

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

**Potencial Eólico e Solar  
Brasileiro: Fontes Limpas de  
Energia**

Vitória - Espírito Santo  
23 de agosto de 2007

Hamilton Moss, Ricardo Dutra  
[www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

A collage of four images: top-left shows a dam with water cascading over it; top-right shows a close-up of a solar panel array; bottom-left shows a control room with several computer monitors displaying data and a person working; bottom-right shows a model of a wind turbine.

# Introdução

## Introdução

- Contexto das Energias Renováveis

## Potencial Solar e Eólico no Brasil

- Energia Solar Térmica
- Sistemas Fotovoltaicos e Eólicos
- Vantagens e Desvantagens
- Aplicações rurais e urbanas
- Potencial Solar e Eólico do Brasil

## Exemplos de Projetos

- Alguns Projetos no Brasil e no Mundo

## Conclusões

## Tecnologias em Foco (energia renovável complementar)

→ Solar Térmica

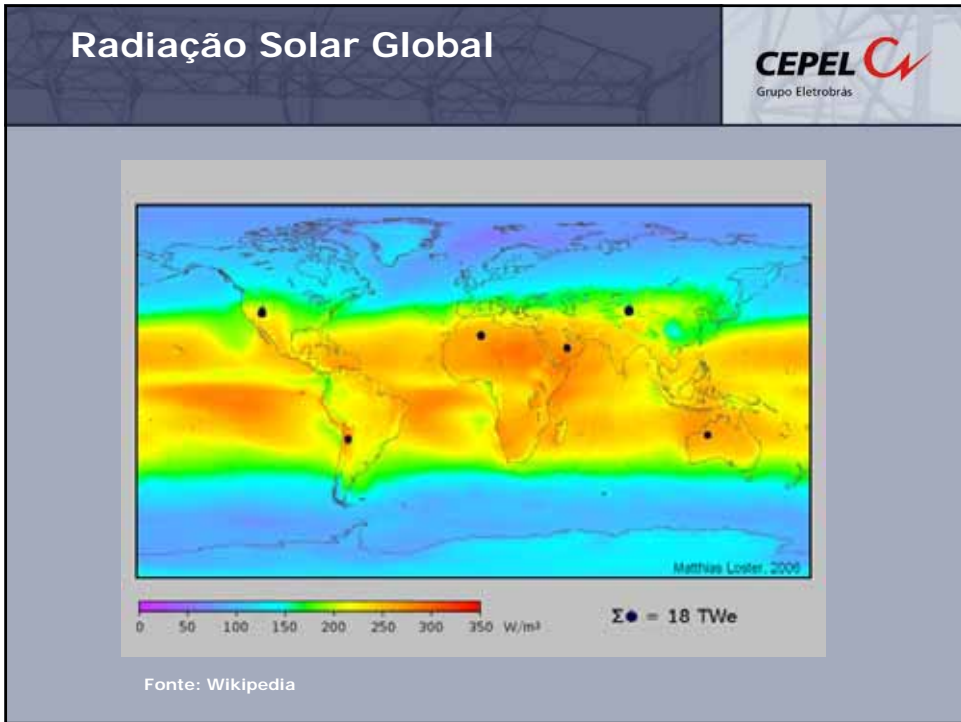
→ Solar Fotovoltaica

→ Eólica

Biomassa

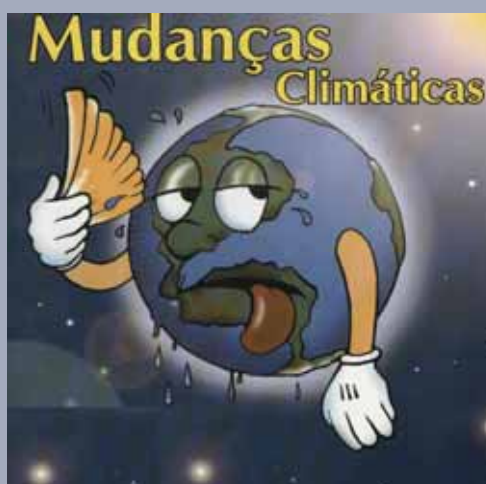
Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.



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

Fonte: Folheto da CEMIG



FONTE: 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

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

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

\*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.

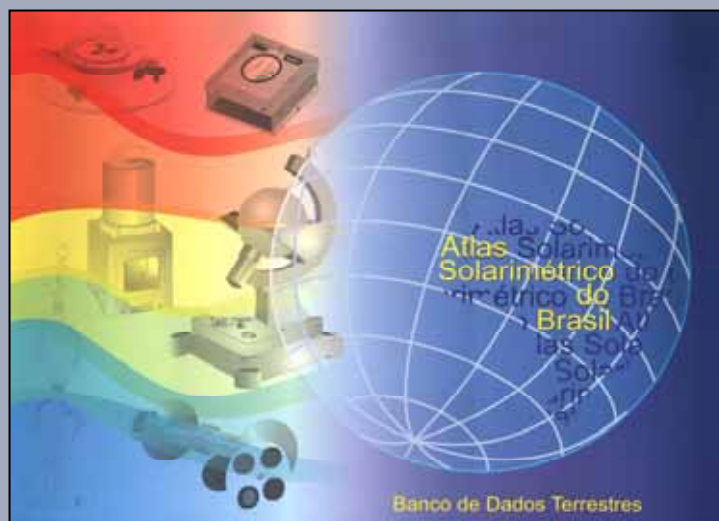
Estudo da UE, ExtermE - WSJ - 2002

## Maturidade e Custos das Tecnologias para Geração de Eletricidade

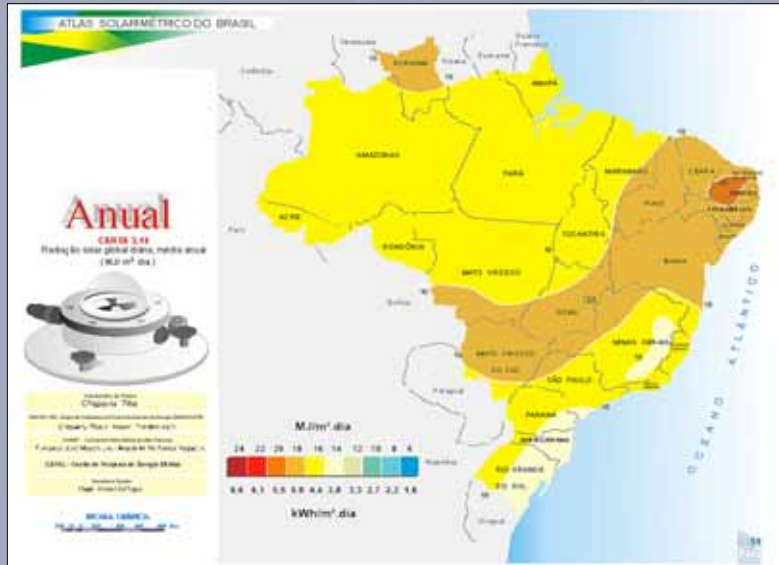
TECNOLOGIA	POTENCIAL (GW)	TAMANHO TÍPICO (KW)	APLICAÇÃO	MATURIDADE DA TECNOLOGIA	VIABILIDADE TÉCNICA	CUSTO INVESTIMENTO (US\$/KW)	CUSTO O&M (US\$/MWh)	CUSTO COMBUSTÍVEL (US\$/MWh)	CUSTO GERAÇÃO (US\$/MWh)	EFICIÊNCIA	
SOLAR FOTOVOLTAICA	-	0,05 A 10	- INTERMITENTE - GRID E OFF-GRID	DEMONSTRADA (GRID)	MÉDIA (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	10 a 50.000	-BASE -GRID E OFF-GRID	COMERCIAL	ALTA	1.200 a	12 a	0.	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	100	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

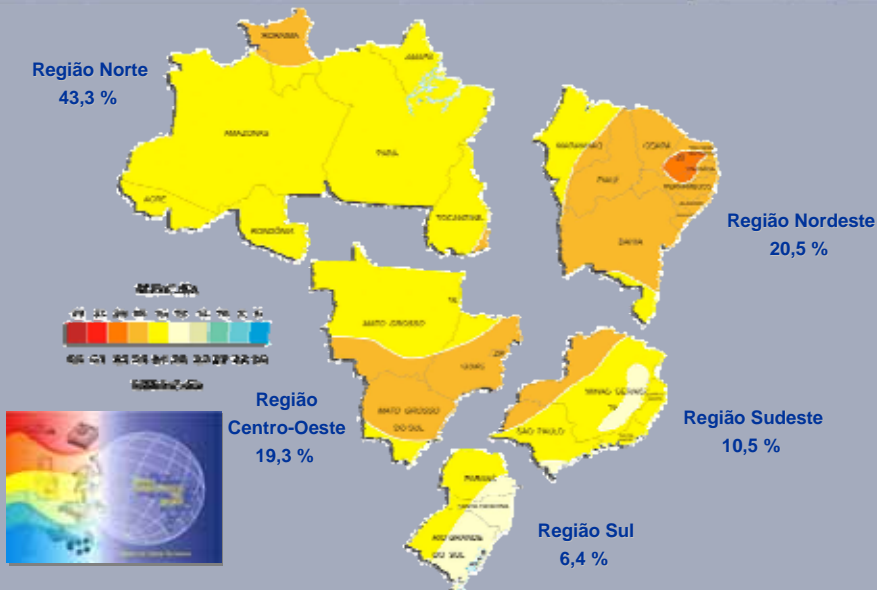
## Atlas Solarimétrico do Brasil UFPE

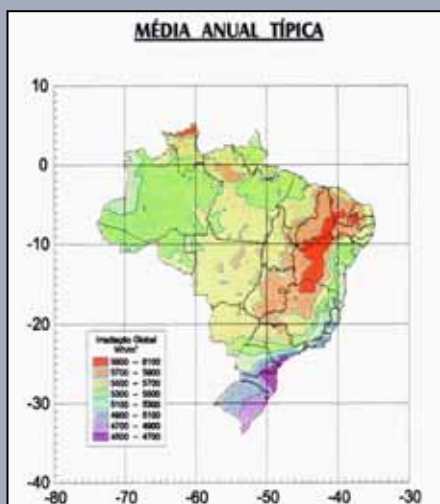


# Radiação Solar Global Média Anual



# Potencial Solar por Região





- 1a. Versão publicada em outubro de 98 pelo LABSOLAR/UFSC e pelo INPE.
- É uma aplicação do modelo físico BRAZILSR, baseado em dados de satélite geostacionário.
- É representado por um conjunto de mapas de irradiação global.

→ Solar Térmica

Solar Fotovoltaica

Eólica

Biomassa

Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.

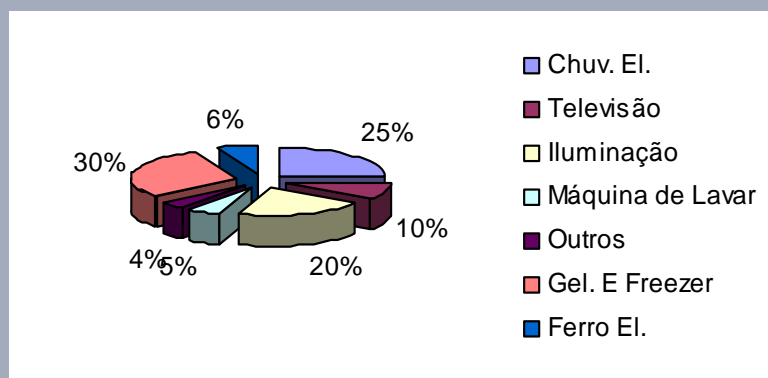


## Aquecimento Solar



## Uso Energia Elétrica Brasil (Residencial)

Como as pessoas usam a energia de um modo geral:





## Tecnologias de Conversão Direta da Radiação Solar - Heliotermia



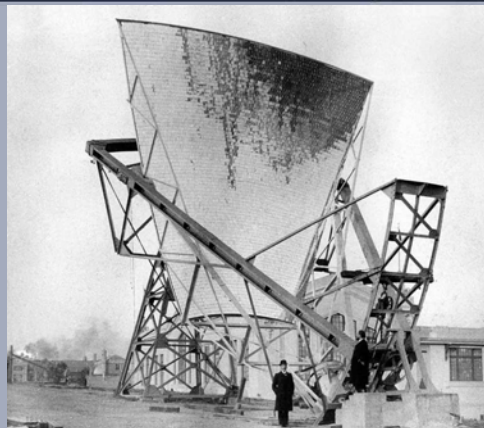
Discos



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 Prêmio. (50 m<sup>2</sup>; ~3800°C).

## Solar Térmica

→ Solar Fotovoltaica

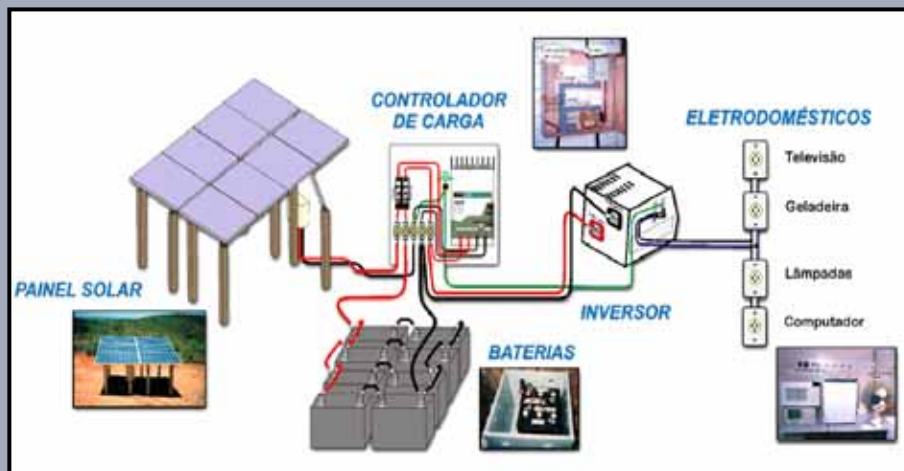
Eólica

Biomassa

Pequenas  
Centrais  
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.

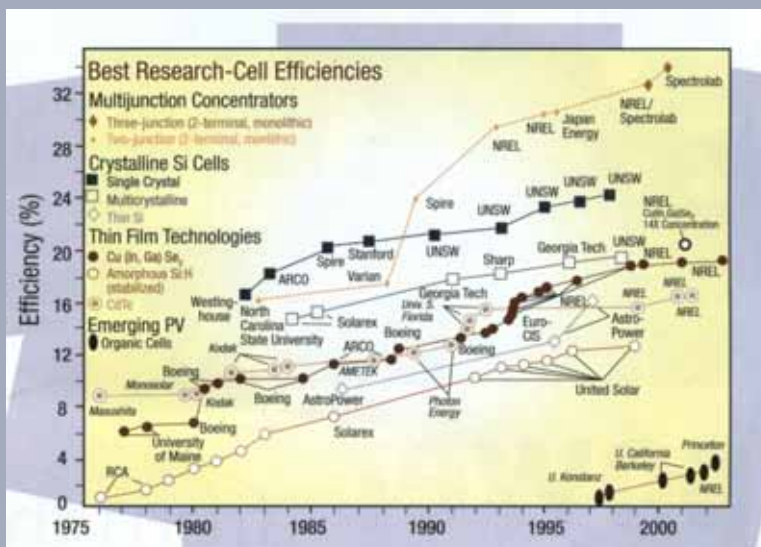
## Sistema Fotovoltaico de Geração de Energia Elétrica



## Participação de Cada Componente no Custo de SF

Componente	Custo Inicial	Custo Anualizado
Regulador	20%	23%
Reator e Lâmpadas	9%	23%
Bateria	13%	23%
Instalação ou O&M	4%	3%
Módulo	54%	28%

## Evolução das Células





## Energia e Inclusão Social



Escola da comunidade de Baixão do Archanjo Município de Barra



Sistema Fotovoltaico  
N.S.P. Socorro - Manacapurú

## A Exclusão Urbana

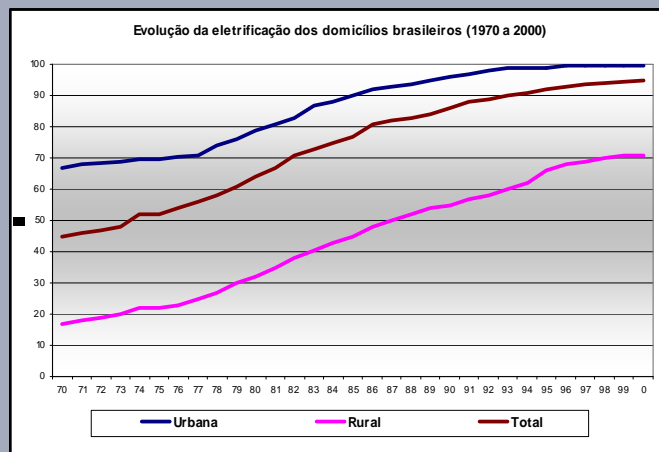


## Universalização: metas e desafios



MME - 2004

## Universalização: metas e desafios



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

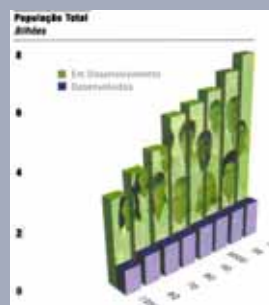
## Universalização: metas e desafios



“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.”



## Uso da Energia: Tendência



FONTE: Informativo da Eletro nuclear - agosto 2001

## Instalações Fotovoltaicas Rio de Janeiro



Igreja, escola e posto de saúde  
da comunidade de Água Fria  
Município de São Fidélis



Sistema energético da comunidade  
de Água Fria - Município de São  
Fidélis

## 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

## 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*

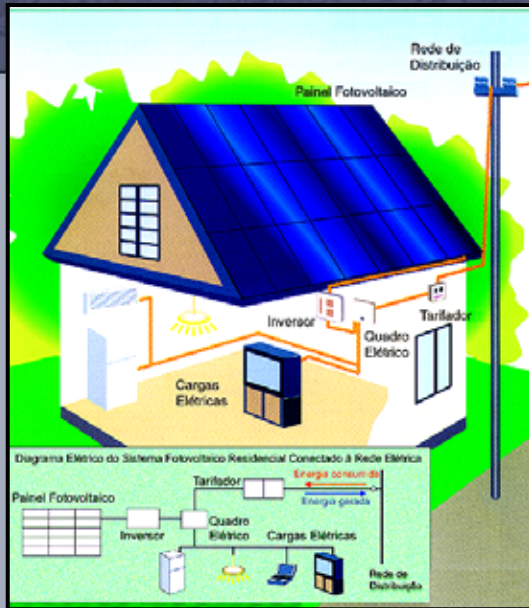
## Instalações Fotovoltaicas Projeto Ribeirinhas – Amazonas (Parceria Eletrobrás)



Transporte dos equipamentos  
fotovoltaicos



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



## Sistema Fotovoltaico Residencial Conectado à Rede Elétrica

## 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



## Tecnologia Fotovoltaica Sistemas Conectados à Rede



*Central Fotovoltaica Neurather See (Alemanha) 360kWp*

## Vantagens do Uso de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos



- Tem característica modular, facilitando ampliações conforme as necessidades
- Segurança dos componentes
- Baixos custos de manutenção
- Possibilidade de Pré-eletrificação
- Atendimento de "consumidores satélite"
- Melhor solução para pequenos consumos
- Recurso solar abundante no Brasil

## Limitações



- Energia disponível é limitada, exigindo controle do consumo
- Investimento inicial alto
- Troca de bateria a cada 2 a 6 anos
- Necessidade de importação de equipamentos

## Telhado Solar Fotovoltaico

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





**Solar Térmica**

**Solar Fotovoltaica**

→ **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)

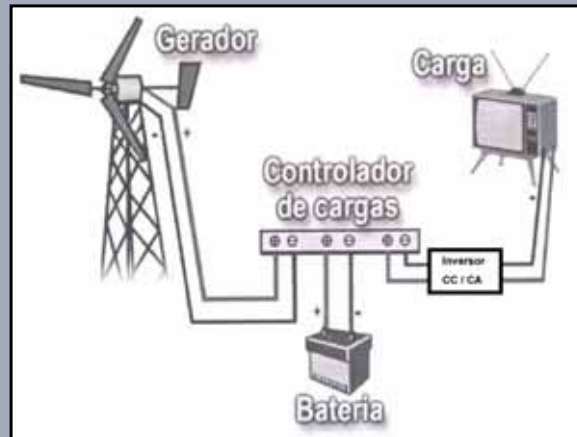
- Sistemas Híbridos
- Geração Distribuída



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

- Fazendas Eólicas
- Geração Distribuída

## Diagrama Típico de um Sistema Eólico Isolado



## Vantagens das Turbinas Eólicas (Pequeno Porte)

- Possibilidade de Pré-eletrificação
- Atendimento de "consumidores satélite"
- Custo de equipamentos mais baixo que o fotovoltaico
- É uma solução para pequenos consumos nos locais com bons ventos
- Não há necessidade de importação de equipamentos

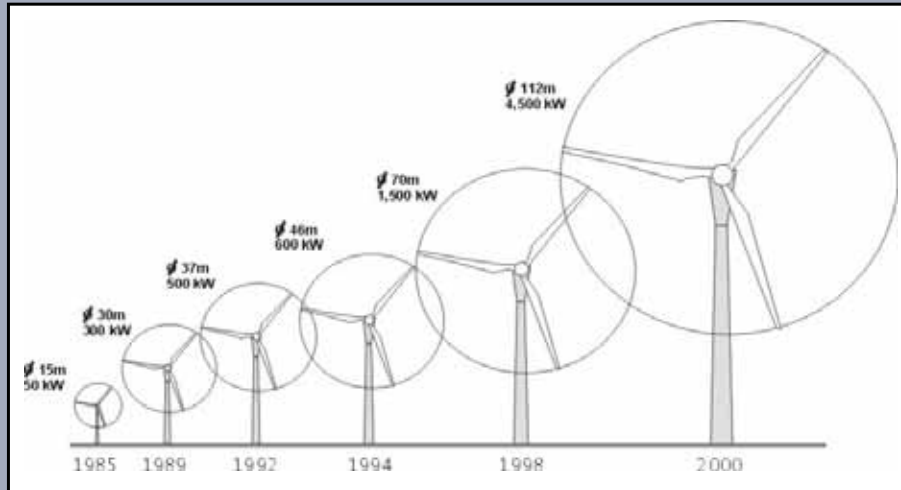
## Limitações das Turbinas Eólicas de Pequeno Porte

- Energia disponível é limitada, exigindo controle do consumo
- Troca de bateria
- Como possui peças móveis, necessita lubrificação regular e substituição periódica de componentes
- Se o vento não for regular não poderá sozinho atender às necessidades de eletricidade

## Sistemas de Grande Porte

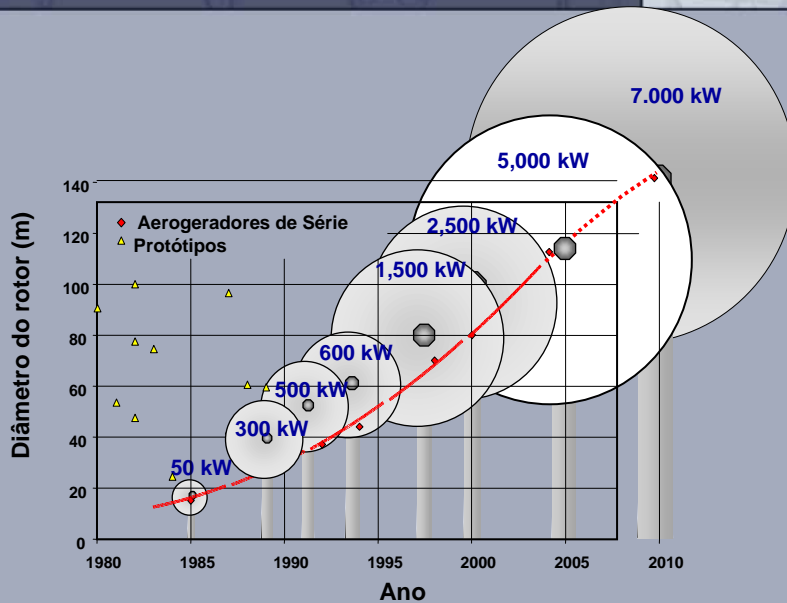


## Evolução comercial das turbinas eólicas



Fonte: DEWI

## Desenvolvimento da Tecnologia



## Evolução do Perfil Aerodinâmico



## Evolução do Custo da Energia Eólica

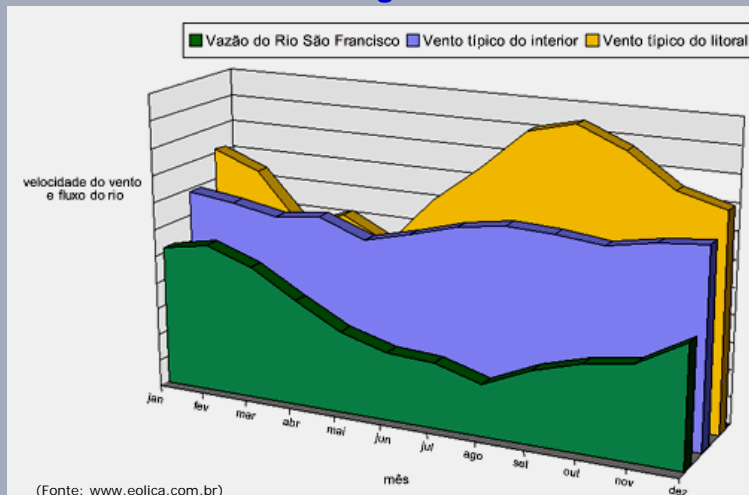
### • Redução significativa dos custos da energia eólica:

- Redução dos custos das turbinas eólicas;
- Turbinas cada vez maiores, com torres cada vez mais altas;
- Melhoria da tecnologia e nos métodos de produção;
- Melhoria na eficiência e na disponibilidade;
- Queda nos custos de operação e manutenção.

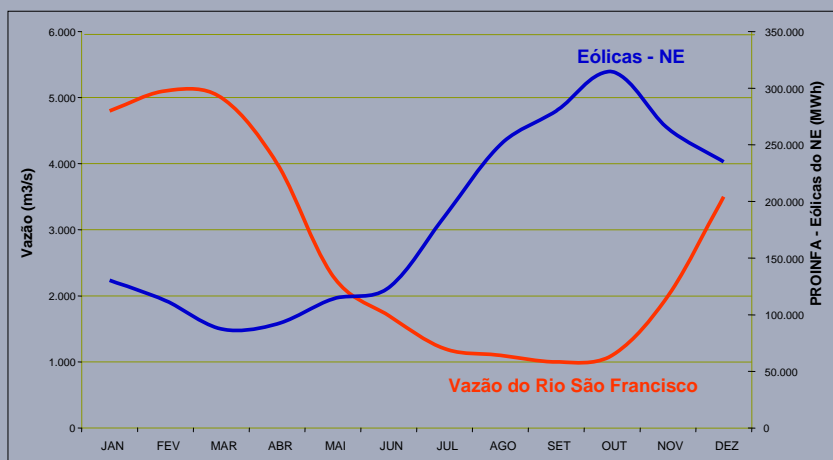
1979  2003  
US\$ 400,00/MWh US\$ 35 - 120,00/MWh

## Complementaridade dos Regimes Hidráulico e Eólico

### Comparação entre o fluxo de água do Rio São Francisco e o regime de vento no nordeste do Brasil.

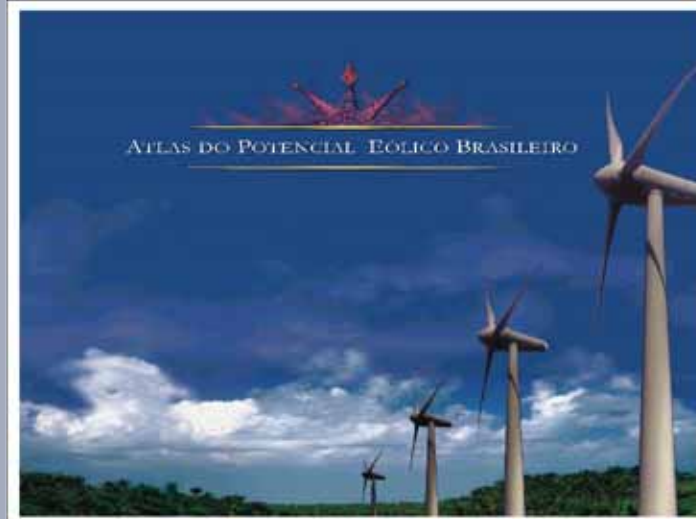


## SAZONALIDADE DAS USINAS EÓLICAS DO PROINFA



## Potencial Eólico

*Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*



## Atlas do Potencial Eólico Brasileiro

### Mapas



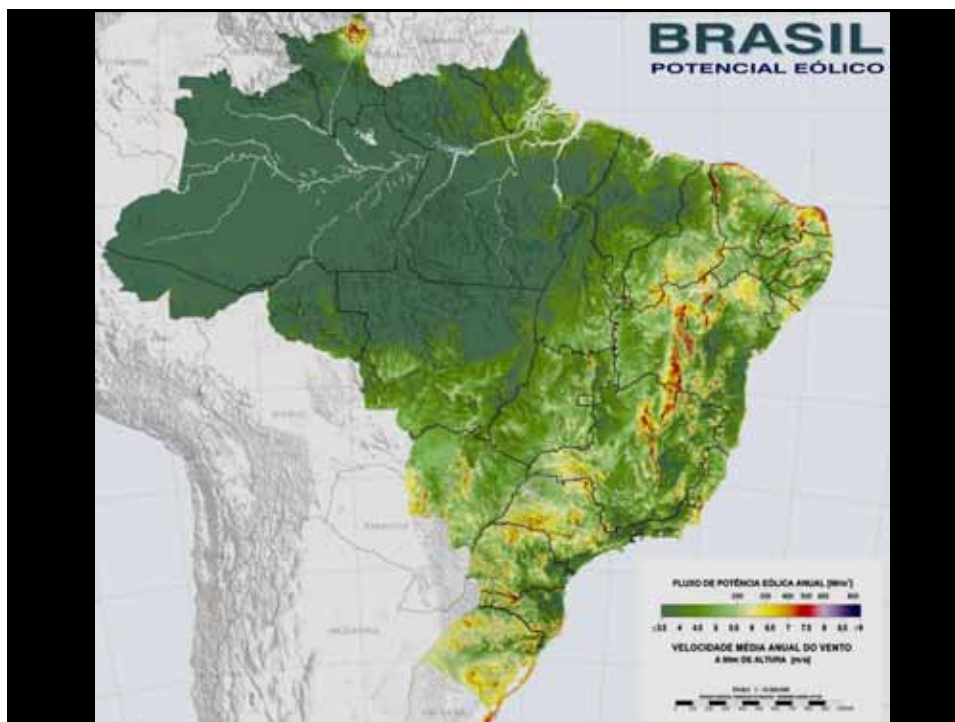
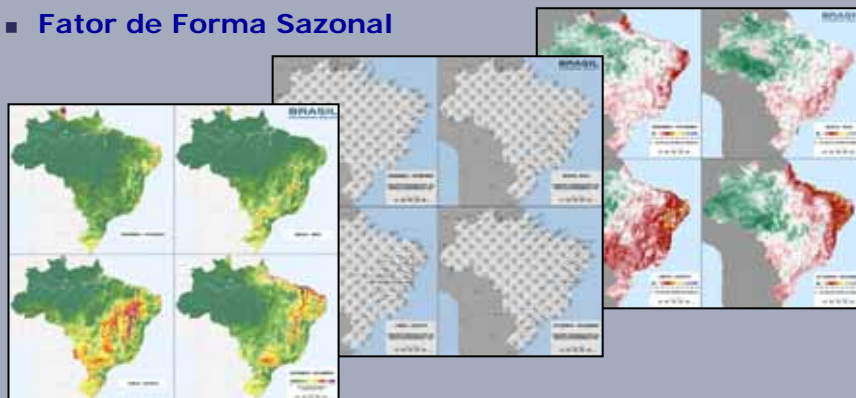
- Velocidade Média Anual
- Direção Predominante
- Fator de Forma de Weibull



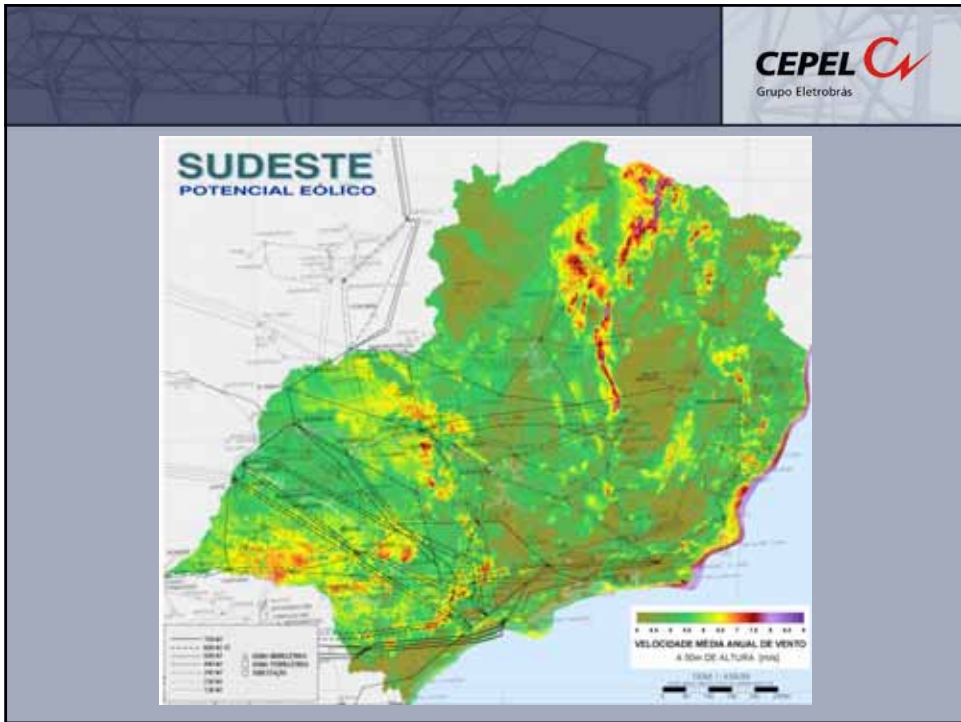
# Atlas do Potencial Eólico Brasileiro Mapas – Potencial Sazonal



- Velocidade Média Sazonal
- Direção Predominante Sazonal
- Fator de Forma Sazonal







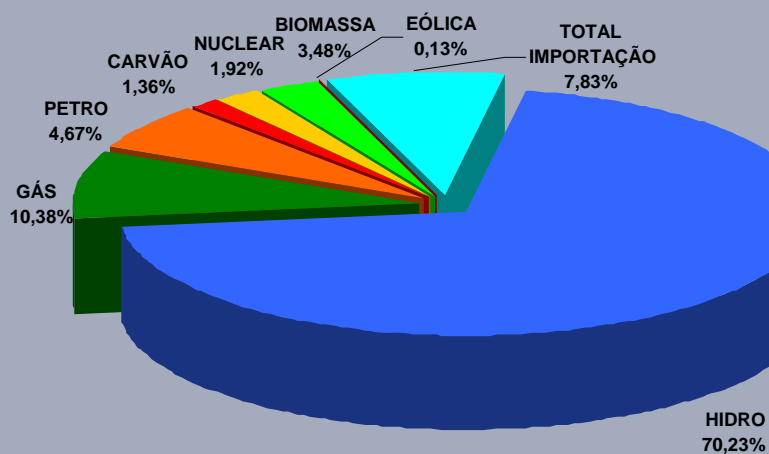
## Potência Eólica Instalada no Mundo (MW)



	Fim de 2002	Fim de 2003	Fim de 2004	Fim de 2005	Fim de 2006
Europa	23.357	28.835	34.630	40.898	48.545
América do Norte	4.881	6.678	7.196	9.832	13.062
Ásia	2.184	2.705	3.774	6.990	10.667
América Latina	139	166	212	232	530
Região do Pacífico	524	880	1.501	2.104	2.431
África	149	170	246	271	441
<b>Total</b>	<b>32.037</b>	<b>39.434</b>	<b>47.574</b>	<b>59.091</b>	<b>74.223</b>

Potência instalada no Brasil: 239,2 MW

## Geração



(Fonte: ANEEL, 2006)

## Estimativa de Mercado (visão do autor)



### Otimista (com muitos fatores indutores)

20% ao ano de crescimento até 2022 ⇒ **65 GW**

### Realista (+) (com poucos fatores indutores)

10% ao ano de crescimento até 2022 ⇒ **24GW**

### Realista (-) (com muito poucos fatores indutores)

5% ao ano de crescimento até 2022 ⇒ **15GW**

## PROINFA

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 \*

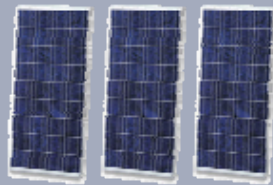
### BIOMASSA

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



(Fonte: EMME,2004)

## 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



### *Premissas*

- ✓ **Reduzir o consumo de óleo diesel** – Atualmente o consumo é de 10.000 litros de óleo diesel a cada 2 meses (~5.000 litros/mês).
- ✓ **Eficiência energética** – Substituição de lâmpadas e equipamentos por outros de maior eficiência.
- ✓ **Autonomia de 24 horas dos Acumuladores de Energia** – Dias chuvosos, sem vento e sem sol, gerador diesel só funcionará após 24 horas, durante este período as baterias suprem a demanda da ilha.
- ✓ Buscar alto índice de **nacionalização** dos equipamentos.
- ✓ Evitar a utilização de equipamentos de grande porte devido às dificuldades de desembarque e de instalação.

## BENEFÍCIOS DO PROJETO

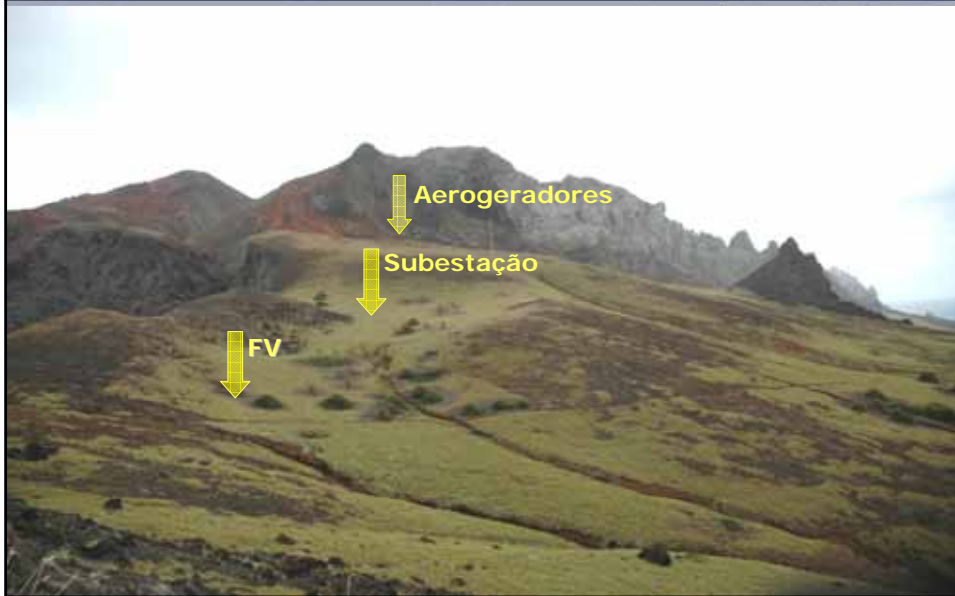


1. O sistema híbrido de geração elétrica a ser implantado reduzirá o consumo de combustível de 60.000 litros/ano para 2000 litros/ano, aproximadamente.
2. Redução dos efeitos negativos:
  - i. menor possibilidade de derramamento de óleo Diesel no decorrer do embarque e desembarque da carga;
  - ii. redução da geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos durante o abastecimento e a operação dos geradores;
  - iii. menor quantidade de emissão gerada de CO<sub>2</sub>.

## Sistema Híbrido de Geração composto de:

- Geradores Eólicos
- Painel Fotovoltaico
- Grupo gerador (diesel)
- Acumulador de Energia (Baterias)
- Controlador de carga
- Inversor cc/ca

## Localização prevista para o sistema de geração

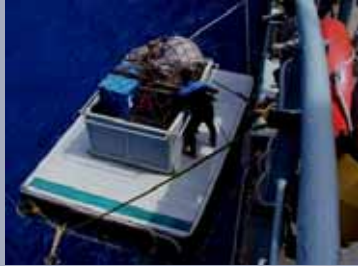


## LOCALIZAÇÃO DA GERAÇÃO





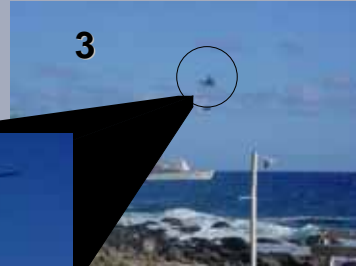
## Logística - Desembarque por balsa



## Logística - Desembarque por balsa



## Logística – Desembarque por helicóptero



## Substituindo Usina Nuclear por Energia Solar Fotovoltaica e Energia Eólica

Áreas Equivalentes Necessárias – 10 TWh/ano



## Algumas lições aprendidas



- Envolvimento da comunidade
- Projetos de energia integrados com outros de desenvolvimento social
- Gestão descentralizada
- A eletrificação não é uma panacéia universal
- Interesse e confiança na tecnologia por parte dos diferentes atores

## Desafios



- Aperfeiçoar métodos de gestão de geração descentralizada
- Identificar nichos de aplicação de cada tecnologia
- Estimular a Pesquisa e Desenvolvimento
- Promover a capacitação técnica de novos atores
- Desenvolver uma política industrial para a produção de equipamentos (fotovoltaico)
- Baratear tecnologias

## Energia e Inclusão Social



## Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito - CRESESB



*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.*



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

## 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

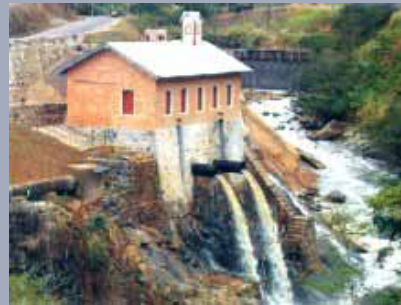


"Às vezes ser moderno é olhar para trás"

*Gilberto Gil*



Usina Hidroelétrica  
Marmelos Zero – MG - 1889



**“Eu sei que vocês acreditam que entenderam o que vocês pensam que eu disse; mas eu não estou seguro de que vocês percebem que aquilo que ouviram não é o que eu queria dizer.”**

**Alan Greenspan**

## **A cadeia de produção fotovoltaica (situação do Brasil)**

- Temos tecnologia em todos os setores, mas no que diz respeito à produção em escala industrial com baixos custos somos dependentes de importação.
- Um programa em larga escala de PVs no Brasil deve estar associado a uma política industrial de produção dos elementos do sistema, incluindo painéis. (o Brasil exporta anualmente cerca de 200 mil toneladas de silício metalúrgico – matéria-prima para a indústria fotovoltaica)

## A cadeia de produção fotovoltaica (situação do Brasil)



- Aplicações rurais ou urbanas não são necessariamente excludentes, podem, inclusive, viabilizar escala de produção. Entretanto, no Brasil, sem uma política industrial, o uso de PV deve, no momento, priorizar as aplicações rurais para comunidades distantes da rede.
- No âmbito do Programa Luz para Todos, o fotovoltaico já tem sido utilizado como opção para eletrificação rural.