

CEPEL 
Grupo Eletrobrás



CEPEL 
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
Grupo Eletrobrás



Energia: Lições do Passado; Tendências para o Futuro

Rio de Janeiro
21 de maio de 2007

Hamilton Moss, Ricardo Dutra
www.cresesb.cepel.br

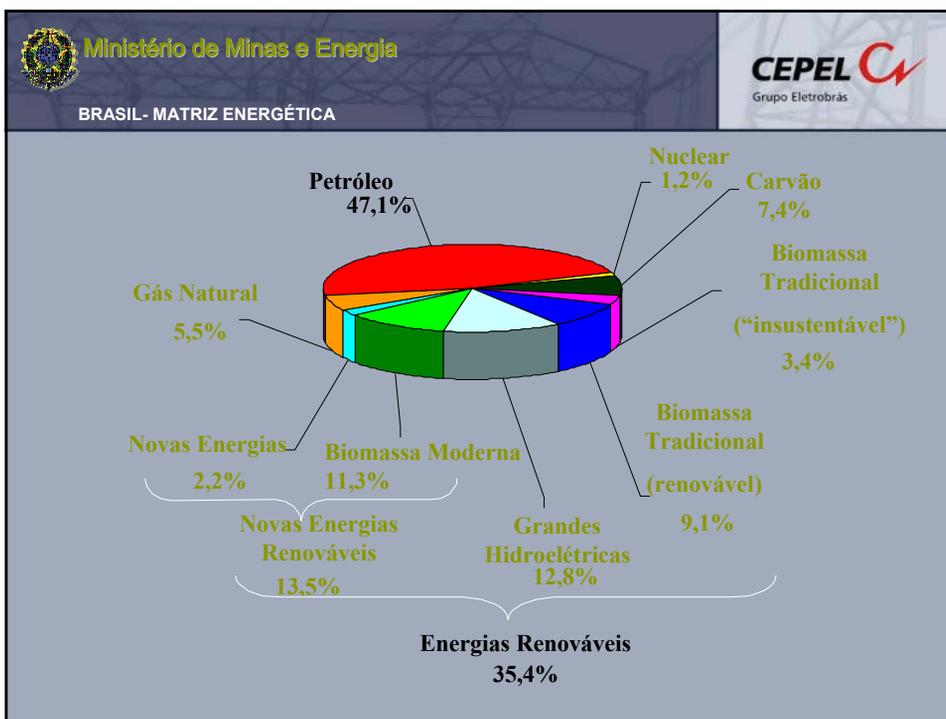
Energia: Lições do Passado; Tendências para o Futuro

Fontes de Energia: Brasil e Mundo

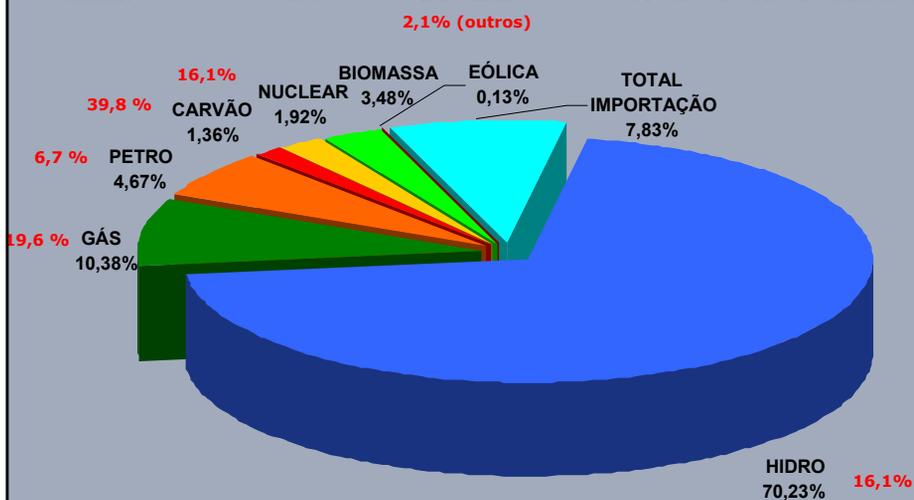
Energia no novo século

Novas fontes:

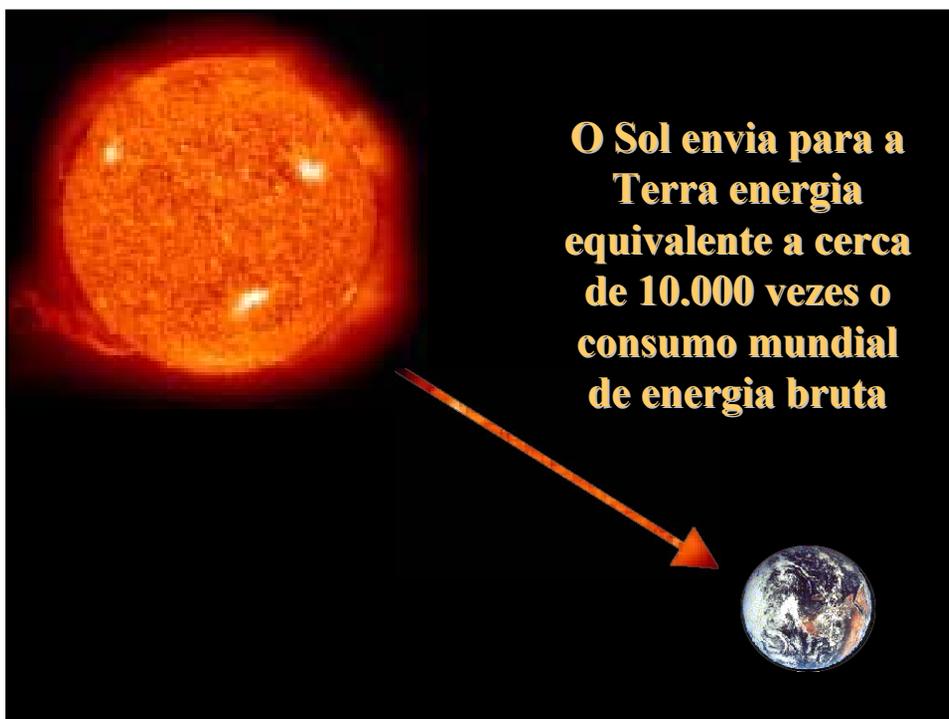
- Estado Atual e perspectivas
- Programas em andamento



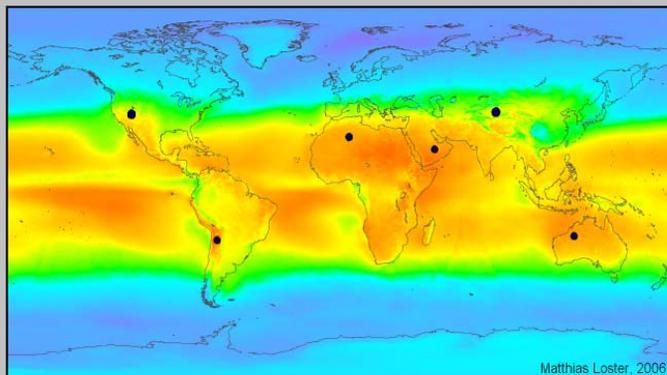
Geração Elétrica



(Fonte: ANEEL, 2006)



Radiação Solar Global

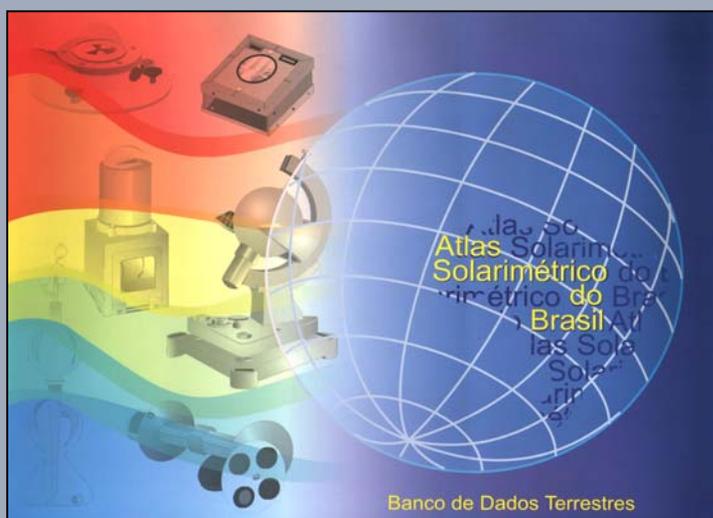


0 50 100 150 200 250 300 350 W/m²

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

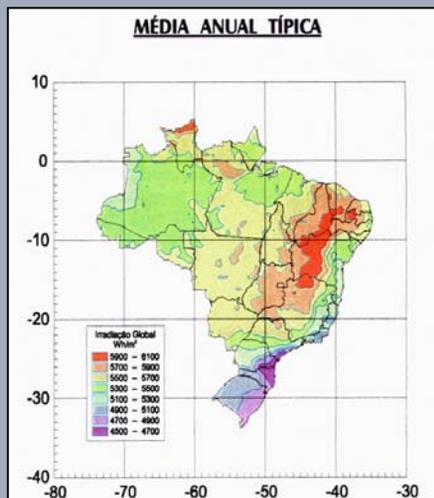
Fonte: Wikipedia

Atlas Solarimétrico do Brasil UFPE



Banco de Dados Terrestres

Atlas de Irradiação Solar SabSolar - UFSC

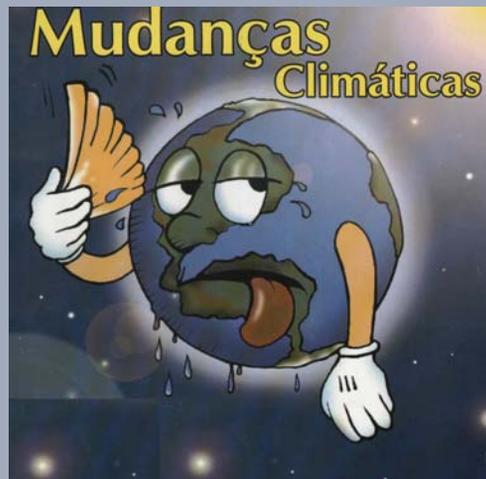


- 1a. Versão publicada em outubro de 98 pelo LABSOLAR/UFSC e pelo INPE.
- É uma aplicação do modelo físico BRAZILSR, baseado em dados de satélite geostacionário.
- É representado por um conjunto de mapas de irradiação global.

O Sol, Fonte Inesgotável

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

Fonte: Folheto da CEMIG



FONTE: Instituto de Pesquisa ambiental da Amazônia

Emissão de CO₂ de Diversas Tecnologias

| Tecnologias | Emissões de CO ₂ : 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

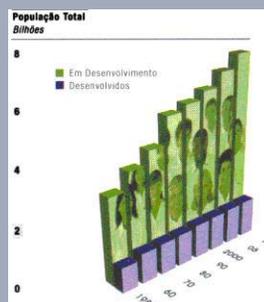
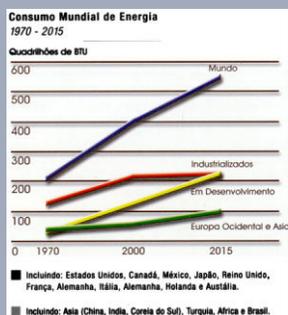
Uso da Energia: Custos de Externalidades* (centavos de dólar por kWh)

| | |
|------------------------|---------------------|
| 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 |

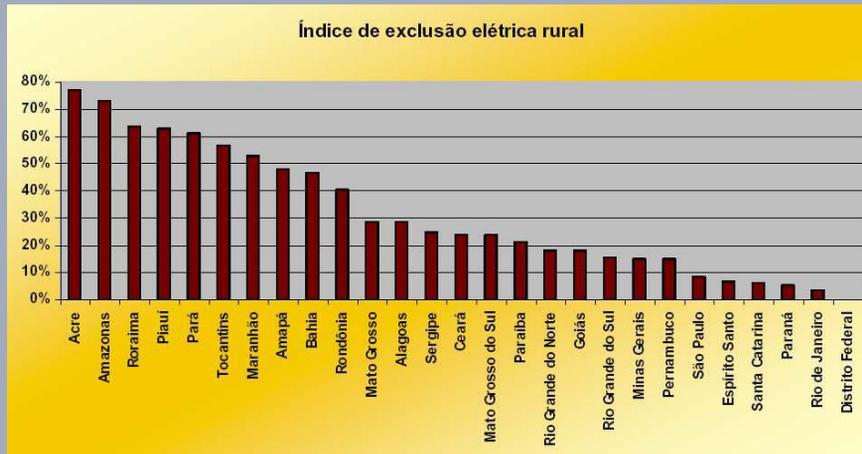
*Estimativa de custos para a sociedade e para o ambiente decorrentes de uso de combustíveis fósseis e nucleares, não incluindo lixo nuclear e custos de desativação.

Estudo da UE, ExtermE - WSJ - 2002

Uso da Energia: Tendência

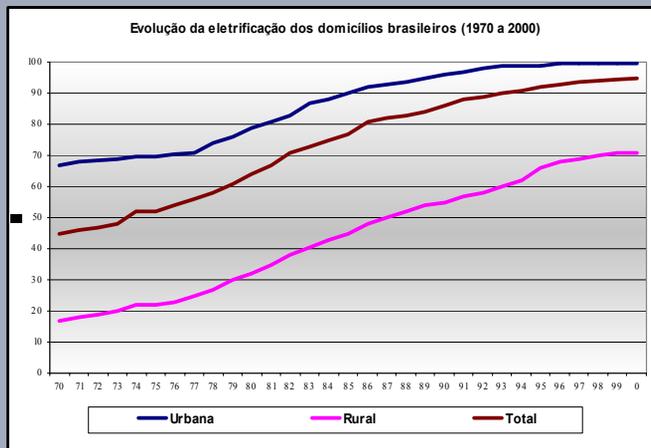


Universalização: metas e desafios



MME - 2004

Universalização: metas e desafios



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

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.*

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”

→ Solar Fotovoltaica

→ Solar Térmica

→ Eólica

→ Biomassa

→ Pequenas
Centrais
Hidroelétricas

Outras: Geotérmicas, Marés, Células Combustíveis etc.

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 | 1.000 a 4.800 | 4 a 23 | 0. | 100 a 250 | 15 a 30 |
| | CILINDROS | - | 50.000 | - BASE - GRID | COMERCIAL | ALTA | 2.600 a 5.000 | 4 a 23 | 0. | 130 a 250 | 15 a 30 |
| | DISCOS | - | 20 a 50 | - BASE - GRID E OFF-GRID | DEMONSTRADA | MÉDIA | 800 a 5.100 | 15 a 23 | 0. | 100 a 250 | 15 a 30 |
| EÓLICA | | 30 | 300 a 2000 | -INTERMITENTE -GRID E OFF-GRID | COMERCIAL | ALTA | 700 a 1.200 | 4 a 12 | 0. | 35 a 120 | 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 |

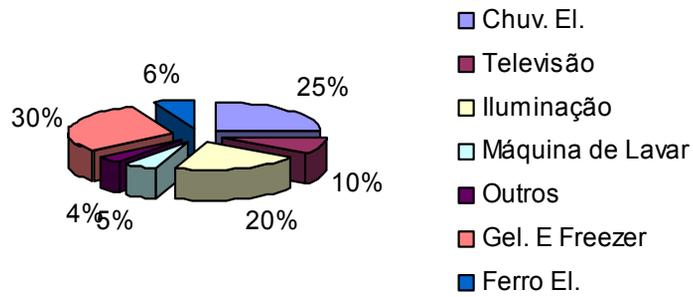
Em comparação de custos deve-se levar em conta o da rede de distribuição

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



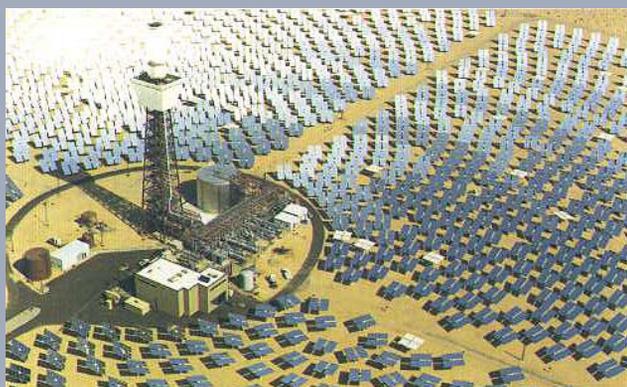
Discos



Cilindros

Tecnologias de Conversão Direta da Radiação Solar - Heliotermia

Torre Central



Tecnologias em Foco (energia renovável complementar)

→ Solar Fotovoltaica

Solar Térmica

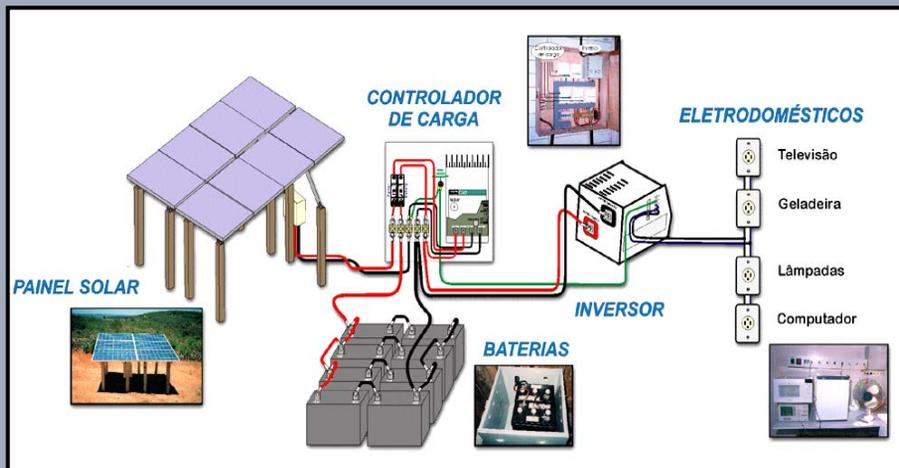
Eólica

Biomassa

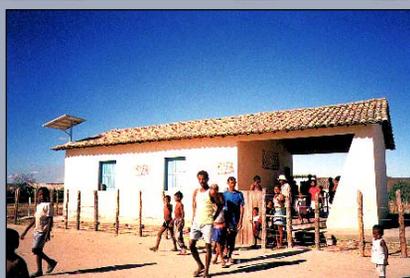
Pequenas
Centrais
Hidroelétricas

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 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

CEPEL 
Grupo Eletrobrás



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

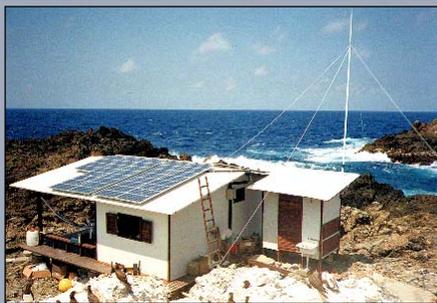


Abastecimento comunitário de água da comunidade de Amapá Grande Município de Amapá - AMAPÁ



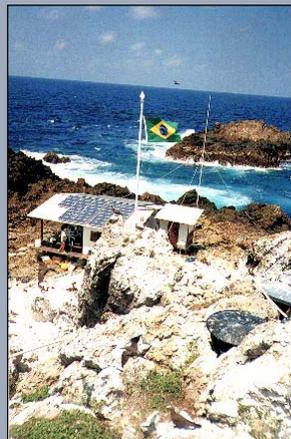
Sistema energético no posto de saúde e bombeamento da comunidade de Lago Novo Município de Tartarugalzinho - AMAPÁ

Arquipélago de São Pedro e São Paulo



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**

Telhado Solar Fotovoltaico



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



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



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
(≤ 10 kW)**

- Residências
- Fazendas
- Aplicações Remotas



**Intermediário
(10-250 kW)**

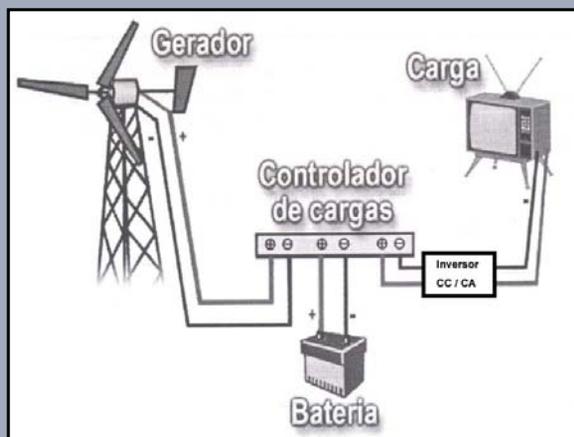
- Sistemas Híbridos
- Geração Distribuída



Grande Porte (250 kW - 2+MW)

- Fazendas Eólicas
- Geração Distribuída

**Diagrama Típico de um
Sistema Eólico Isolado**



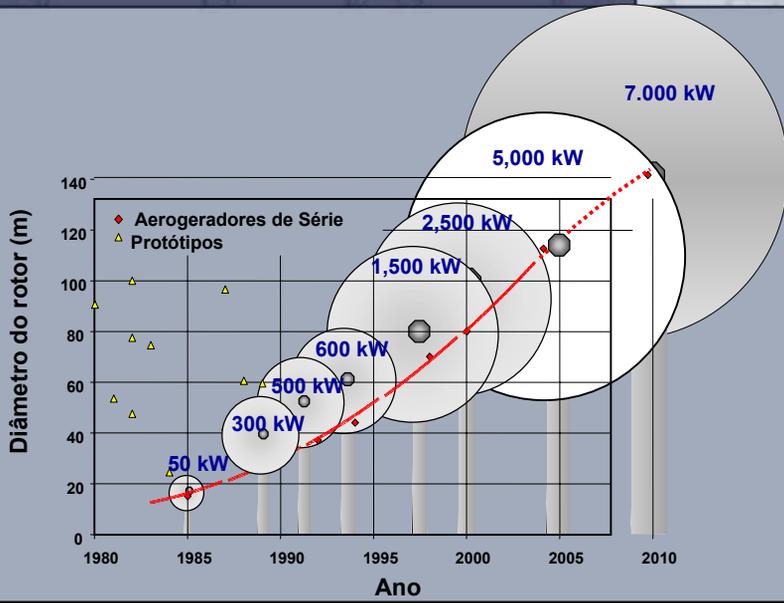
Os 10 Mais no Mundo

| 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 |
| TOTAL 10 Mais | 63.217 | 85,2 |
| Resto do Mundo | 11.004 | 14,8 |
| TOTAL MUNDO | 74.221 | - |

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 |

Desenvolvimento da Tecnologia

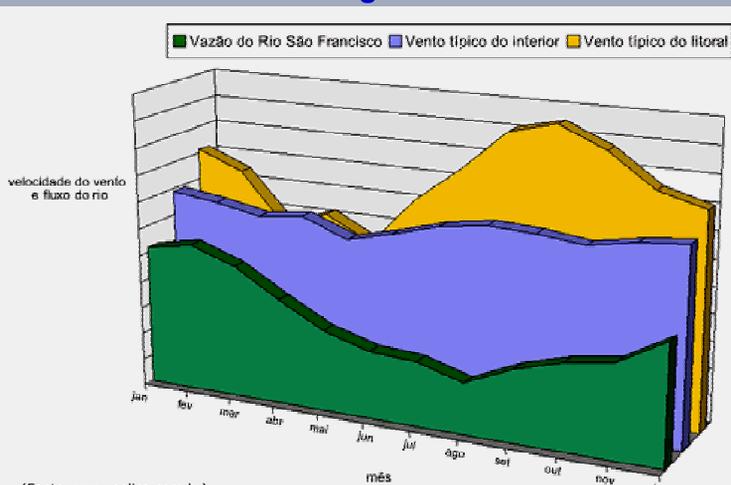


Sistemas de Grande Porte

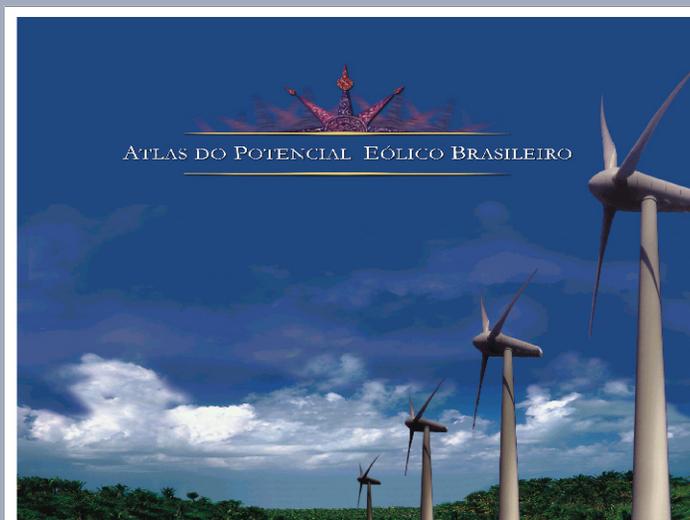


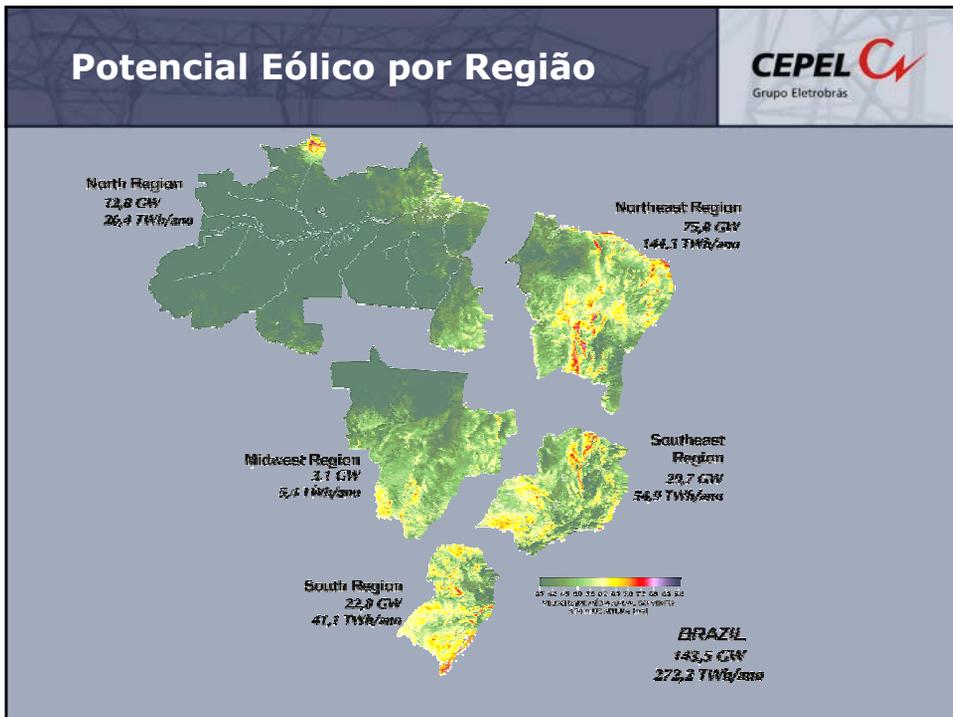
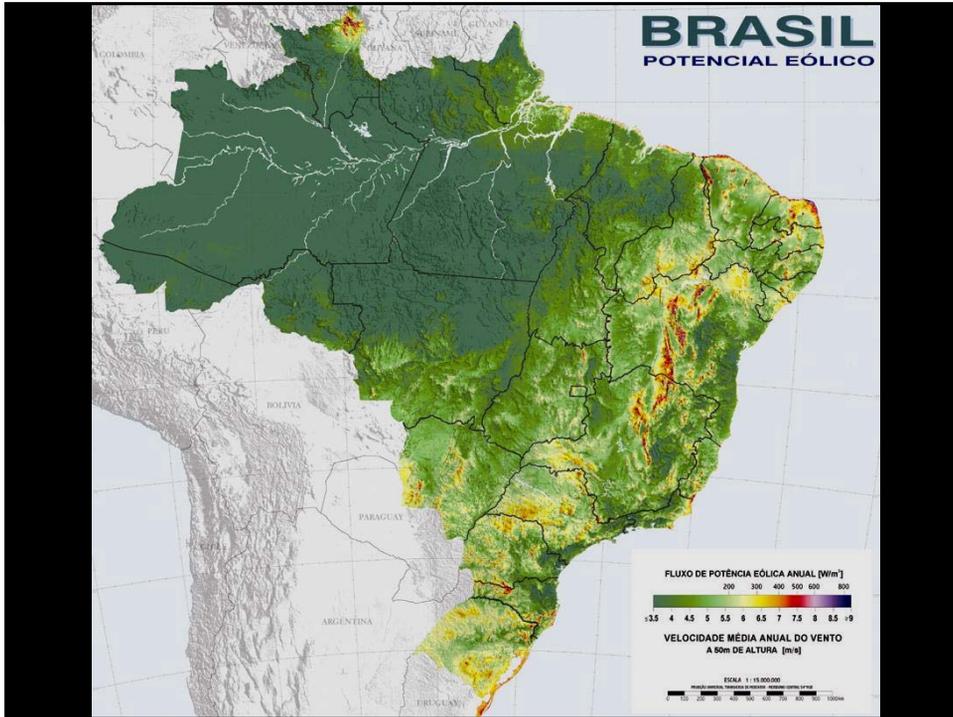
Complementaridade dos Regimes Hidráulico e Eólico

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

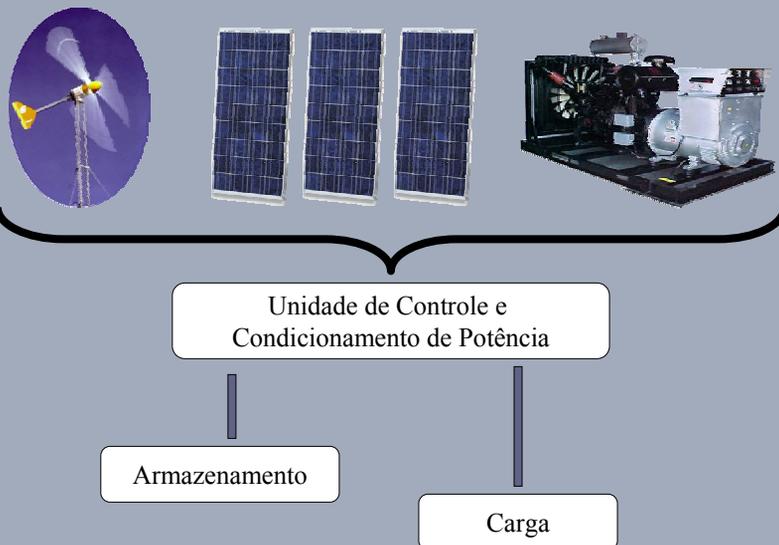


Potencial Eólico *Atlas do Potencial Eólico Brasileiro*

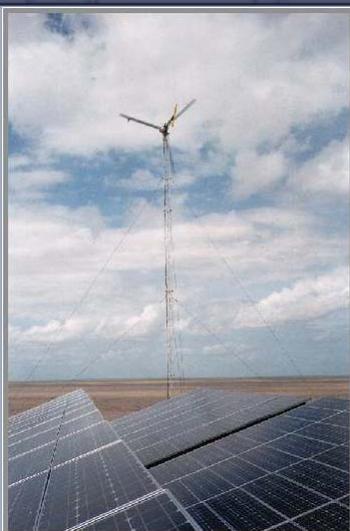




Sistemas Híbridos



Sistema Híbrido de Joanes



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

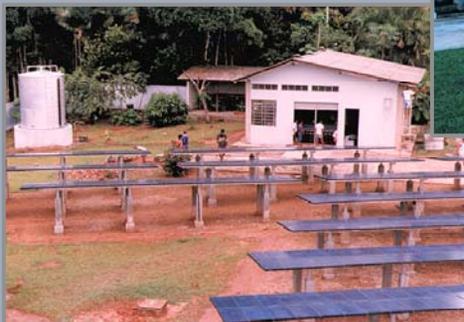
- Convênio CEPEL/CELPA e o National Renewable Laboratory
- 10kWp FV; 40kW eólico
- Operando desde maio/98

Sistema Híbrido de Campinas - AM



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

• Convênio CEPEL/CEAM e National Renewable Laboratory



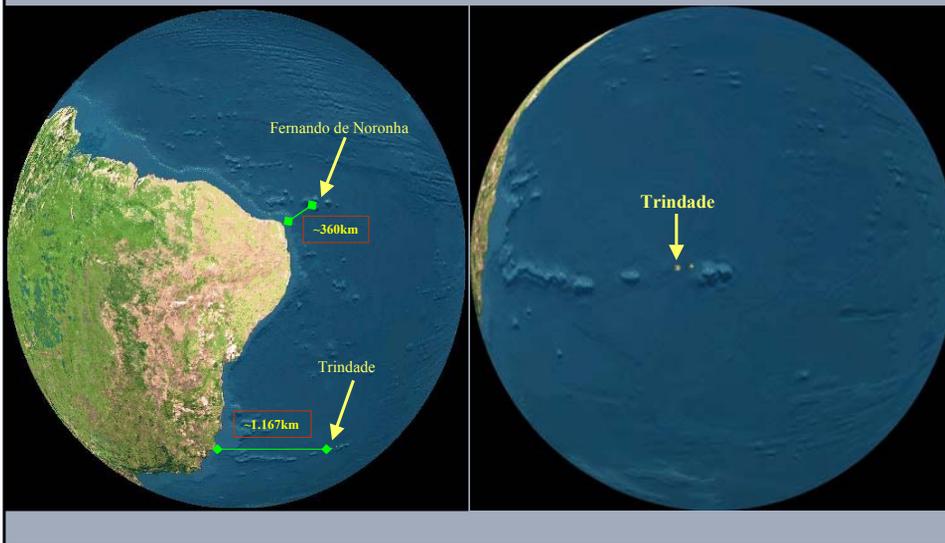
Fotovoltaico/Diesel

- 50kWp FV
- Em operação desde maio/97

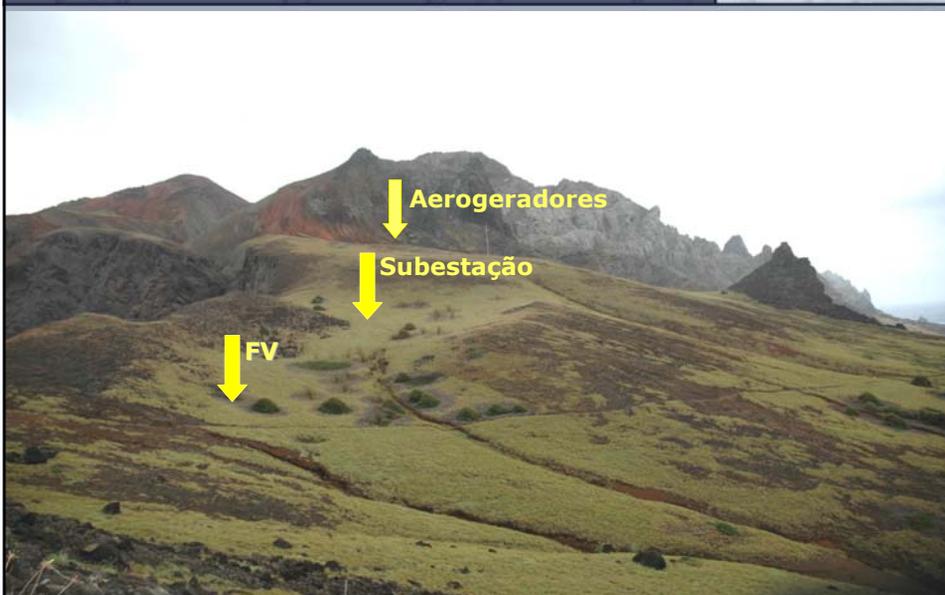
ILHA DE TRINDADE



LOCALIZAÇÃO



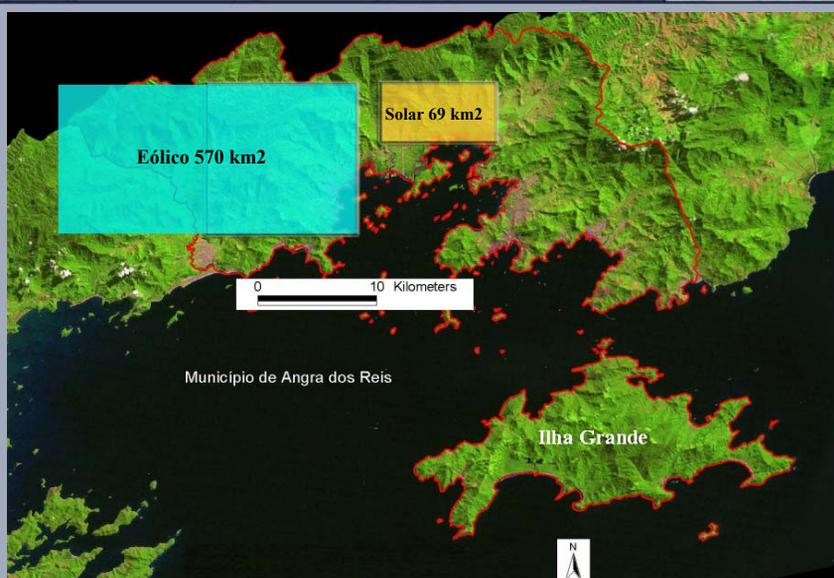
Localização prevista para o sistema de geração



LOCALIZAÇÃO DA GERAÇÃO



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



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)

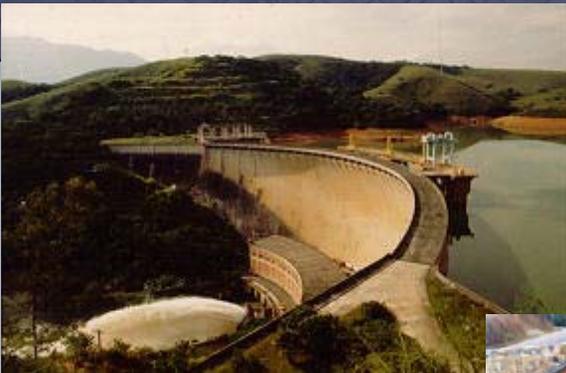




Biomassa



Biomassa: Energia e Materiais

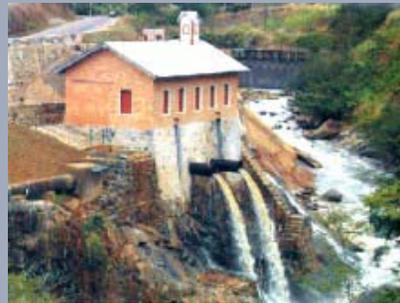


PCHs

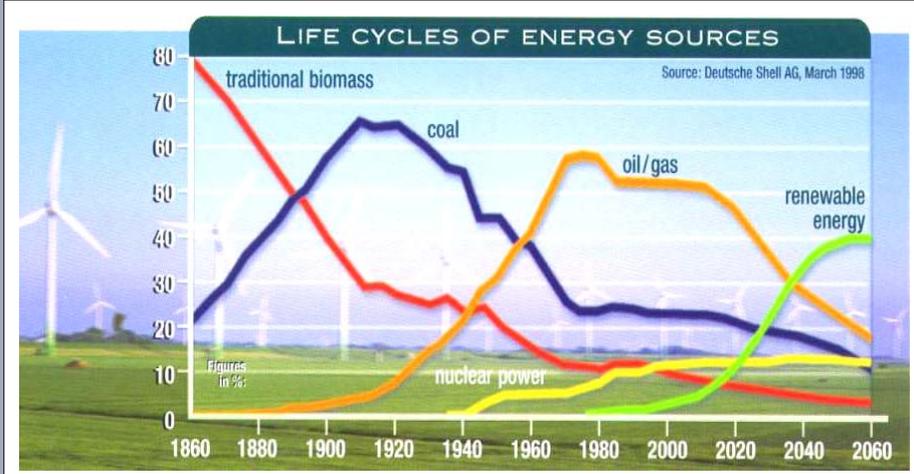




**Usina Hidroelétrica
Marmelos Zero - MG - 1889**



O Futuro das Fontes Renováveis de Energia



Energia e Inclusão Social



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

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



“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