

# A Inserção da Energia Nuclear na Matriz Elétrica Nacional

+

## A Evolução Tecnológica dos Reatores Nucleares



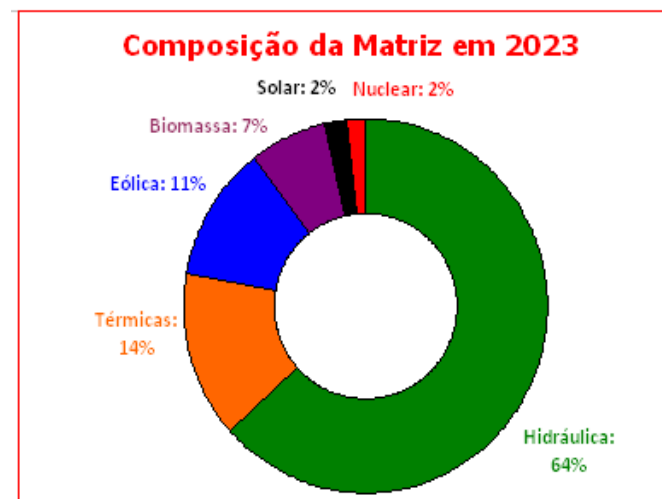
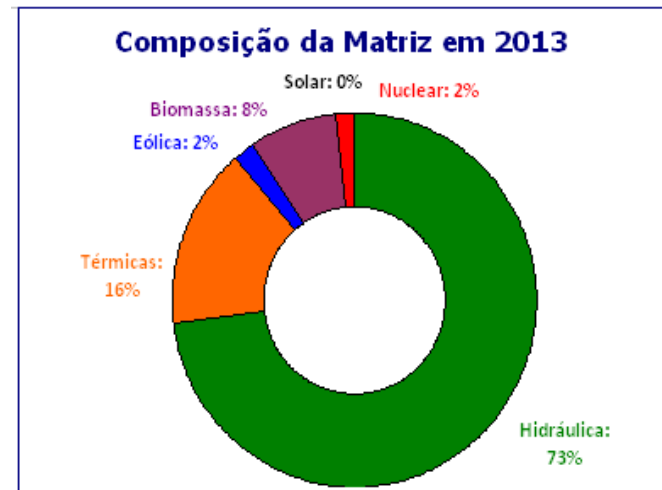
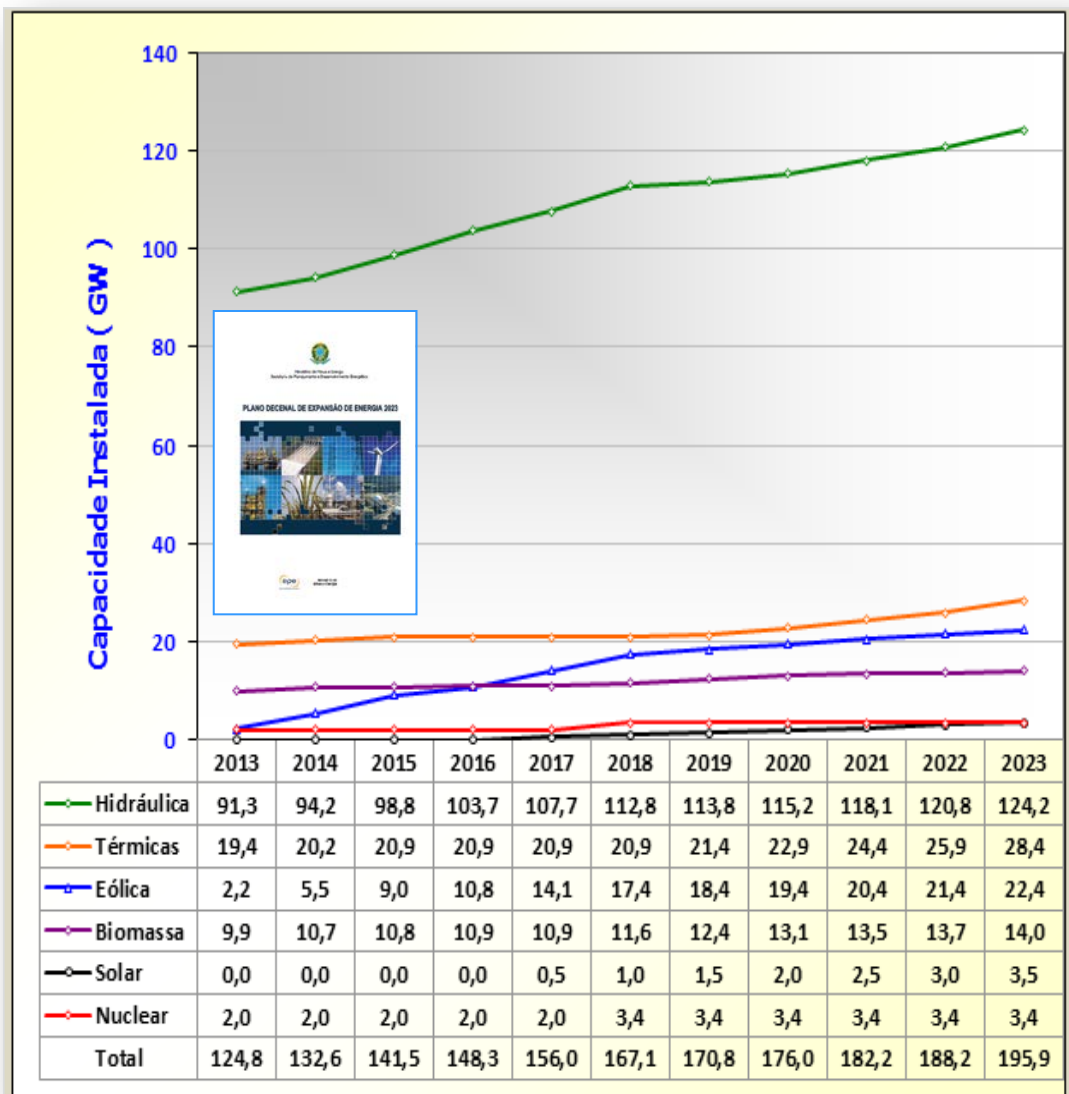
**Roberto C. A. Travassos**  
ELETROBRAS ELETRONUCLEAR  
Diretoria de Planejamento,  
Gestão e Meio Ambiente



# 1ª PARTE

## A Inserção da Energia Nuclear na Matriz Elétrica Nacional

**Evolução da Capacidade Instalada:** 124,8 GW para 195,9 GW (+57% / ~ 7,1 GW por ano)





## Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto

### ANGRA 2

Potência: 1.350 MW  
Tecnologia: Siemens/KWU  
Operação: Janeiro/2001

### ANGRA 1

Potência: 657 MW  
Tecnologia: Westinghouse  
Operação: Janeiro/1985

**Ranking Mundial de Fatores de Disponibilidade**  
Fonte: AIEA-PRIS / Maio-2013

| Ano  | Posição | País      | FD (%) |
|------|---------|-----------|--------|
| 2011 | 1º      | Eslovênia | 98,6%  |
|      | 2º      | Brasil    | 95,7%  |
|      | 3º      | Romênia   | 94,6%  |
| 2012 | 1º      | Romênia   | 92,6%  |
|      | 2º      | Brasil    | 92,0%  |
|      | 3º      | Finlândia | 91,0%  |



## Vista Geral do Canteiro de Obras

Edifício da Turbina: U M A

Edifício do Reator U J B

Edifício de Controle: U B A

Edifício de Alimentação de Emergência: U L B

Edifício Auxiliar do Reator: U K A

10/07/2014 09:59



## Oferta Adicional de Energia 2015 a 2030

Em seguimento ao PDE da época: **Lacuna de 7 anos**

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

| Fonte                    | CASO BASE     |               |               |               |                     | CASO 1              | CASO 2              |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                          | N             | NE            | SE / CO       | S             | TOTAL               |                     |                     |
| Conservação <sup>1</sup> | ?             | ?             | ?             | ?             | 12.000 <sup>1</sup> | 12.000 <sup>1</sup> | 12.000 <sup>1</sup> |
| 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               |
| <b>Nuclear</b>           | 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               |
| <b>T O T A L</b>         | <b>45.520</b> | <b>10.630</b> | <b>31.260</b> | <b>12.740</b> | <b>100.150</b>      | <b>122.350</b>      | <b>121.050</b>      |

(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)

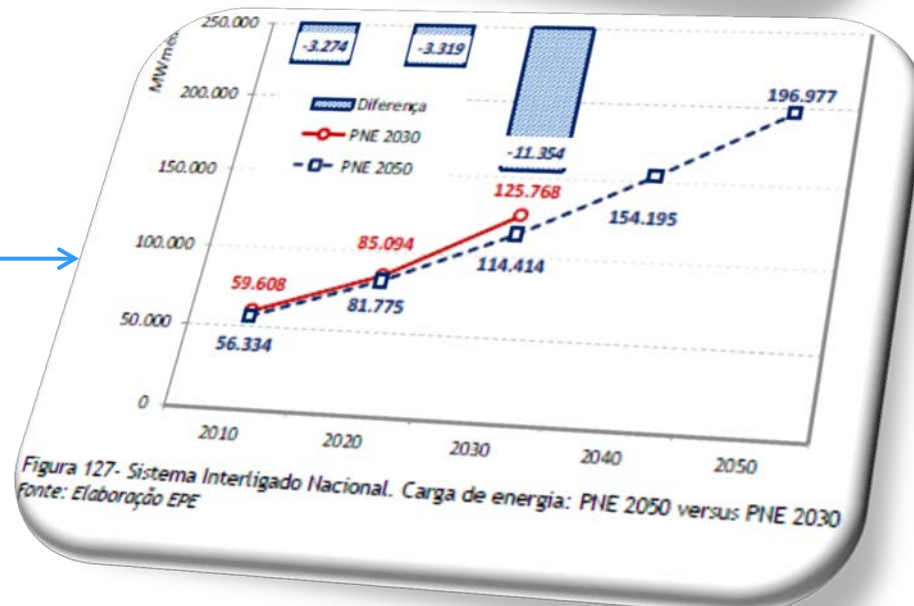
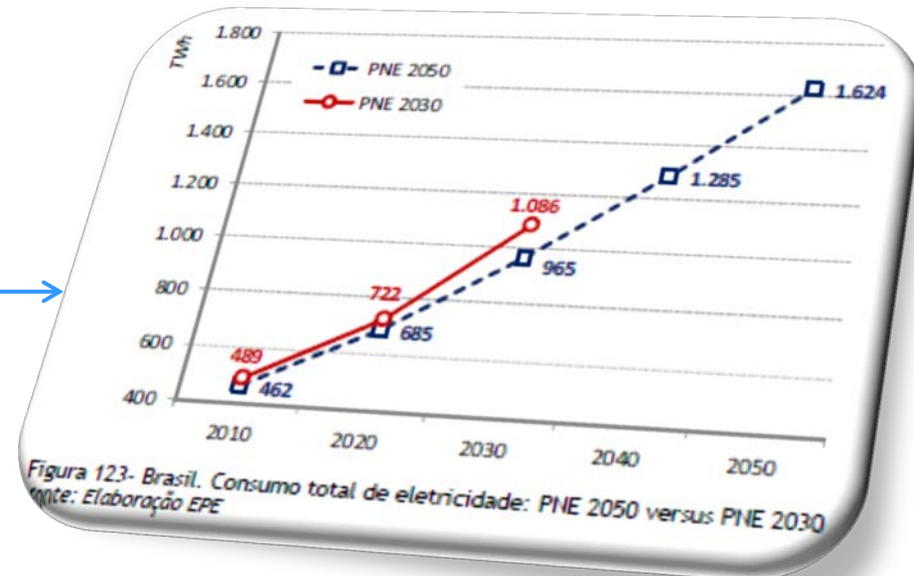


Nordeste: 2 GW  
**Prioridade**

SE/CO: 2 GW

**Inconsistências em relação ao PDE 2023**

- Eólica - PDE 2023: + 20,2 GW em 10 anos
- Solar - PDE 2023: Novos 3,5 GW em 6 anos
- Nuclear: Nordeste continuará Prioridade ???**
- Gás Natural: Reservas Efetivas do Pré-sal ?





Ministério de  
Minas e Energia



## WORKSHOP PERSPECTIVAS E DESAFIOS DA ENERGIA NUCLEAR NA MATRIZ ELÉTRICA DO BRASIL

GESEL / SINERGIA / EDF

A OPÇÃO NUCLEAR PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Altino Ventura Filho  
Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético  
Rio de Janeiro, 12 de setembro de 2014



Ministério de  
Minas e Energia

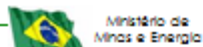
## A ALTERNATIVA NUCLEAR DO BRASIL A PARTIR DA PRÓXIMA DÉCADA

Por que a Geração Nuclear, a partir da próxima década, no Brasil?

- **Esgotamento do Potencial Hidrelétrico Nacional, no Quinquênio 2025/2030**
- **Competitividade da Opção Nuclear - Custo Unitário da Energia Competitivo**
- **Operação Permanente (de base) Devido ao Baixo Custo do Combustível**
- **Aspectos Ambientais – Baixa Emissão de CO<sub>2</sub> (efeito estufa, mudanças climáticas)**
- **Desenvolvimento Tecnológico - Criação de Empregos “Nobres” e Qualidade da Indústria**

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético  
Altino Ventura Filho





## POTENCIAL HIDROELÉTRICO BRASILEIRO APROVEITÁVEL (Competitivo e Ambientalmente Viável)

- Potencial Hidroelétrico Brasileiro: 260.000 MW (3º/4º do mundo)
- Plano 2030 (11/2007): cerca de 180.000 MW como aproveitável, semelhante ao Plano 2015 da ELETROBRAS (04/1994)
- Atualmente, conta-se com segurança com até 150.000 MW, montante necessário até o quinquênio 2025/2030 (função do cenário energético e ambiental futuro)

**A Expansão da Capacidade Instalada do Brasil, a partir deste quinquênio 2025/2030, sem parcelas significativas de novas hidroelétricas, será majoritariamente baseada em usinas térmicas a Gás Natural, Nuclear e Carvão Mineral.**

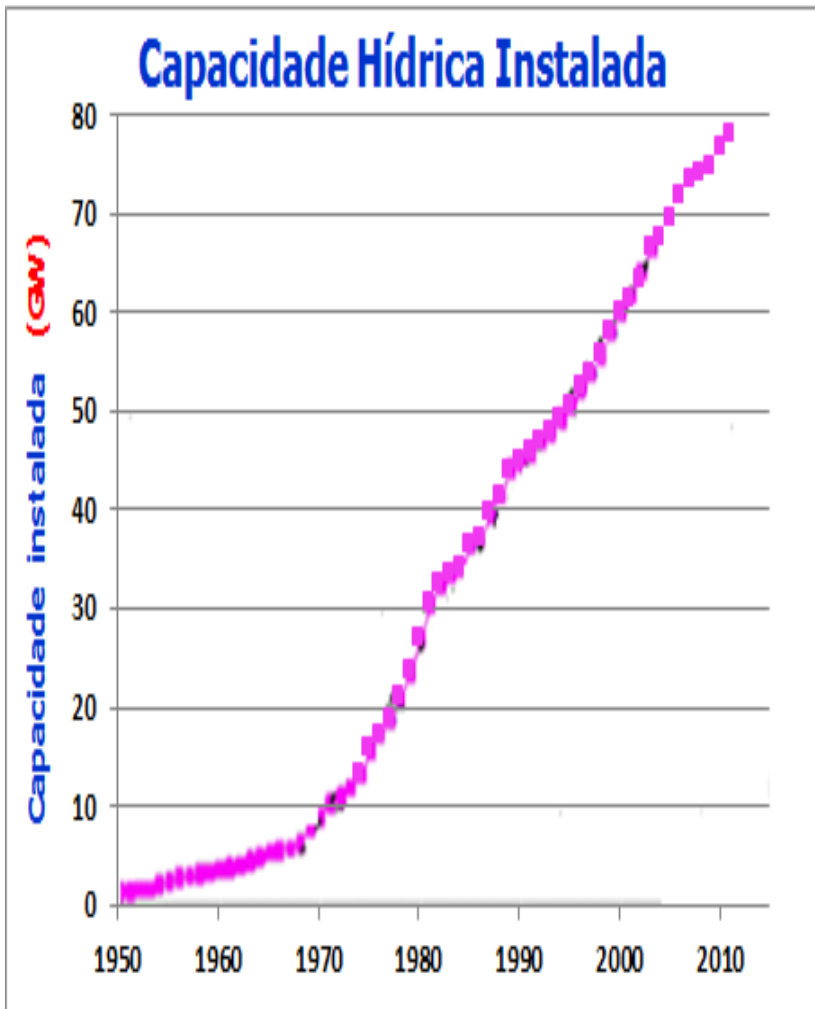


## Expansão da Capacidade Instalada de Energia Elétrica do Brasil A Partir do Quinquênio 2025/2030

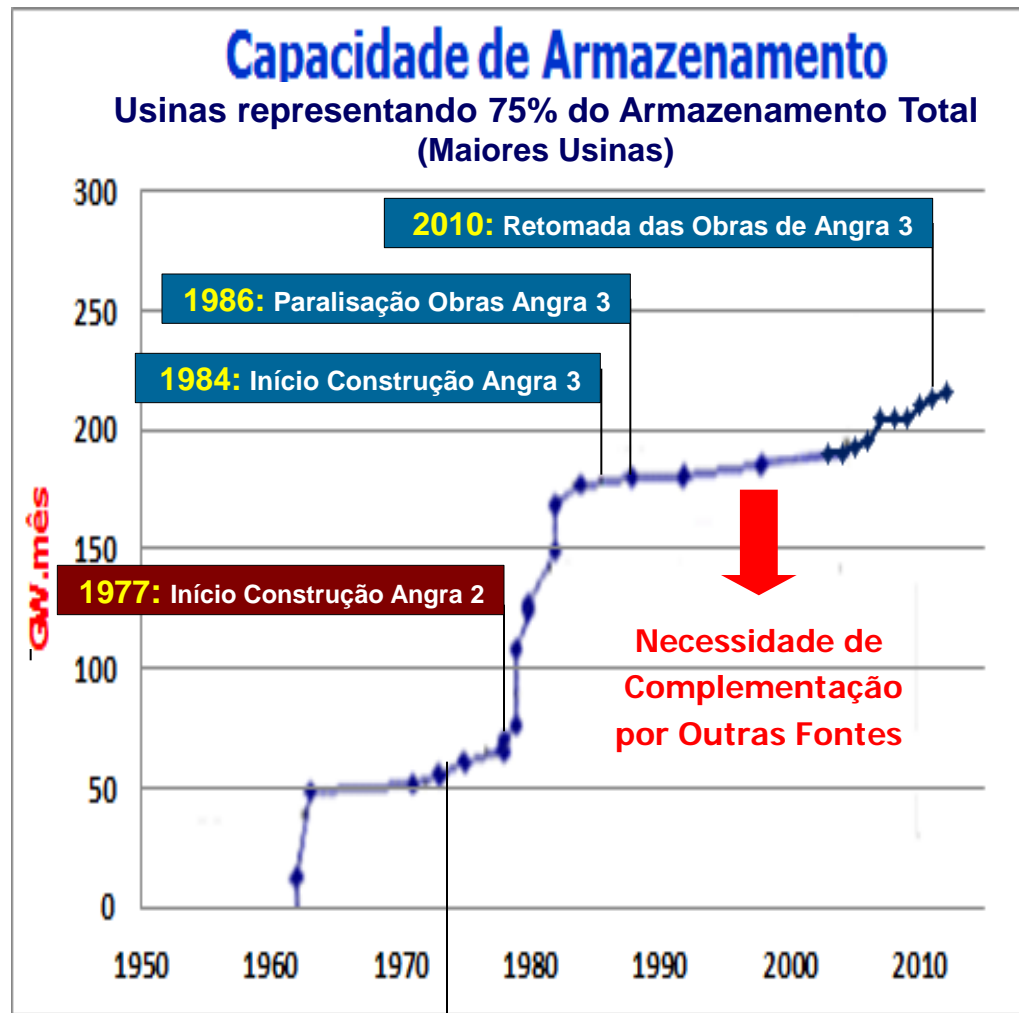
(Após o Aproveitamento do Potencial Hidroelétrico Econômico e Ambientalmente Viável)

- Programa Térmico (operação de base)
  - Nuclear** (aceitação pública, resíduos, segurança e outros)
  - Gás Natural (outros usos, matéria prima na indústria, oferta e preços)
  - Carvão Mineral (queima limpa eficiente, emissões de gases de efeito estufa e evolução da tecnologia de captura do carbono).
- Complementado por Fontes Energéticas Renováveis
  - Eólica
  - Biomassa (bagaço de cana-de-açúcar)
  - Solar Fotovoltaica e Eventualmente Termo Solar
  - Lixo Urbano
- Eficiência Energética com Avanços Tecnológicos

## Potência Hídrica Instalada x Capacidade de Armazenamento

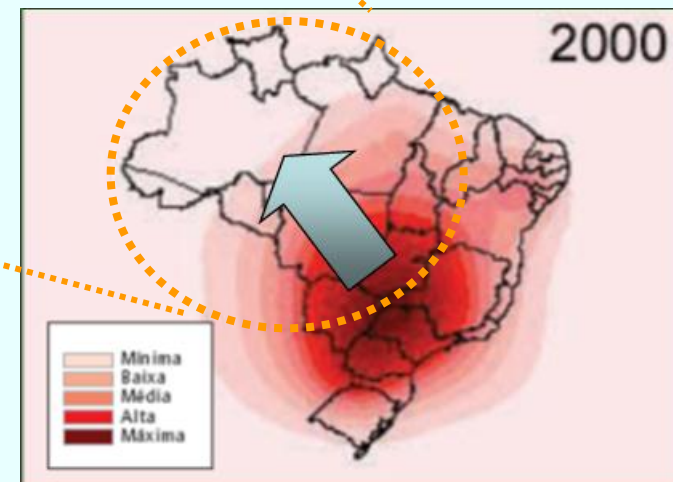
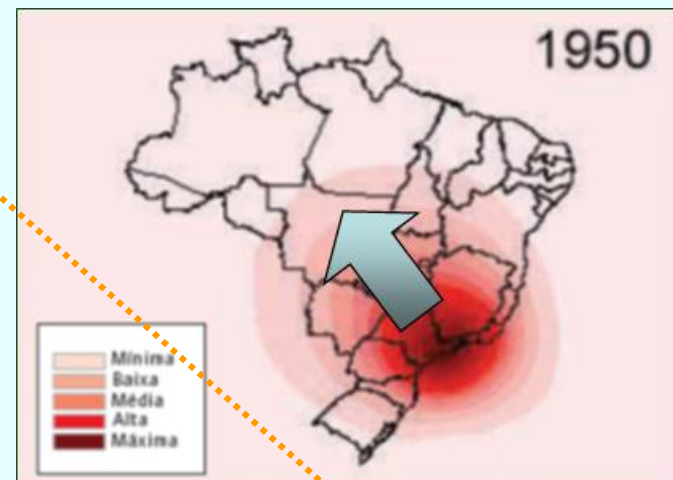
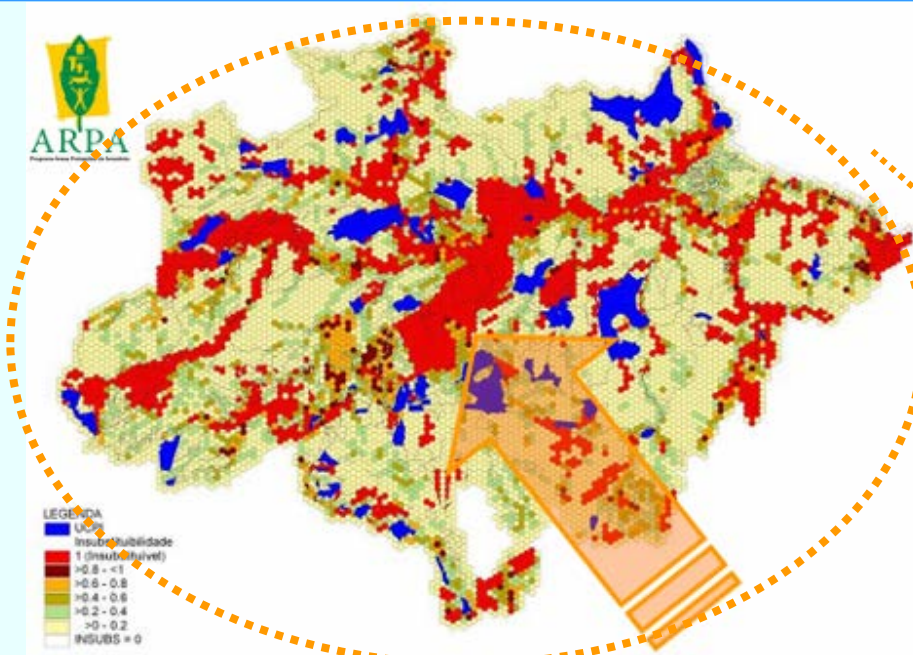


Fonte: Lista da ONS dos Principais Reservatórios / 2010



1972: Início Construção Angra 1

## Potencial Hídrico Remanescente na Região Amazônica: Planície



### Usinas com Pequenos Reservatórios:

- Áreas de Proteção Ambiental
- Reservas Indígenas

} ~ 40% da  
área territorial

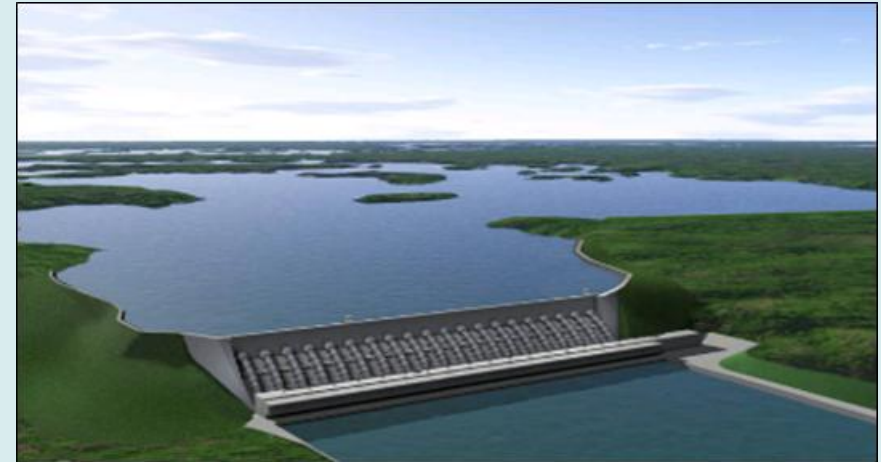
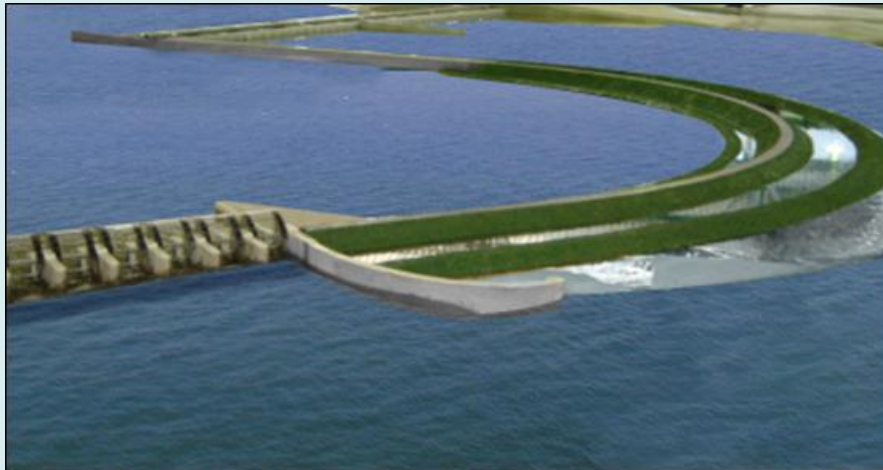


## SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO

### Necessidade de Regulação por Fontes Térmicas

**Essa tendência será amplificada para novos projetos na Bacia Amazônica**

- **Atual Fator de Capacidade Médio para Hidrelétricas no Brasil: 55%**
- **Usinas “A Fio D’água”:  
Tendência de menores Fatores de Capacidade**

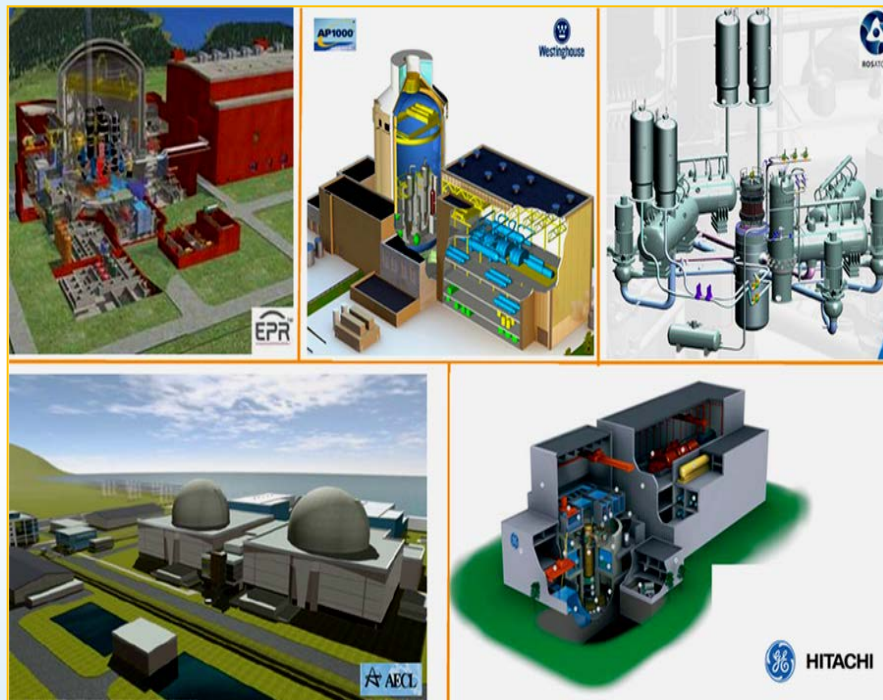


**Hidrelétrica no Rio Madeira: 6.500 MW**

**Hidrelétrica de Belo Monte: 11.000 MW**

## Oportunidades para a Energia Nuclear

### Características das Centrais Nucleares



- Implantação em áreas reduzidas.
- Elevado Fator de Capacidade.
- Grande oferta de energia na **base**.
- Grandes Reservas de Urânio no País.
- Baixo Custo do Combustível
- Domínio Tecnológico do Ciclo e do Enriquecimento do urânio
- Reduzido impacto ambiental.

## Usinas Nucleares Pós Angra 3 Conceito para o Site

Centrais com até 6 plantas  
**1.000 MW**  
(implantadas 2 a 2)

**Ganhos de Escala**  
Tendência Mundial

- projeto
- licenciamento
- infra-estrutura
- construção
- operação
- manutenção
- gestão de rejeitos

- Redução do prazo de construção
- Redução do investimento para implantação



**ULCHIN**  
**5.900 MW**  
Coréia



**GRAVELINES**  
**5.700 MW**  
França








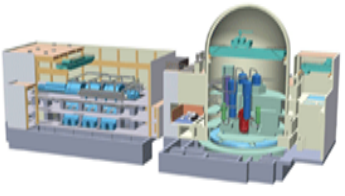

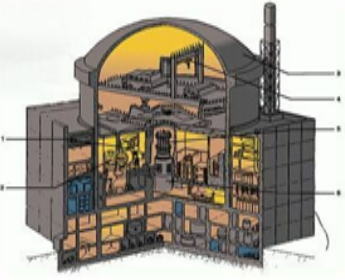
**ZAPORIZHZHYA**  
**6.000 MW**  
Ucrânia



## Seleção da Tecnologia: Usinas Pós Angra 3

- **Sistemas de segurança passiva**
- **Vida útil: 60 anos**
- **Construção modular / Menor quantidade de equipamentos**
- **Ciclos operacionais mais longos / Paradas para reabastecimento mais curta**

### PWR ~ 1.000 MW

|   |   |
|---|---|
| <b>WESTINGHOUSE / TOSHIBA</b><br> <b>USA</b><br><b>AP 1000</b><br> <b>JAPÃO</b> |    |
| <b>AREVA / MITSUBISHI</b><br> <b>FRANÇA</b><br><b>ATMEA 1</b><br> <b>JAPÃO</b>  |   |
| <b>ROSENERGOATOM</b><br><b>VVER 1000</b><br> <b>RUSSIA</b>   |  |

### PWR > 1.000 MW

|   |   |
|---|---|
| <br><small>Click to download detailed version.</small> | <br><b>MITSUBISHI</b><br><b>US-APWR</b><br><b>1.700 MW</b> |
|   | <br><b>AREVA</b><br><b>EPR</b><br><b>1.700 MW</b>          |
|    | <br><b>KHNP</b><br><b>APR</b><br><b>1.400 MW</b>         |

## Critérios de Seleção de Locais

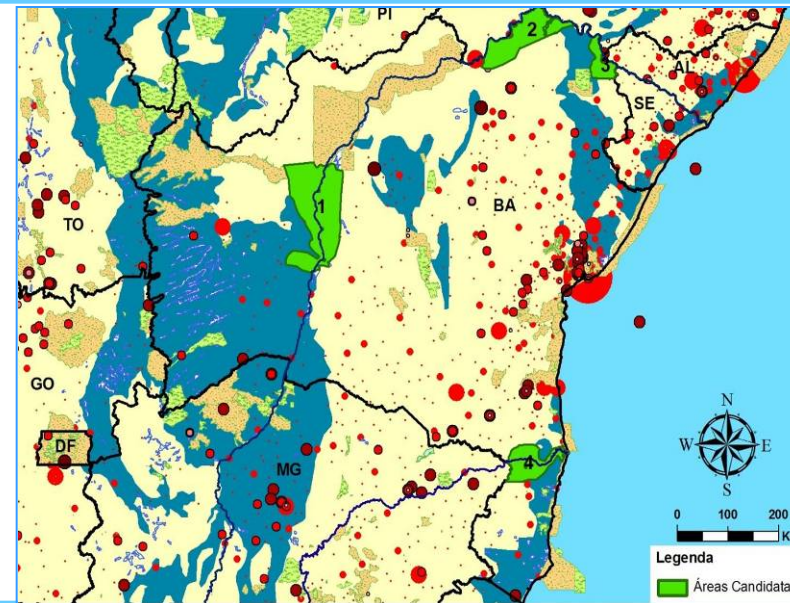
### Estudos Preliminares

- Metodologia EPRI - EUA
- Convênio COPPE/ UFRJ: 2008
- Cooperação EPE: 11-Ago-2010



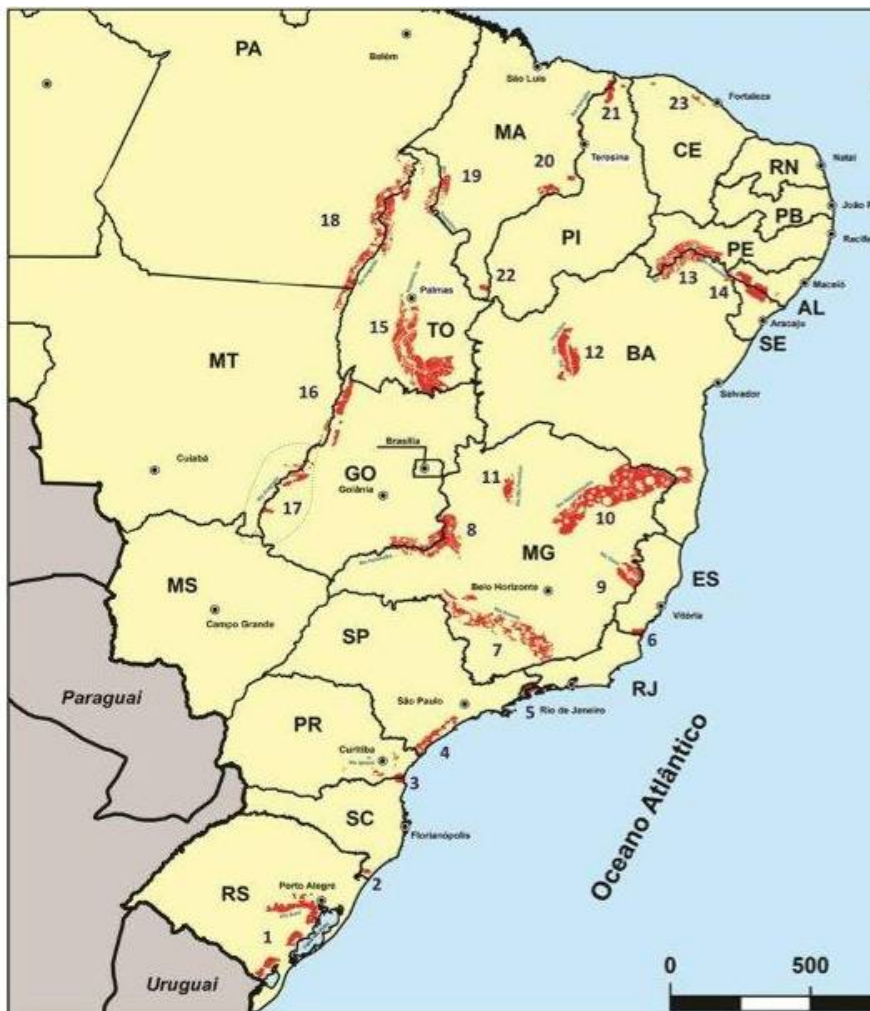
## Alguns Critérios de Seleção de Locais

- Suprimento de água de refrigeração
- Populações / Indústrias já existentes
- Áreas de Preservação Ambiental
- Áreas alagadas / Aquíferos
- Movimentos vibratórios do solo
- Acessibilidade dos locais
- Linhas de Transmissão já existentes
- Outros (políticos / econômicos / etc. / etc...)





## Atlas Brasileiro de Sites Potenciais para Centrais Nucleares: 40 Áreas Seleccionadas



Nordeste



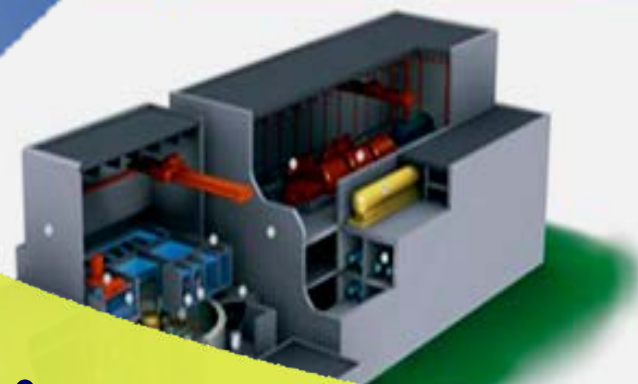
Sudeste





## 2ª PARTE

# A Evolução Tecnológica dos Reactores Nucleares



## Requisitos para Garantir a Competitividade da Indústria de Geração Elétrica por Fonte Nuclear:

### ↑ **Segurança Operacional:** Minimizar Possibilidades de Acidentes

- Equacionamento das consequências do próprio acidente
- Fortíssimas repercussões na mídia internacional
- Apelo promocional para grupos ideologicamente antinucleares
- **Enorme potencial para frear a utilização da energia nuclear**

### ↑ **Rentabilidade:** Fundamental em quaisquer empreendimentos / Independe da natureza

↓ **Custo de Construção**

↓ **Prazo de Construção**

↑ **Economicidade Operacional:** Menores Custos de O&M e de Combustível

↑ **Produtividade:** Maiores Fatores de Disponibilidade / Melhorias no Circuito Secundário

## Contexto Geral no Nascedouro da Indústria Nucleoelétrica:

### ➤ Ambiente Político Mundial

- Pós 2ª Grande Guerra Mundial
- Fortíssimas Tensões Geopolíticas
- Início da Guerra Fria: **Corrida por Hegemonia Mundial**
- Principais Segmentos de Polarização: **Aeroespacial e Bélico-Nuclear**

### ➤ Bases Técnicas das Primeiras Instalações

- A partir de Projetos Não Pacíficos **ou**
- Finalidade Híbrida: **Produção de eletricidade e de material para uso bélico (Pu)**

### ➤ Os Primeiros Reatores de Potência

- Protótipos para Demonstração Industrial



## Usinas Geração I: As Primeiras Instalações para Geração Nucleoelétrica



1951: Argone - EUA / EBR-1 / 4 Lâmpadas



1954: Obninsk AM1- URSS / 6 MW / RBMK /  $U_{ENR-5\%}$  / LW /  $G_{RF}$

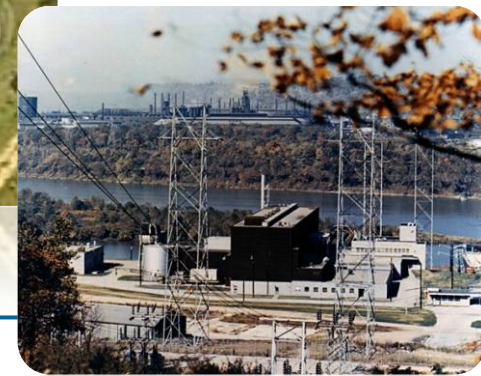
**Todos Reactores Geração I  
Descomissionados**

1956: Calder Hall-UK / 40 MW / MAGNOX /  $U_{NAT}$  / Gás /  $G_{RF}$

1957: Forte Belvior - EUA / 2 MW / PWR /  $U_{ENR-93\%}$  / LW / LW

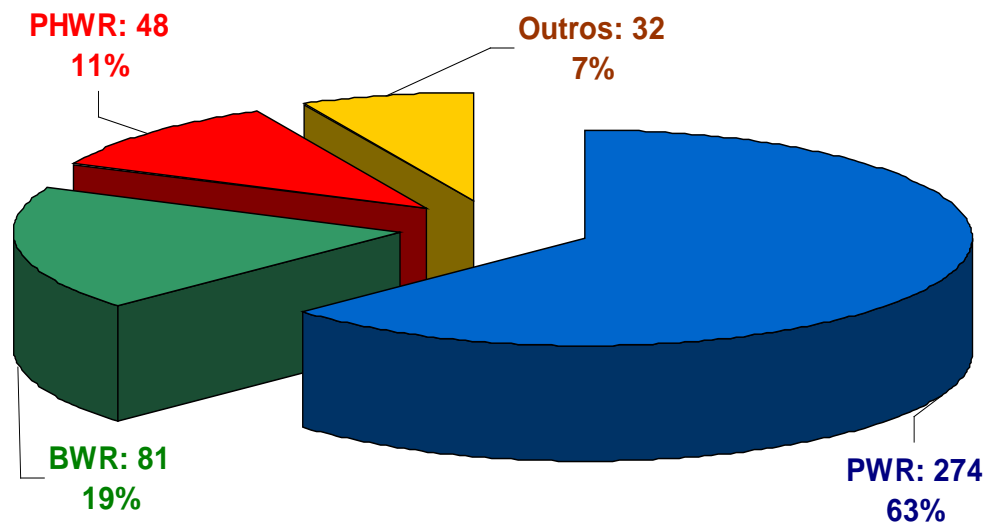


1957: Shippingport - EUA / 60 MW PWR /  $U_{ENR-5\%}$  / LW / LW



## Usinas Geração II: Atual Parque Gerador Nucleoelétrico

- **Usinas em Operação:** 437 usinas em operação / 31 países / 375 GW instalados
- **Usinas Descomissionadas:** 169 usinas retiradas / 57 GW retirados de operação
- **Fator de Disponibilidade 2013:** 88,5% (excluídas as 54 Usinas do Japão: FD=3,5% em 2013)
- **Perda Capacidade Não Planejada 2013:** 4,3%
- **Tecnologia Predominante:** PWR + BWR (mais de 80% do Parque Gerador Instalado)



## Usinas Geração III & III+: Bases Técnicas

- **Utilização de Fenômenos Físicos Naturais: Sistemas Passivos (EXEMPLOS)**
  - Força da Gravidade
  - Troca Térmica por Convecção
  - Circulação Natural de Gases e Líquidos
  
- **Vantagem dos Sistemas Passivos de Segurança**
  - Entrada Automática em Operação
  - Independe da Ação Humana ou quaisquer Equipamentos
  
- **Maior Confiabilidade Operacional**
  - Sistemas de I&C Digitais
  
- **Algumas Vantagens Construtivas: Construções mais Rápidas**
  - Construção Modular
  - Padronização de Sistemas, Materiais e Equipamentos
  - Melhor Organização do Canteiro de Obras
  - Facilidades no Gerenciamento do Almoxarifado de Obras



## Usinas Geração III+: 1º Reator Avançado em Operação

### Kashiwazaki-Kariwa NPP



Maior Central Nuclear do Mundo  
8.200 MW

KK-1 a KK-5: 5 x BWR 1100

KK-6 e KK-7: 2 x ABWR 1350

### ➤ Reator ABWR

- Reator Avançado a Água Fervente
- GE-Hitachi / Toshiba

### ➤ KK-6: 1º Reator Avançado no Mundo

- Início Construção: Nov-1992
- Início Operação : Nov-1996
- Prazo Construção: 48 Meses

■ ABWR Reactor Building section view

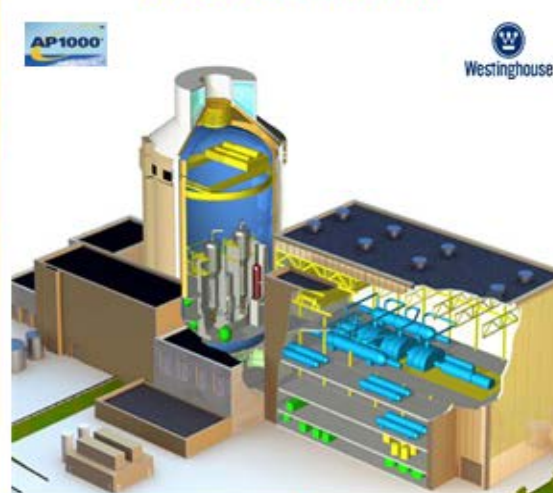


## Usinas Geração III+: Alguns dos Principais Modelos de Reatores Avançados

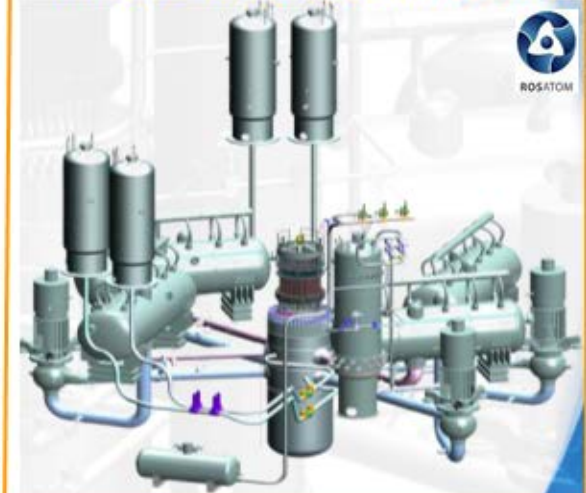
**EPR: 1650 MW**



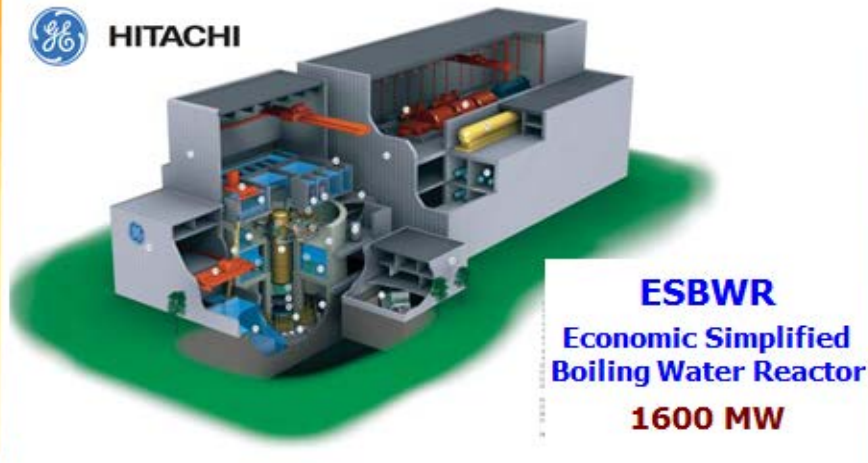
**AP1000: 1117 MW**



**VVER - AES-2006: 1200 MW**



**HITACHI**



**CANDU ACR - Advanced Candu Reactor: 1200 MW**



## Usinas Geração III+: Alguns Outros Modelos de Reatores III+

- **Tecnologia PWR:** *Reator a Água Pressurizada*
  - APWR 1200 - Advanced Pressurized Water Reactor: MITSUBISHI
  - CAP 1400 - Chinese Advanced Power Reactor: SNPTC-SNERDI / WESTINGHOUSE
  - CPR 1000 - Chinese Pressurized Reactor: SNPTC / AREVA
  - APR 1400 - Advanced Pressurized Reactor: KEPCO-KHNP
  - ATMEA 1100 - Pressurized Water Reactor: AREVA / MITSUBISHI
  
- **Tecnologia PHWR:** *Reator a Água Pesada Pressurizada*
  - CANDU EC6 - Enhanced Canadian Deuterium Reactor: AECL / CANDU ENERGY
  - AHWR 300 LEU - Advanced Heavy Water Reactor: ÍNDIA
  
- **Tecnologia BWR:** *Reator a Água Fervente*
  - KERENA 1250 - Boiling Water Reactor: AREVA
  - **ABWR 1350** - Advanced Boiling Water Reactor: GE-HITASHI /TOSHIBA
    - ➔ 4 Unidades em Operação no Japão
      - Kashiwazaki 6: Nov-1996
      - Kashiwazaki 7: Jul-1997
      - Hamaoka 5: Jan-2005
      - Shika 2: Mar-2006



## Usinas Geração IV: Reactores do Futuro em Pesquisa e Desenvolvimento

Sistemas Passivos / Construção Modular / Maior Eficiência / Menos Rejeitos / Não Proliferação

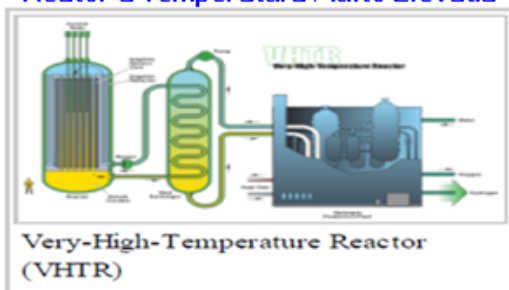
Alguns Modelos Híbridos: Eletricidade + Hidrogênio + Água Potável

### REATORES TÉRMICOS

Produção de H

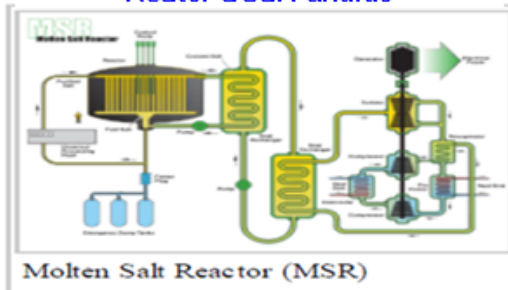
**VHTR**

Reator a Temperatura Muito Elevada



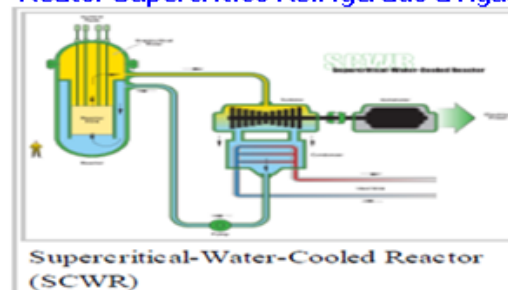
**MSR**

Reator a Sal Fundido



**CSWR**

Reator Supercrítico Refrigerado a Água

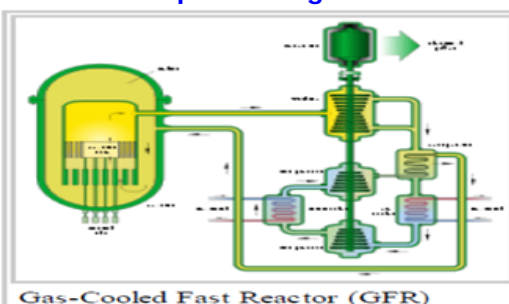


### REATORES RÁPIDOS

Produção de H

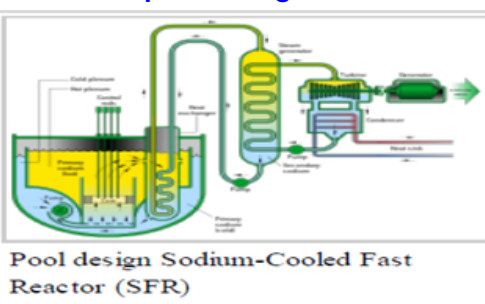
**GRF**

Reator Rápido Refrigerado a Gás



**SFR**

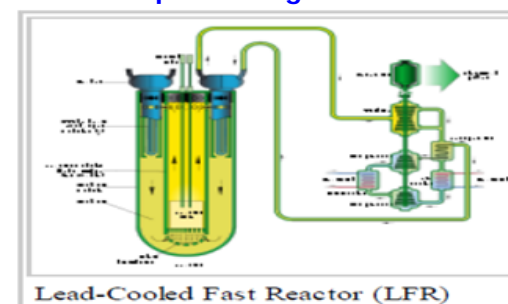
Reator Rápido Refrigerado a Sódio



Produção de H

**LFR**

Reator Rápido Refrigerado a Chumbo



## Pequenos Reactores Modulares: *SMRs*

- Potência entre 25 MW e 300 MW / Diversos Modelos e Nacionalidades
- Projetos Mais Simples / Segurança Passiva / Longos Períodos sem Abastecer
- Menores Custos de Investimento / Construção Modular
- Construção em Fábricas e Transportados para o Local de Uso / Menor Tempo de Construção
- Aplicações em Áreas Isoladas / Regiões com Dificuldades de Mão de Obra

SUMMARY OF SMR DESIGN STATUS

| Reactor design | Reactor type                                   | Designer, country                   | Capacity (MW(e))/ configuration           | Design status  |
|----------------|--|-------------------------------------|---|--|
| CNP-300        | Pressurized water reactor                      | CNNC, China                         | 325                                       | In operation   |
| PHWR-220       | Pressurized heavy water reactor                | NPCIL, India                        | 236                                       | In operation   |
| CEFR           | Liquid metal cooled fast reactor               | CNEIC, China                        | 20  | In operation   |
| KLT-40S        | Pressurized water reactor                      | OKBM Afrikantov, Russian Federation | 35 × 2 modules barge mounted              | Under construction   |
| HTR-PM         | High temperature gas cooled pebble bed reactor | Tsinghua University, China          | 211                                       | Under construction   |
| PFBR-500       | Liquid metal cooled fast breeder reactor       | IGCAR, India                        | 500                                       | Under construction   |
| CAREM          | Integral pressurized water reactor             | CNEA, Argentina                     | 27  | Site excavation completed  |
| EC6            | Pressurized heavy water reactor                | AECL, Canada                        | 740                                       | Detailed design; CANDU 6 reference plants are in operation   |
| SMART          | Integral pressurized water reactor             | KAERI, Republic of Korea            | 100                                       | Detailed design  |
| ABV-6M         | Pressurized light water reactor                | OKBM Afrikantov, Russian Federation | 8.6 × 2 modules, barge mounted land based | Detailed design  |
| RITM-200       | Integral pressurized water reactor             | OKBM Afrikantov, Russian Federation | 50  | Detailed design  |
| VBER-300       | Pressurized water reactor                      | OKBM Afrikantov, Russian Federation | 325                                       | Detailed design  |
| WWER-300       | Pressurized water reactor                      | OKBM Gidropress, Russian Federation | 300                                       | Detailed design  |
| IRIS           | Integral pressurized water reactor             | IRIS, International Consortium      | 335                                       | Detailed design  |
| mPower         | Integral pressurized water reactor             | B&W, USA                            | 180 × 2 modules                           | Pre-application interactions with the US NRC in July 2009; design certification application expected to be submitted in the fourth quarter of 2013 |

SUMMARY OF SMR DESIGN STATUS

| Reactor design   | Reactor type                                     | Designer, country                    | Capacity (MW(e))/ configuration              | Design status   |
|------------------|--|--------------------------------------|--|---|
| NuScale          | Integral pressurized water reactor               | NuScale Power Inc., USA              | 45 × 12 modules                              | NuScale plans to apply for design certification with the US NRC in 2013 |
| SVBR-100         | Liquid metal cooled fast reactor                 | AKME Engineering, Russian Federation | 101  | Detailed design   |
| PRISM            | Liquid metal cooled fast breeder reactor         | GE-Hitachi, USA                      | 155  | Detailed design   |
| 4S               | Liquid metal cooled reactor                      | Toshiba, Japan                       | 10   | Detailed design   |
| IMR              | Integrated modular water reactor                 | Mitsubishi Heavy Industries, Japan   | 350  | Conceptual design   |
| VK-300           | Boiling water reactor                            | RDIFE, Russian Federation            | 250  | Conceptual design   |
| UNITHERM         | Pressurized water reactor                        | RDIFE, Russian Federation            | 2.5  | Conceptual design   |
| Westinghouse SMR | Integral pressurized water reactor               | Westinghouse, USA                    | 225  | Basic design  |
| Flexblue         | Subsea pressurized water reactor                 | DCNS, France                         | 160 seabed anchored                          | Conceptual design   |
| PBMR             | High temperature gas cooled pebble bed reactor   | PBMR Pty, South Africa               | 165  | Conceptual design   |
| GT-MHR           | High temperature gas cooled reactor              | General Atomics, USA                 | 150  | Conceptual design   |
| EM <sup>2</sup>  | High temperature gas cooled fast reactor         | General Atomics, USA                 | 240  | Conceptual design   |
| BREST-OD-300     | Liquid metal cooled fast reactor                 | RDIFE, Russian Federation            | 300  | Conceptual design   |
| G4M              | Liquid metal cooled fast reactor                 | Gen4 Energy, USA                     | 25 × N modules, single module or multimodule | Conceptual design   |
| AHWR300-LEU      | Pressure tube type heavy water moderated reactor | BARC, India                          | 304  | Basic design  |
| FBNR             | Integral pressurized water reactor               | FURGS, Brazil                        | 72   | Concept description   |
| SHELF            | Pressurized water reactor                        | NIKIET, Russian Federation           | 6  | Concept description   |

## Pequenos Reactores Modulares: Alguns Exemplos

### Practical Categorization of SMRs

- Advanced SMRs (incl. Modular and integrated-PWRs)

IAEA

### STATUS OF SMALL AND MEDIUM SIZED REACTOR DESIGNS

A Supplement to the IAEA Advanced Reactors Information System (ARIS)

IAEA September 2012

### (cont'd) Practical Categorization of SMRs

- Innovative SMRs

IAEA

### Exemplos dos Principais Fornecedores Internacionais: Sistemas de Segurança de Emergência e Sistemas de Remoção do Calor Residual (Sistemas Passivos)

#### **SVBR-100: Rosatom-AKME / Rússia** Lead-Bismuth Fast Reactor

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Reactor type:                    | Liquid metal cooled fast reactor  |
| Electrical capacity:             | 101 MW(e)   |
| Thermal capacity:                | 280 MW(th)  |
| Coolant:                         | Lead-bismuth  |
| Primary circulation:             | Natural circulation   |
| System pressure:                 | 6.7 MPa   |
| Core outlet temperature:         | 500°C   |
| Thermodynamic cycle:             | Indirect Rankine cycle  |
| Fuel material:                   | UO <sub>2</sub>   |
| Fuel enrichment:                 | <16.4%  |
| Fuel cycle:                      | 7-8 years   |
| Reactivity control:              | Control rod mechanism   |
| No. of safety trains:            | N/A   |
| Emergency safety systems:        | Passive   |
| Residual heat removal systems:   | Passive   |
| Design life:                     | 60 years  |
| Design status:                   | Detailed design for construction in 2017  |
| Seismic design:                  | 0.5g  |
| Predicted core damage frequency: | 1E-8/reactor year   |
| Planned deployment:              | 2021  |
| Distinguishing features:         | Closed nuclear fuel cycle with mixed oxide uranium plutonium fuel; operation in a fuel self-sufficient mode |

#### **HTGR-Antares: Areva / França** High Temperature Gas-Cooled Reactor

| PARAMETER                    | ACTUAL DESIGN | NEW DESIGN |
|------------------------------|---------------|------------|
| Reactivity                   | 1.6%          | 1.6%       |
| Core life (to 90% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 80% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 70% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 60% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 50% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 40% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 30% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 20% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 10% burn-up)   | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to 0% burn-up)    | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -10% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -20% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -30% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -40% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -50% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -60% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -70% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -80% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -90% burn-up)  | 180 days      | 180 days   |
| Core life (to -100% burn-up) | 180 days      | 180 days   |

#### **SMR-225: Westinghouse / EUA** Westinghouse Small Modular Reactor

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Reactor type:                    | Integral pressurized water reactor                                      |
| Electrical capacity:             | 225 MW(e)   |
| Thermal capacity:                | 800 MW(th)  |
| Coolant/moderator:               | Light water   |
| Primary circulation:             | Forced circulation  |
| System pressure:                 | 15.5 MPa  |
| Core outlet temperature:         | 310°C   |
| Thermodynamic cycle:             | Indirect Rankine cycle  |
| Fuel material:                   | UO <sub>2</sub>   |
| Fuel enrichment:                 | <5.0%   |
| Fuel cycle:                      | 24 months   |
| Reactivity control:              | Soluble boron and rod insertion   |
| No. of safety trains:            | N/A   |
| Emergency safety systems:        | Passive   |
| Residual heat removal systems:   | Passive   |
| Design life:                     | N/A   |
| Design status:                   | Basic design  |
| Seismic design:                  | N/A   |
| Predicted core damage frequency: | N/A   |
| Planned deployment:              | N/A   |
| Distinguishing features:         | Incorporates passive safety systems and proven components of the AP1000 |

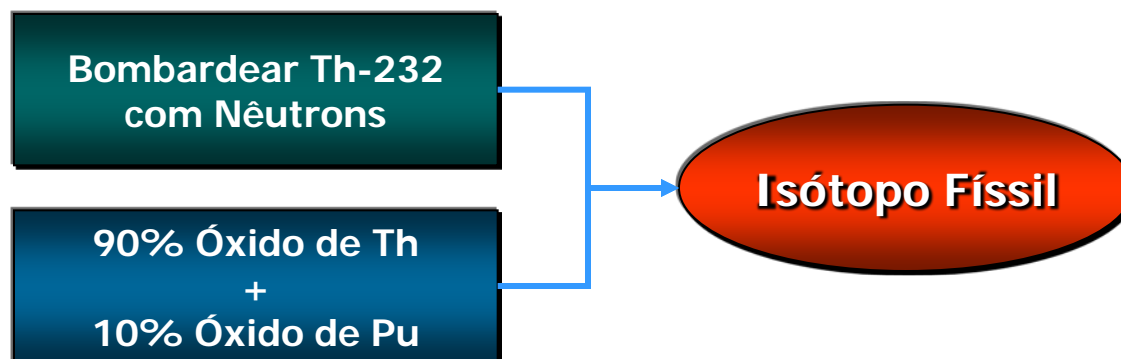


## Reatores a Tório:

### ➤ Características do Tório - Th

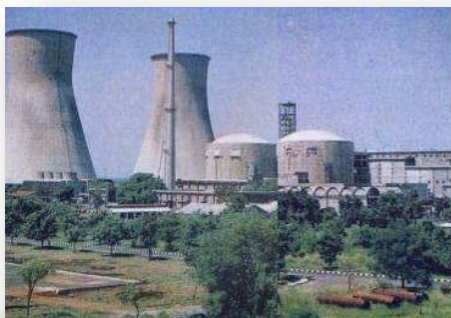
- Nome homenagem ao Deus Nórdico do Trovão, TOR: **Descoberto pelo sueco Berzelius.**
- Mais abundante na natureza que o Urânio: **Menor custo para insumo do combustível.**
- Maior reserva mundial: **Índia** / No Brasil: **Areias monazíticas do ES.**
- Gera rejeitos de vida mais curta que o Urânio: **Menor tempo para eliminar rejeitos.**
- Processo de fissão do Th não gera Plutônio: **Fissão do Th consome Plutônio.**
- **Th-232 da crosta terrestre não é físsil:** Não suporta reação em cadeia.

### ➤ Transmutação do Th-232 em Material Físsil: 2 Técnicas



## Reatores a Tório: Alguns Exemplos de Pesquisas Avançadas

**Kakrapar 1 NNP**  
PHWR 220 a Urânio  
Testes com Tório



Kakrapar Atomic Power Station (KAPS)

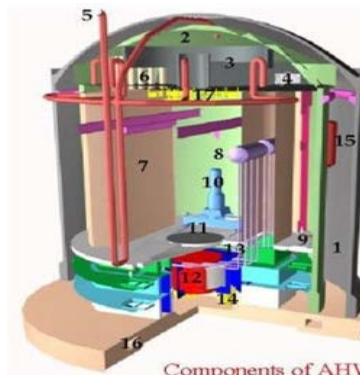
## Í N D I A

País de maior avanço nas pesquisas do Tório

Utilizará suas imensas reservas de Tório

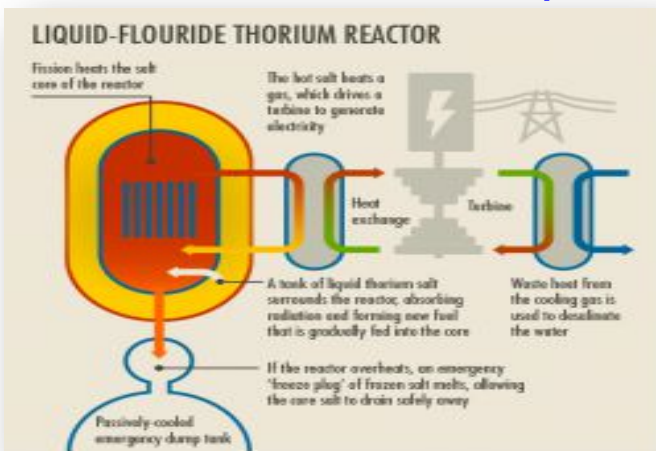
Utilizará o Plutônio produzido em seus PHWR

**Bhabha Atomic Center**  
**AHWR 300 a Tório**  
Início Operação: 2016



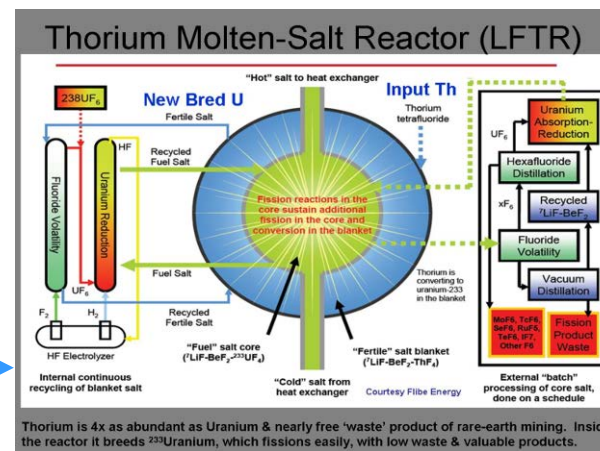
Components of AHWR

### Reator a Fluoreto de Tório Líquido



Pesquisas de várias países  
2 tipos de Reatores a Tório

### Reator a Sal Fundido de Tório



## Reatores a Fusão Nuclear: "A Energia das Estrelas"



### ➤ Fusão

- Energia das Estrelas: Átomos de H se juntam para formar o He.
- Libera muito mais Energia do que a consumida.
- Produção de Rejeito em baixíssima quantidade.
- Não gera subprodutos que possam ser usados pela indústria bélica.
- Geração de Energia, aliada à produção de Hidrogênio (substituto do petróleo).
- **Principais Desafios para o Desenvolvimento:**
  - Controlar a reação em cadeia.
  - Trabalhar a altíssimas temperatura.
  - Obter plasma suficiente para os átomos se fundirem.
  - Não permitir que o plasma entre em contato com as paredes de reator.

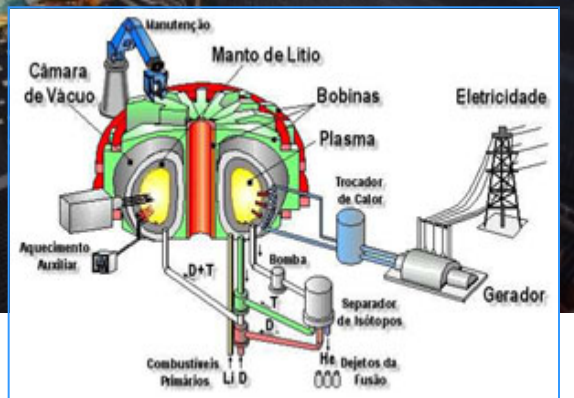
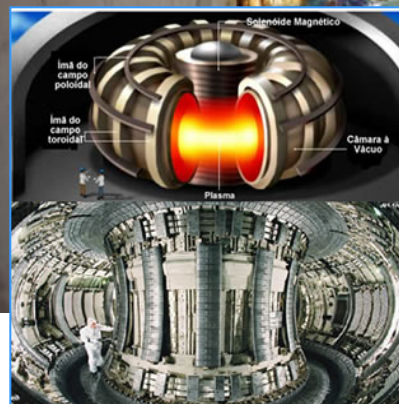


## Reactores a Fusão Nuclear: Projeto ITER - "O Caminho" *International Thermonuclear Experimental Reactor*

SmartPlanet: Global Observer  
Building the world's largest nuclear fusion reactor

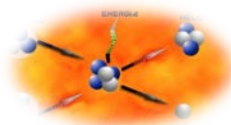


- **Local:** Cadarache - Sul da França
- **Potência:** 500 MWe
- **Custo:** ~ EUR 16 bilhões
- **Participantes:** 7 Países Europeus, Rússia, EUA, Japão, China, Índia, Coreia do Sul



### Reator Tokamak

Um potente Eletroímã produz um campo magnético toroidal, gerando plasma.



### Cronograma de Implantação

|      |                                     |
|------|-------------------------------------|
| 2008 | Início de Preparação do Local       |
| 2009 | Conclusão da Preparação do Local    |
| 2010 | Início de Escavações para o Reator  |
| 2013 | Início de Construção                |
| 2015 | Previsão para Início de Montagem    |
| 2019 | Previsão para Conclusão da Montagem |
| 2020 | Previsão para Produção do 1º Plasma |
| 2027 | Previsão para Início de Operação    |





**Obrigado**  
travass@eletronuclear.gov.br