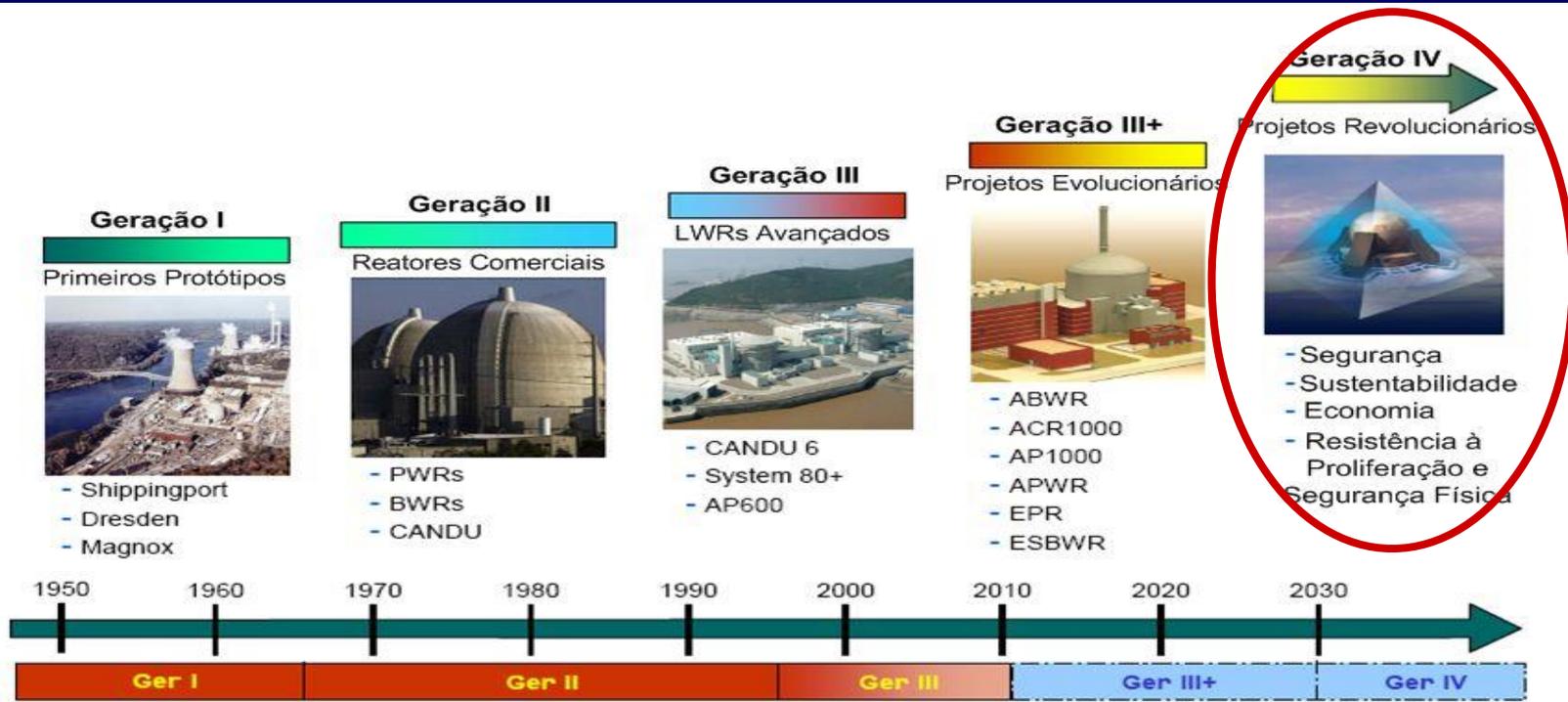
Redução da radiotoxicidade dos combustíveis usados.



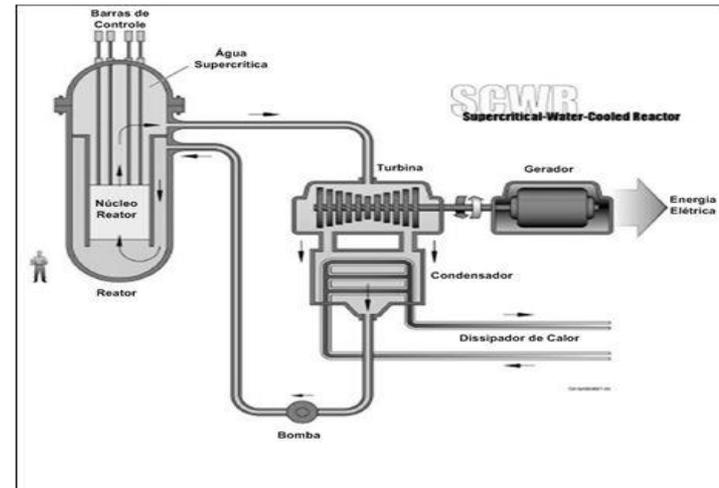
Fonte: NE/DOE
Advanced Fuel Cycle
Initiative, Office of
Nuclear Energy,
Science and
Technology, jan.
2006.
Disponível em:
<<http://www.gnep.gov/pdfs/AFCI.pdf>>.

A reciclagem de actinídeos do combustível permitirá: 1) reduzir a quantidade e radiotoxicidade dos rejeitos, 2) ampliar o uso efetivo e reduzir os custos da reposição geológica, 3) reduzir os inventários de plutônio e 4) recuperar a energia ainda presente no combustível nuclear

Evolução dos Reactores Nucleares

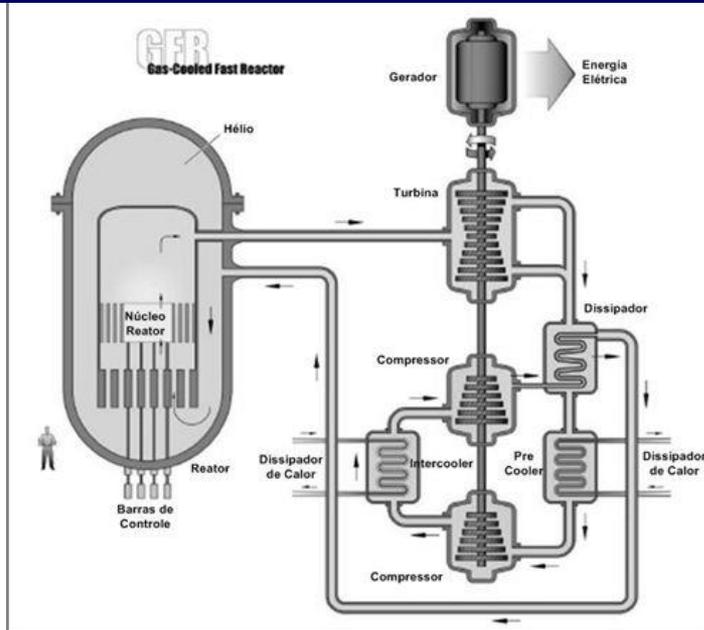


VHTR - REATOR A TEMPERATURA MUITO ALTA

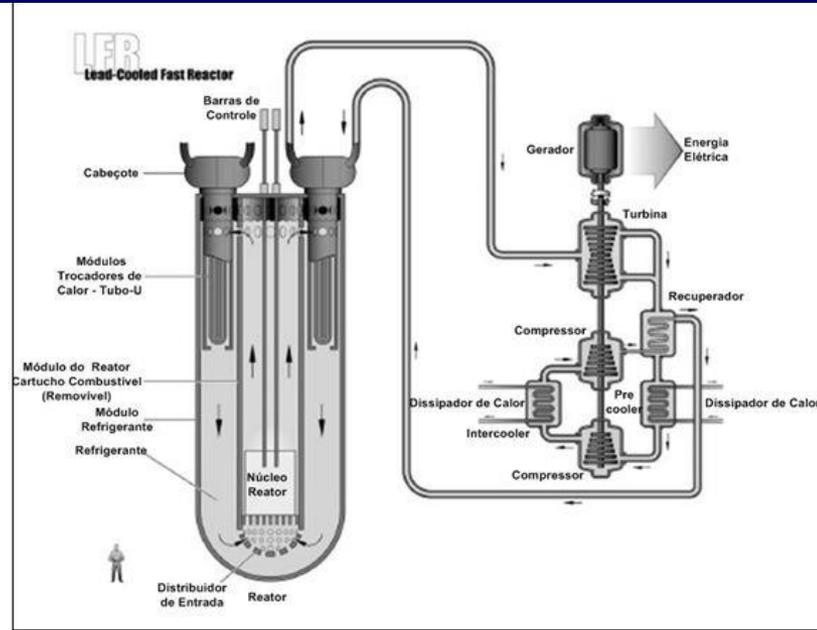


SCWR - REATOR A ÁGUA SUPERCRÍTICA

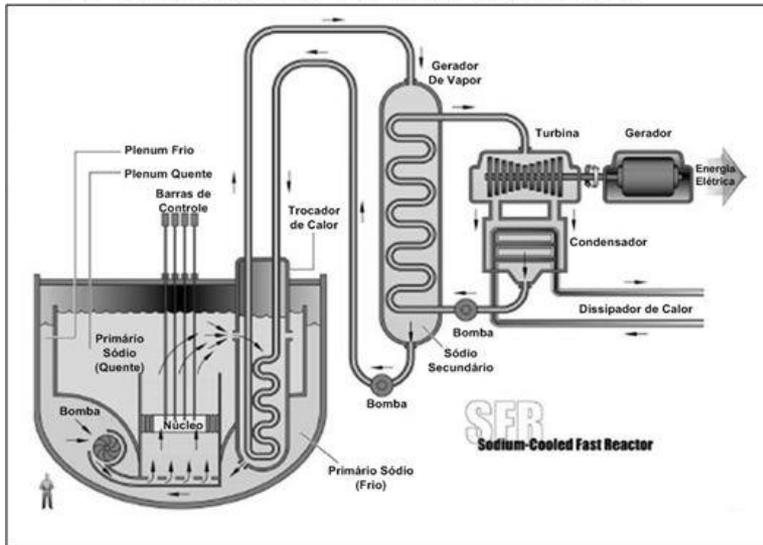
Reatores de Geração IV



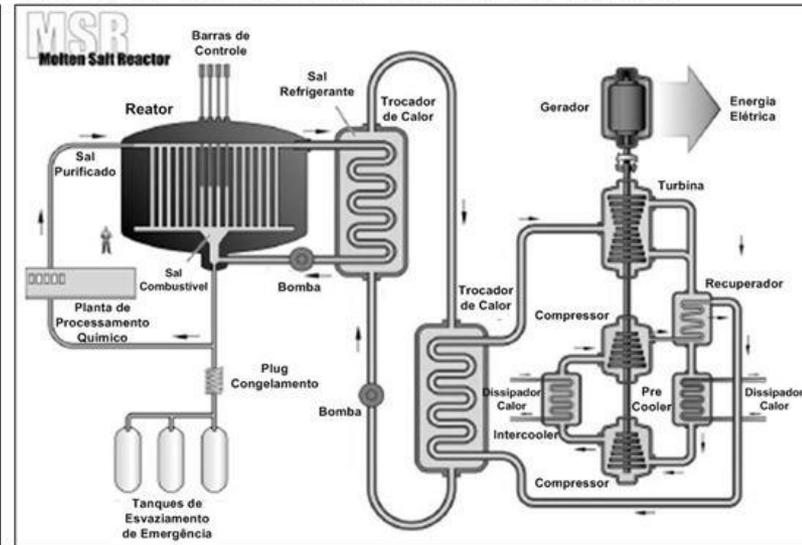
GFR - REATOR RÁPIDO REFRIGERADO A GÁS



LFR - REATOR RÁPIDO REFRIGERADO A CHUMBO



SFR - REATOR RÁPIDO REFRIGERADO A SÓDIO



MSR - REATOR DE SAL FUNDIDO

7. O Brasil e a Energia Nuclear

Necessidade de complementação térmica

Potência Hídrica Instalada

(Valores em MW Instalado)

Capacidade de Armazenamento

(Usinas representando 75% do Armazenamento Total)

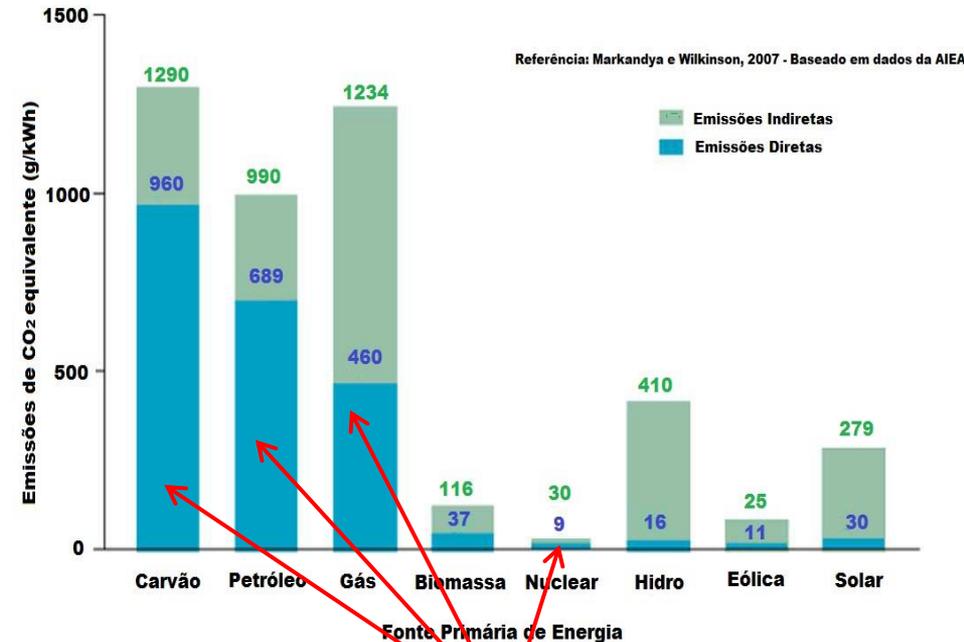


Fonte: lista da ONS dos principais reservatórios

**Crescimento da potência instalada sem crescimento proporcional na capacidade de armazenamento – ONS
2014: o estoque água 2002 (6,5 meses) - 2017 (4,7 meses)**

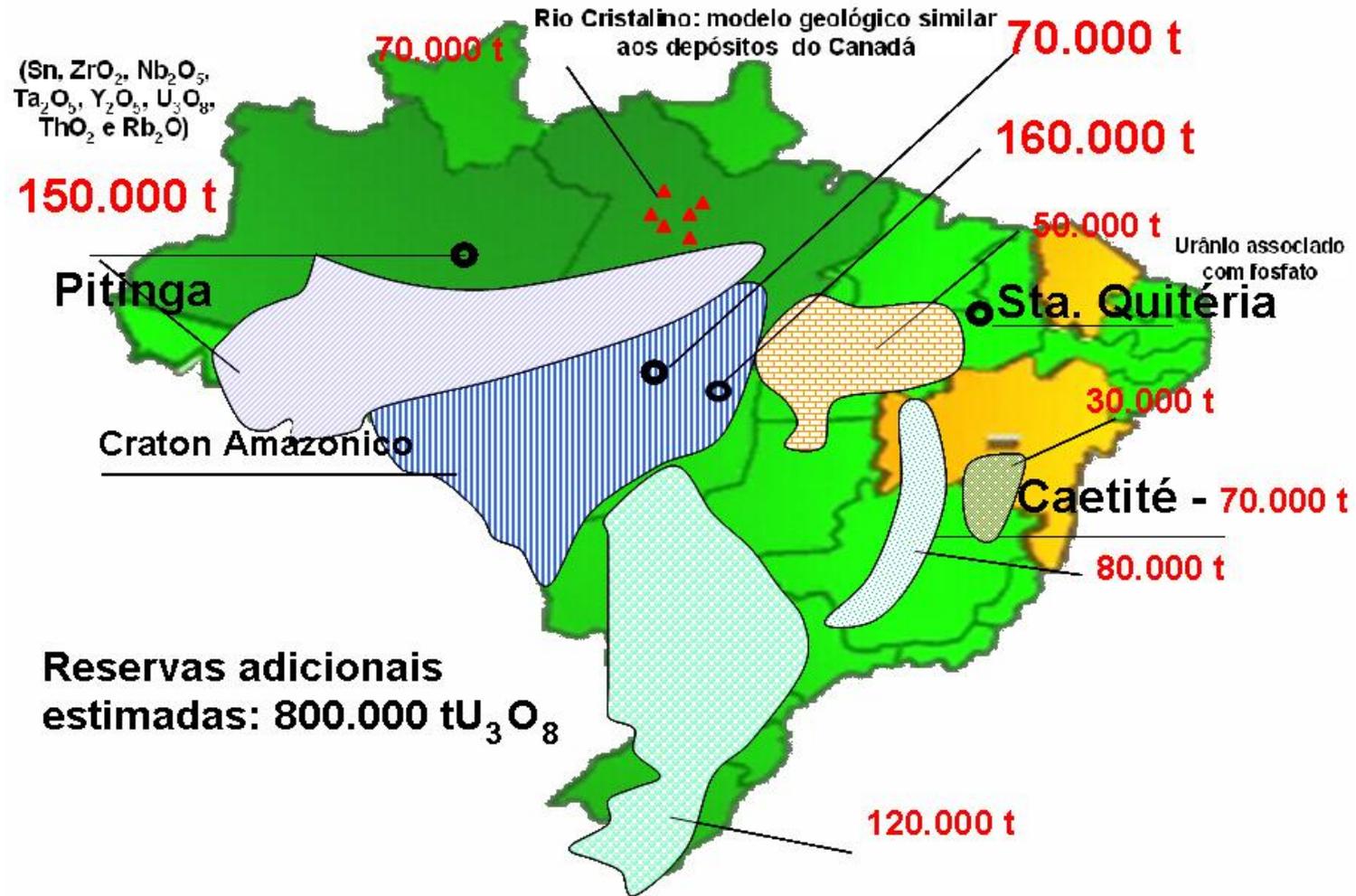
A nuclear tem um papel a cumprir no Brasil

- No horizonte 2050 a previsão da EPE é que o consumo de eletricidade no Brasil triplique (EPE, 2014).
- O potencial hídrico ainda não explorado apresenta problemas: distância dos centros consumo, sem capacidade estocagem, dificuldade obtenção de licenças.
- *Aumentar a componente térmica na matriz elétrica é fundamental e condição de segurança.*
- O Brasil assumiu compromissos ousados de controle de emissão de GEE (CO₂eq) na COP21.



As fontes térmicas são essas: qual escolher?

Brasil e o seu Capital Energético Nuclear



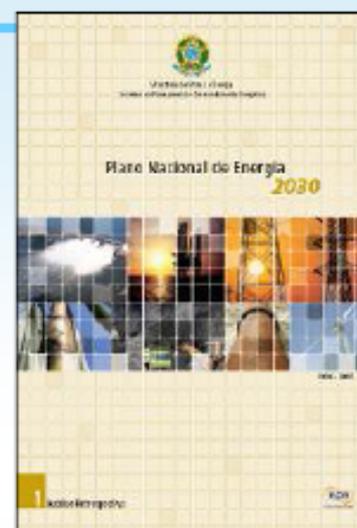
O BRASIL TEM POSIÇÃO PRIVILEGIADA



Atendimento ao Crescimento da Demanda de Energia Elétrica no Médio Prazo: Plano Nacional de Energia 2030

Expansão da Oferta no Período 2015-2030
(Valores em MW)

Fonte	CASO BASE					CASO 1	CASO 2
	N	NE	SE / CO	S	TOTAL		
Conservação ¹	?	?	?	?	12.000 ¹	12.000 ¹	12.000 ¹
Hidrelétrica	43.720	580	8.860	4.140	57.300	67.500	64.700
Gás Natural	0	3.500	4.000	500	8.000	15.500	13.500
Carvão	0	0	0	3.500	3.500	4.000	5.500
Nuclear	0	2.000	2.000	0	4.000	6.000	8.000
PCH	0	500	4.000	1.500	6.000	8.000	8.000
Eólica	0	2.200	0	1.100	3.300	3.300	3.300
Biomassa	0	950	3.300	500	4.750	4.750	4.750
Resíduos Urbanos	0	300	700	300	1.300	1.300	1.300
T O T A L	45.520	10.630	31.260	12.740	100.150	122.350	121.050



1) Nordeste
2.000 MW

2) Sudeste
2.000 MW

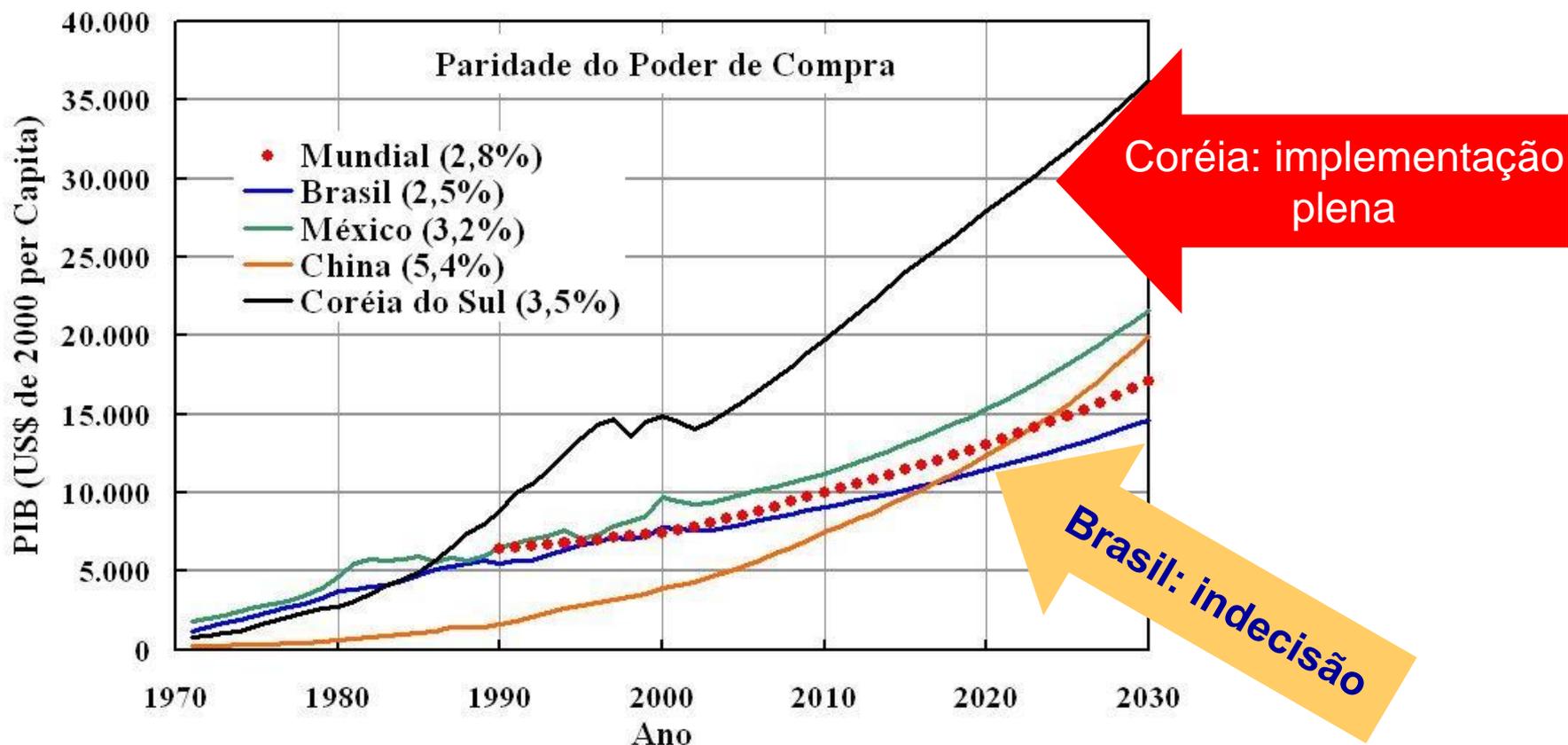
(1) 53 TWh (aprox. 15% do consumo atual) = Potência de cerca de 12.000 MW (hidrelétrica) ou 7.800 MW (nuclear)

Fonte: PNE 2030 / EPE-MME, Nov-2007 / Tabelas 8.27 (Pág.234) e 8.31 (Pág.239)

8. Arraste Tecnológico Energia Nuclear

Contribuição dos Programas Nucleares no Desenvolvimento do Brasil e da Coréia

- Na década de 1970 Brasil e Coréia consideraram a opção nuclear aderente com as suas aspirações estratégicas ⇒ novas empresas + novos produtos + fonte de energia confiável
- Forma de implementação: acordo com a Alemanha



Arraste Tecnológico da Energia Nuclear

Publicado nos Anais do XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, Vol. IV, p. 2193-2200, 2006

INDECISÃO NUCLEAR: PREJUÍZO NO PASSADO E UM RISCO PARA O FUTURO

João Roberto Loureiro de Mattos¹
Marcio Soares Dias²
Elizabeth Jordão³
Vanderley de Vasconcelos⁴



A QUESTÃO DAS OPÇÕES BRASILEIRAS NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Marcio S. Dias¹, João Roberto L. de Mattos²

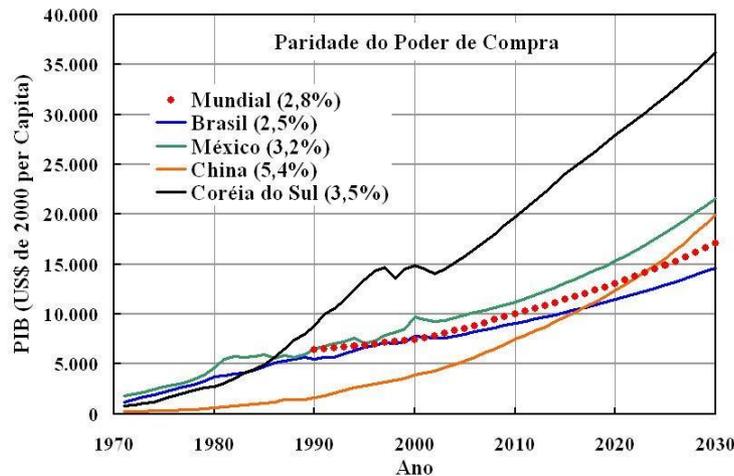


16 a 19 de setembro de 2007

VITÓRIA - ES

Sessão Técnica 14: Energia Alternativa, 18 de setembro - 16:30 a 18:50 h

BRASIL NUCLEAR: OPORTUNIDADES E SUSTENTABILIDADE



(Pesquisa CDTN) Coréia: Usou a Energia Nuclear como arraste para focar em produtos de alta tecnologia

THE DIPLOMAT

Read The Diplomat. Know the Asia-Pacific

CENTRAL ASIA | EAST ASIA | OCEANIA | SOUTH ASIA | SOUTHEAST ASIA | ECONOMY | DIPLOMACY | ENVIR

BLOGS | INTERVIEWS | PHOTO ESSAYS | VIDEOS | PODCASTS | MAGAZINE | **SUBSCRIBE**

CHINA POWER

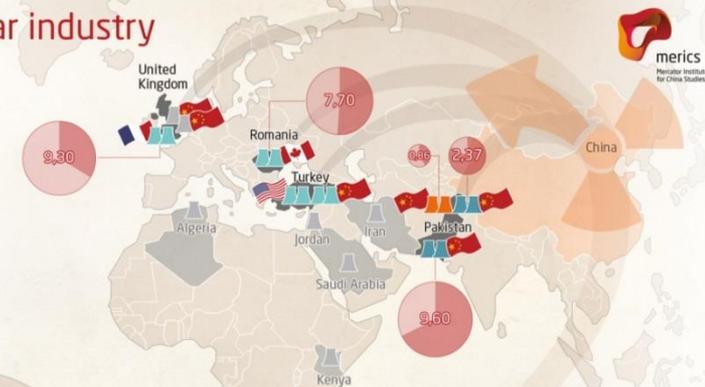
China's Nuclear Industry Goes Global

China's nuclear industry can become a global player – if it's safe.



China's nuclear industry goes global

International nuclear projects with major Chinese participation



Estratégia da China (2016): usar a energia nuclear como uma das marcas de exportação de produtos de alta tecnologia “made in China”, como já fez recentemente com a exportação de ferrovias.
Confirma avaliações da pesquisa do CDTN (2006/2007) .

9. Considerações Finais

CONSIDERAÇÕES FINAIS: MUNDO

- **A trajetória que a humanidade está seguindo é ambientalmente insustentável .**
- **As alterações climáticas não têm fronteiras afetam a todos independente de raça, país ou condição social.**
- **Ações para mudanças são necessárias, urgentes e exigirão trabalho, inovação e investimento significativos.**
- **É muito difícil pensar numa solução para o problema ambiental e para a inclusão social sem a opção nuclear.**
- **As discussões sobre o tema energia devem se basear em fatos e dados científicos e não em discussões de cunho emocional.**

CONSIDERAÇÕES FINAIS: BRASIL

- Não existe uma solução isolada para a expansão da matriz elétrica brasileira.
- O País necessita de um portfólio de diferentes fontes para compor um sistema que seja socioeconômico e ambientalmente aceitável.
- Exemplos como os da Coreia do Sul e China mostram que a escolha de projetos de infraestrutura possuem diferentes impactos na economia, em função da amplitude e sofisticação da sua cadeia de valor.
- A fonte nuclear é importante para esse portfólio, pois:
 - *Confere a diversificação necessária para dar confiabilidade ao sistema elétrico brasileiro.*
 - *É uma plataforma tecnológica de alto poder de arraste, capaz de impulsionar o desenvolvimento industrial na direção de itens de alto valor agregado e conteúdo tecnológico.*

Obrigado pela atenção !
jrmattos@cdtn.br