

# **ACADEMIA NACIONAL DE ENGENHARIA**

**RG de 17/07/2018 – PUC / Rio de Janeiro**

## **Reflexões Sobre O Setor Energético Brasileiro**

**Passado / Situação Atual / Perspectivas Futuras**

**(Matrizes Energéticas e Expansão do Sistema Elétrico Nacional)**

**Altino Ventura Filho  
Academia Pernambucana de Engenharia  
17 / 07 / 2018**

# SUMÁRIO

## TEMA I - QUESTÕES ESTRUTURAIS

- 1) EVENTOS IMPACTANTES NA ENERGIA (MUNDO E BRASIL) - DÉCADA DE 1970
- 2) MATRIZES ENERGÉTICAS (MUNDO E BRASIL) - 1980 / 2010 / 2015
- 3) EXPANSÃO DO SISTEMA ENERGÉTICO NACIONAL - PRINCIPAIS DESAFIOS
- 4) HIDROELETRICIDADE - SEU APROVEITAMENTO E O EXCEDENTE FINANCEIRO

## TEMA II - QUESTÕES CONJUNTURAIS

- 1) HIDROELÉTRICAS SEM RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO PLURIANUAL
- 2) APROVEITAMENTO DO EXCEDENTE FINANCEIRO DAS HIDROELÉTRICAS
- 3) INCORPORAÇÃO DAS FONTES ENERGÉTICAS INTERMITENTES EÓLICA E SOLAR
- 4) SISTEMA HIDRO / TÉRMICO - SEGURANÇA ENERGÉTICA E OPERAÇÃO DAS USINAS

## EVENTOS IMPACTANTES NOS SETORES ENERGÉTICOS - MUNDO E BRASIL (Década de 1970)

### 1) Conferência da ONU

Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Estocolmo/Suécia, junho/1972

### 2) Primeiro Choque do Petróleo de 1973

Elevação do preço (4,0 vezes) - De 3 para 12 US\$ / barril

### 3) Segundo Choque do Petróleo de 1979

Elevação do preço (3,5 vezes) - De 12 para 40 US\$ / barril

### 4) Acidentes em Usinas Nucleares

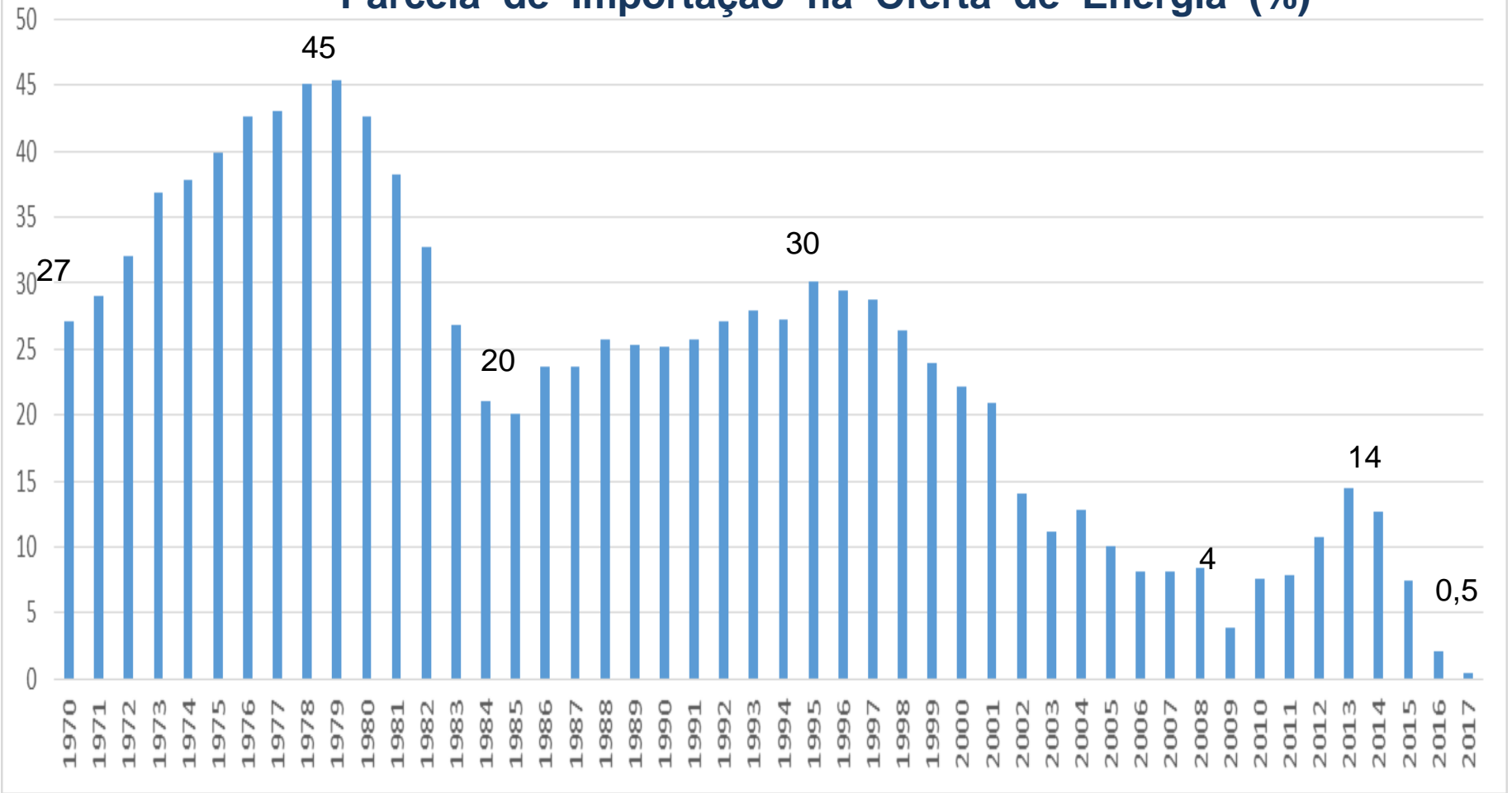
Three Miles em 1979 / Chernobyl em 1986 / Fukushima em 2011

# BRASIL

## IMPORTAÇÃO DE ENERGIA / DEPENDÊNCIA EXTERNA

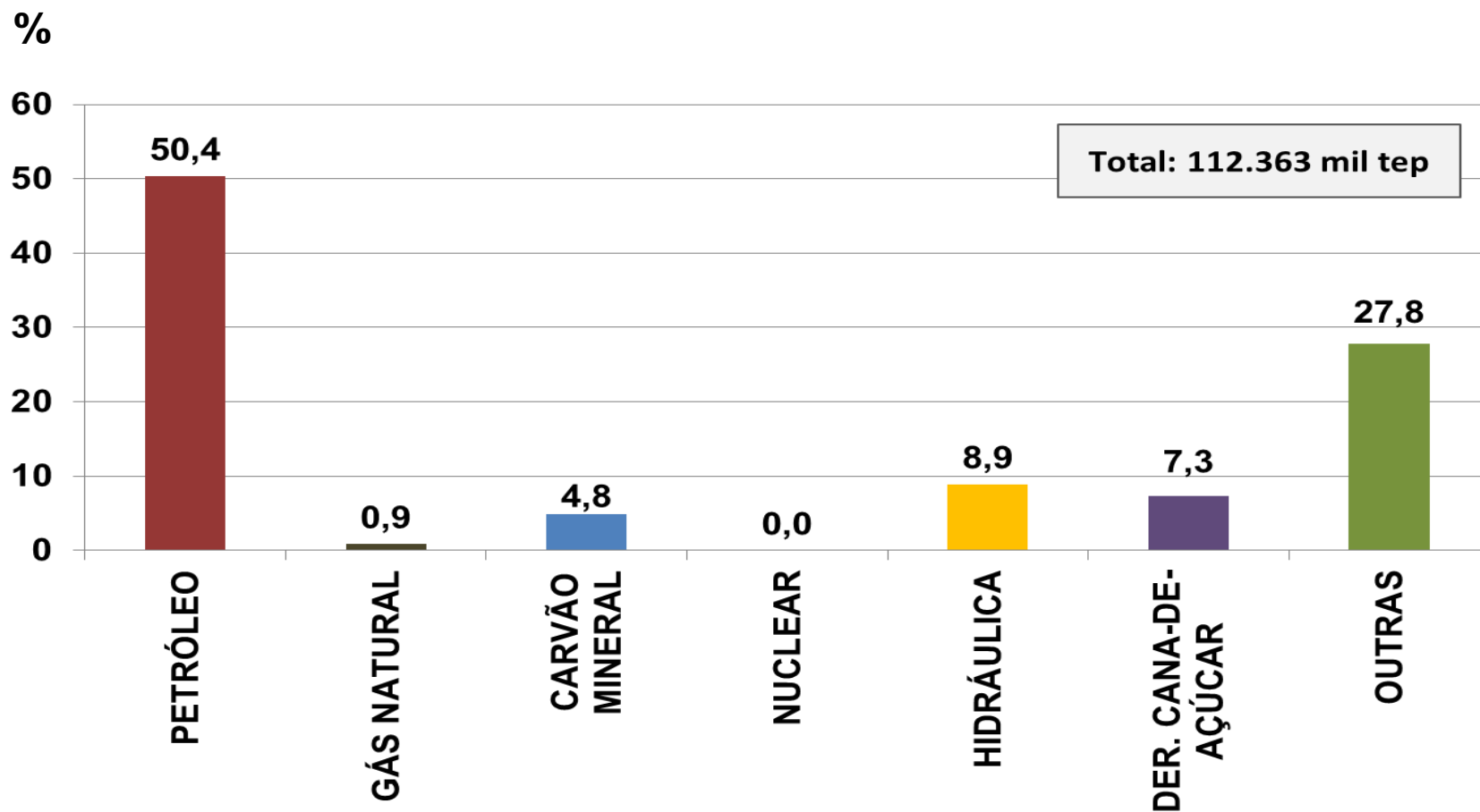
%

Parcela de Importação na Oferta de Energia (%)



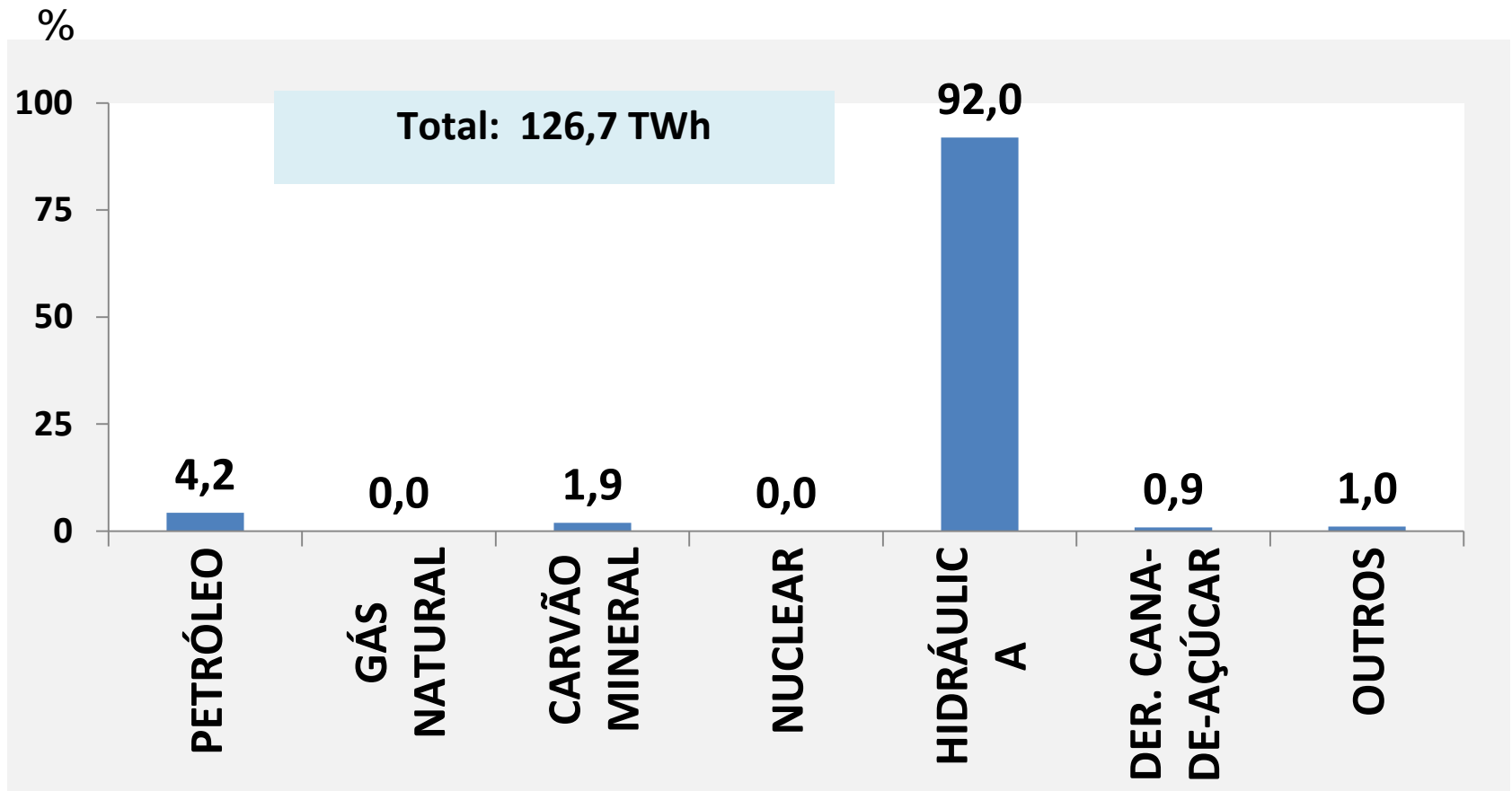
# MATRIZ DA OFERTA DE ENERGIA DO BRASIL

## Participação das Fontes Primárias – Ano 1979 (%)



# MATRIZ DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL

## Participação das Fontes Primárias - Ano 1979 (%)



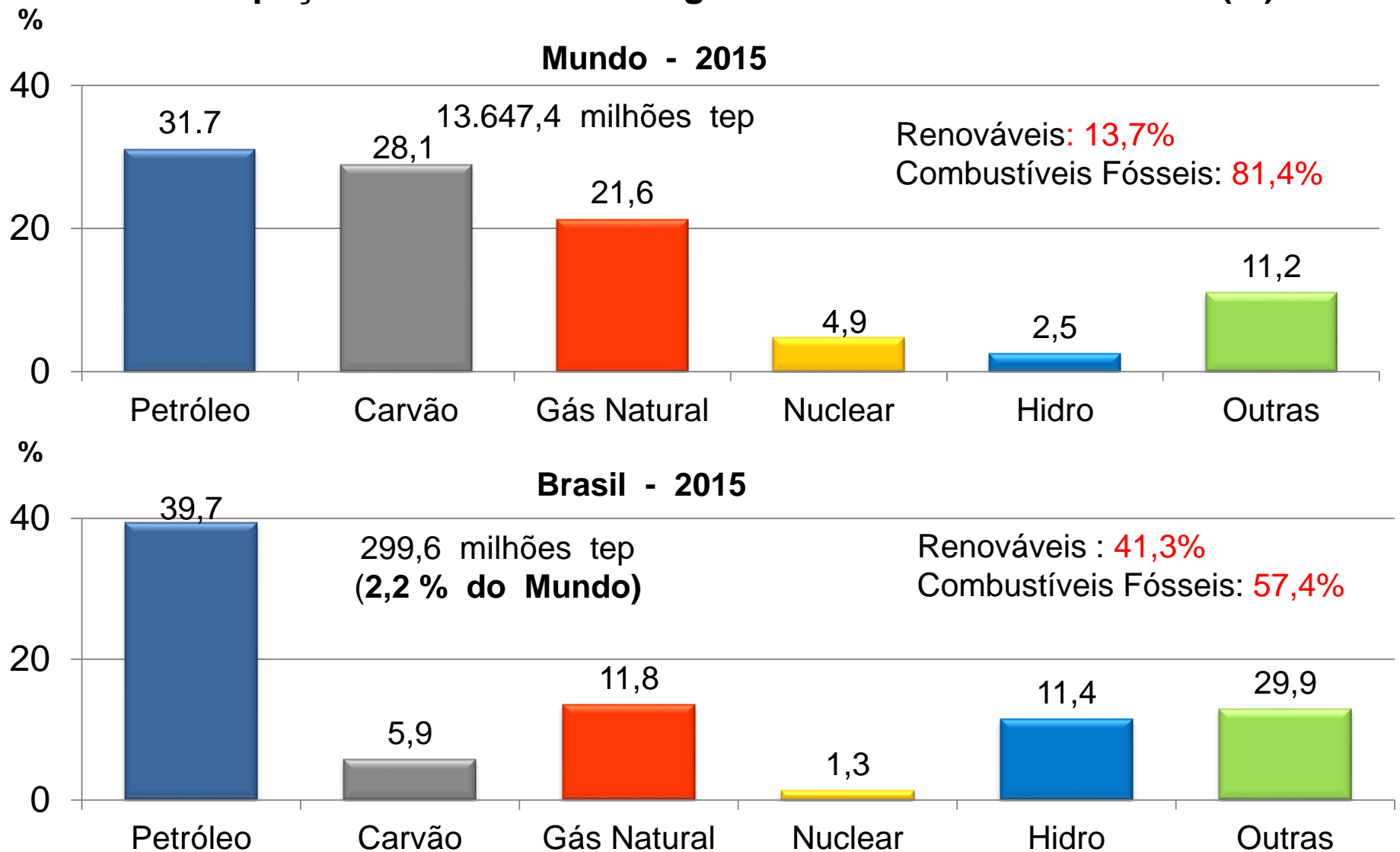
# BRASIL

## DECISÕES ESTRATÉGICAS DO SETOR ENERGÉTICO - DÉCADA DE 1970

1. ELETROBRAS – Grandes e Médias Usinas Hidroelétricas
  2. PETROBRAS – Prospecção de Petróleo no Mar
  3. PRO – ÁLCOOL (ETANOL)
- 
4. Acordo Nuclear Brasil / Alemanha  
(8 nucleares de 1.245 MW até 1990)

# MATRIZ DA OFERTA DE ENERGIA – MUNDO E BRASIL

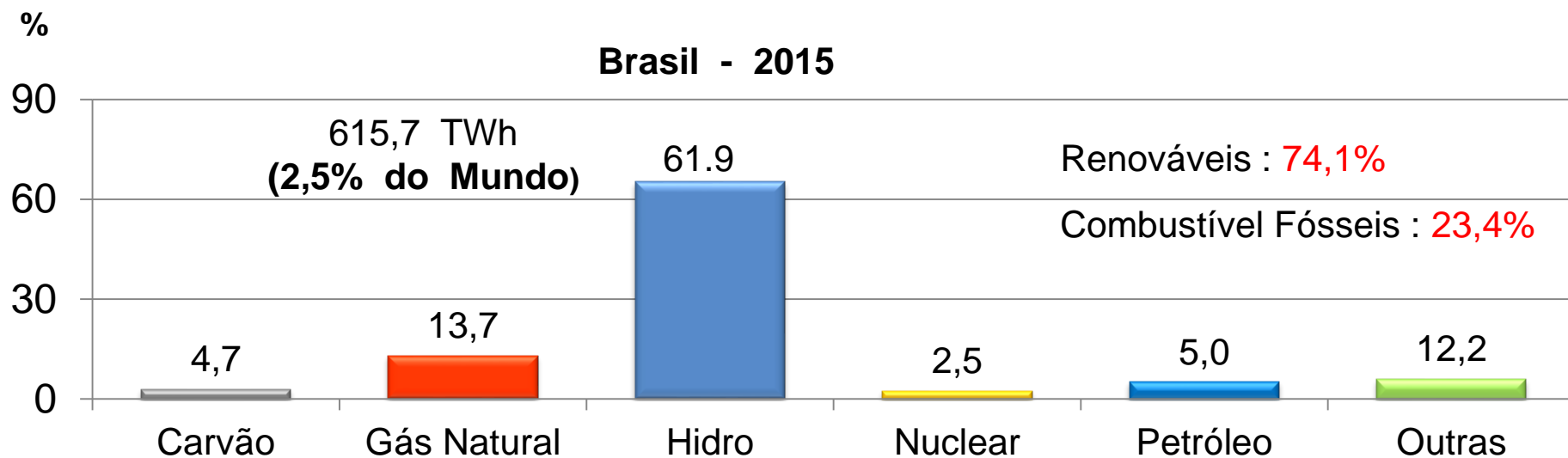
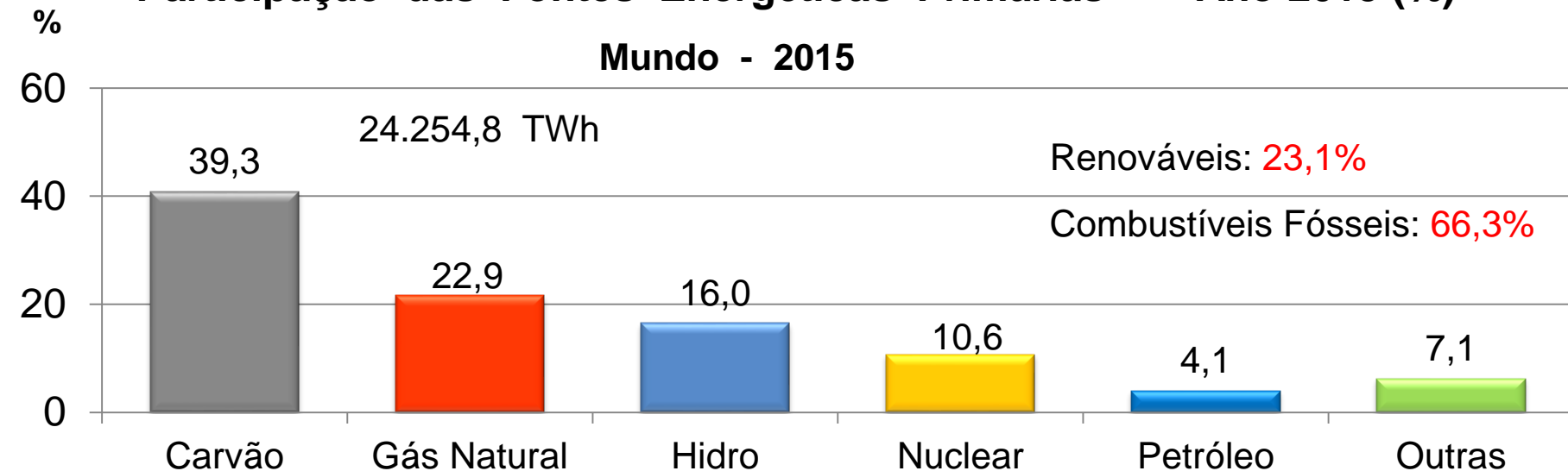
## Participação das Fontes Energéticas Primárias - Ano 2015 (%)





# MATRIZ DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA – MUNDO E BRASIL

## Participação das Fontes Energéticas Primárias – Ano 2015 (%)

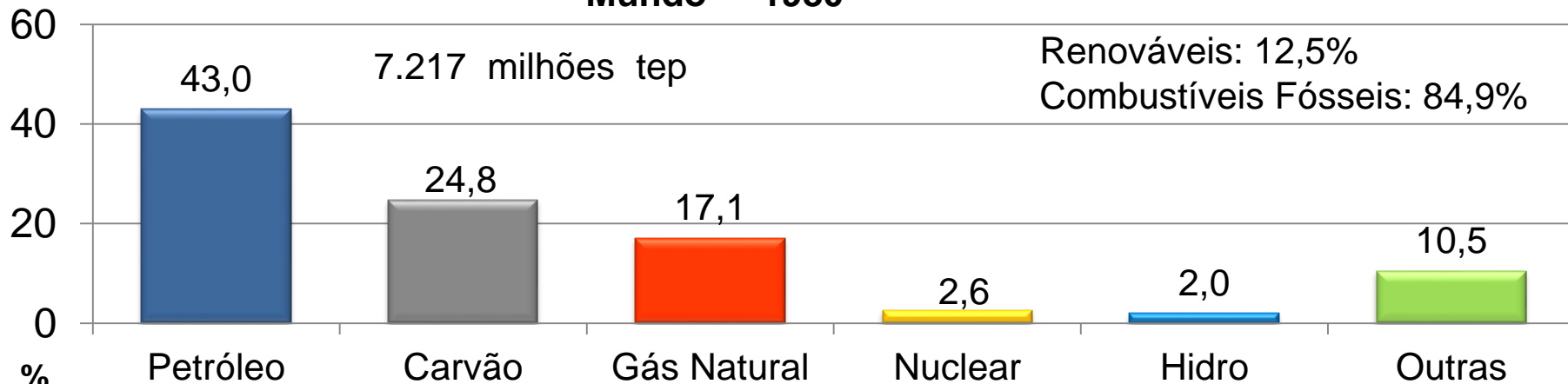


# MATRIZ DA OFERTA DE ENERGIA DO MUNDO

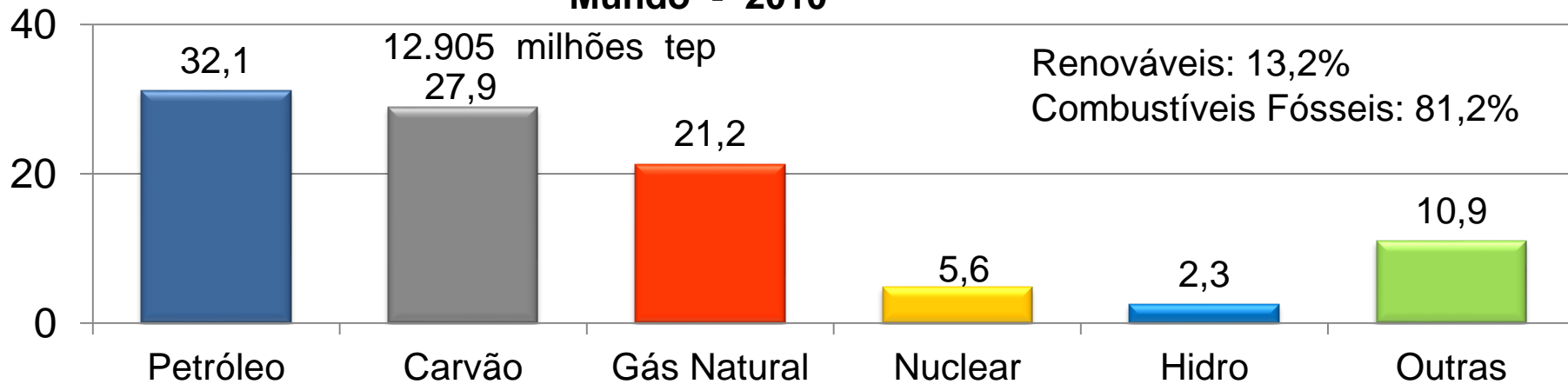
## Participação das Fontes Energéticas Primárias – 1980 / 2010 (%)

(Taxa Crescimento Anual Média – PIB 4,9% e Energia 2,0%)

### Mundo - 1980



### Mundo - 2010



Taxa de Crescimento Anual Média 1980 / 2010 (%)

1,0

2,4

2,7

4,6

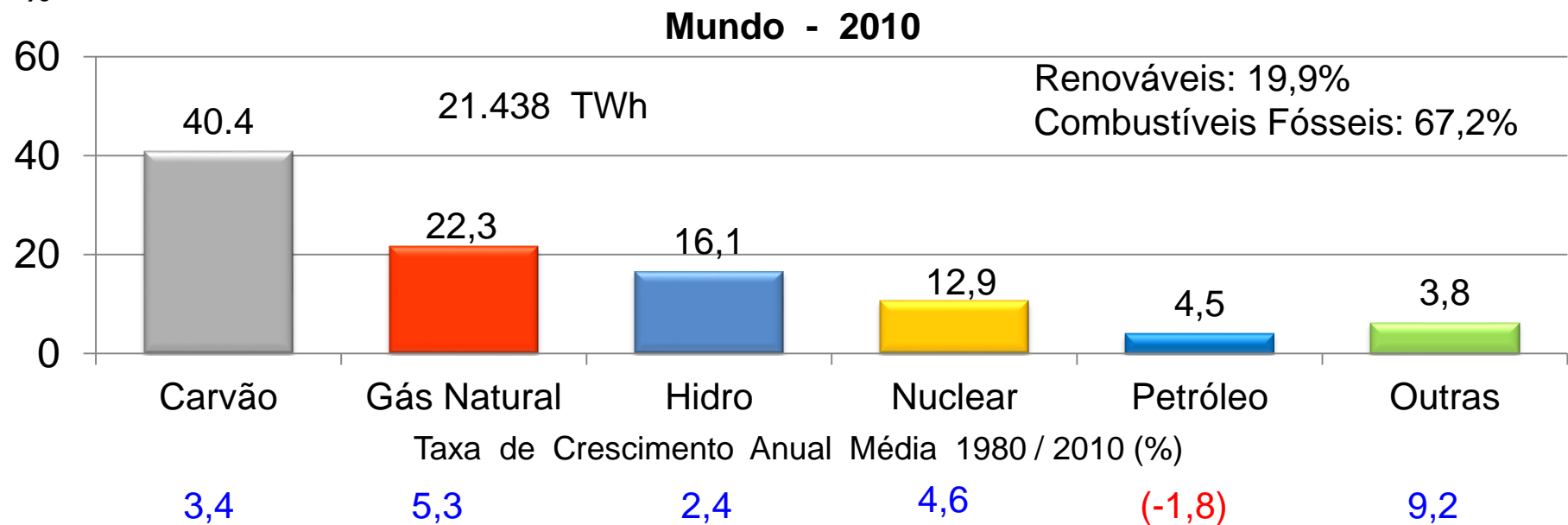
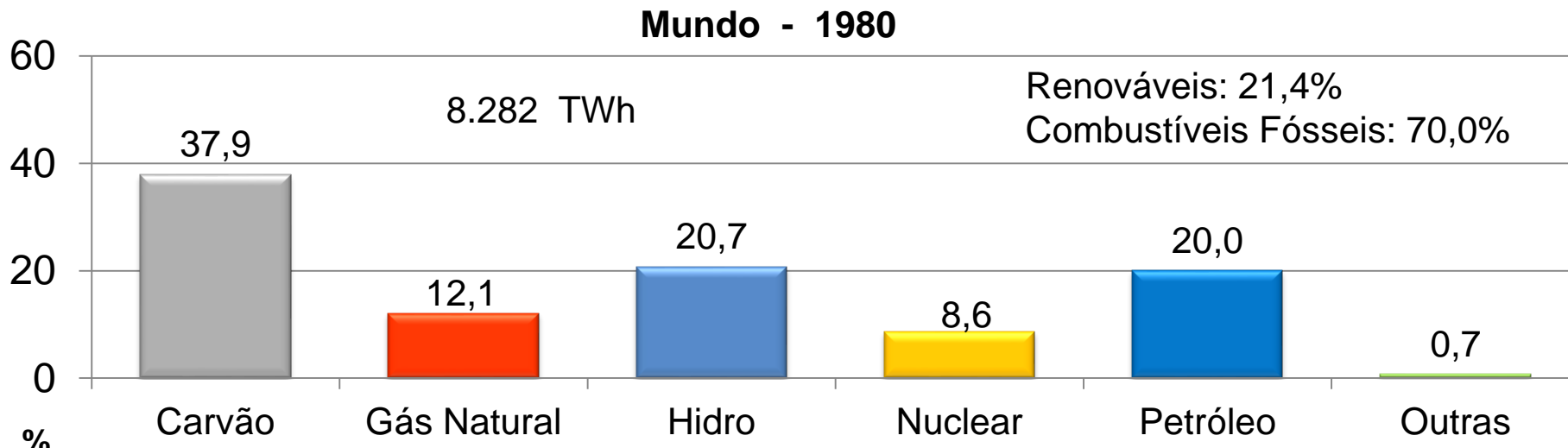
2,4

2,1

# MATRIZ DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA DO MUNDO

Participação das Fontes Energéticas Primárias – 1980 / 2010 (%)

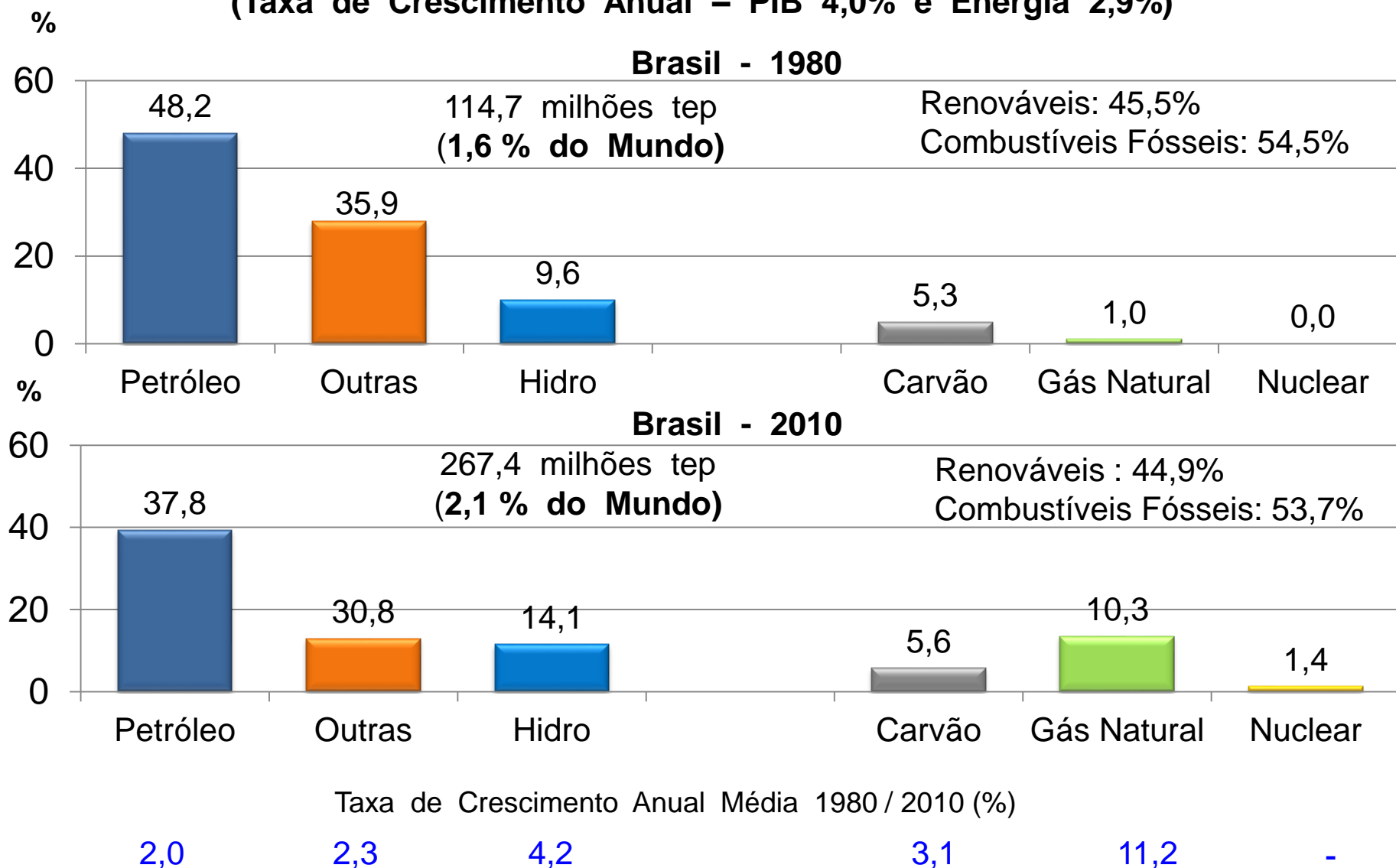
(Taxa Crescimento Anual Média – PIB 4,9% e Energia Elétrica 3,2%)



# MATRIZ DA OFERTA DE ENERGIA DO BRASIL

## Participação das Fontes Energéticas Primárias – 1980 / 2010 (%)

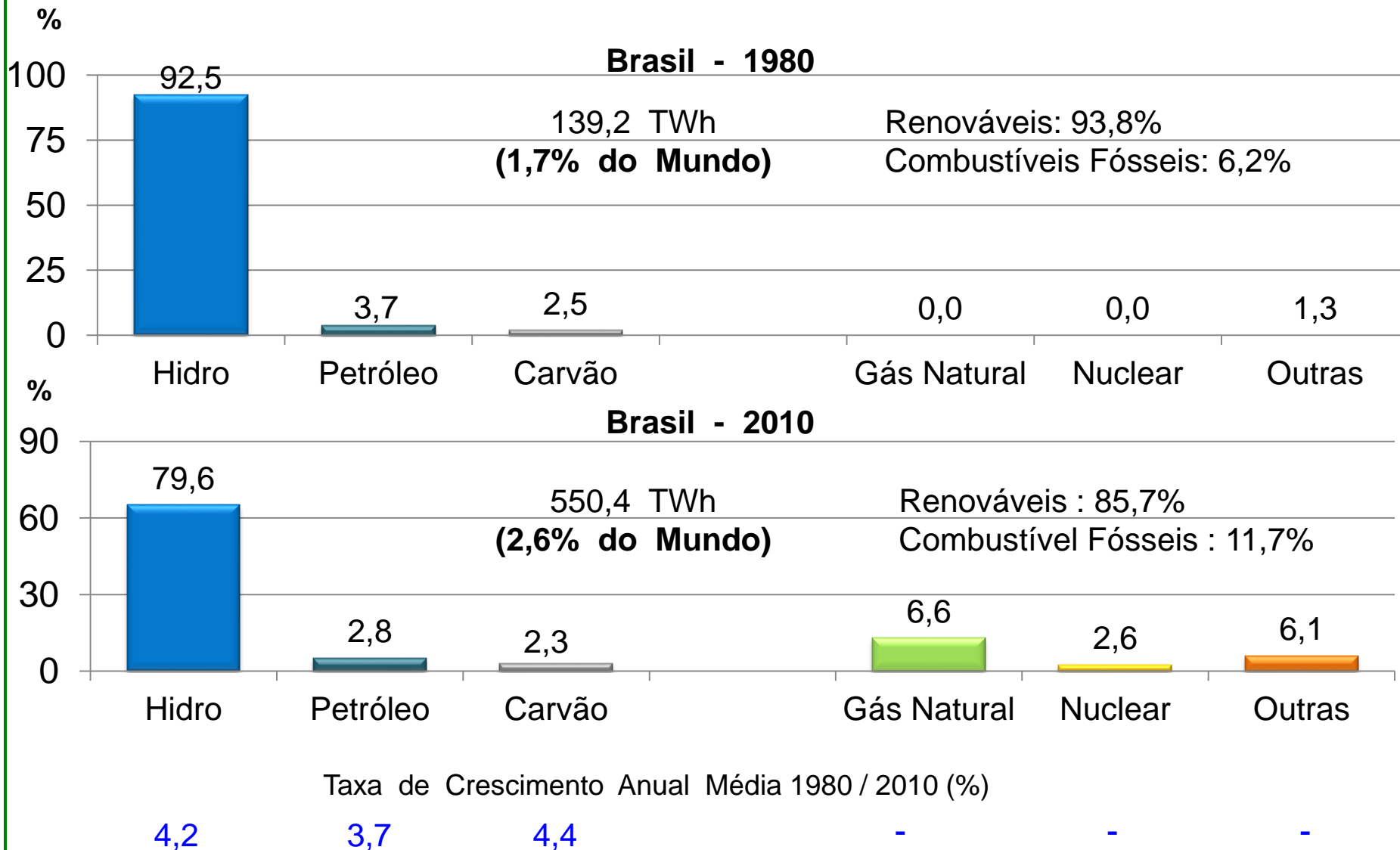
(Taxa de Crescimento Anual – PIB 4,0% e Energia 2,9%)



# MATRIZ DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL

## Participação das Fontes Primárias – 1980 / 2010 (%)

(Taxa de Crescimento Anual – PIB 4,0% e Energia Elétrica 4,7%)



## CRESCIMENTO ANUAL MÉDIO DA OFERTA DE ENERGIA - 2010 / 2015

Mundo; 1,1% e Brasil: 2,3%

Fonte	Mundo (%)	Brasil (%)
-------	-----------	------------

Petróleo	0,9	3,3
Carvão	1,3	3,4
Gás Natural	1,5	5,1
Nuclear	(-1,5)	0,8
Hidro	2,8	(-2,0)
Outras	1,7	1,7

# EXPANSÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

	Taxa Anual de Crescimento (%)	Sistema Elétrico (Dobra em "N" Anos)
	3,0	23
<u>Países Em Desenvolvimento</u>	5,0	14
(China, Índia, Brasil)	7,0	10
	9,0	8
<hr/>		
	0,7	100
<u>Países Desenvolvidos</u>	1,0	70
(USA, Alemanha, França)	1,3	53
	1,6	44
	1,9	37

Brasil, com taxa de crescimento anual média, entre **3,0% e 4,0%**, dobra o sistema elétrico em cerca de **20 anos**

**BRASIL**  
**Expansão da Capacidade Instalada**  
**Média Anual - MW**

DÉCADA	MW (anual médio)	HIDRO (%)
1970 / 1980	2.250	84
1980 / 1990	1.960	91
1990 / 2000	2.070	75
2000 / 2010	3.870	51



# BRASIL - RECURSOS ENERGÉTICOS

## Renováveis

Hidro

Biomassa

Eólica

Solar

## Não Renováveis

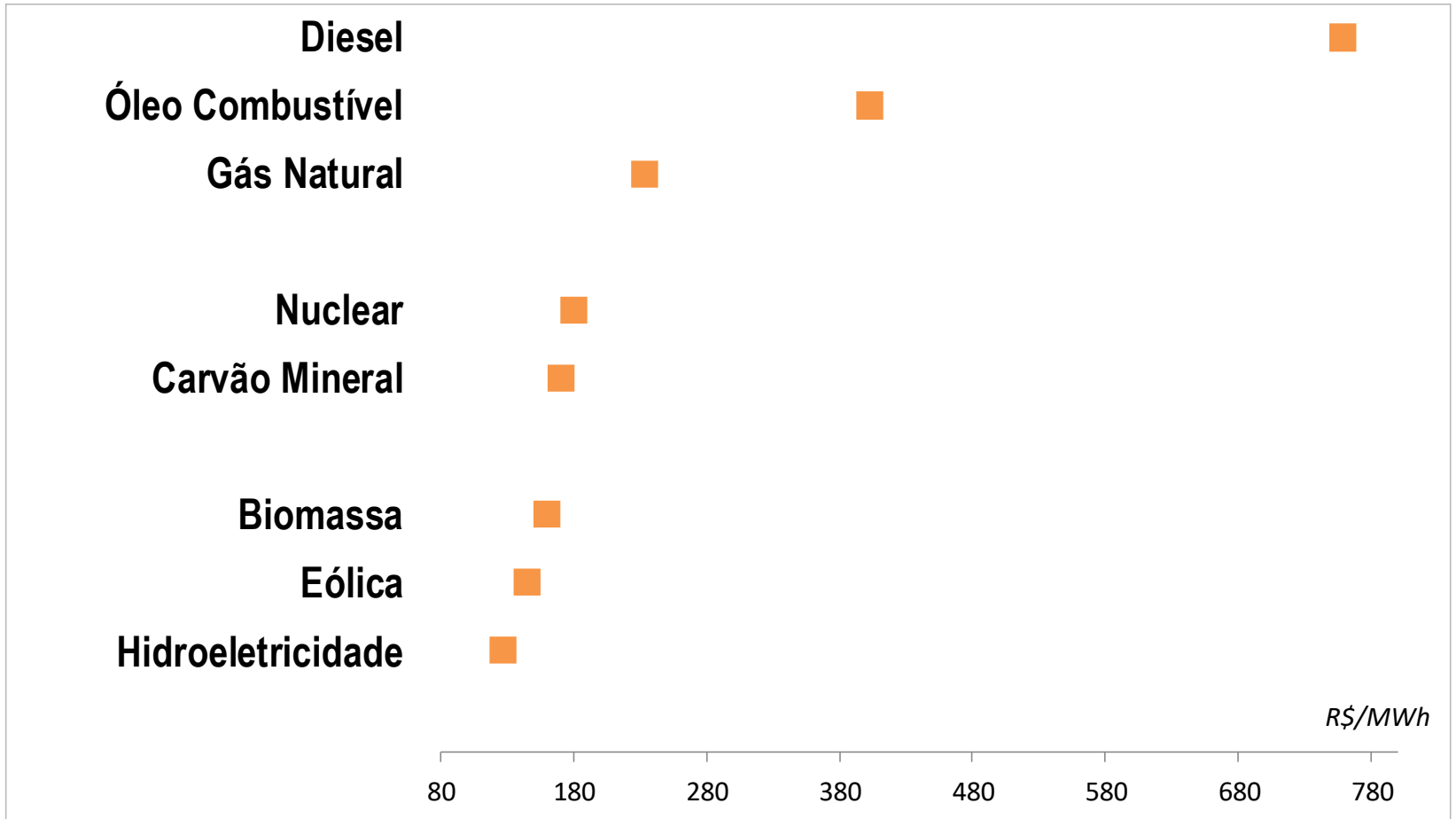
Petróleo

Gás Natural

Carvão Mineral

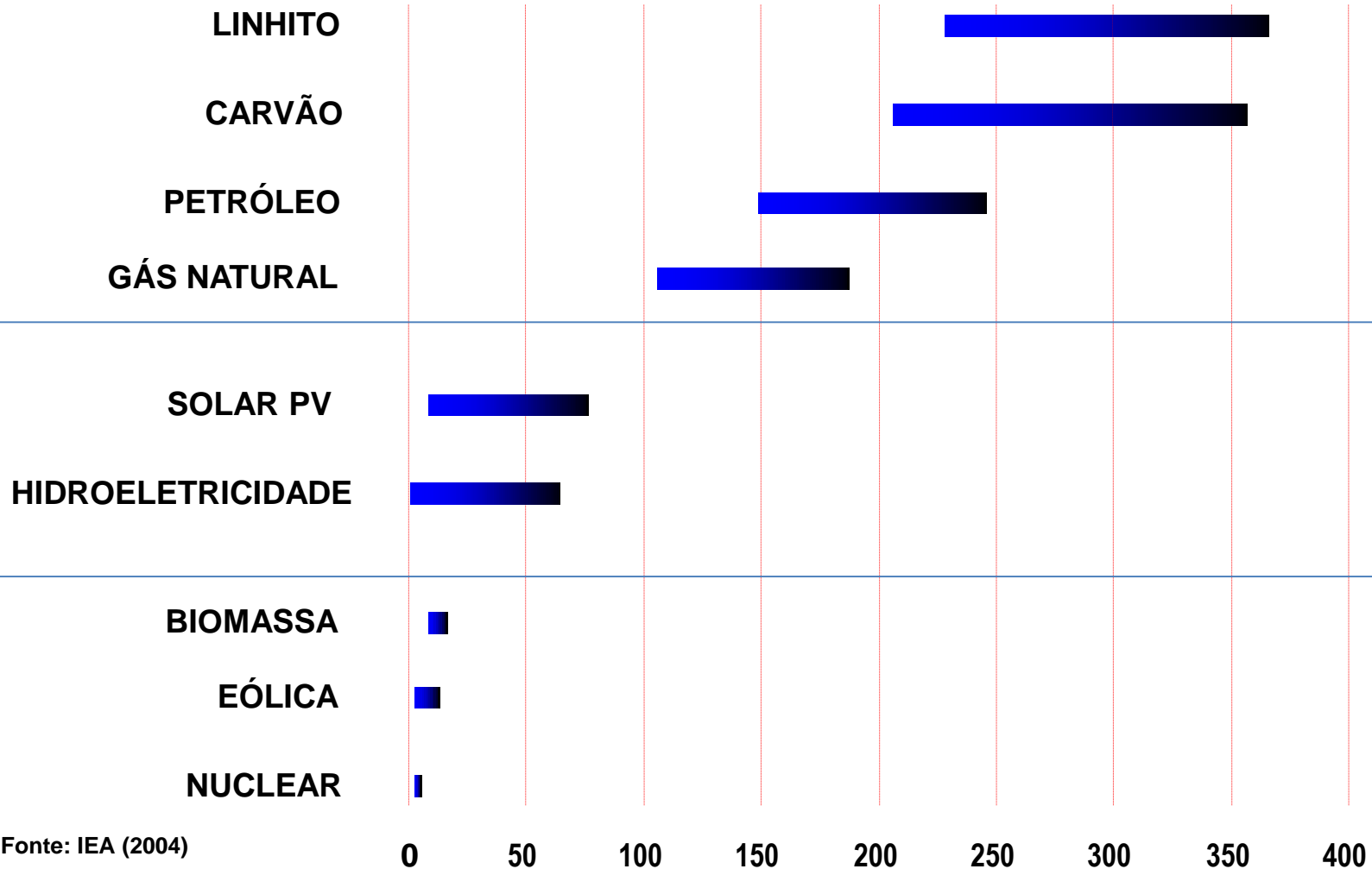
Urânio

# COMPETITIVIDADE ENTRE AS FONTES DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PLANEJAMENTO NO BRASIL



# EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

[gramas de carbono equivalente / kWh] (\*)

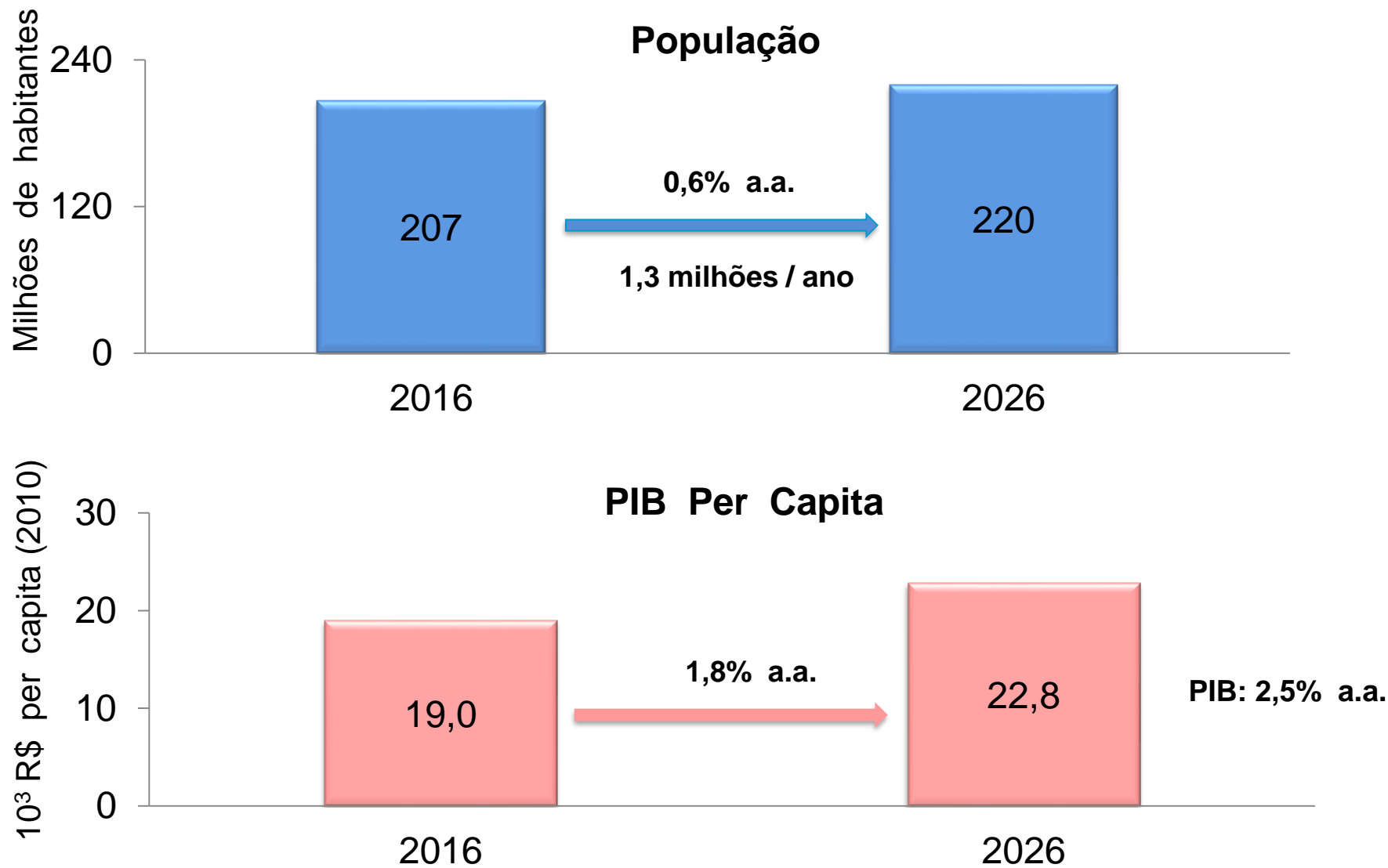


Fonte: IEA (2004)

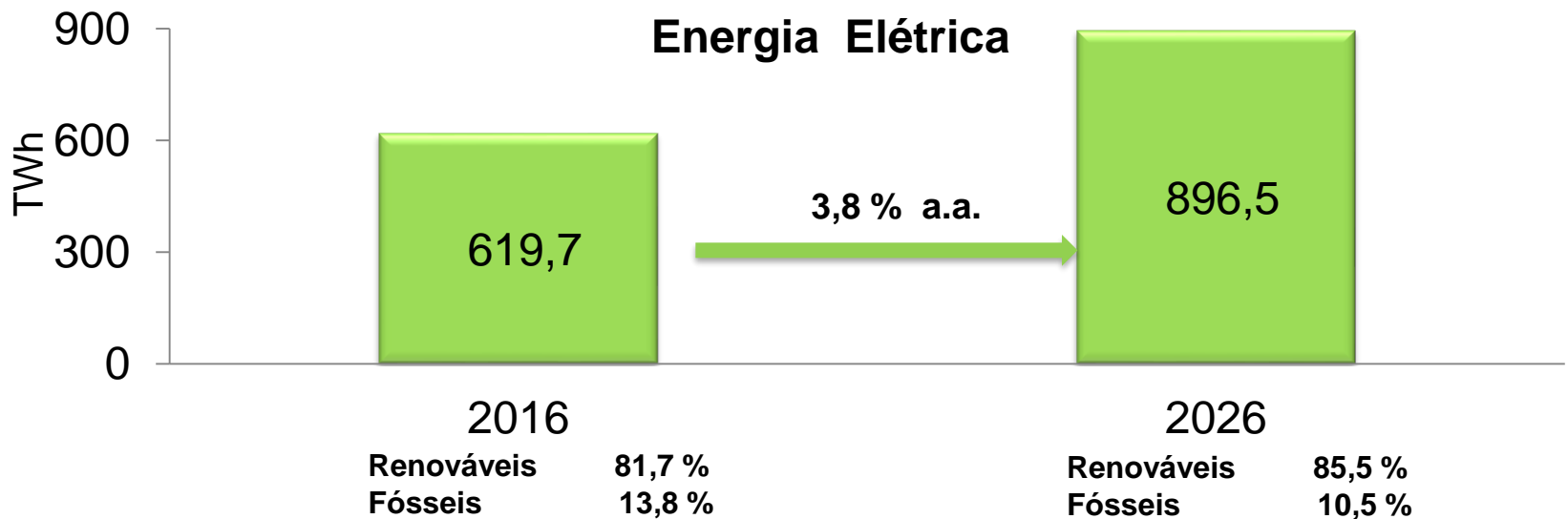
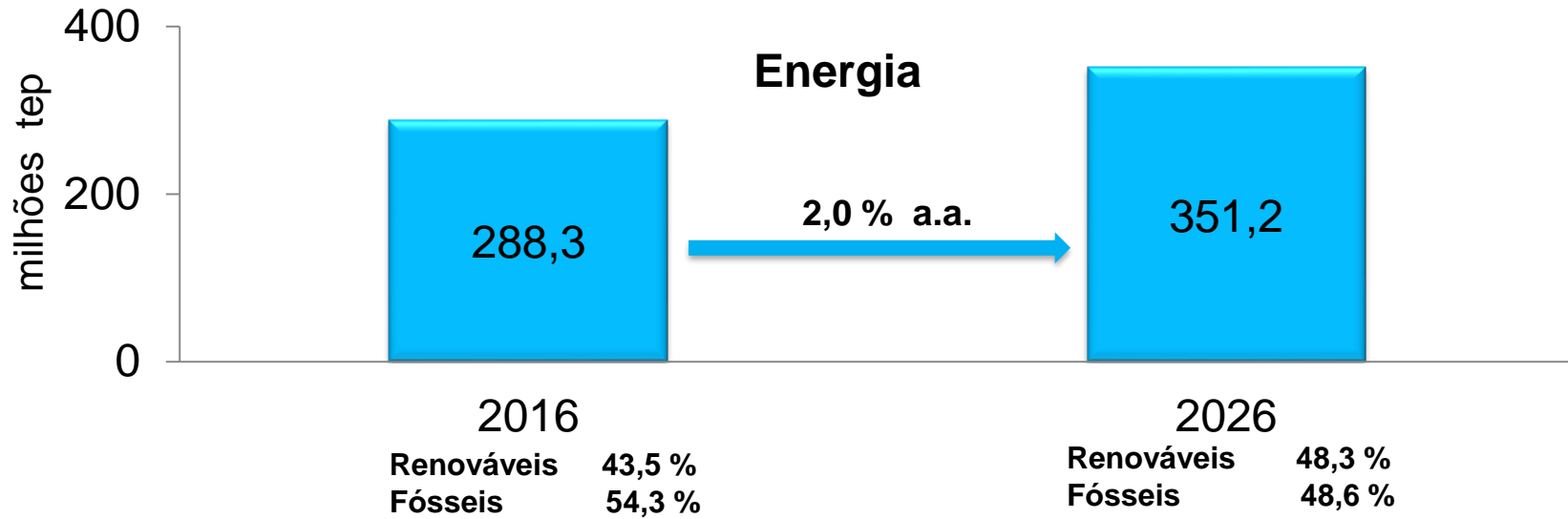
\* Considerando as emissões em todo o ciclo de vida, inclusive a fabricação dos equipamentos

# BRASIL

## DEMOGRAFIA E ECONOMIA



# BRASIL OFERTA DE ENERGIA



# BRASIL

## Capacidade Instalada

64,1 GW Adicionais No Decênio – 2016 / 2026

<b>Fonte</b>	<b>GW</b>	<b>%</b>	
Eólica	18,4	29	} 75%
Hidro	16,1	25	
Solar	9,6	15	
Biomassa	4,1	6	
Sub Total	48,2	75	
Outras (Nuclear, Óleo, Ponta)	15,9	25	
Total	64,1	100	

Nota - 1) Capacidade instalada evolui de 141,4 para 205,5 GW, período 2016 / 2016; indicativo de ponta 12,2 GW  
2) Sem a parcela paraguaia de Itaipu

**BRASIL – PDE 2026**  
**Investimento No Sistema Energético**  
**Período Decenal 2016 / 2026**

**Investimentos no Setor de Energia**

	R\$ bilhões (*)	%
Petróleo e Gás Natural	985	71,4
Eletricidade	361	26,2
Biocombustíveis	33	2,4
Total de Investimentos (**)	1.379	100,0

(\*) Câmbio R\$ 3,26 / US\$

(\*\*) Representa cerca de 3,1% do PIB e 15,6% da FBCF, ambos acumulados no período

A expansão prevista da produção primária de energia inclui superávit de 40% da oferta interna de energia; De atual importador, o Brasil passaria a ser Grande Exportador de Energia

# BRASIL - EXPANSÃO DA CAPACIDADE INSTALADA

## (Período 2020 / 2050)

- Programa Hidroelétrico

Cerca de 2.000 MW / 3.000 MW por ano, durante 30 / 20 anos; Reavaliar, com visão de aproveitamento de recursos hídricos, os cerca de 100.000 MW não considerados

- Programa de Fontes Energéticas Renováveis

Eólica

Biomassa (bagaço de cana-de-açúcar, etanol de 2ª geração)

Solar Fotovoltaica

Lixo Urbano

- Programa Térmico (operação de base)

Gás Natural (outros usos, matéria prima na indústria, oferta e preço)

Nuclear (aceitação pública, resíduos, segurança e outros)

Carvão Mineral (queima limpa, gases de efeito estufa e captura do carbono)

- Eficiência Energética com Avanços Tecnológicos



# POTENCIAL HIDROELÉTRICO BRASILEIRO APROVEITÁVEL

(Competitivo e Sócio-ambientalmente Viável)

- Potencial Hidroelétrico Brasileiro: 260.000 MW (3º / 4º do mundo)
- PLANO 2030 (11 / 2007): cerca de 180.000 MW aproveitável, semelhante ao PLANO 2015 da ELETROBRAS (04 / 1994)
- Conta-se, atualmente, com segurança, considerando as dificuldades ambientais e de custos, com cerca de 160.000 MW
- Ano 2020, cerca de 100.000 MW hidroelétricos em operação; Portanto um mínimo de 60.000 MW hidroelétricos poderiam ser planejados para suprimento ao mercado após 2020
- Possível programa hidroelétrico: cerca de 2.000 / 3.000 MW, por ano, durante 30 / 20 anos, período 2020 / 2040 (2050); As demais fontes responderiam por algo entre 40 a 60% do total, dependendo dos cenários das demandas.

# LICENCIAMENTO DA HIDROELETRICIDADE

- Agência Nacional de Águas - ANA
- Advocacia Geral da União - AGU
- Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL
- Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA
- Empresa de Pesquisa Energética - EPE
- Fundação Nacional do Índio - FUNAI
- Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN
- Procuradoria Geral Estadual - PGE
- Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA
- Ministério do Meio Ambiente - MMA
- Ministério de Minas e Energia - MME
- Ministério Público Federal - MPF
- ONGs
- Órgão Licenciador
- Poder Judiciário

# PRINCIPAIS DESAFIOS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

## ( 1 / 2 )

- Planejamento e Políticas Energéticas (MME e EPE)
- Atuação das Agências Reguladoras (ANEEL, ANA e ANP)
- Expansão do Sistema Elétrico / Energético - Energia do Futuro
- Financiamento do Programa de Expansão (BNDES)
- Operação do Sistema Elétrico – Confiabilidade / Custos (ONS)
- Comercialização da Energia – Fluxo Financeiro entre Agentes (CCEE)
- Formação e Treinamento das Equipes do Setor Energético
- Desenvolvimento Tecnológico – Integração Indústria / Universidade

# PRINCIPAIS DESAFIOS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

## ( 2 / 2 )

- Integração Elétrica / Energética com os Países Vizinhos e Outras Ações Internacionais
- Transição da Expansão Hidro a Inserção das Fontes Renováveis Intermitentes Eólica, Biomassa e Solar e a Expansão Térmica
- Inclusão de Usinas Hidroelétricas a Fio-d'água (sem reservatórios de regularização plurianual) implicando na necessidade de: 1) Usinas Reversíveis (de bombeamento, diárias e sazonais); 2) Unidades Geradoras Para Suprimento de Ponta (período seco, junho / dezembro, geração baixa das hidroelétricas da amazônia); 3) Alocação da Geração na Curva de Carga Diária (madrugada, fins de semana e feriados, período úmido, janeiro / maio, geração de base das hidroelétricas da amazônia)
- Política de Distribuição, entre Distintos Beneficiários, do Excedente Financeira das Hidroelétricas, no Final das Respectivas Concessões e Plenamente Amortizadas
- Reverter a Tendência de Elevação, em Termos Reais, da Tarifa de Energia Elétrica
- Privatização das Empresas / Concessionárias de Distribuição, Transmissão e Geração

# UHEs COM RESERVATÓRIOS DE REGULARIZAÇÃO PLURIANUAL EXISTENTES

- Bacia do São Francisco (década 1970):
  - Sobradinho (volume útil: 29 bilhões m<sup>3</sup>);
  - Três Marias (volume útil: 15 bilhões m<sup>3</sup>)
- Bacia do Paraná (década 1970):
  - Furnas (volume útil: 17 bilhões m<sup>3</sup>)
  - Emborcação (volume útil: 13 bilhões m<sup>3</sup>)
  - Itumbiara (volume útil: 12 bilhões m<sup>3</sup>)
  - Nova Ponte (volume útil: 10 bilhões m<sup>3</sup>)
- Bacia do Tocantins (década 1980)
  - Serra da Mesa (volume útil: 43 bilhões m<sup>3</sup>)
  - Tucuruí (volume útil: 32 bilhões m<sup>3</sup>)
- Bacia do Iguaçu (década 1980)
  - Foz do Areia (volume útil: 6 bilhão m<sup>3</sup>)
  - Salto Santiago (volume útil: 4 bilhões m<sup>3</sup>)
  - Segredo (volume útil: 0,4 bilhões m<sup>3</sup>)
- Bacia do Uruguai (década 1980)
  - Barra Grande (volume útil: 2 bilhão m<sup>3</sup>)
  - Machadinho (volume útil: 1 bilhão m<sup>3</sup>)

# UHEs A FIO D'ÁGUA DA REGIÃO NORTE

- Bacia do Madeira

Jirau (operação)

Santo Antônio (operação)

Obs.: nenhuma usina a jusante; reservatórios de regularização na Bolívia

- Bacia do Xingu

Belo Monte (operação)

Obs.: Nenhuma usina a jusante (Resolução do CNPE); possível reservatório de regularização a montante em região de planície (grande área inundada com reduzida profundidade / antigo reservatório de Babaquara com 6.000 km<sup>2</sup>)

- Bacia do Tapajós (planejamento e construção)

UHEs do Complexo São Luís (cerca de 15.000 MW)

Obs.: nenhuma usina com reservatório de regularização a jusante

UHEs no Rio Teles Pires

Obs.: usinas de Teles Pires e Colider são a fio d'água; usina de Sinop tem um reservatório de regularização com 2 bilhões m<sup>3</sup>)

# SEGURANÇA ENERGÉTICA E OPERAÇÃO DAS USINAS

## Critério de Suprimento da Geração

1. Critério Determinístico (CANAMBRA): Energia Firme de Período Crítico, década de 1970 até meados da década de 1980;
2. Critério Probabilístico, Risco Anual do Déficit de Energia 5 %, meados da década de 1980 até o racionamento de 2001 (igualdade CME = CMO; custo unitário do déficit da energia, parâmetro implícito, como resultado);
3. Critério Probabilístico, Custo Unitário do Déficit de Energia, (CNPE limitou o Risco Anual de Déficit de Energia em 5%), do racionamento de 2001 até atualmente (igualdade CME = CMO; risco anual do déficit de energia, parâmetro implícito, como resultado).

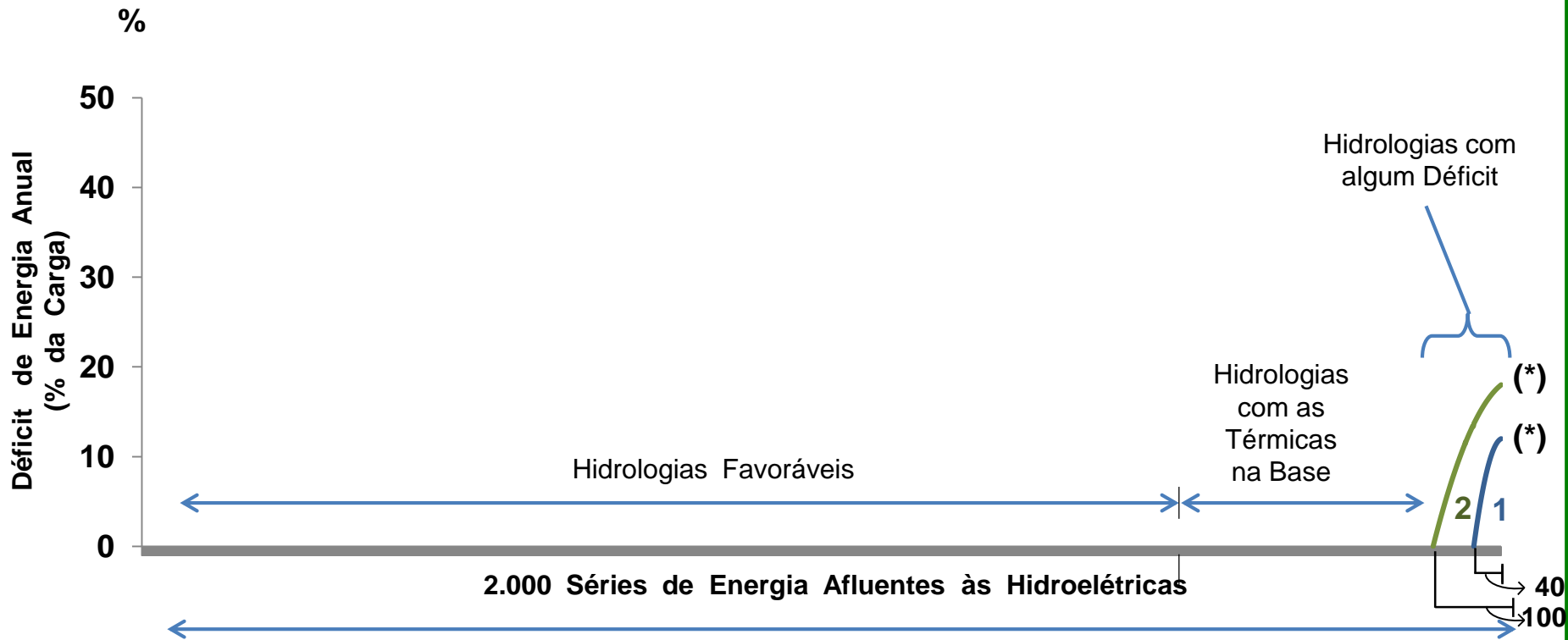
## Qualificação da Segurança Energética do Sistema

- O critério de suprimento da geração atualmente adotado (item 3 acima) resulta em riscos de déficit anuais de 2 a 3%, com a alternativa de geração ajustada à carga, com esse critério;
- Segurança energética do sistema gerador elevada, com a adoção deste critério.

O evento racionamento é raro, estatisticamente ocorrendo uma vez ao longo de cerca de duas décadas; Quando ele ocorre é conhecido com antecipação e, em geral, representa uma parcela de energia não suprida inferior a 10 / 15% da carga total; Este montante pode ser plenamente ou parcialmente administrado por medidas operativas, de conservação e uso eficiente da energia por parte dos consumidores, resultando em reduzidos impactos na economia nacional.

# SISTEMA HIDROELÉTRICO / 2.000 SÉRIES ENERGIAS AFLUENTES

## Déficit de Energia Anual, Geração Térmica, Excedente Hidroelétrico



1 – Risco de déficit anual de 2%

2 – Risco de déficit anual de 5%

(\*) Indicação Qualitativa – Sem adoção de escala



# OPERAÇÃO DAS USINAS TÉRMOELÉTRICAS

## (Sistema Gerador Nacional - Hidroelétrico / Termoelétrico / Eólico / Solar)

- Condições hidrológicas são em geral favoráveis;
- Anos isolados de hidrologias muito desfavoráveis (60 / 65% da média de longo termo) são eventos estatisticamente raros. Vários anos consecutivos de hidrologias muito desfavoráveis são estatisticamente mais raros;
- A operação das térmicas, neste contexto hidrológico, é a seguinte:

usinas com custos do combustível baixos, operação de base, nuclear, carvão mineral, biomassa, gás natural;

usinas com custos do combustível elevados (se existirem - óleo diesel, óleo combustível), operação de complementação ao sistema hidroelétrico, nos raros eventos de hidrologias desfavoráveis.

# APROVEITAMENTO DO EXCEDENTE FINANCEIRO DAS HIDROELÉTRICAS

(1 / 2)

Potencial Hidroelétrico – Bem da União (Constituição Federal);

União explora diretamente ou através de concessão, sempre por licitação;

Usina Hidroelétrica: investimento (cerca de 70 / 75% do custo da energia);  
operação, manutenção, meio ambiente (cerca de 30 / 25%)

Concessão de 30 anos, amortiza todo o financiamento e remunera o recurso próprio investido (equity);

**Depois dos 30 anos:** 1) usina retorna a União, com custos apenas de operação / manutenção / meio ambiente (por exemplo, da ordem de 15 a 30 R\$ / MWh); 2) energia continua comercializada pelo custo marginal do sistema, custo de oportunidade (por exemplo 130 a 150 R\$ / MWh)

Resultado: Grande excedente financeiro nessas usinas hidroelétricas; De quem é esse excedente financeiro?

# APROVEITAMENTO DO EXCEDENTE FINANCEIRO DAS HIDROELÉTRICAS

(2 / 2)

- 1) Excedente Financeiro nas Hidroelétricas (plenamente amortizadas) no final da Concessão. União torna-se proprietária da usina e do excedente;
- 2) União define Política (legislação específica) de Estado (não de governo) de distribuição desses recursos financeiros entre diferentes beneficiários, atendendo o Interesse Público e as Prioridades do País e da Sociedade (investidores, consumidores, tesouro nacional e outros).

## Possíveis Beneficiários:

- 1) Investidor na usina (expansão do sistema elétrico nacional)
- 2) Redução da tarifa da energia elétrica de todos os consumidores, inclusive o industrial (elevar a competitividade do País e o “Custo Brasil”)
- 3) Redução de déficits do Tesouro Nacional (equilíbrio das contas públicas)
- 4) Recuperação ambiental das bacias hidrográficas (vazões e hidrologias dos rios, valorizando distintos usos dos recursos hídricos nacionais)
- 5) Desenvolvimento tecnológico do Setor Elétrico (redes inteligentes, fontes intermitentes eólica e solar, centros de pesquisas e outros)
- 6) Programas específicos de interesse nacional (baixa renda, eficiência energética, programa nuclear no longo prazo e outros)

# BRASIL - ENERGIA ELÉTRICA

## FONTE EÓLICA

- 1) Geração Distribuída (desenvolver em todas as regiões do País);
- 2) Ventos Muito Favoráveis, em Direção e ao Longo do Ano (similaridade das estações do ano, ao contrário dos países europeus, China e USA);
- 3) Diversidade com o Regime de Altas e Baixas Vazões dos Rios Nacionais;
- 4) Reserva Girante das Unidades Geradoras das Hidroelétricas Resolve Parcialmente a Característica de Fonte Intermitente; A Energia Eólica Produzida pode ser Armazenada na Forma de Água nos Reservatórios de Regularização Plurianual, sendo o Armazenamento Usado como “Bateria”;
- 5) Avanços Tecnológicos, com Torres mais Elevadas e Maiores Capacidades Unitárias dos Geradores;

Resultado: Fatores de Capacidade Anual Elevados, Podendo Atingir Valores Superiores a 50%, em Anos de Ventos Favoráveis; Isso Torna a Fonte Eólica Favoravelmente Competitiva no Brasil.

# BRASIL - ENERGIA ELÉTRICA

## FONTE SOLAR FOTOVOLTAICA

- 1) Geração Distribuída, Incluindo a Opção no Consumidor (desenvolver em todas as regiões do País);
- 2) Sol Durante Muitas Horas do Dia e em Todos os Dias do Ano, ao contrário dos países europeus, China e USA;
- 3) Diversidade com o Regime de Altas e Baixas Vazões dos Rios Nacionais;
- 4) Reserva Girante das Unidades Geradoras das Hidroelétricas Resolve Parcialmente a Característica de Fonte Intermitente; A Energia Solar Fotovoltaica Produzida pode ser Armazenada na Forma de Água nos Reservatórios de Regularização Plurianual, sendo o Armazenamento usado como “Bateria”;
- 5) Avanços Tecnológicos com Aumento do Rendimento da Fonte, no Processo de Conversão da Energia Fotovoltaica em Energia Elétrica;

Resultado: Fatores de Capacidade Anual Elevados; Isso Torna a Fonte Solar Fotovoltaica favoravelmente Competitiva no Brasil.