

**CEPEL**   
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica  
Grupo Eletrobrás



**A Energia e o Meio Ambiente  
para o Brasil: uma introdução**

4E - 2007

30 de Agosto de 2007

[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

## **A Energia e o Meio Ambiente para o Brasil: uma introdução**



**Energia: Brasil e Mundo**

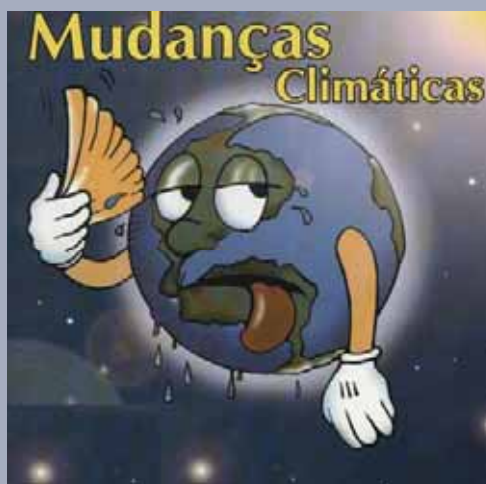
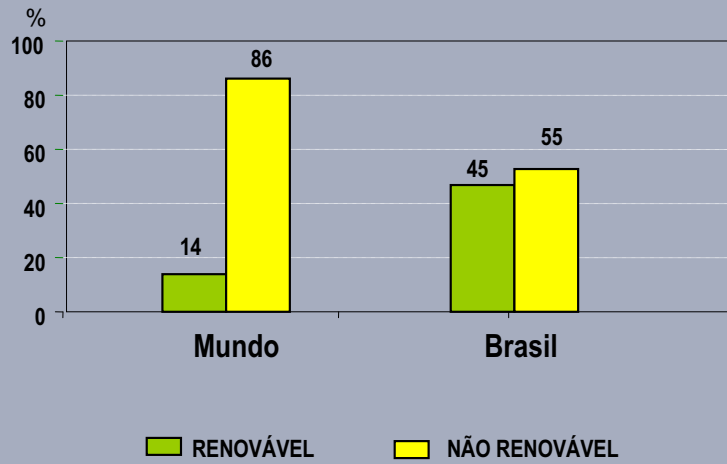
**Energia no novo século: impactos ambientais**

**Novas fontes renováveis**

## **Juramento**



**PROMETO / QUE NO EXERCÍCIO DA PROFISSÃO DE  
ENGENHEIRO / HONRAREI OS DEVERES QUE ELA IMPÕE / E  
CONTRIBUIREI COM O PODER DO MEU ESPÍRITO / PARA O  
DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA / PROGRESSO E GLÓRIA  
DE NOSSO PAÍS / COM DIGNIDADE E RESPEITO AOS DIREITOS  
HUMANOS / PRESERVANDO O MEIO AMBIENTE / POIS DELE  
DEPENDE O NOSSO FUTURO / E O DE NOSSOS DEPENDENTES**



## Emissão de CO<sub>2</sub> de Diversas Tecnologias

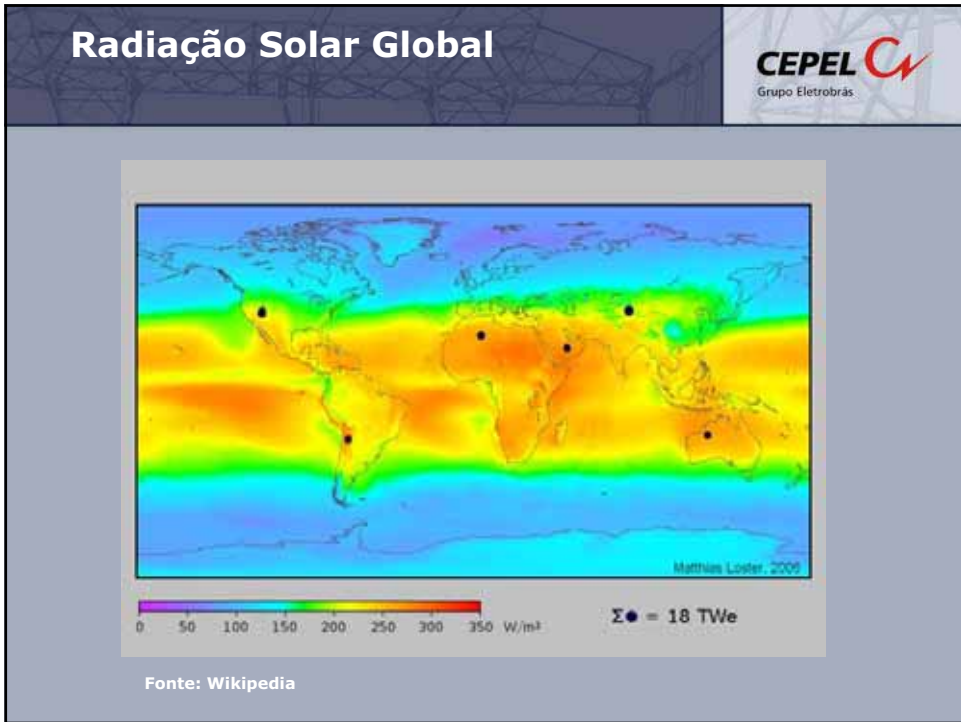
Tecnologias	Emissões de CO <sub>2</sub> nos estágios de produção de energia (ton/GWh)			
	Extração	Construção	Operação	Total
Planta convencional de queima de carvão	1	1	962	964
Planta de queima de gás	0	0	484	484
Pequenas hidrelétricas	-	10	-	10
Energia eólica	-	7	-	7
Solar fotovoltaico	-	5	-	5
Grandes hidrelétricas	-	4	-	4
Solar térmico	-	3	-	3
Lenha (Extração programável)	-1.509	3	1.346	-160

Fonte: "Renewable Energy Resources: Opportunities and Constraints 1990-2020" - World Energy Council - 1993

## Uso de Energia: Panorama

A busca de soluções para a problemática energética passa atualmente por três caminhos:

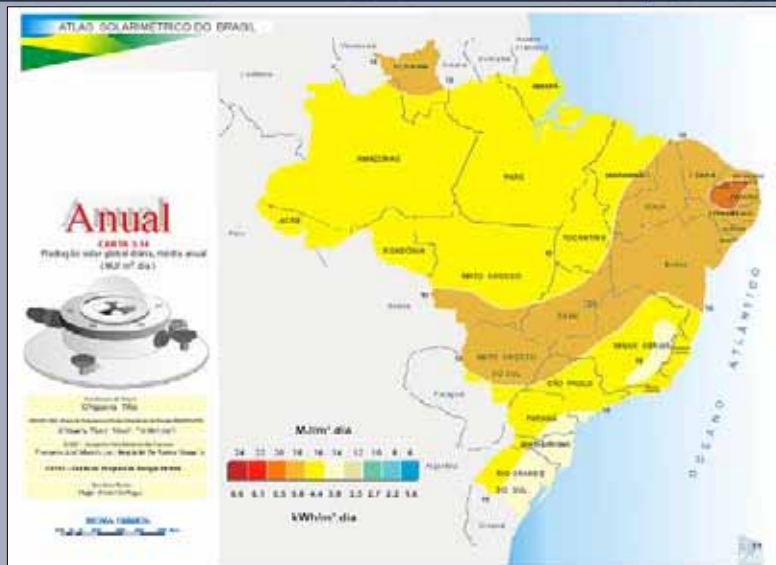
- *Busca de fontes renováveis de energia menos agressivas ao meio ambiente.*
- *Melhoria da eficiência energética dos diversos equipamentos transformadores de energia.*
- *Combate ao desperdício energético.*



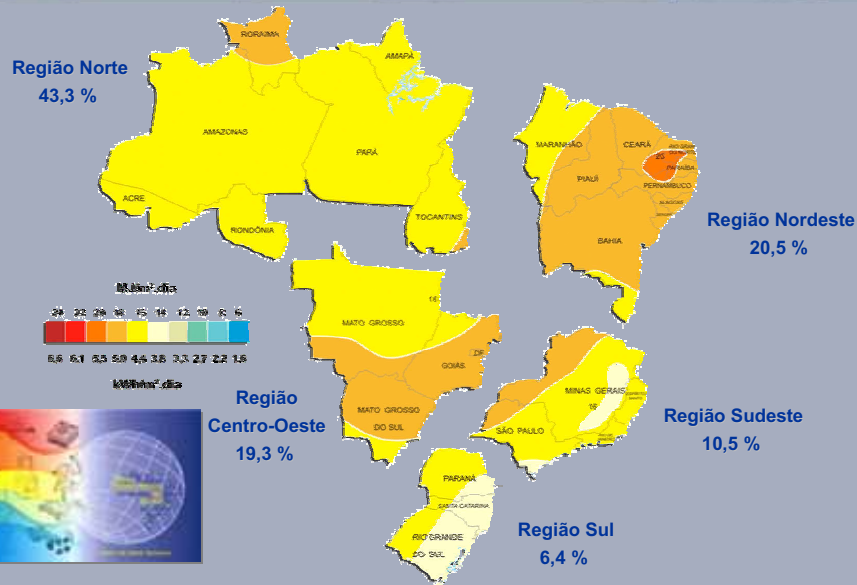
# Atlas Solarimétrico do Brasil UFPE



# Radiação Solar Global Média Anual



## Potencial Solar por Região



## O Sol, Fonte Inesgotável



**Energia Renovável x Energia Fóssil: diferença entre “sempre” e “nunca mais”**

Fonte: Folheto da CEMIG

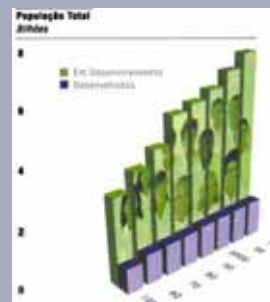
## Uso da Energia: Custos de Externalidades\* (centavos de dólar por kWh)

<b>Carvão:</b>	<b>1,94 a 14,60</b>
<b>Turbina a gás:</b>	<b>0,97 a 3,89</b>
<b>Nuclear:</b>	<b>0,19 a 0,58</b>
<b>Fazenda Eólica:</b>	<b>0,05 a 0,24</b>

\*Estimativa de custos para a sociedade e para o ambiente decorrentes de uso de combustíveis fósseis e nucleares, não incluindo lixo nuclear e custos de desativação.

Estudo da UE, ExtermE - WSJ - 2002

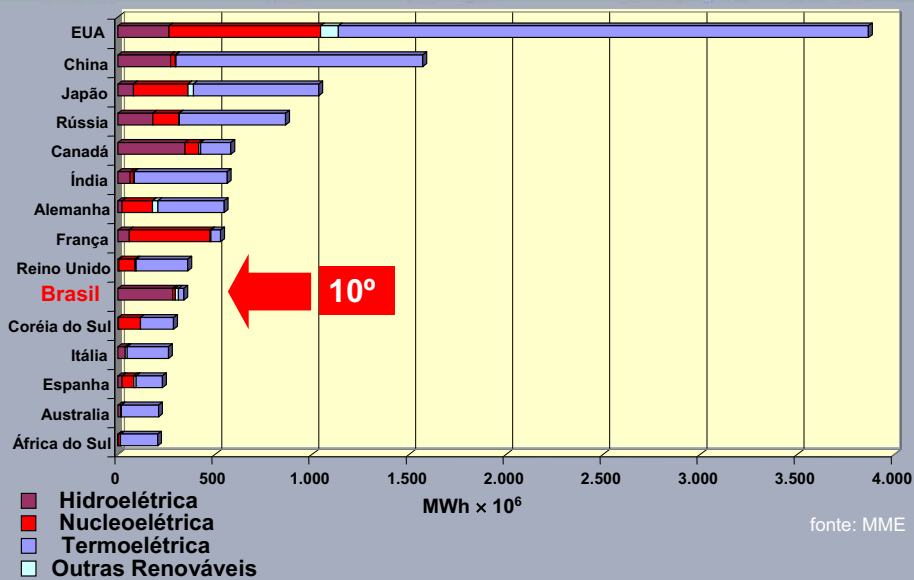
## Uso da Energia: Tendência



FONTE: Informativo da Eletronuclear - agosto 2001



## Geração Elétrica – 15 maiores

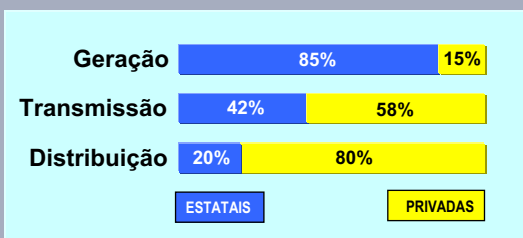


## Geração Elétrica: Capacidade Instalada

<input type="checkbox"/> Hidro	83.282 MW	– 78,5 %	➔	<b>105.986 MW</b>
<input type="checkbox"/> Térmica	20.458 MW	– 19,3 %		
<input type="checkbox"/> Nuclear	2.007 MW	– 1,9 %		
<input type="checkbox"/> Eólica	236 MW	– 0,2 %		

Consumidores	<b>58,3 milhões</b>
Produção de Energia	<b>425 TWh/ano (58% da América do Sul)</b>
Ponta	<b>64.886 MW</b>

Linhas de Transmissão: **88.939 km**



Fonte: Aneel março/2007 Inclui importação

## A imagem da assimetria do consumo

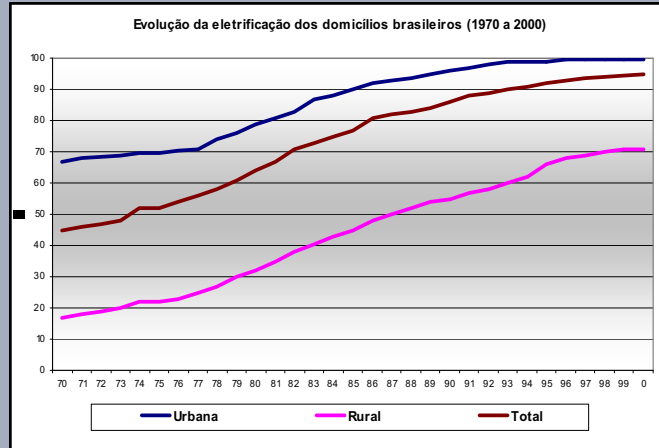


## Universalização: metas e desafios



MME - 2004

## Universalização: metas e desafios



Fonte: Relatório CEPEL-DTE 211035/2003 - giannini@cepel.br

## Tecnologias em Foco (energia renovável complementar)

→ Solar Fotovoltaica

→ Solar Térmica

→ Eólica

→ Biomassa

→ Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.

## Maturidade e Custos das Tecnologias

TECNOLOGIA	POTENCIAL (GW)	TAMANHO TÍPICO (KW)	APLICAÇÃO	MATURIDADE DA TECNOLOGIA	VIABILIDADE TÉCNICA	CUSTO INVESTIMENTO (US\$/KW)	CUSTO O&M (US\$/MWh)	CUSTO COMBUSTÍVEL (US\$/MWh)	CUSTO GERAÇÃO (US\$/MWh)	EFICIÊNCIA	
SOLAR FOTOVOLTAICA	-	0.05 A 10	- INTERMITENTE - GRID E OFF-GRID	DEMONSTRADA (GRID)	MÉDIA (GRID)	4.000 a	4 a	0.	250 a	10 a	
				COMERCIAL (OFF-GRID)	ALTA (OFF-GRID)	9.000 a	20 a		500 a	18 a	
HELIO TéRMICA	-	30.000 A 200.000	- BASE - GRID	PRÉ COMERCIAL	ALTA	1.000 a	4 a	0.	100 a	15 a	
				COMERCIAL	ALTA	4.800 a	23 a		250 a	30 a	
		CILINDROS	50.000	- BASE - GRID	COMERCIAL	ALTA	2.600 a	4 a	0.	130 a	15 a
					COMERCIAL	ALTA	5.000 a	23 a		250 a	30 a
DISCOS	20 a 50	- BASE - GRID E OFF-GRID	DEMONSTRADA	MÉDIA	800 a	15 a	0.	100 a	15 a		
			COMERCIAL	ALTA	5.100 a	23 a		250 a	30 a		
EÓLICA	30	300 a 2000	-INTERMITENTE -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	700 a	4 a	0.	35 a	25 a	
BIOMASSA	27.7 a	10 a 50.000	-BASE -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	1.200 a	12 a	100	120 a	45 a	
				COMERCIAL	ALTA	500 a	6 a		20 a	38 a	25 a
PCH's		50 A 1.000	-VARIÁVEL -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	2.500 a	12 a	0.	78 a	35 a	
				COMERCIAL	ALTA	1.000 a	6 a		35 a	60 a	
				COMERCIAL	ALTA	3.000 a	15 a	0.	102 a	85 a	

Em comparação de custos deve-se levar em conta o da rede de distribuição

## Tecnologias em Foco (energia renovável complementar)

Solar Fotovoltaica

→ Solar Térmica

Eólica

Biomassa

Pequenas Centrais Hidroelétricas

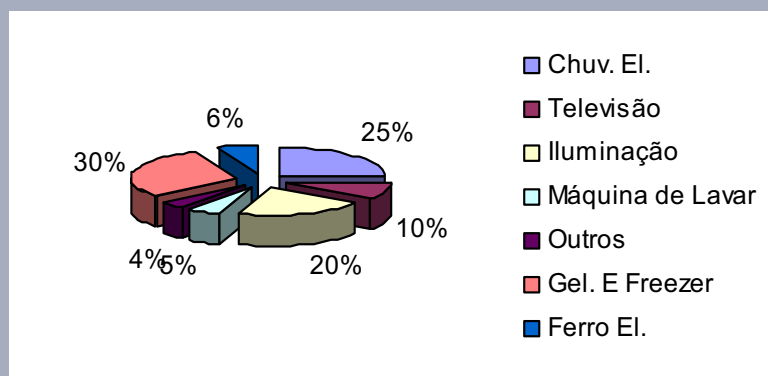
Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.

## Aquecimento Solar



## Uso Energia Elétrica Brasil (Residencial)

Como as pessoas usam a energia de um modo geral:





## Tecnologias de Conversão Direta da Radiação Solar - Heliotermia



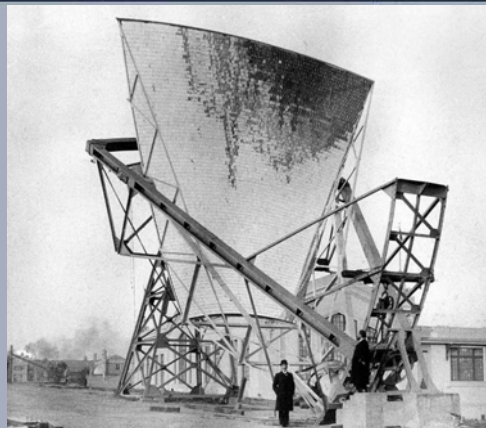
Discos



Cilindros

## Tecnologias de Conversão Direta da Radiação Solar - Heliotermia

Torre Central



Padre Manuel A. Gomes junto ao seu Pirelióforo apresentado na Exposição Universal de Saint Louis, em 1904, onde foi galardoado com o Grande Prémio. (50 m<sup>2</sup>; ~3800°C).

→ Solar Fotovoltaica

Solar Térmica

Eólica

Biomassa

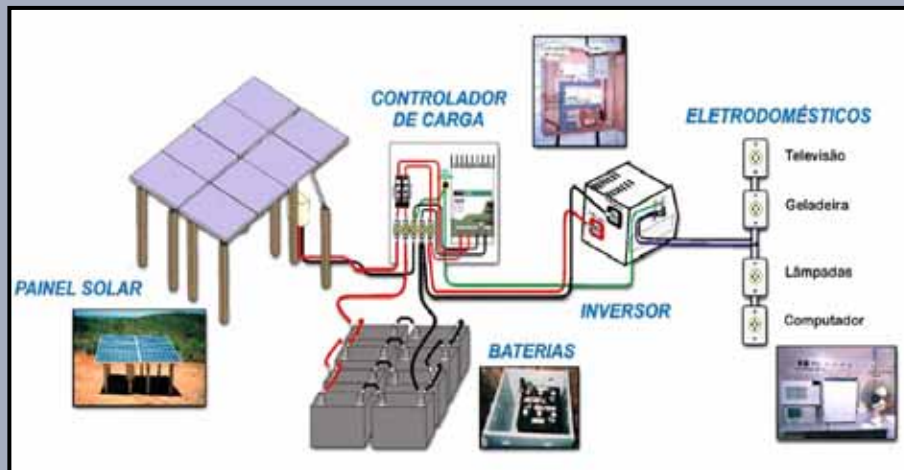
Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.





## Sistema Fotovoltaico de Geração de Energia Elétrica



## Energia e Inclusão Social



Escola da comunidade de Baixão do Archanjo Município de Barra



Sistema Fotovoltaico  
N.S.P. Socorro - Manacapurú

## A Exclusão Urbana



## Instalações Fotovoltaicas Tocantins



Crianças assistindo à TV pela primeira vez na comunidade de Boa Sorte  
Município de Dianópolis



Sistema de bombeamento da comunidade de Boa Sorte  
Município de Dianópolis

## Sistema de Bombeamento Fotovoltaico

**CEPEL**   
Grupo Eletrobrás



Abastecimento comunitário de água da comunidade de Amapá Grande  
Município de Amapá - AMAPÁ



Sistema energético no posto de saúde e bombeamento da comunidade de Lago Novo  
Município de Tartarugalzinho - AMAPÁ

## Arquipélago de São Pedro e São Paulo

**CEPEL**   
Grupo Eletrobrás



*Estação Científica Arquipélago São Pedro e São Paulo*

- painel fotovoltaico de 3.6kWp
- dessalinização de água
- em operação desde jun/98
- projeto do CEPEL para a CIRM



*Vista aérea da Estação Científica*

## Instalações Fotovoltaicas Projeto Ribeirinhas – Amazonas (Parceria Eletrobrás)



Transporte dos equipamentos  
fotovoltaicos



Sistema solar fotovoltaico  
instalado em N.S.P. Socorro –  
Manacapurú

## Telhado Solar Fotovoltaico



- Avaliação do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede
- Painel fotovoltaico de 16 kWp em operação desde 2002



# CASA SOLAR EFICIENTE



Energias Alternativas e Eficiência Energética



CASA SOLAR EFICIENTE

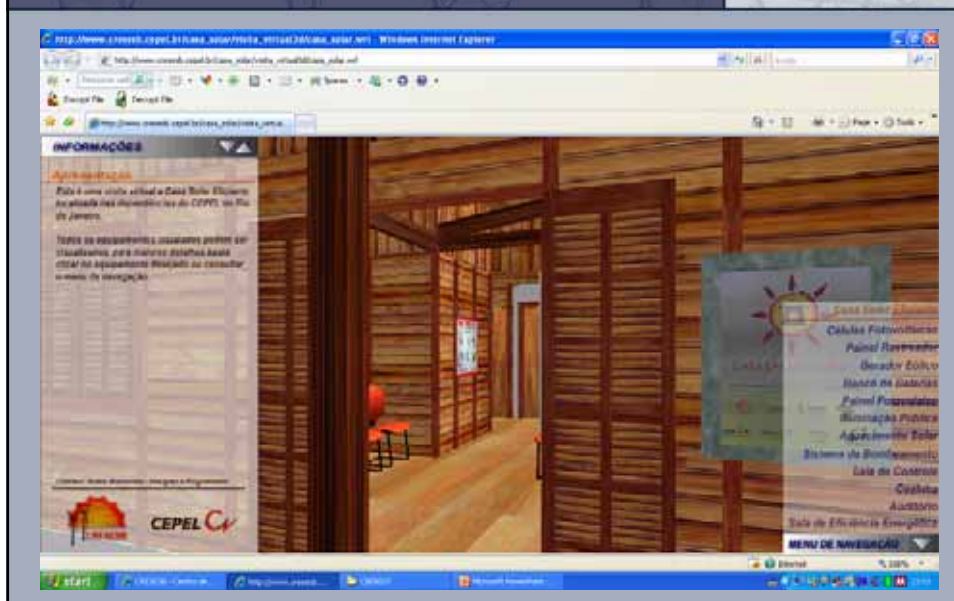


“É COMO GUARDAR O SOL DE DIA PARA ACENDER À NOITE DENTRO DE CASA”

# Casa Solar Eficiente



# Casa Solar Eficiente



## Tecnologia Fotovoltaica Sistemas Conectados à Rede



*Sistema fotovoltaico sobre o telhado  
de um condomínio residencial - Japão*

## Tecnologia Fotovoltaica Sistemas Conectados à Rede



Painel fotovoltaico de a-Si  
integrado ao revestimento  
da fachada de vidro em um  
prédio no Japão





**Solar Fotovoltaica**

**Solar Térmica**

→ **Eólica**

**Biomassa**

**Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas**

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.





### Catavento – Bombeamento d'água

- Residências
- Fazendas
- Aplicações Remotas



### Pequeno Porte ( $\leq 10$ kW)

- Residências
- Fazendas
- Aplicações Remotas



### Intermediário (10-250 kW)

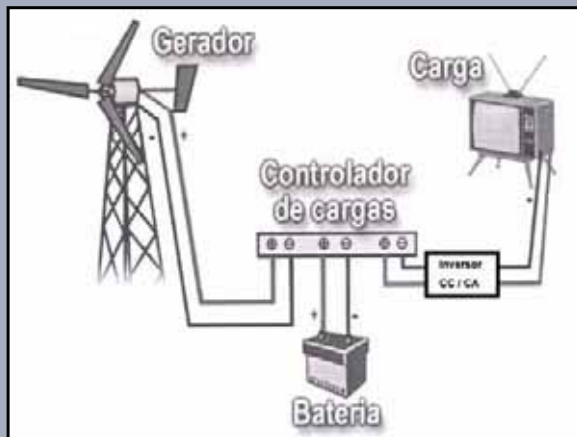
- Sistemas Híbridos
- Geração Distribuída



### Grande Porte (250 kW - 2+MW)

- Fazendas Eólicas
- Geração Distribuída

## Diagrama Típico de um Sistema Eólico Isolado



## Os 10 Mais no Mundo

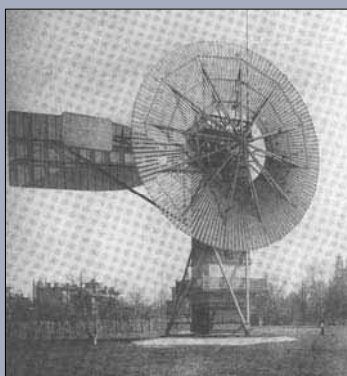
Capacidade Total	MW	Percentual do Mercado
Alemanha	20.000	27,8
Espanha	11.615	15,6
EUA	11.603	15,6
India	6.270	8,4
Dinamarca	3.136	4,2
China	2.604	3,5
Itália	2.123	2,9
Reino Unido	1.963	2,6
Portugal	1.716	2,3
França	1.567	2,1
<b>TOTAL 10 Mais</b>	<b>63.217</b>	<b>85,2</b>
Resto do Mundo	11.004	14,8
<b>TOTAL MUNDO</b>	<b>74.221</b>	<b>-</b>

**Capacidade Instalada – Acumulada  
(1995 – 2006)**



ANO	MW TOTAL
1995	4.800
1996	6.100
1997	7.600
1998	10.200
1999	13.600
2000	17.400
2001	23.900
2002	31.100
2003	39.431
2004	47.620
2005	59.091
2006	74.221

**Aerogeradores de grande porte**



**Turbina Eólica de Brush  
(1888) - 12 kW**

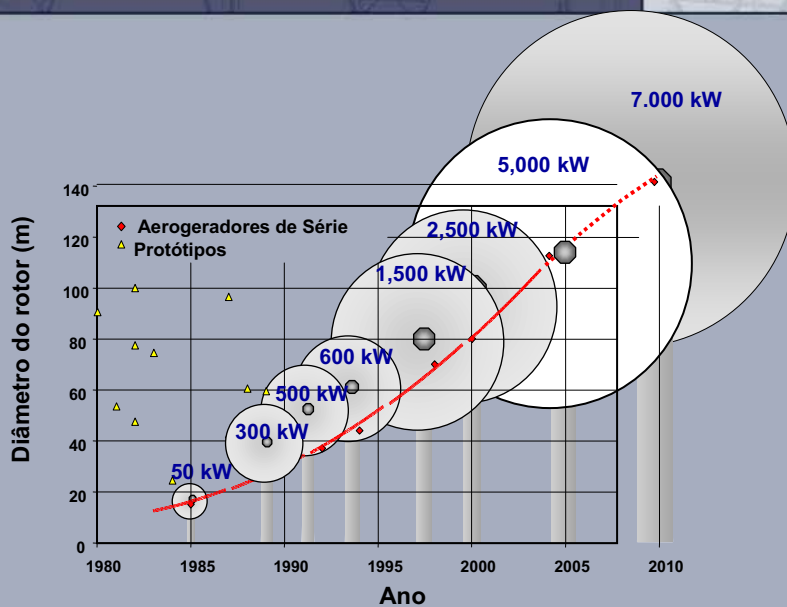
**Turbina Eólica Balaclava  
(1931) – 100 kW**



## Evolução do Perfil Aerodinâmico



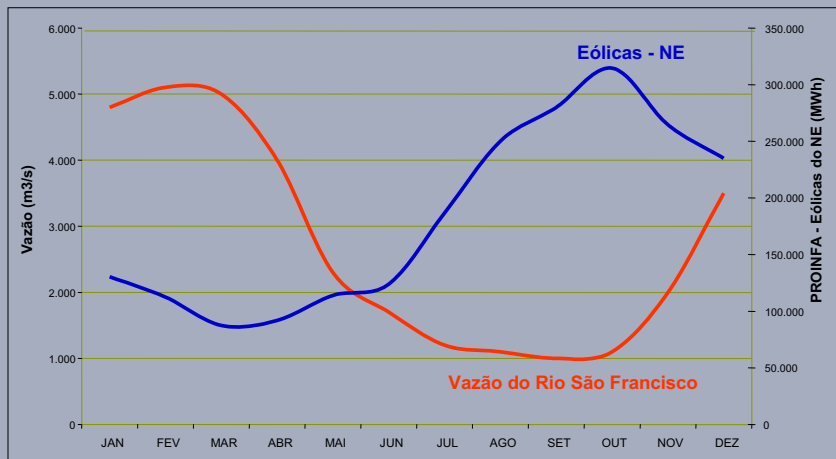
## Desenvolvimento da Tecnologia



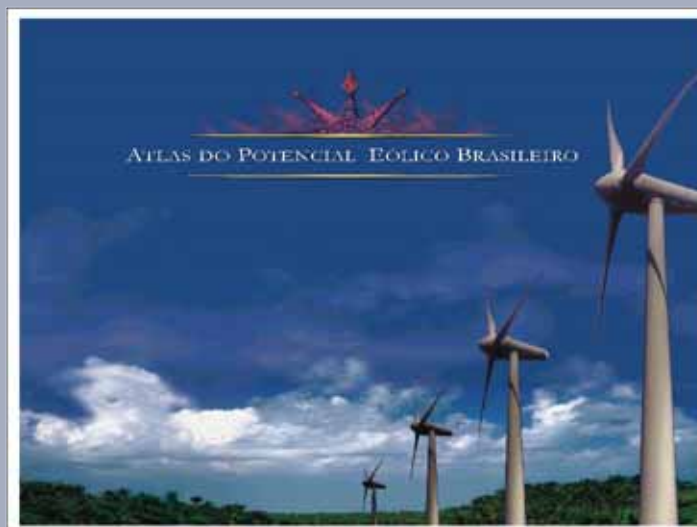


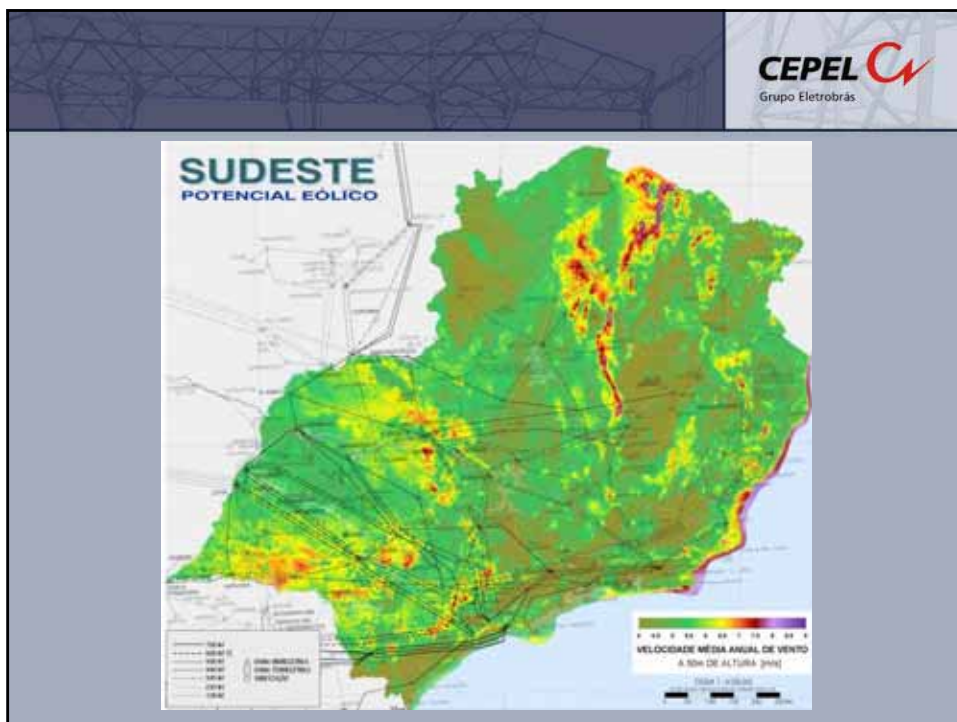
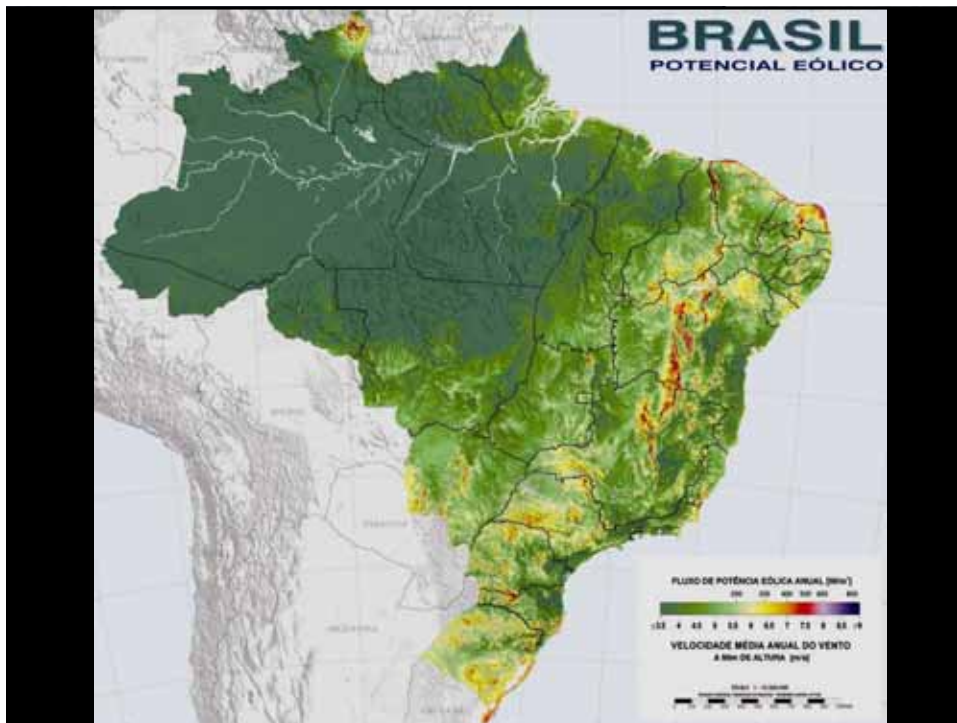
- Utilização do Solo para Atividades Agrícolas
- Emissão de Gases
- Emissão de Ruído
- Impacto Visual
- Impacto sobre a Fauna

## SAZONALIDADE DAS USINAS EÓLICAS DO PROINFA

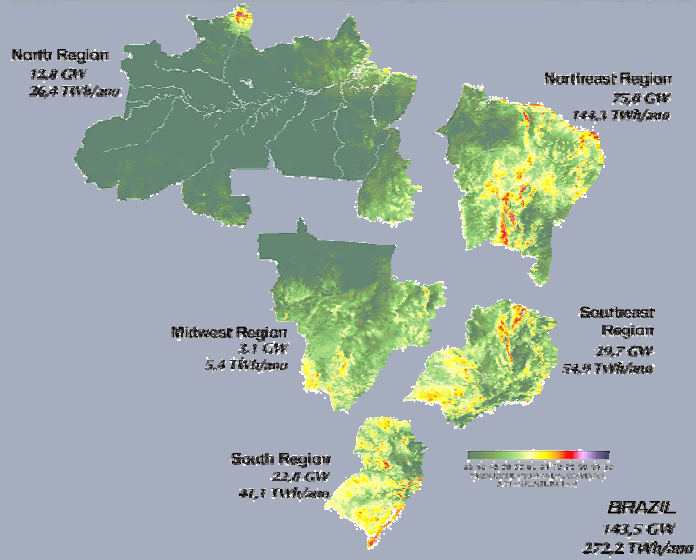


## Potencial Eólico *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*

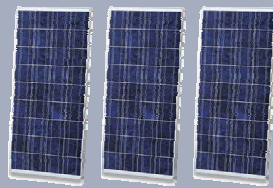




## Potencial Eólico por Região



## Sistemas Híbridos



Unidade de Controle e  
Condicionamento de Potência

Armazenamento

Carga



## Sistema Híbrido de Joanes



Ilha de Marajó (PA), Município de Salvaterra; Fotovoltaico/Eólico

- Convênio CEPEL/CELPA e o National Renewable Laboratory
- 10kWp FV; 40kW eólico
- Operando desde maio/98

## Sistema Híbrido de Campinas - AM



Vila de Campinas; margem do Rio Solimões; 120km Manaus

- Convênio CEPEL/CEAM e National Renewable Laboratory



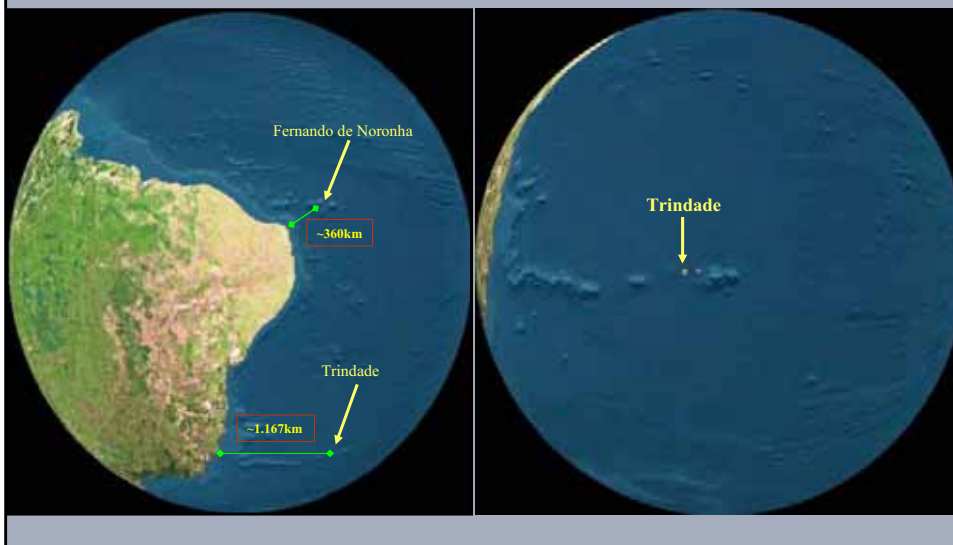
Fotovoltaico/Diesel

- 50kWp FV
- Em operação desde maio/97

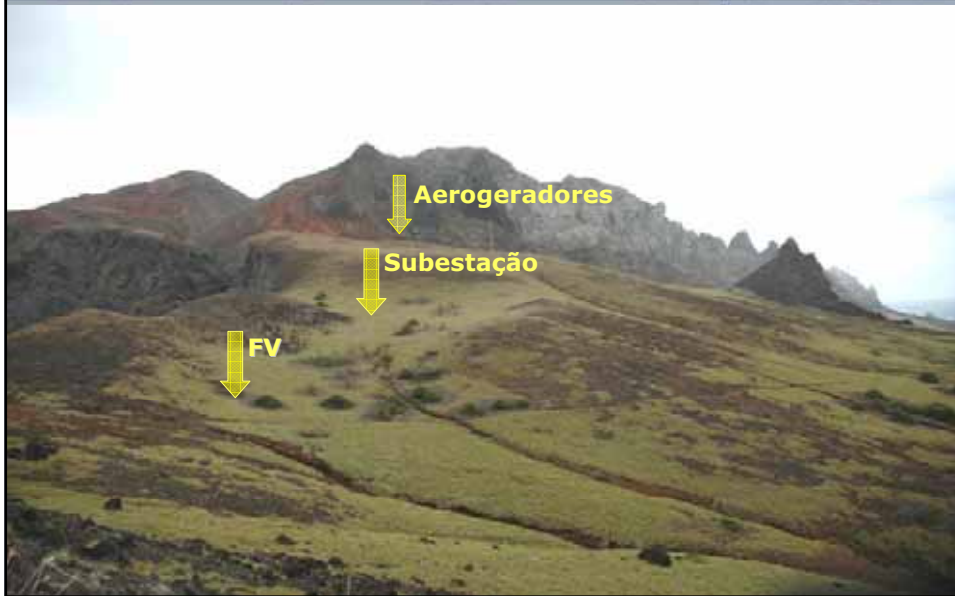
## ILHA DE TRINDADE



## LOCALIZAÇÃO



## Localização prevista para o sistema de geração



## LOCALIZAÇÃO DA GERAÇÃO



Substituindo Usina Nuclear por Energia Solar Fotovoltaica  
e Energia Eólica  
Áreas Equivalentes Necessárias – 10 TWh/ano



Tecnologias em Foco  
(energia renovável complementar)



Solar Fotovoltaica

Solar Térmica

Eólica

→ Biomassa

→ Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.

# PROINFA – (potencial)

Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica



## EÓLICO

Potencial Indicativo : 143.000 MW  
Projetos autorizados : 6.601 MW\*

## SOLAR

Potencial de Aplicação: 100 MWp

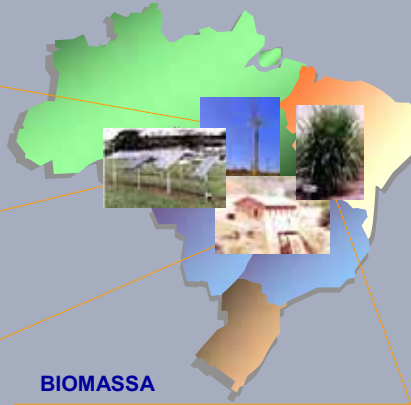
## PCH

Inventariado : 9.794 MW  
Projetos autorizados : 3.936 MW \*

## BIOMASSA

Potencial Técnico sucro-alcooleiro : 8.000 MW  
Arroz e papel celulose : 1300 MW  
Projetos autorizados : 1.772 MW

(Fonte: EMME,2004)



## Biomassa

### Biomassa: Energia e Materiais

Dificuldades a Serem Vencidas  
Vitórias a Serem Alcançadas





## PCHs



**Usina Hidroelétrica  
Marmelos Zero – MG - 1889**





## Uso de Energia: Conclusão

*“Do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade do desenvolvimento depende, entre outras medidas, da contenção das emissões de gases poluentes, da conservação das condições agricultáveis do solo, da não contaminação das águas, da exploração racional dos recursos fósseis e da melhor utilização dos recursos renováveis”*

## Conclusões: últimas notícias



"O carvão, e o petróleo não serão os reis da energia mundial para sempre. Não é mais uma tolice olhar o sol, o vento e para as ondas do mar"

*The Economist*

"A idade da pedra não acabou porque acabaram as pedras; não é necessário que o petróleo acabe para entrarmos em uma nova era de energia"

*SHELL*

## Conclusões: últimas notícias



**Dificuldades a  
Serem Vencidas**

**x**

**Vitórias a Serem Alcançadas**



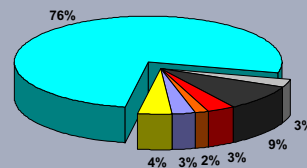
## Vitórias a Serem Alcançadas

X

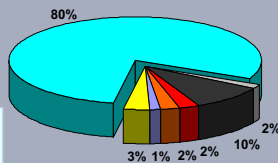
Dificuldades a Serem Vencidas

# Matriz Elétrica

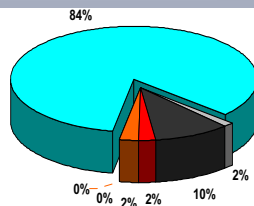
2030 (Cenário B1)  
(Renováveis: 83,1%)



2015 (Plano Decenal de EE)  
(Renováveis: 83,7%)



2005  
(Renováveis: 84 %)



- Hidroeletricidade (inclui PCH e Itaipu import.)
- Termoeletricidade (Carvão)
- Termoeletricidade (Gás Natural)
- Termoeletricidade (Nuclear)
- Termoeletricidade (Derivados Petróleo)
- Biomassa
- Eólica e Outros

## Juramento



**PROMETO / QUE NO EXERCÍCIO DA PROFISSÃO DE ENGENHEIRO / HONRAREI OS DEVERES QUE ELA IMPÕE / E CONTRIBUIREI COM O PODER DO MEU ESPÍRITO / PARA O DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA / PROGRESSO E GLÓRIA DE NOSSO PAÍS / COM DIGNIDADE E RESPEITO AOS DIREITOS HUMANOS / PRESERVANDO O MEIO AMBIENTE / POIS DELE DEPENDE O NOSSO FUTURO / E O DE NOSSOS DEPENDENTES**

## Conclusões: últimas notícias



**“Às vezes ser moderno é olhar para trás”**

*Gilberto Gil*