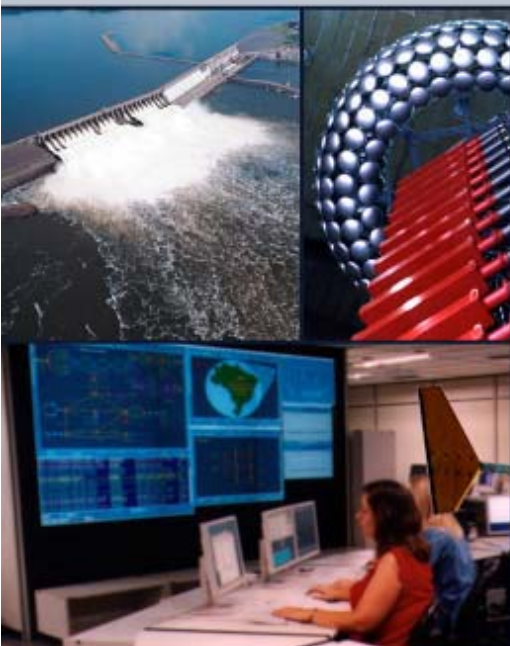


**CEPEL**   
Grupo Eletrobrás



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

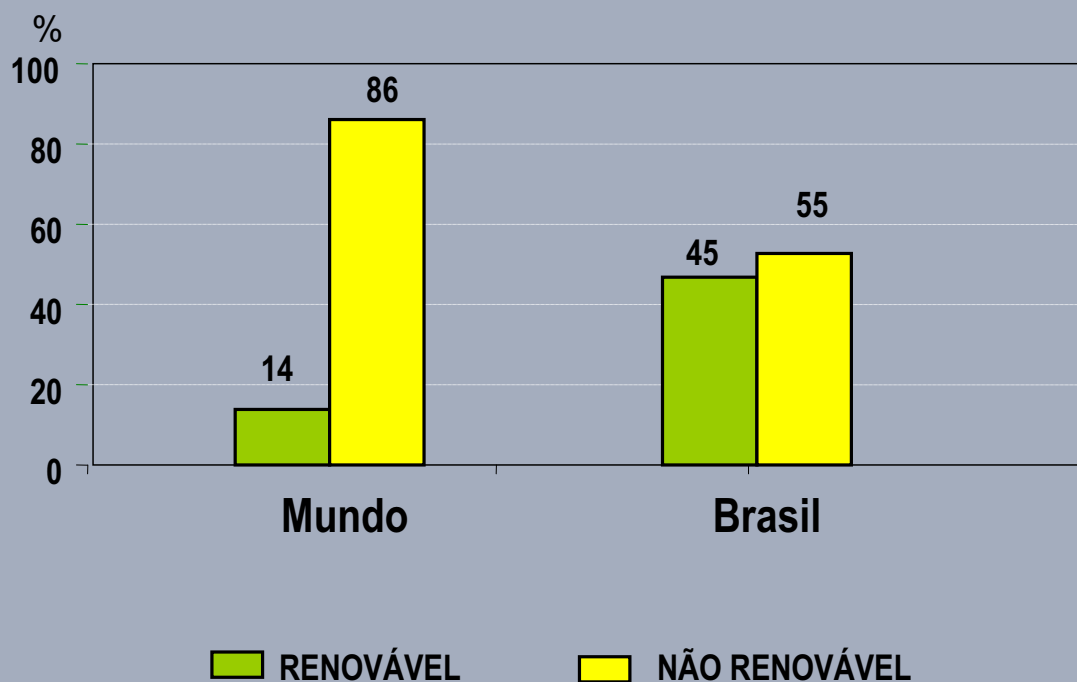


**ENERGIAS SOLAR:  
PERSPECTIVAS, EFICIÊNCIA E  
SUSTENTABILIDADE**

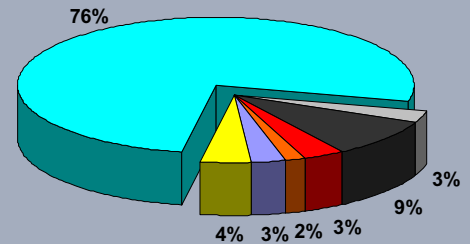
**FORUM ESTADUAL DE ENERGIAS  
RENOVÁVEIS**

**Vitória - Agosto de 2008**

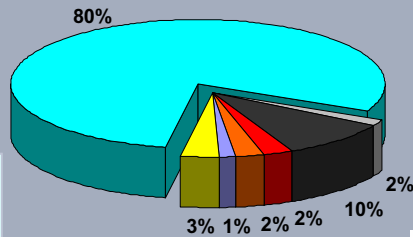
- **Evolução da matriz elétrica brasileira até 2030**
- **Energia Solar no contexto das Energias Renováveis**
- **Perspectivas e dificuldades para seu desenvolvimento**
- **Conclusões**



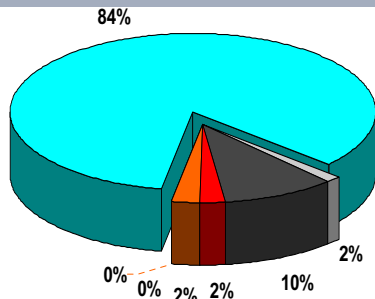
**2030 (Cenário B1)**  
**(Renováveis: 83,1%)**



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

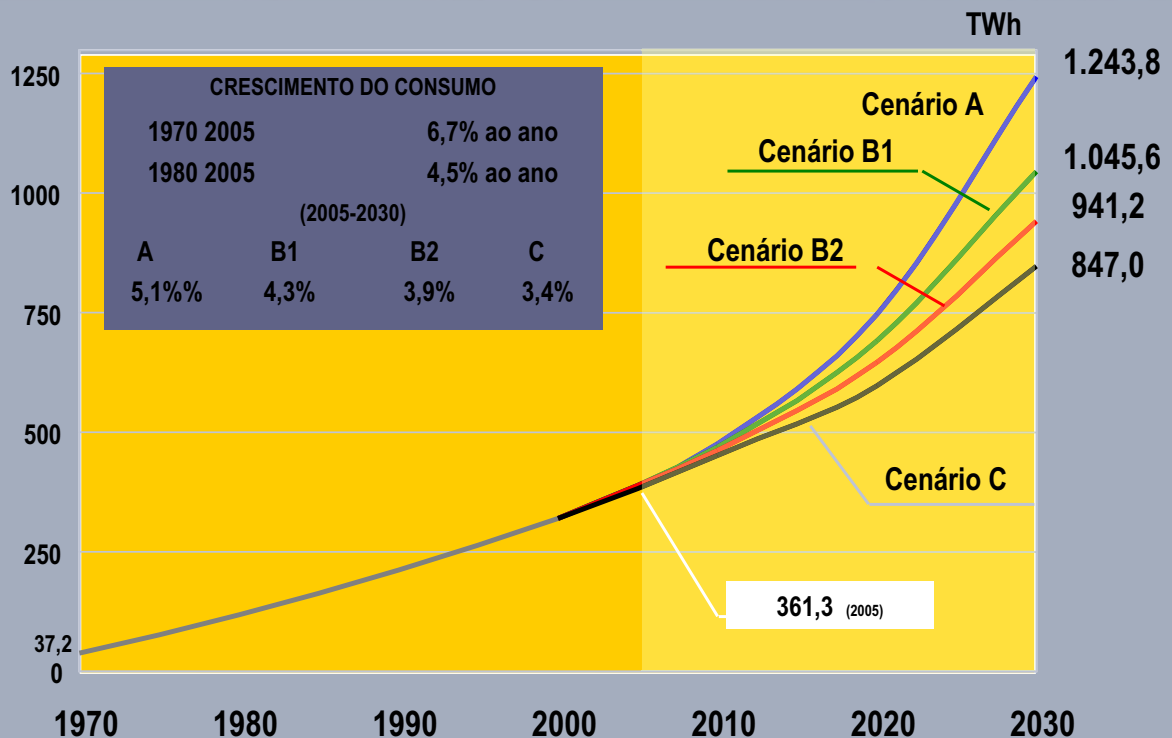


**2005**  
**(Renováveis: 84%)**

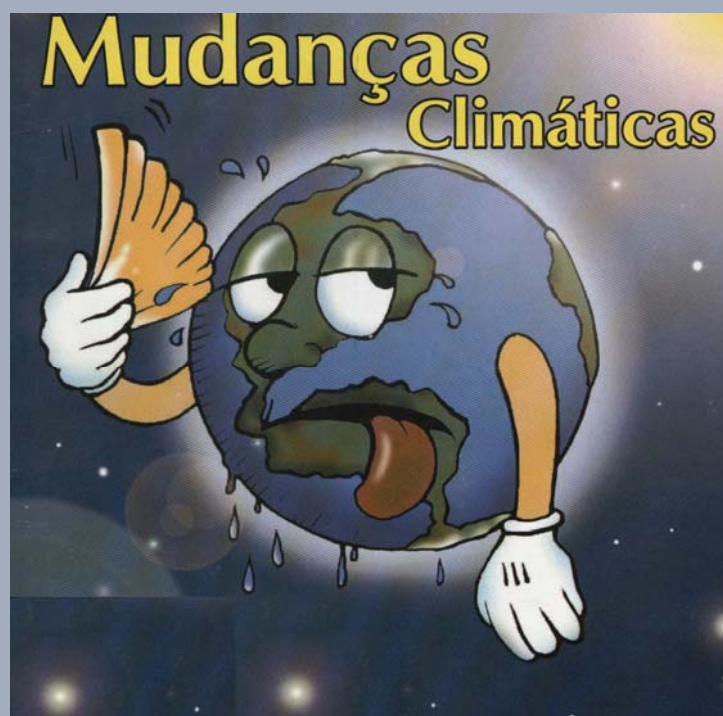


- Hidroeletricidade (inclui PCH e Itaipu import.)
- Termoeletricidade (Carvão)
- Termoeletricidade (Gás Natural)
- Termoeletricidade (Nuclear)
- Termoeletricidade (Derivados Petróleo)
- Biomassa
- Eólica e Outros

## Projeção de Consumo Final: Eletricidade



Obs.: inclusive autoprodução clássica/transportada e inclui conservação (progresso autônomo), excluindo contudo consumo setor energético



Source: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia

# 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

→ Solar Fotovoltaica

→ Solar Térmica

Eólica

Biomassa

Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.

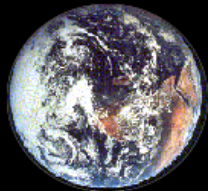
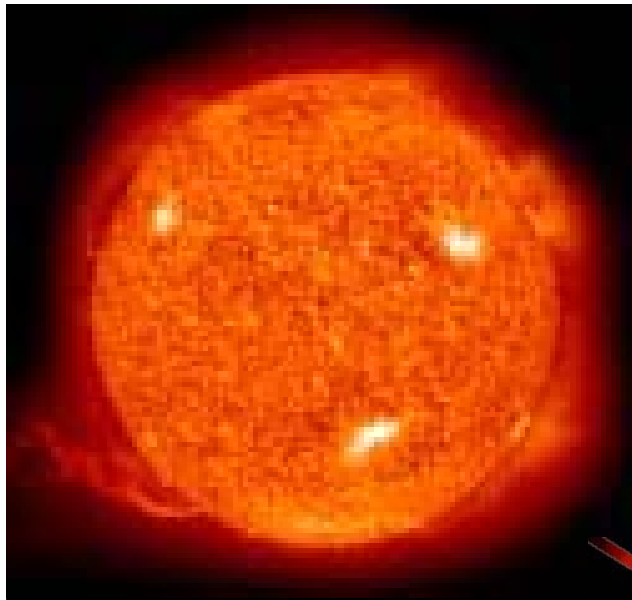
## Maturidade e Custos das Tecnologias

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 9.000	4 a 20	0.	250 a 500	10 a 18
					COMERCIAL (OFF-GRID)	ALTA (OFF-GRID)					
HELIOTÉRMICA	TORRE CENTRAL	-	30.000 A 200.000	- BASE - GRID	PRÉ COMERCIAL	ALTA	5000 a 8500	4 a 23	0.	220 a 310	15 a 30
	CILINDROS	-	50.000	- BASE - GRID	COMERCIAL	ALTA	.1700 a 5.500	4 a 23	0.	80 a 150	15 a 30
	DISCOS	-	20 a 50	- BASE -GRID E OFF-GRID	DEMONSTRADA	MÉDIA	10000 a 22000	15 a 23	0.	200 a 500	15 a 30
EÓLICA		30	300 a 2000	-INTERMITENTE -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	1500 a 2000	4 a 12	0.	110 a 150	25 a 45
BIOMASSA		27.7	10 a 50.000	-BASE -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	500 a 2.500	6 a 12	20 a 100	38 a 78	25 a 35
PCH's			50 A 1.000	-VARIÁVEL -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	1.000 a 3.000	6 a 15	0.	35 a 102	60 a 85

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



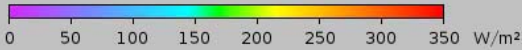
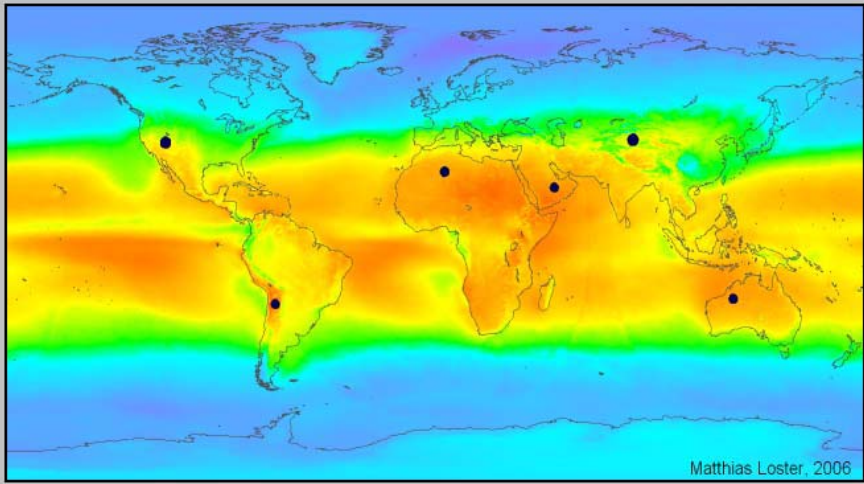
**O Sol envia para a Terra energia equivalente a cerca de 10.000 vezes o consumo mundial de energia bruta**



### Radiação Solar Global



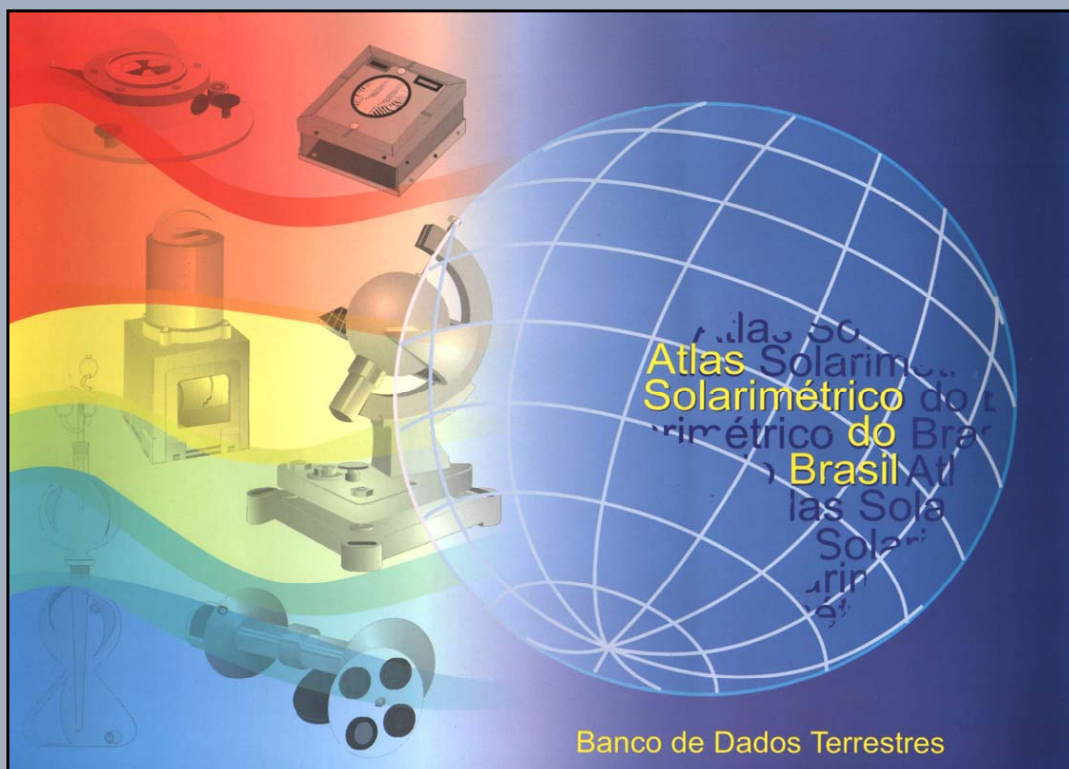
40 N →  
O "Cinturão" Solar  
35 S →



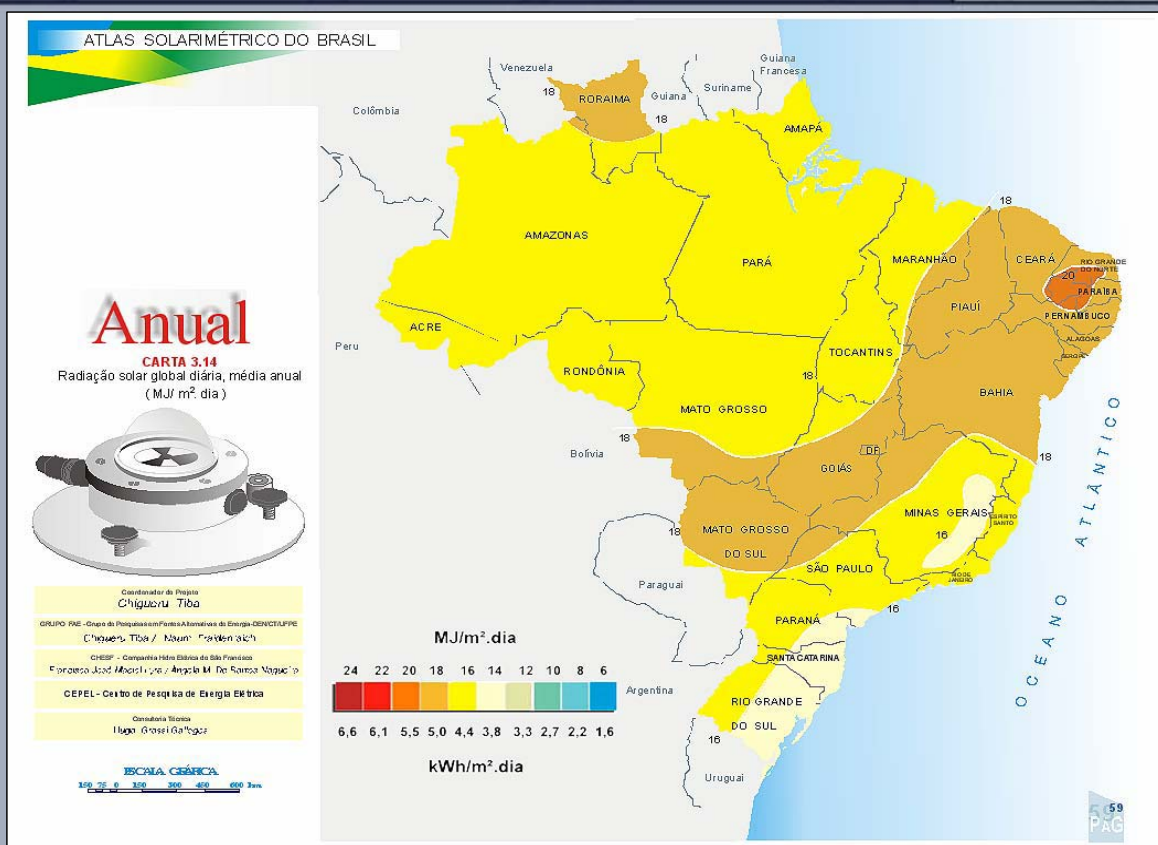
$\Sigma \bullet = 18 \text{ TWe}$

Fonte: Wikipedia

# Atlas Solarimétrico do Brasil UFPE

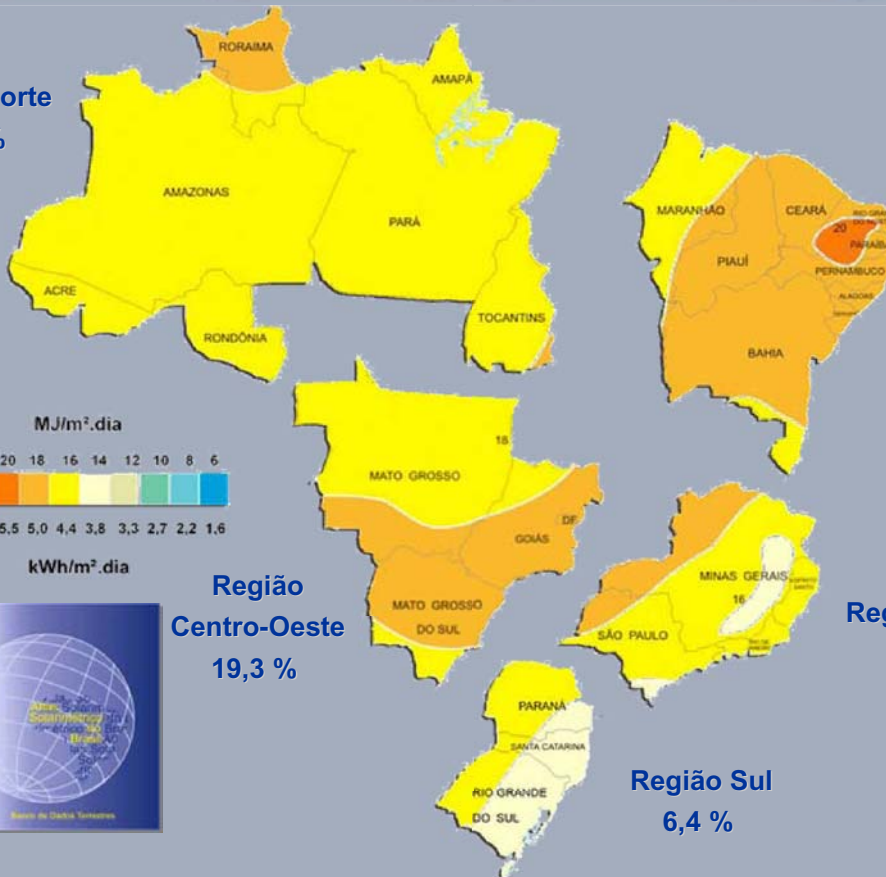


## Radiação Solar Global Média Anual

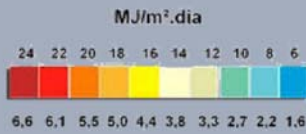


# Potencial Solar por Região

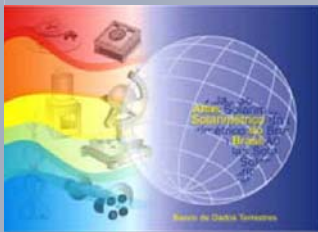
**Região Norte**  
43,3 %



**Região Nordeste**  
20,5 %



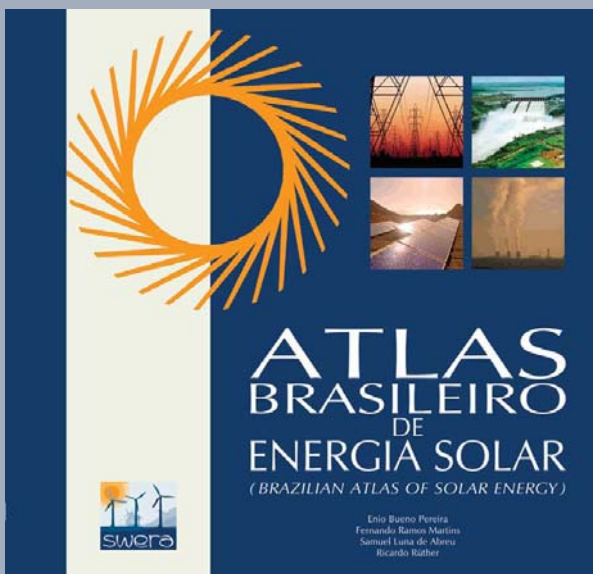
kWh/m<sup>2</sup>.dia



**Região Centro-Oeste**  
19,3 %

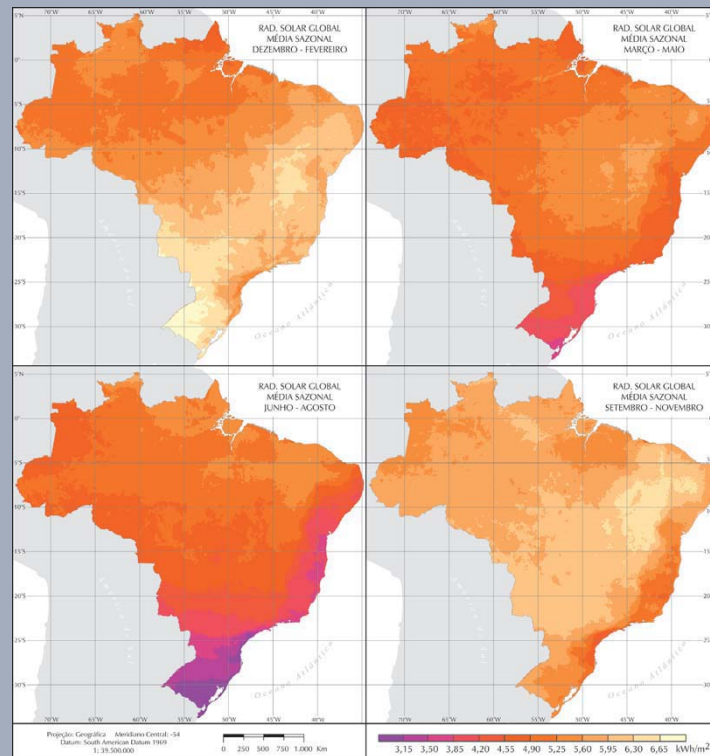
**Região Sudeste**  
10,5 %

**Região Sul**  
6,4 %



## SWERA: Solar and Wind Energy Resource Assessment





**Tecnologias em Foco  
(energia renovável complementar)**

 **Solar Fotovoltaica**

**Solar Térmica**

**Eólica**

**Biomassa**

**Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas**

**Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.**



*PV Neurather See (Alemanha) 360kWp*

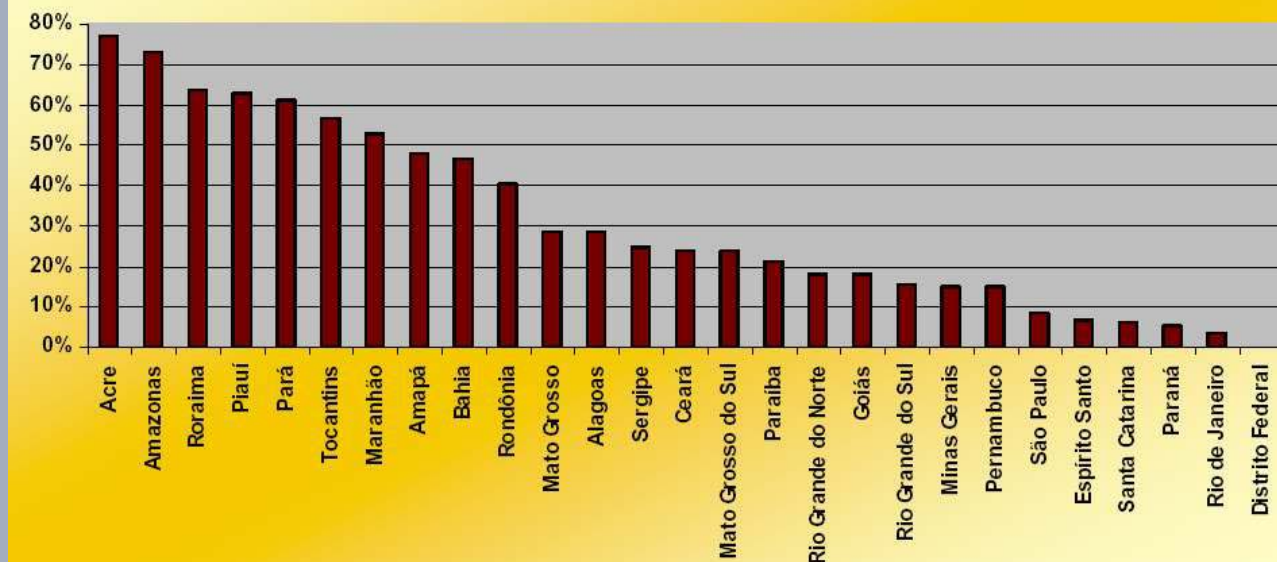
## Telhado Solar Fotovoltaico

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



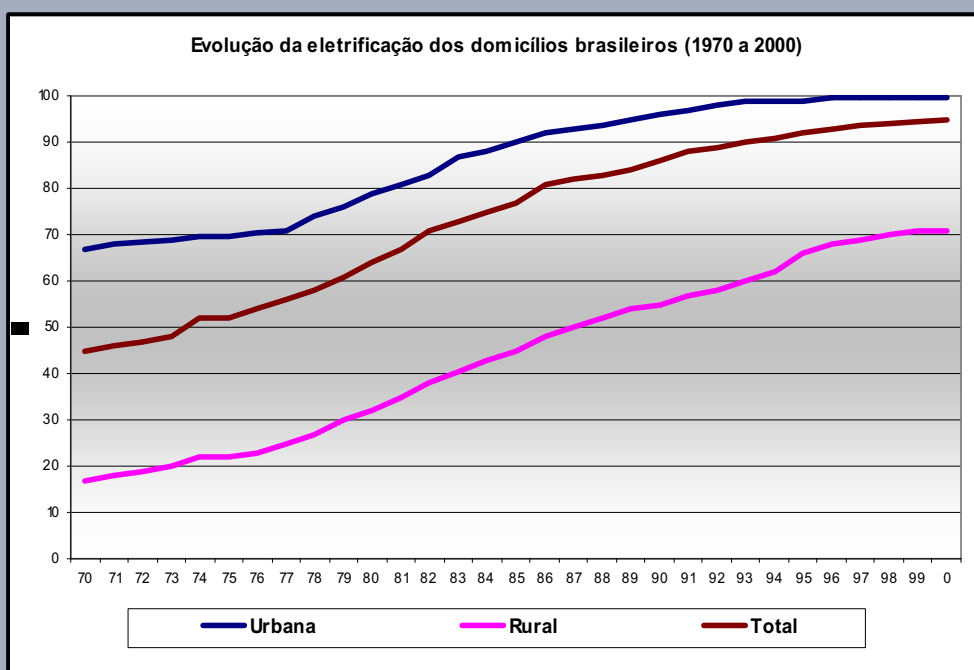


### Índice de exclusão elétrica rural

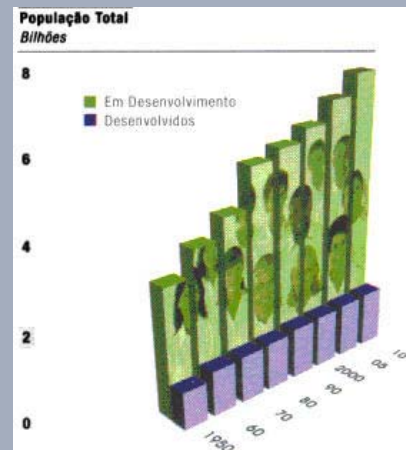
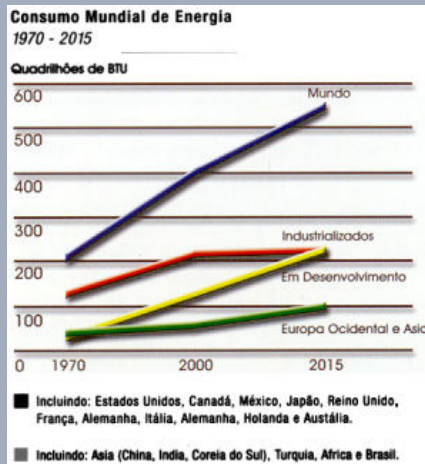


MME - 2004

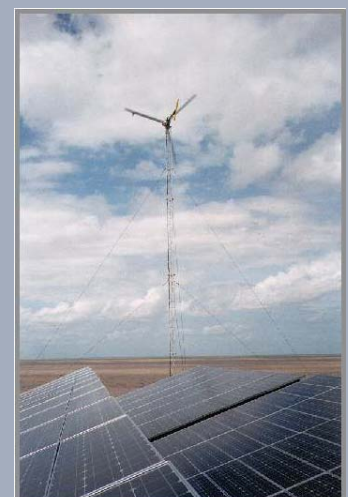
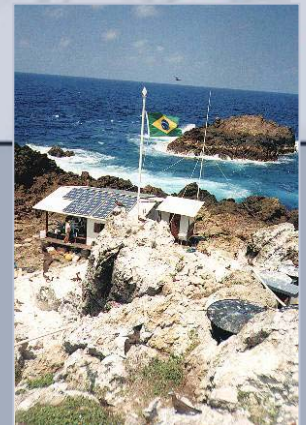
### Evolução da eletrificação dos domicílios brasileiros (1970 a 2000)



# Uso da Energia: Tendência



FONTE: Informativo da Eletrobrás - agosto 2001

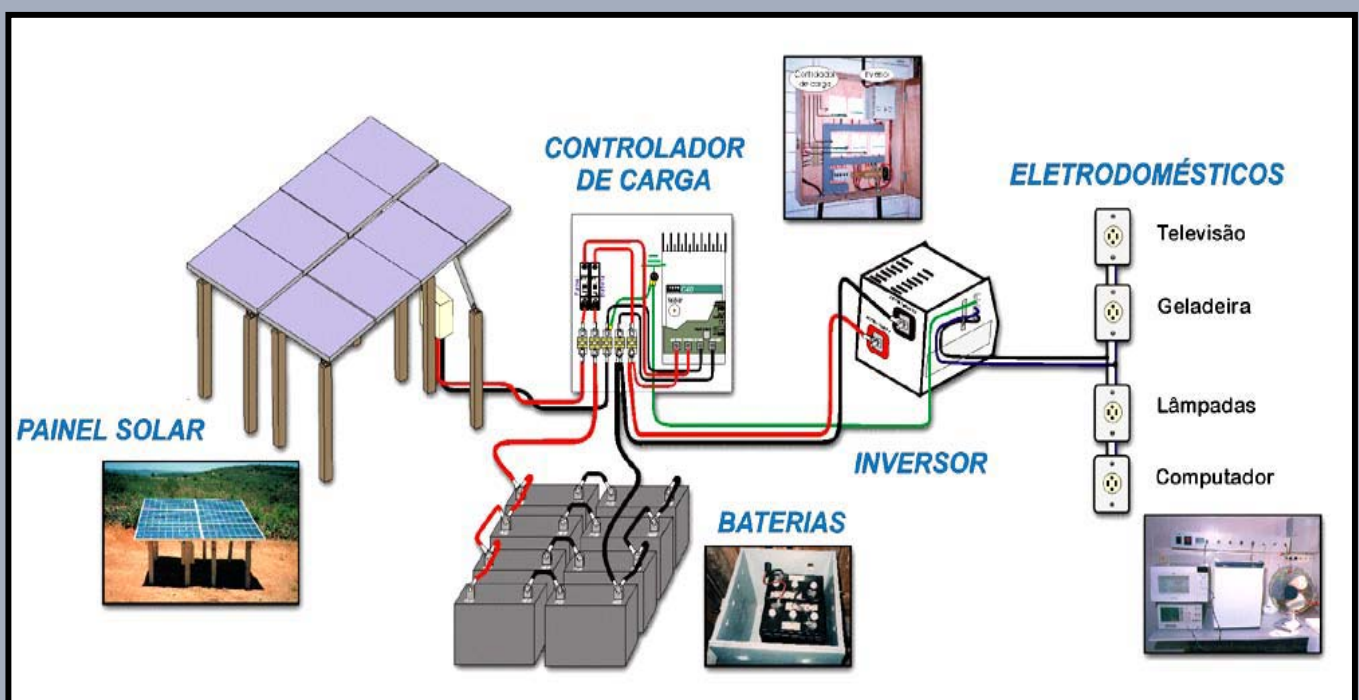




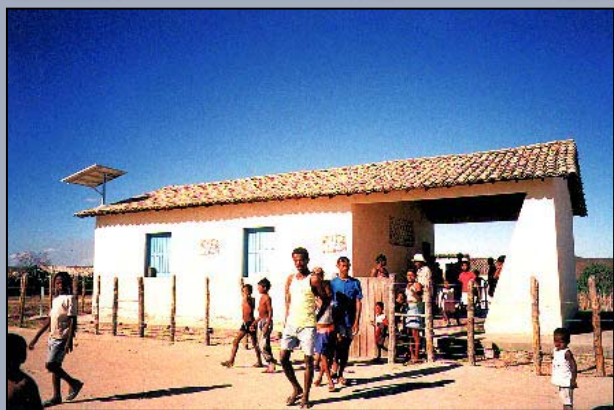


“Considerando nossa dimensão territorial e a dispersão geográfica da população rural, não se pode deixar de considerar os limites para a expansão da rede elétrica, particularmente em regiões de florestas, fazendo com que a adoção de soluções de atendimento descentralizado seja imperativa para se atingir o objetivo de universalização do serviço público de eletricidade.” – Marcelo Poppe

## 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 - Manacapuru

# Instalações Fotovoltaicas Tocantins



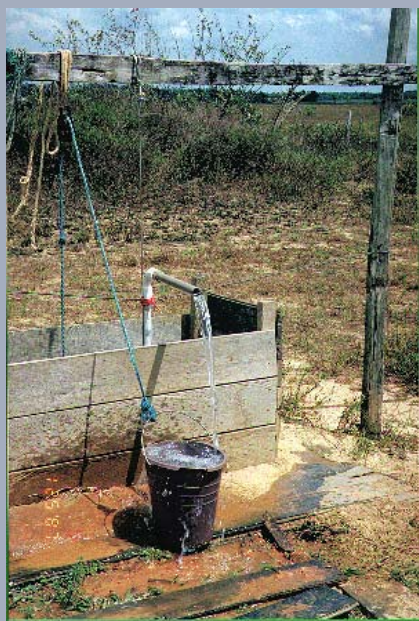
Crianças assistindo à TV pela primeira vez na comunidade de Boa Sorte Município de Dianópolis



Sistema de bombeamento da comunidade de Boa Sorte Município de Dianópolis



# Sistema de Bombeamento Fotovoltaico



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

# Instalações Fotovoltaicas Projeto Ribeirinhas – Amazonas (Parceria Eletrobrás)



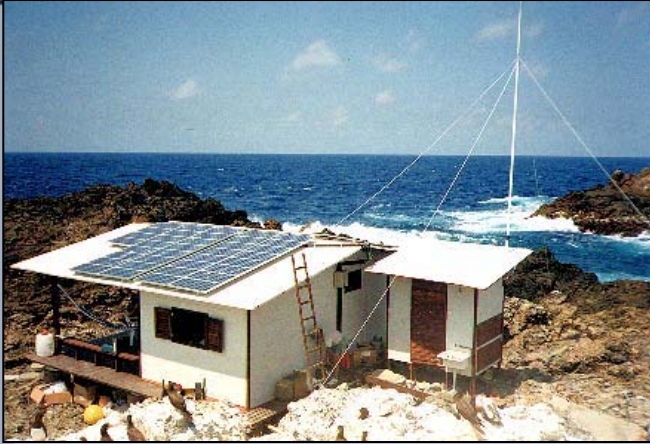
Transporte dos equipamentos fotovoltaicos



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

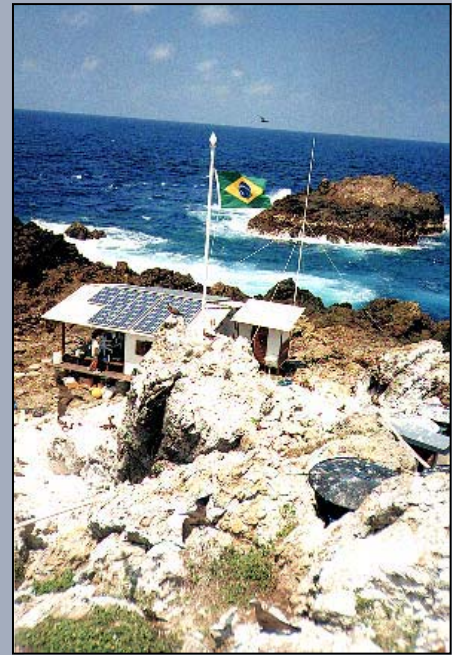


# Arquipélago de São Pedro e São Paulo



*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*



**CASA SOLAR EFICIENTE**



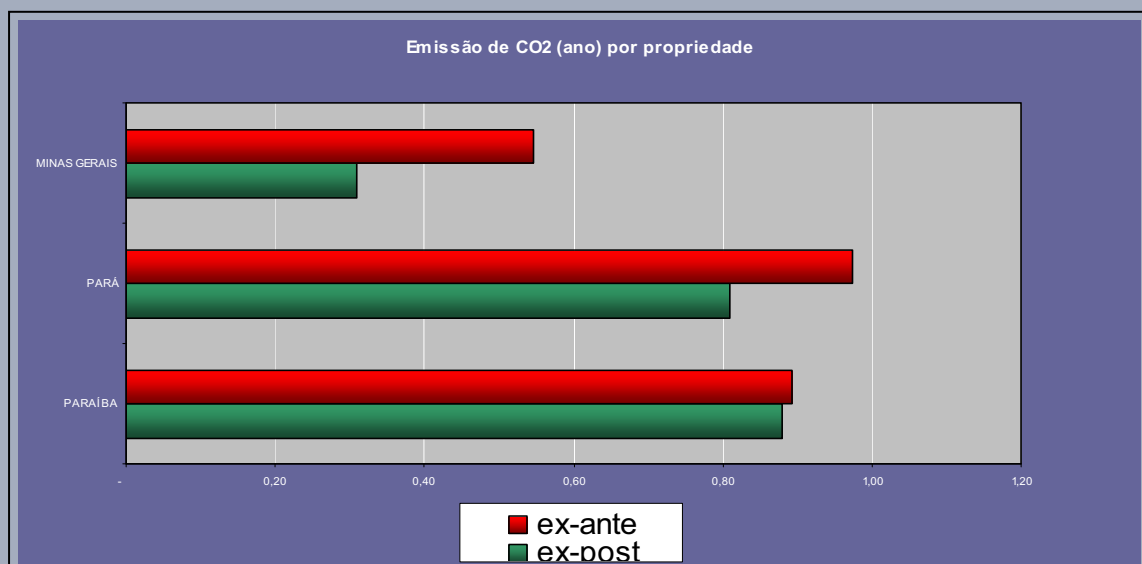
**“É COMO GUARDAR O SOL DE DIA PARA ACENDER À NOITE DENTRO DE CASA”**



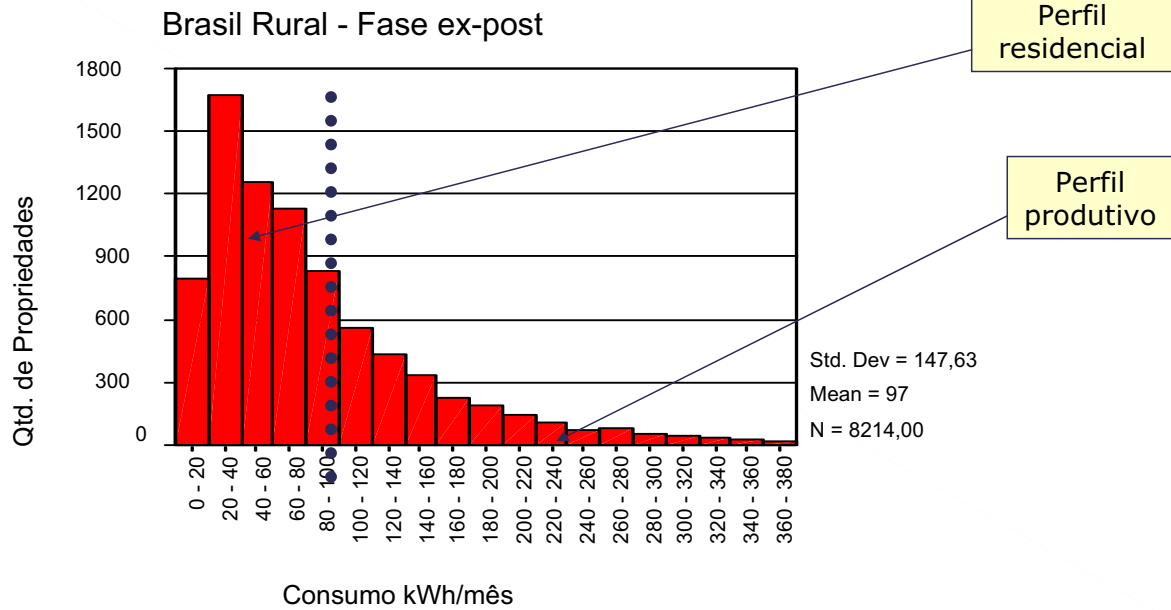
Quase 9000 propriedades rurais analisadas após eletrificação

## Rural Electrification and CO2 Emission

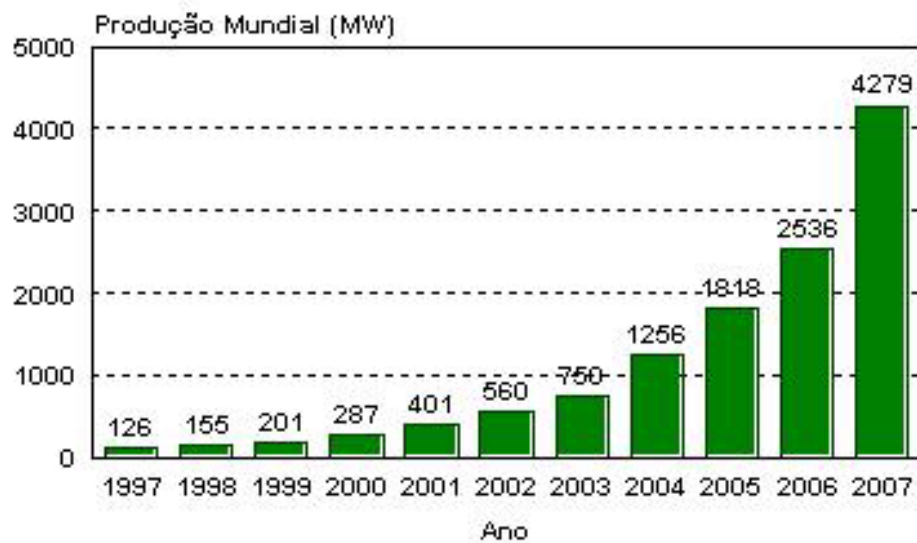
- Drop of the emission in the majority of states
- **PARAÍBA: 2%** , **PARÁ: 17%** e **MINAS GERAIS: 43%** de indigentes



## Consumo de Energia Elétrica



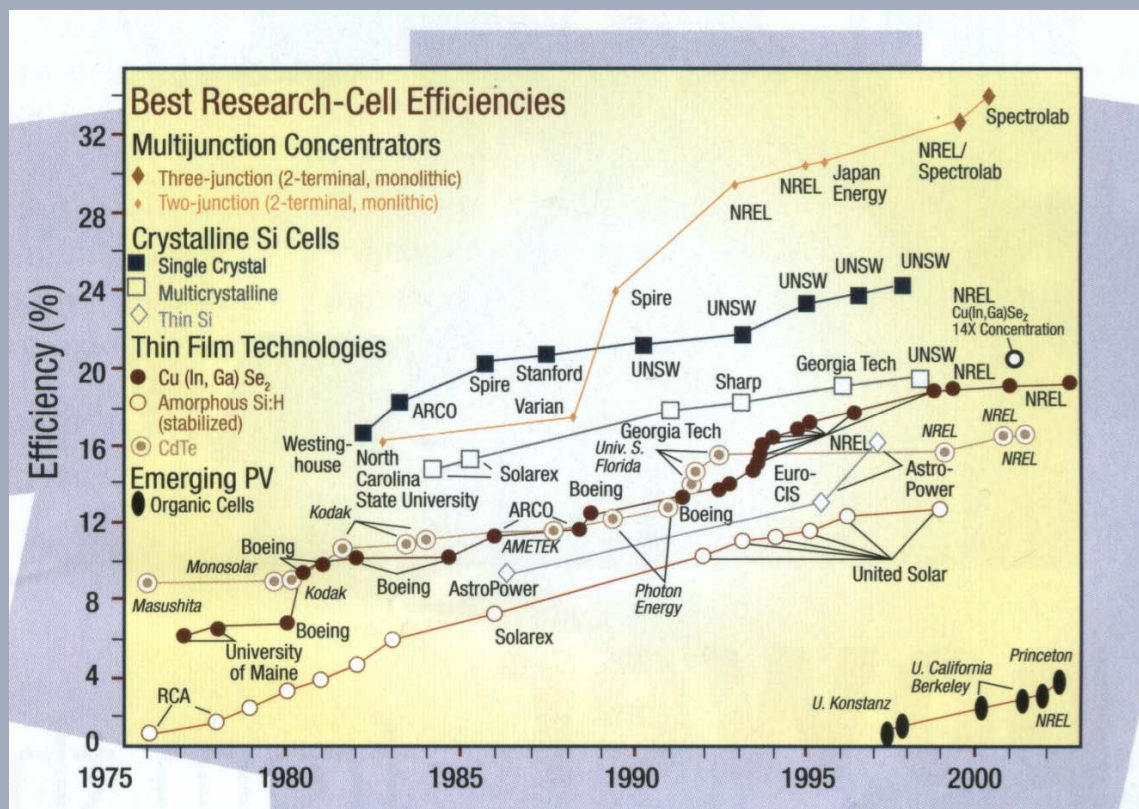
## PV – Produção Mundial (MW)



## Eficiência das células

	Laboratório	Comercial	Máximo teórico
mono-Si	24%	12 - 15%	~30%
poli-Si	20%	11 - 14%	
a-Si	14%	6 - 8%	

## Evolução das células



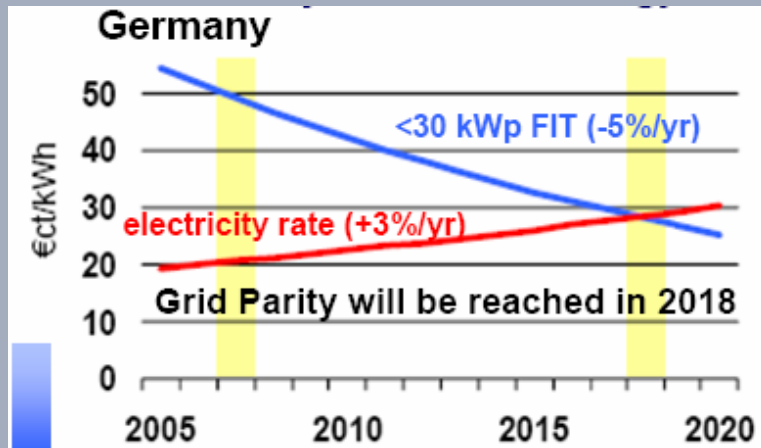


## SOLAR FOTOVOLTAICO

- **Pode contribuir, num primeiro momento, em aplicações distantes da rede, em particular na região amazônica**
- **Caso haja uma significativa redução de custos, aplicações interligadas podem contribuir num cenário em que substitua fontes térmicas**
- **Produção de equipamentos no Brasil tem vantagem de utilizar a base hidráulica (menor emissão na produção de equipamentos)**
- **Melhorando condições de vida no campo pode ajudar a fixar populações na área rural diminuindo a pressão sobre os grandes centros**



- **Geração descentralizada: cada consumidor uma empresa de geração de energia?**



Tecnologias em Foco  
(energia renovável complementar)

Solar Fotovoltaica

→ Solar Térmica

Eólica

Biomassa

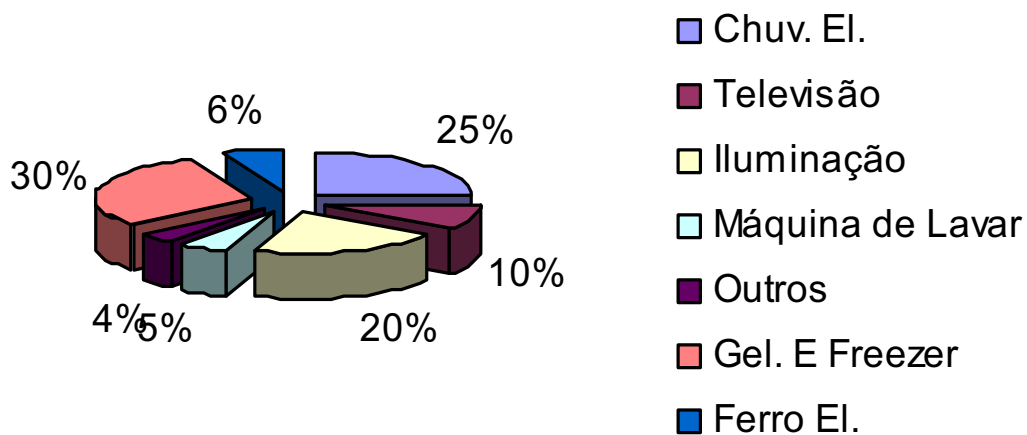
Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.



## Uso Energia Elétrica Brasil (Residencial)

Como as pessoas usam a energia de um modo geral:



- O Brasil possui a sétima maior área de coletores solares instalados do mundo: **3,1** milhões de m<sup>2</sup>
  - ✓ 84% no setor residencial
  - ✓ 15% no setor terciário (hotéis e serviços)
  - ✓ 1% no setor industrial
- Em termos populacionais, o Brasil possui apenas **1,72** m<sup>2</sup> de área coletora instalada para cada 100 mil habitantes, muito atrás de Chipre (84,4), Barbados (26,9) e Turquia (13,5)
- A taxa média de crescimento anual da área coletora instalada no Brasil é de **14%**, enquanto no Canadá é de 50%, na Alemanha 39%, na França e Grécia, 34%.

## Conceituação

- **Geração Heliotérmica**
  - Produção de energia elétrica a partir da conversão da energia solar em calor com alta temperatura com emprego sistemas de concentração de energia.
- **Sistemas de Concentração de Energia Solar (Concentrated Solar Power – CSP)**
  - Arranjos de espelhos e de concentradores da radiação solar direta.
- **Tecnologias básicas**
  - Cilindros parabólicos, Torre central e Discos parabólicos.



# Tecnologias de Conversão Direta da Radiação Solar - Heliotermia

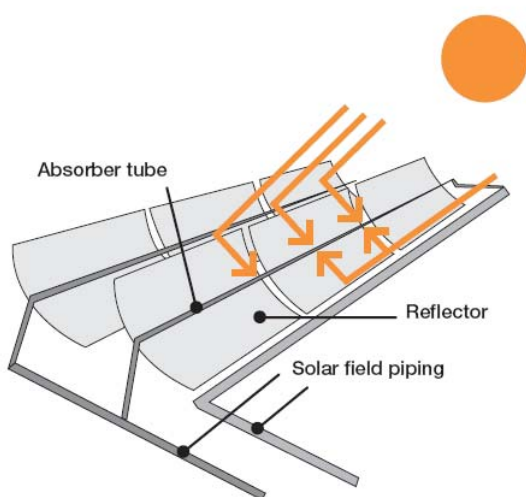


Discos

Cilindros



## Tecnologias Cilindro Parabólico



Concepção básica da tecnologia de cilindros parabólicos



Nevada Solar One, 64 MW (construção).



Solar Electric Generation Station – SEGS  
354 MW (9 unidades), Deserto de Mojave, USA  
0,65 km<sup>2</sup>/100MW, 2300 a 2900 kWh/m<sup>2</sup>.ano

# Tecnologia Cilindro Parabólico



**SEGS, Kramer Junction, California, USA  
354 MW.**



# Tecnologia Cilindro Parabólico



**SEGS, Kramer Junction, California, USA – 354 MW; 2,3 km<sup>2</sup>**

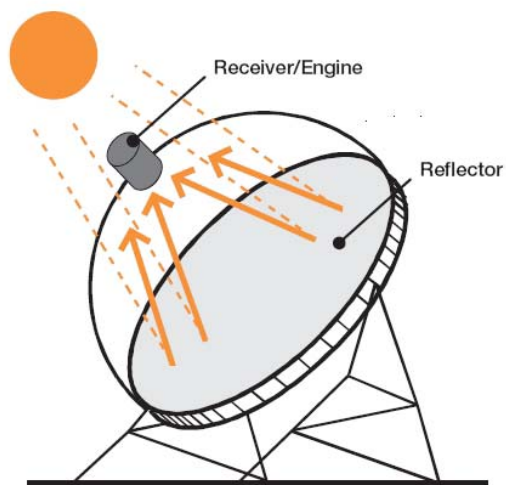


# CEMIG: sistema de 10 kW



**Híbrido Solar-Diesel**

# Tecnologias Disco Parabólico



**Concepção básica da tecnologia de disco parabólico.**



**Duas concepção de discos parabólicos com potência nominal de 10 kW**

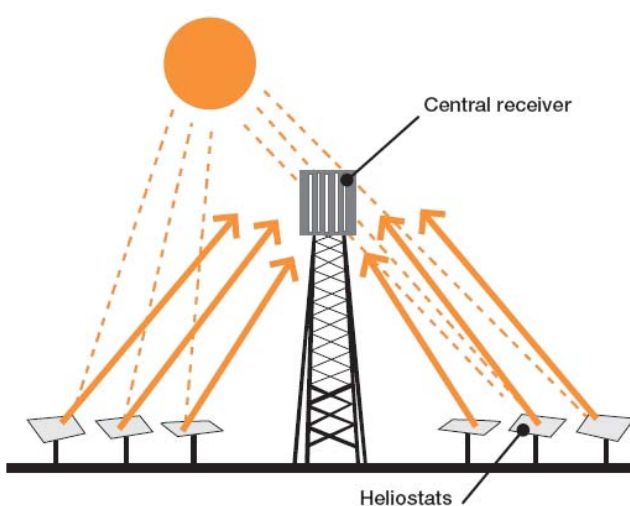


# Tecnologias de Conversão Direta da Radiação Solar - Heliotermia

## Torre Central



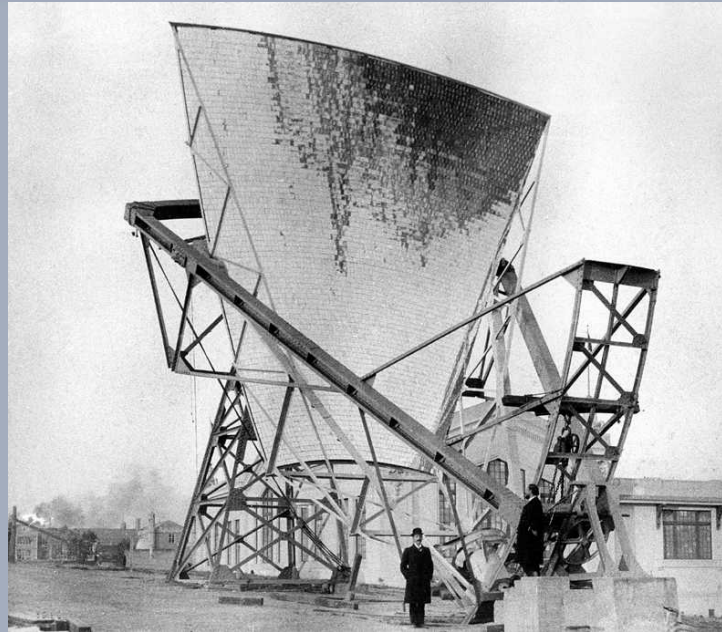
## Tecnologias Torre Central



Concepção básica da tecnologia de torre central (5 a 7 km<sup>2</sup>/100MW)



Planta PS10 (11 MW, com armazenagem de energia), Espanha, Sevilla.



**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).**

## Custos

Tecnologia	Investimento	Eletricidade
<b>Cilindro parabólico</b> (30 a 200 MW)	<b>3.800 a 5.425 \$/kW</b>	<b>Atual: 0,12 a 0,15 \$/kWh</b> (SEGS/Califórnia, USA)
<b>Cilindro parabólico ISCC</b> (130 MW, com 30 MW solar)	<b>1.705 \$/kW</b>	<b>Futuro: \$ 0,08 a 0,09 /kWh</b>
<b>Torre Central</b>	<b>5.425 a 8.525 \$/kW</b> (dependendo da capacidade do sistema de armazenagem e da potência nominal)	Nas instalações comerciais recentes o custo está na faixa de <b>\$ 0,22 a 0,31 /kWh</b> . O Banco Mundial prevê um uma redução de custo para a faixa de <b>\$ 0,11 a 0,12 /kWh</b> para plantas de 100 MW com armazenagem e de <b>\$ 0,08 /kWh</b> para plantas de 200 MW (longo prazo), todas para um nível de radiação solar direta acima de <b>2700 kWh/m<sup>2</sup>/ano</b> .
<b>Discos parabólicos</b>	<b>Atual: 15 mil a 22 mil \$/kW</b> (com motor Stirling) <b>Futuro: 10.800 \$/kW</b> para produção de 100 unidades/ano, <b>5.700 \$/kW</b> para produção de 1000 unidades/ano e <b>3.700 \$/kW</b> para produção de 3000 unidades/ano. <b>Unidades de 10 a 25 kW/ano.</b>	



- Grande oportunidade de crescimento da utilização de coletores solares desde que legislação e financiamento estimulem sua utilização
- Desde que haja diminuição de custos, geração heliotérmica poderá dar sua contribuição, em particular na Região Nordeste

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



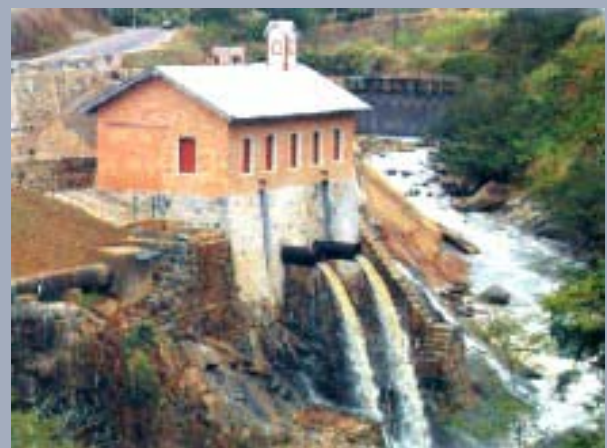


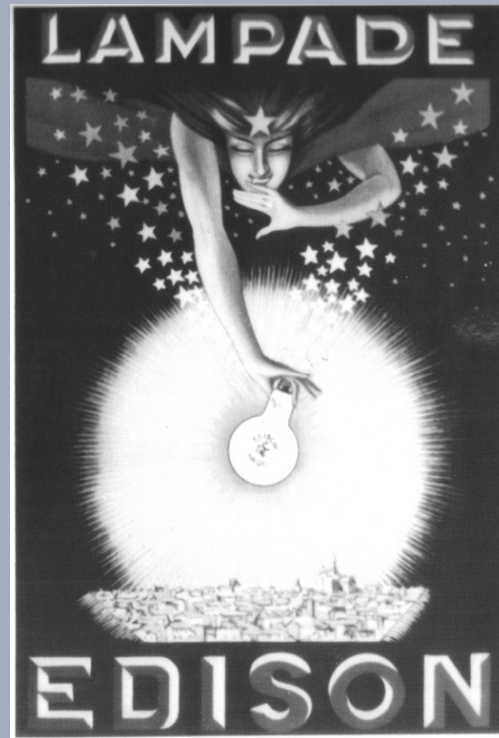
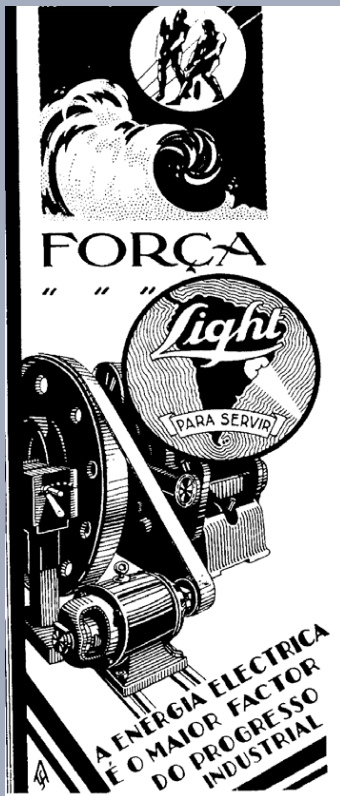
- ✓ O aproveitamento do bagaço como combustível é competitivo com as demais opções térmicas do sistema.
- ✓ Estima-se que valores adicionais de geração elétrica por bagaço de cana da ordem de 6.400 MW sejam inseridos na matriz elétrica brasileira até 2030.
- ✓ No caso dos segmentos madeireiro e arrozeiro, embora o potencial identificado seja de pequena importância do ponto de vista nacional, é preciso ter clareza que o mesmo é de grande relevância nos contextos regional e local. Estima-se um potencial de 1.300 MW nesses 2 segmentos.
- ✓ O custo de geração com resíduos de arroz está em torno de R\$ 117,00/MWh e o de madeira R\$ 114,00/MWh.

FONTE: MME

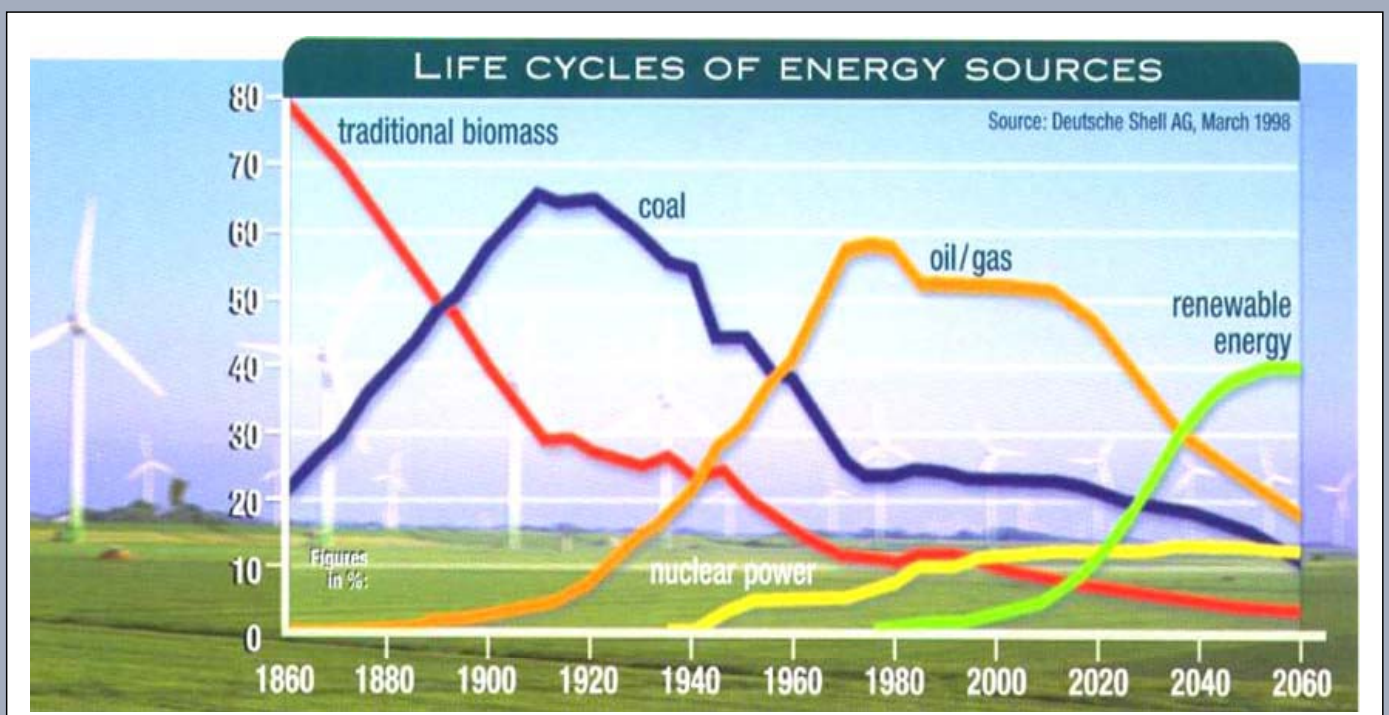


**Usina Hidroelétrica  
Marmelos Zero – MG - 1889**

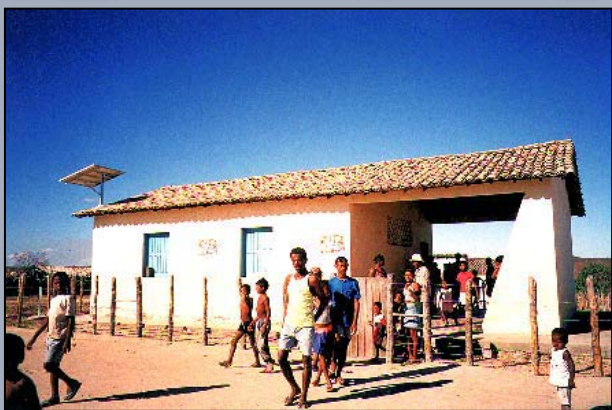




## O Futuro das Fontes Renováveis de Energia







## 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

“Às vezes ser moderno é olhar para trás”

*Gilberto Gil*

## Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB [www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

*Promover o desenvolvimento das energias solar e eólica através da difusão de conhecimentos, da ampliação do diálogo entre as entidades envolvidas e do estímulo à implementação de estudos e projetos.*

