



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Departamento de Física

Oportunidades e desafios em energia solar no Brasil



Sergio M. Rezende



Recife, UFPE
23 de julho de 2013

Sumário

1. Ciência e Tecnologia: O mundo não vive sem eletricidade
2. Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil
3. C&Tno Brasil: início tardio; avanços recentes
4. Energia solar: oportunidades de pesquisa, desenvolvimento, inovação e investimentos

Ciência e Tecnologia

Ciência = geração de conhecimento

Tecnologia = aplicação da ciência

Ciência e Tecnologia (C&T)

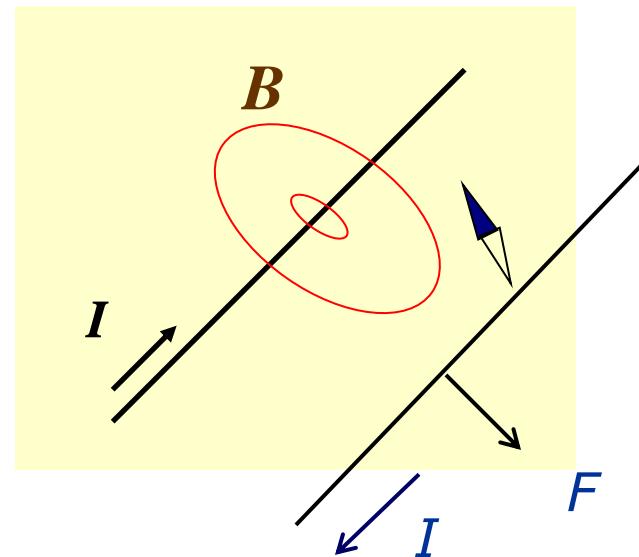
Fator decisivo para a riqueza das nações

Ciência e Tecnologia

Ciência no Século 19: Bases do eletromagnetismo

(1812-1820) Oersted,
Ampère

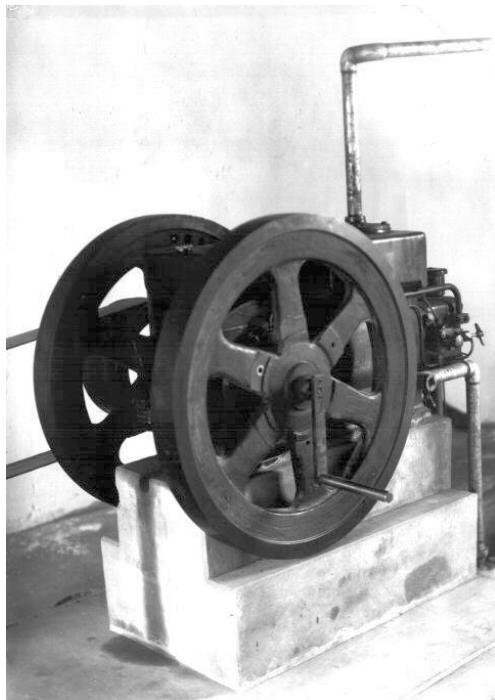
corrente I cria campo
magnético B



Fio com corrente I no
campo sofre ação de força

Ciência e Tecnologia

Aplicação tecnológica das descobertas de Oersted e Ampère: **Motor elétrico**



Primeiro motor
elétrico - 1828

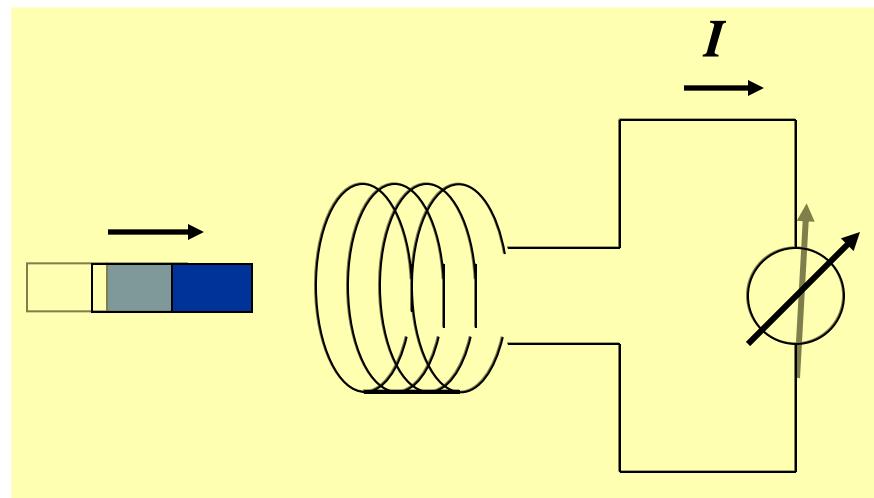


Motor elétrico
atual

Ciência no Século 19: Bases do eletromagnetismo

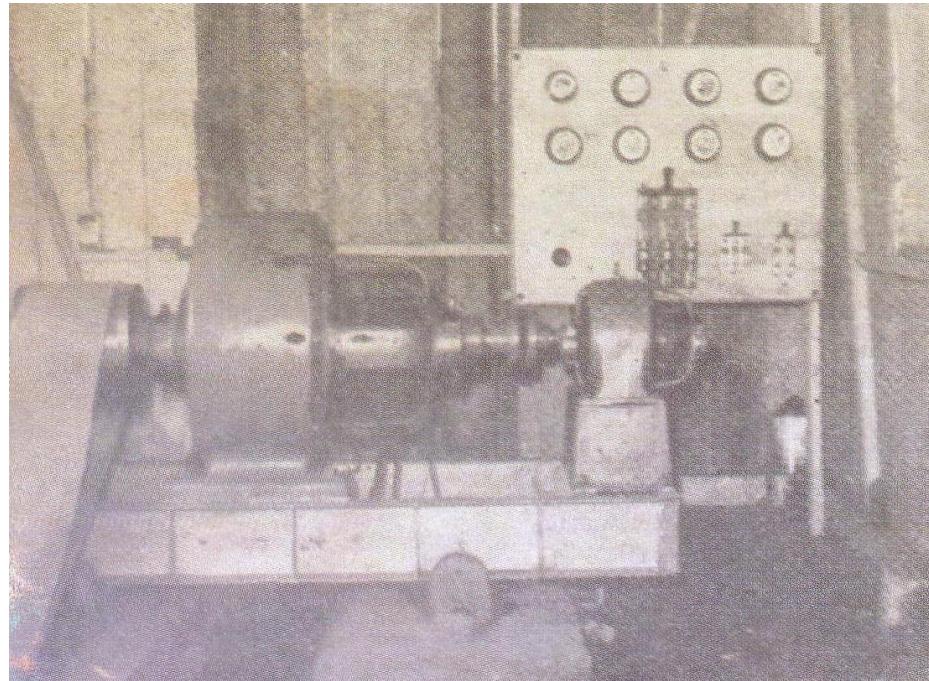
(1831-1845) Faraday,
Henry: indução magnética

variação de B cria
corrente I



Ciência e Tecnologia

Aplicação tecnológica da indução magnética:
Gerador elétrico



Primeiro gerador elétrico - 1856

Ciência e Tecnologia

As aplicações tecnológicas dos fenômenos eletromagnéticos transformaram os costumes da sociedade e os processos de produção

Geração e distribuição de energia elétrica



Geração

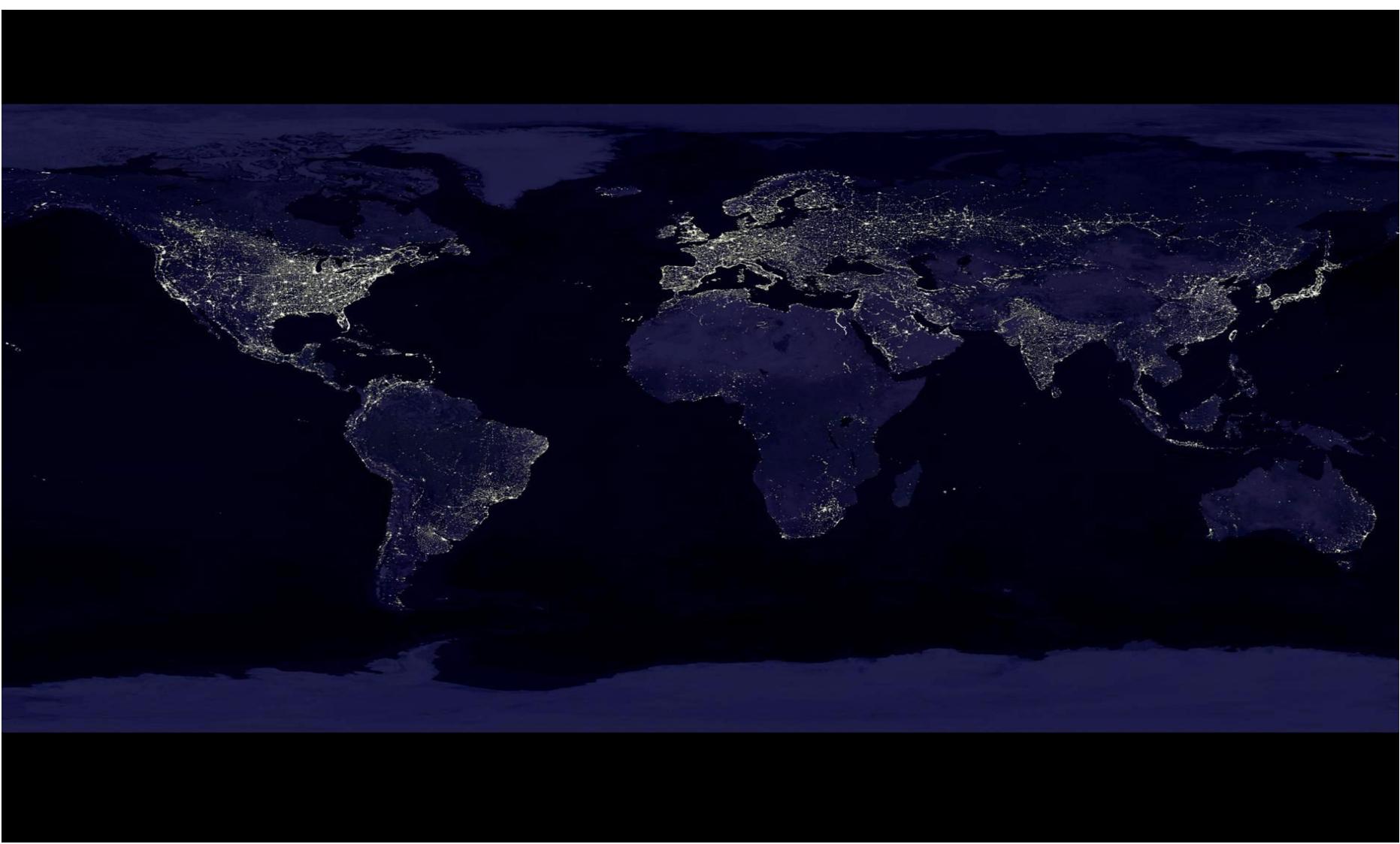


Transmissão



Distribuição e consumo

Energia elétrica tornou-se imprescindível para a humanidade



Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

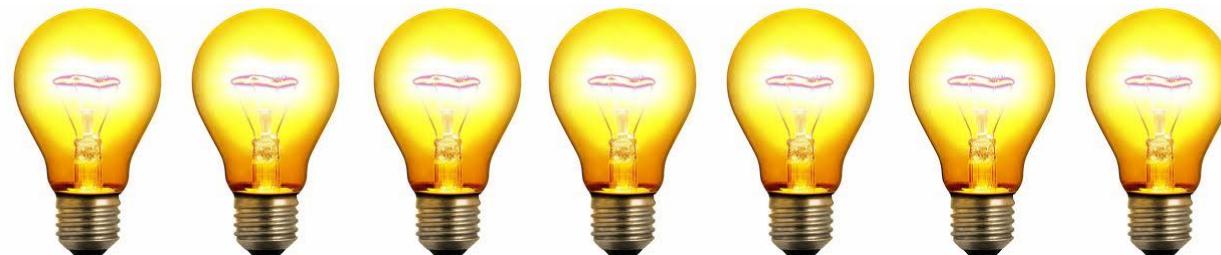
A **Eletricidade** é usada para iluminação e para fazer funcionar motores elétricos e inúmeros aparelhos **domésticos e industriais**

Consumo de energia elétrica residencial

Família de classe média: 500 kWh por mês (energia)

Potência média (energia/tempo):

$$P = 500 \text{ kWh} / (30 \times 24 \text{ h}) = 0,7 \text{ kW} = 700 \text{ W}$$



Lembrete sobre potências de mil

1 k (**kilo**) = 10^3 = 1000 = 1 mil

1 M (**Mega**) = 10^6 = 1 milhão

1 G (**Giga**) = 10^9 = 1 bilhão

1 T (**Tera**) = 10^{12} = 1 trilhão

1 P (**Peta**) = 10^{15} = 1 quadrilhão

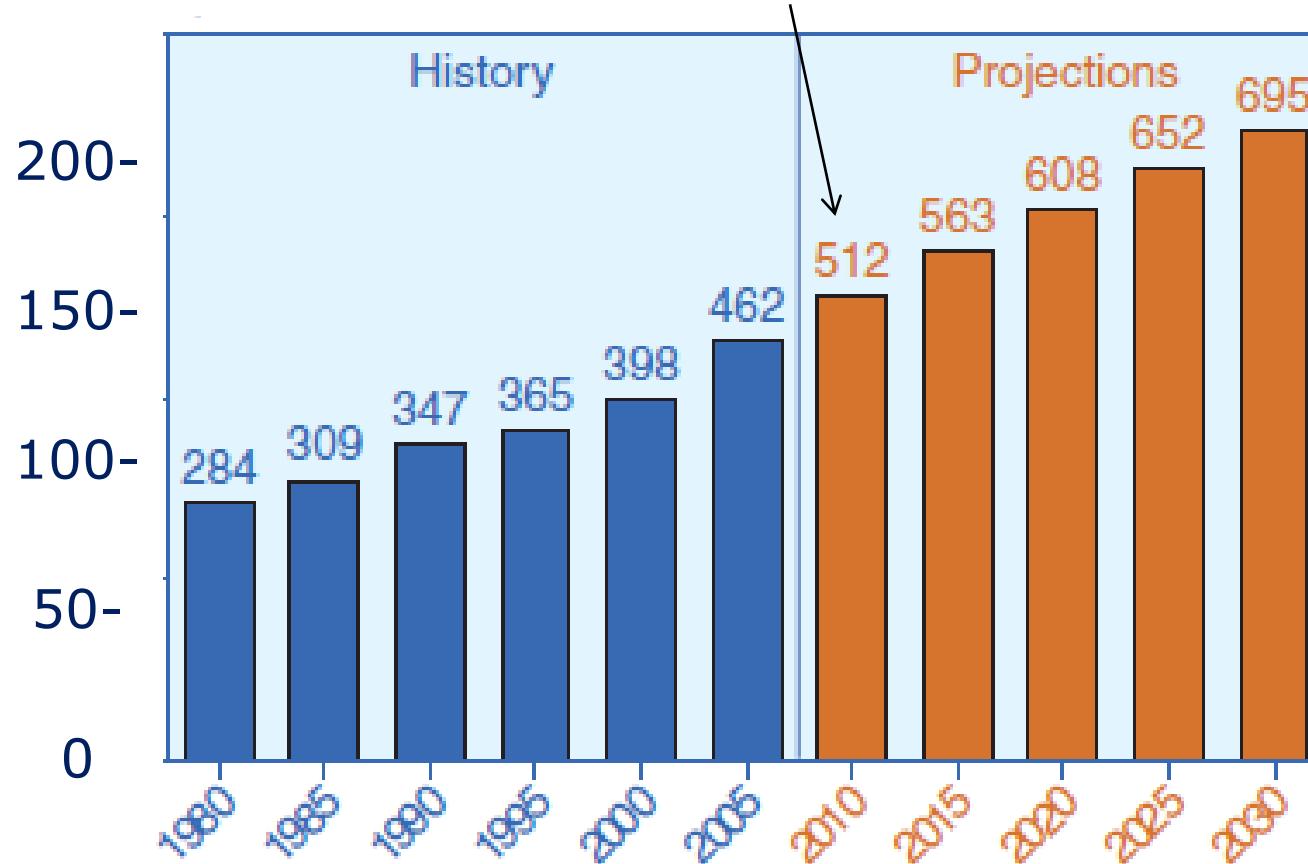
1 E (**Exa**) = 10^{18} = 1 quintilhão

Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

Consumo de energia total no Mundo 1980-2030

milhões GWh=PWh

(Números em quadrilhões de BTU)

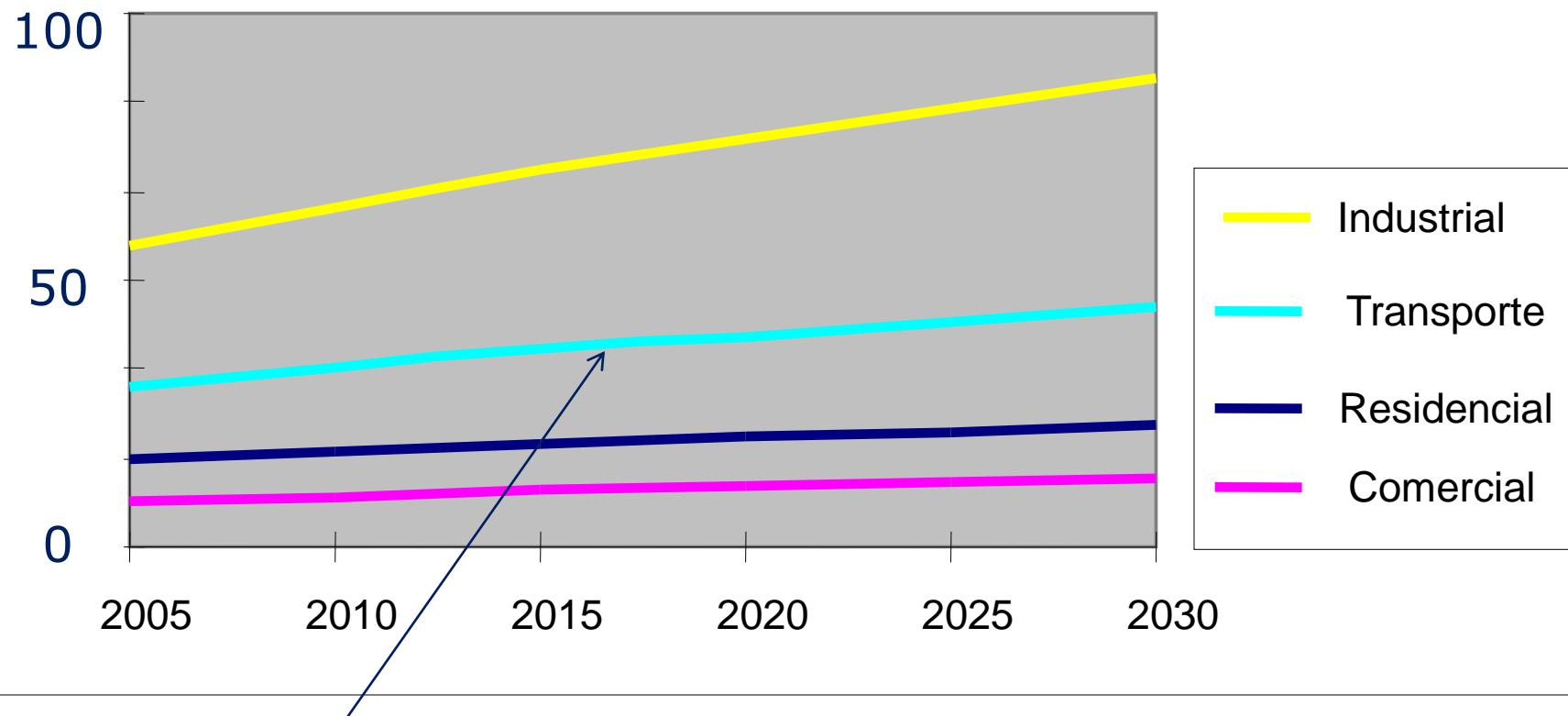


Fonte: International Energy Outlook, EIA/DOE, September 2008,

1. Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

Consumo de energia por setor de atividade

milhões de GWh ou milhares de TWh



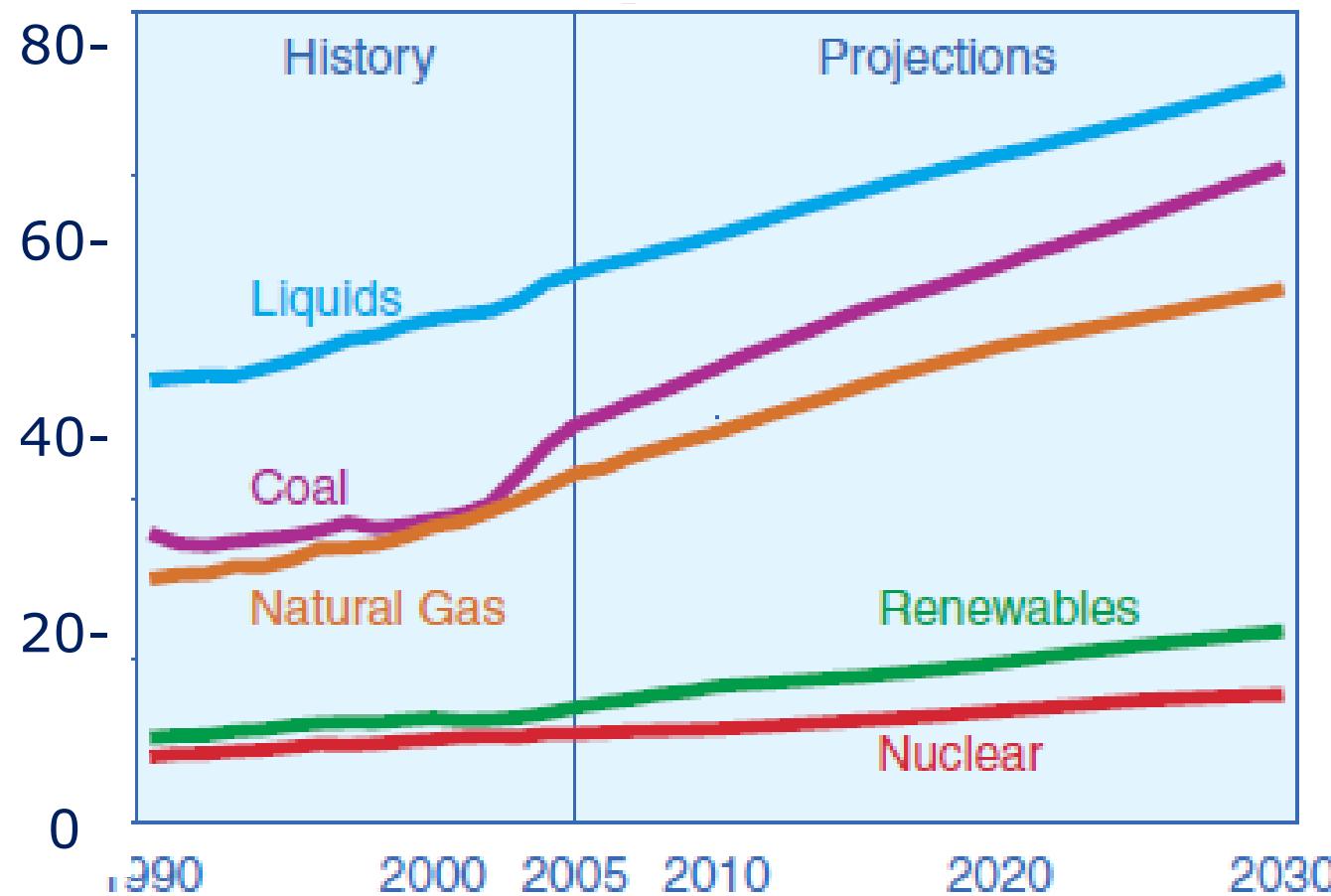
Grande peso
do transporte

Frota de veículos no Mundo é de cerca de 1 bilhão

1. Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

Consumo de energia por tipo de combustível

milhões de GWh ou milhares de TWh



Fonte: International Energy Outlook, EIA

Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

Consumo de energia no Mundo (2011)

Energia total

$$150.000 \text{ TWh (ano)} = \mathbf{150 \text{ PWh (ano)}}$$

Potência média (Energia/Tempo)

$$150.000 \text{ TWh}/8.760\text{h} \sim 17.100 \text{ GW} = 17,1 \text{ TW}$$

Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

Formas tradicionais de geração de energia elétrica

Hidro-elétrica

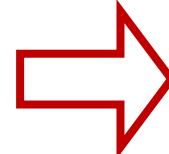


Gerador

Transmissão

Termo-elétrica

Fonte
Carvão
Óleo
Gás
Nuclear

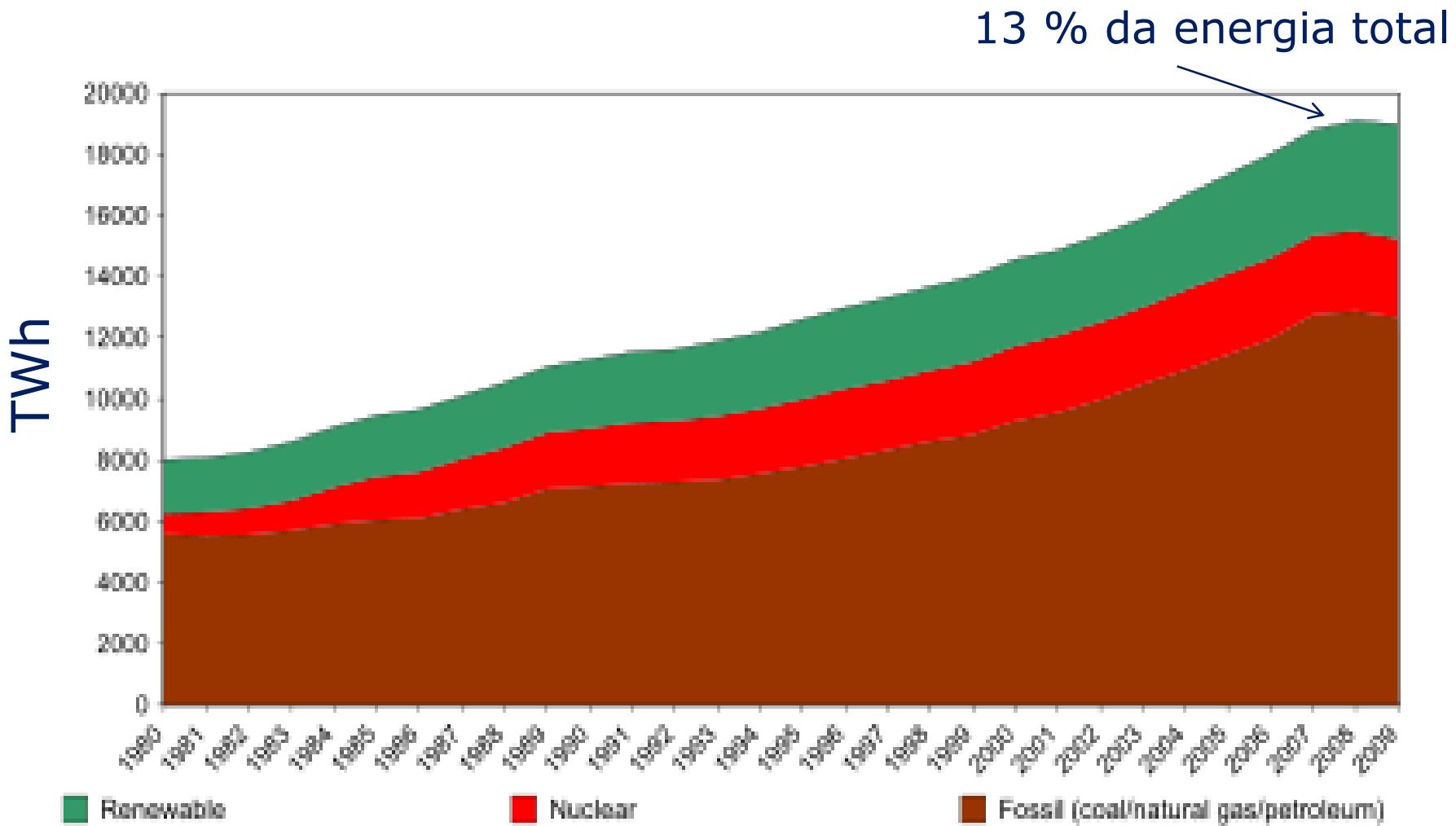


Turbo-Gerador

Transmissão

Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

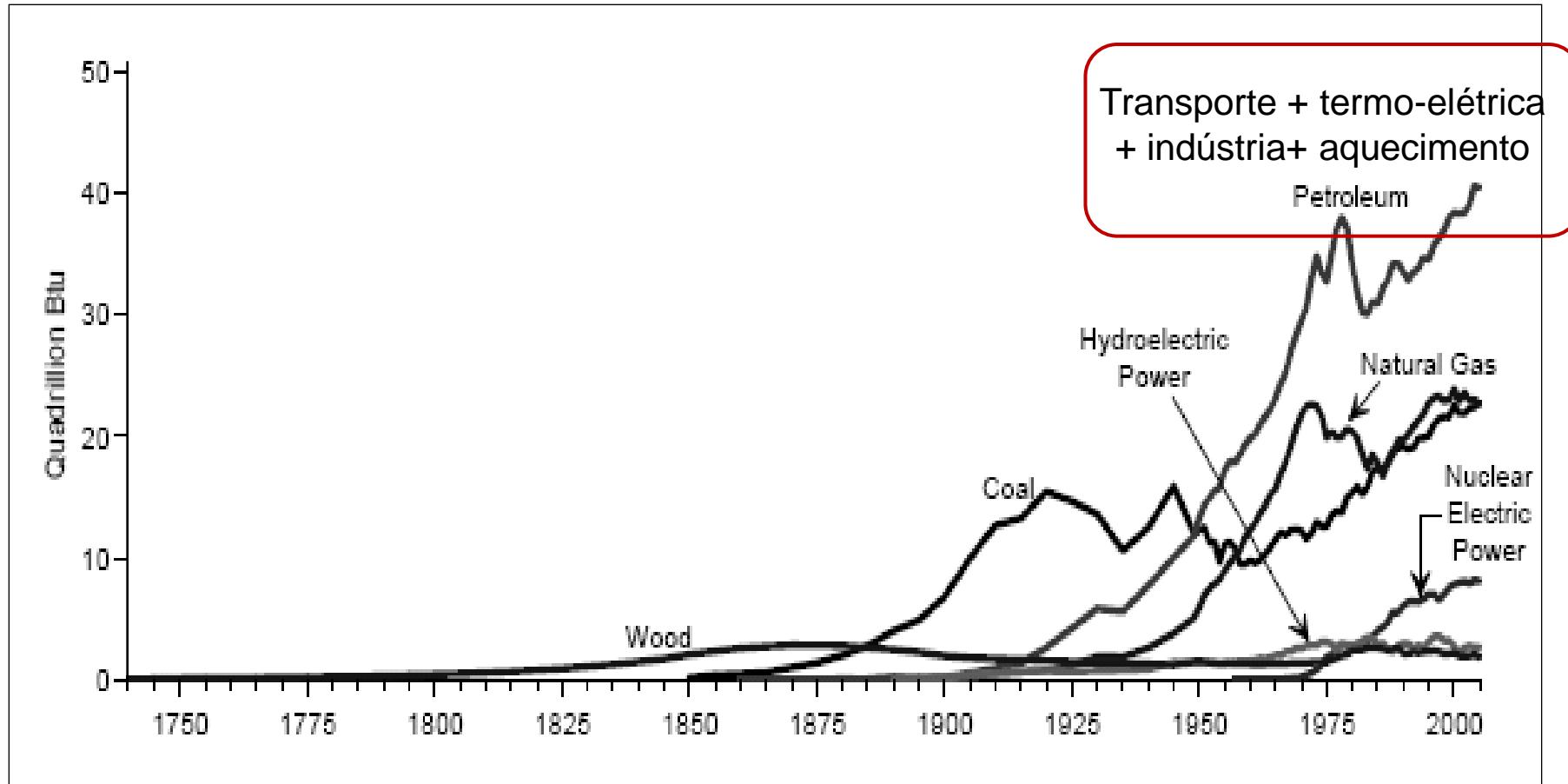
Geração de energia elétrica no mundo



Fonte:IEA/OECD

Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

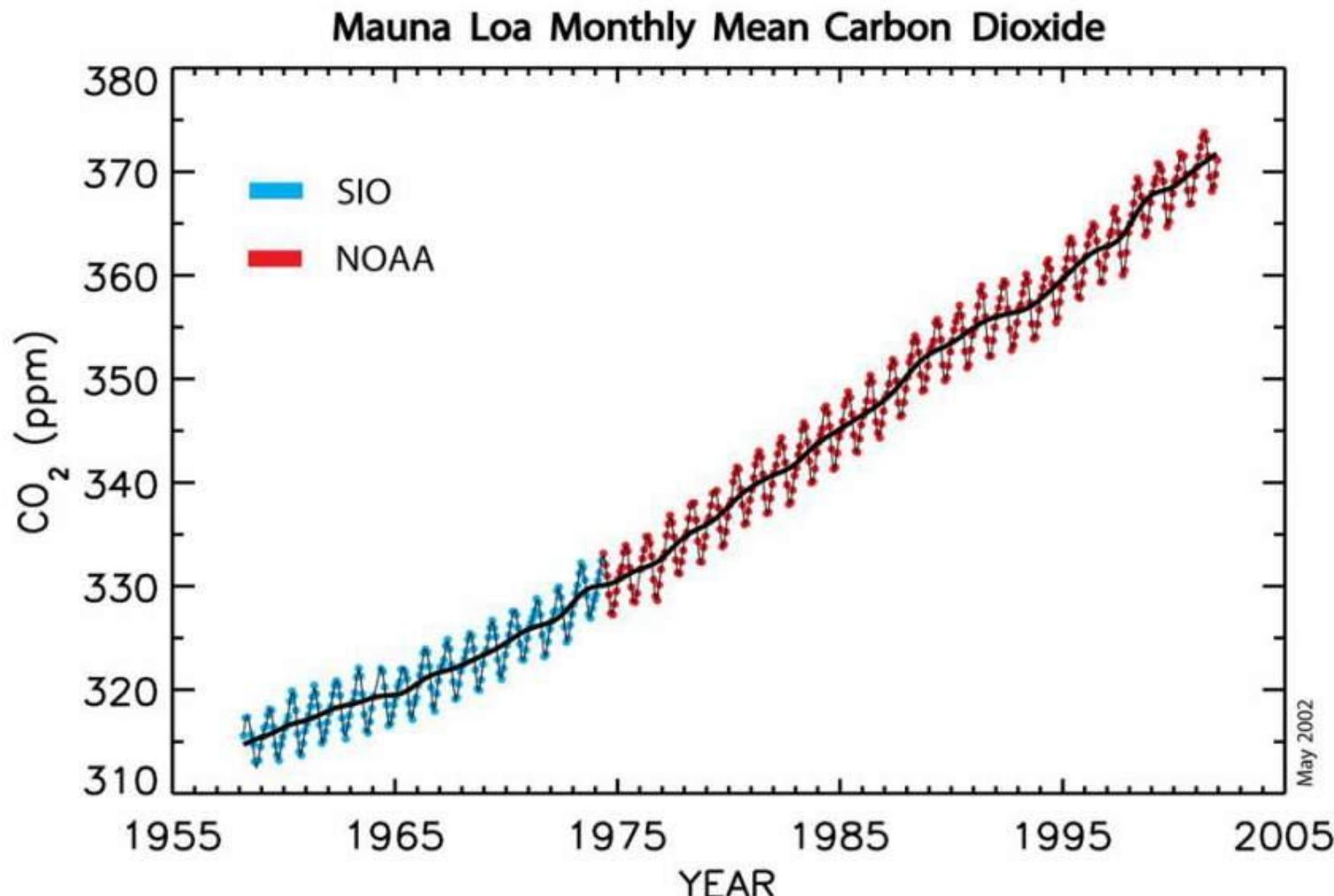
Consumo de energia no Mundo **por fonte**



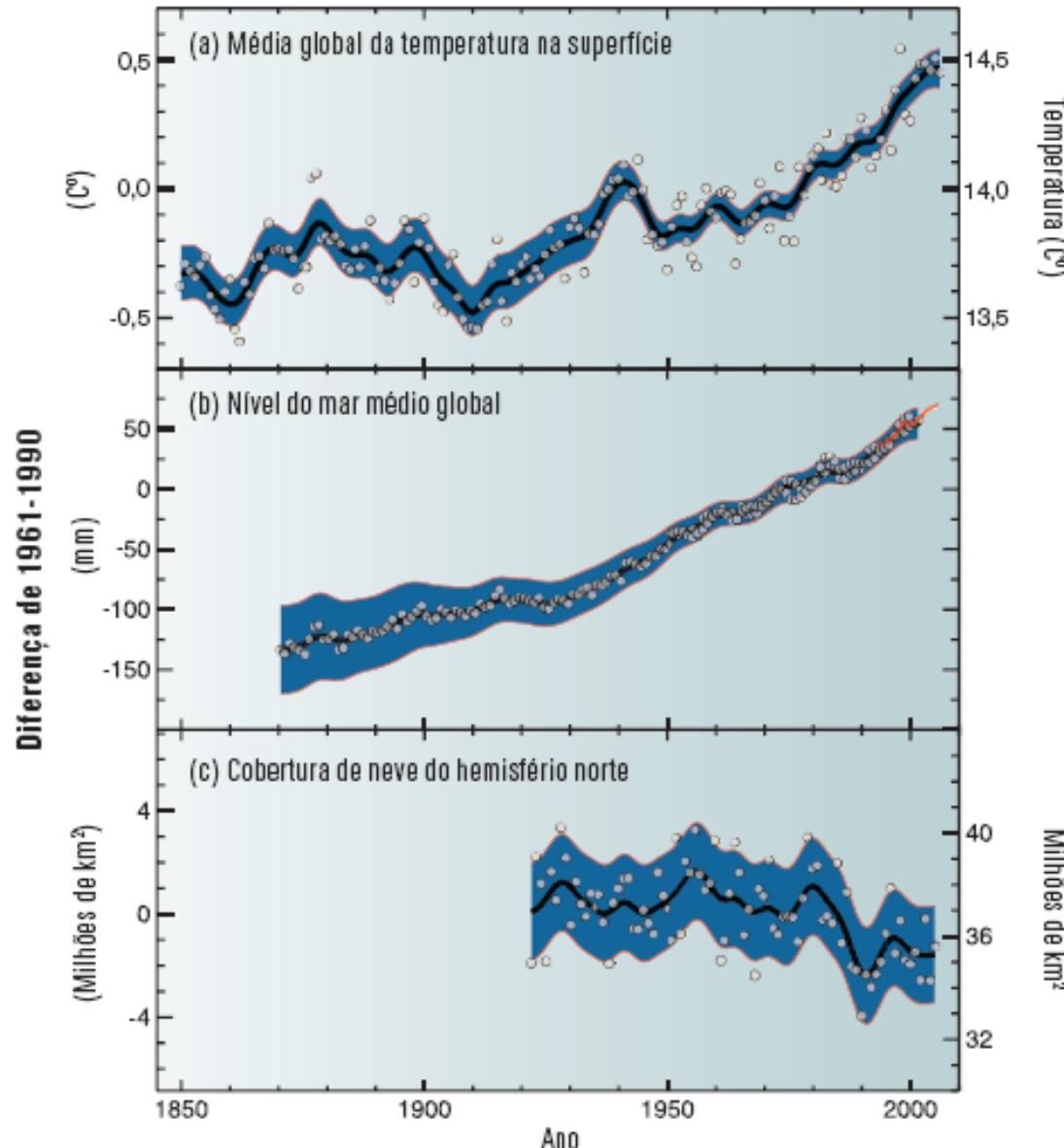
Historical patterns of energy consumption
(Source: Annual Energy Review 2006)

Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

Uso de energia de petróleo e carvão é o principal responsável pelo acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera

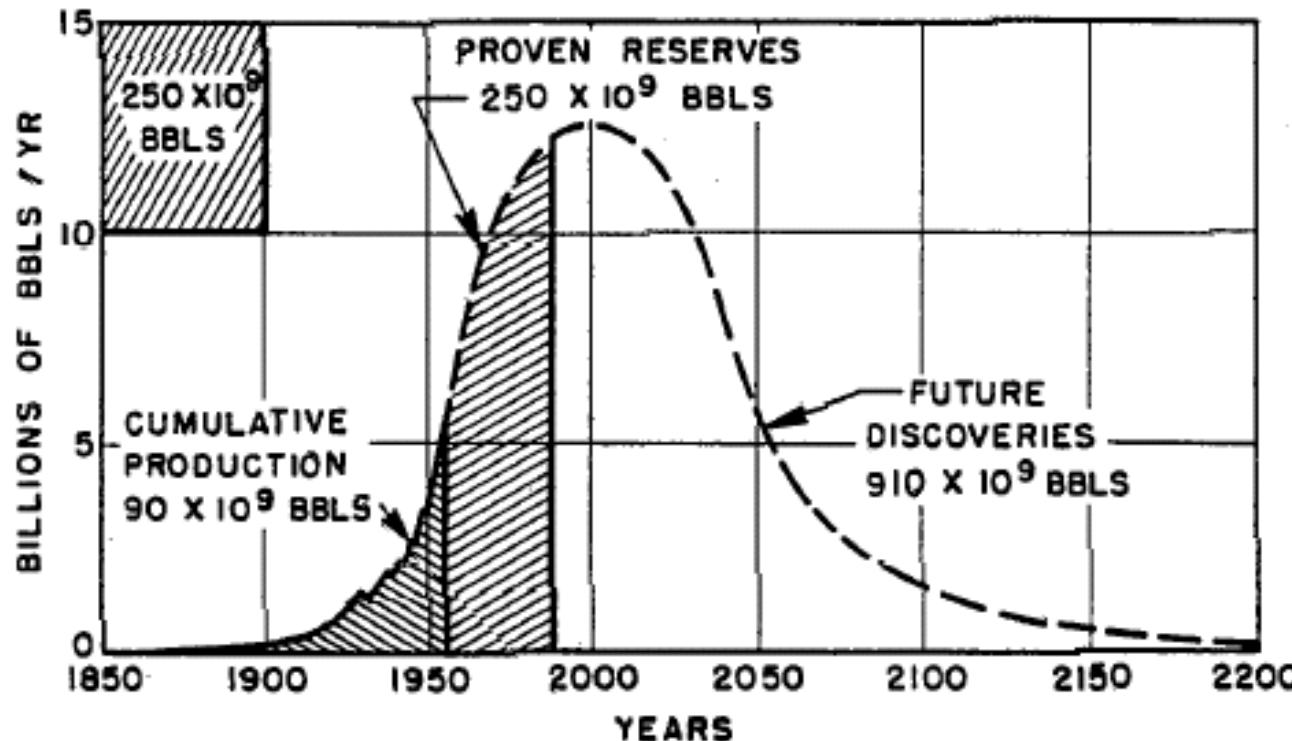


Efeito Estufa: Consequências



Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

Mas o petróleo vai acabar!



Ultimate world crude-oil production curve based on initial reserves of 1250 billion barrels
(Source: Hubbert, 1956)^[1].

Panorama geral sobre energia no Mundo e no Brasil

Grande desafio da humanidade é gerar a energia necessária para o consumo futuro de forma sustentável para o clima do Planeta

Desafio só será vencido com muita pesquisa científica e tecnológica para encontrar novos processos de geração de energia não poluentes e comercialmente viáveis, políticas públicas pró-ativas e investimentos.

Pesquisa em energia no Mundo

Publicações em **Energia** em revistas indexadas

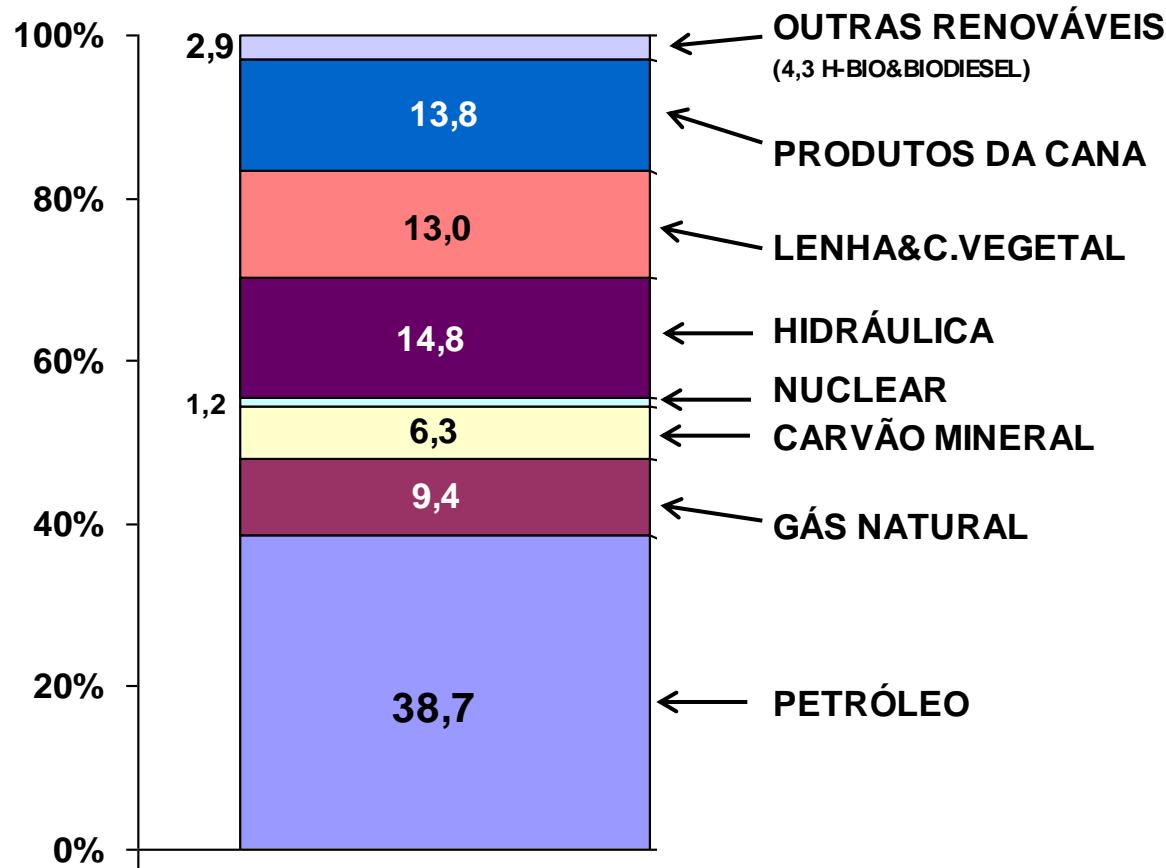
Country	Publications	Citations	Citations/Pub
1 China	7.580	5.430	0.71
2 United States	3.876	5.977	1.46
3 Japan	1.402	1.564	1.1
4 Germany	1.211	1.307	1.04
5 India	1.122	1.373	1.2
6 United Kingdom	1.072	1.796	1.6
7 Russian Federation	1.051	219	0.21
8 France	907	1.320	1.42
9 Canada	809	1.366	1.64
10 Italy	733	1.100	1.47
11 South Korea	723	853	1.16
12 Spain	643	1.166	1.8
13 Iran	535	772	1.42
14 Australia	509	988	1.9
15 Turkey	492	762	1.51
16 Netherlands	401	658	1.58
17 Sweden	380	765	1.95
18 Taiwan	358	671	1.85
19 Brazil	353	473	1.32
20 Switzerland	280	391	1.33



Fonte: SCIMAGO 2010

Energia no Brasil

Matriz de energia total no Brasil por fonte (em %)



Energia total: 2 700 TWh
1,9 % do Mundo
44,5 % renováveis

Potência média
300 GW

E. Elétrica
50 GW
(17% do total)

Energia no Brasil

Energia total/ano: 2 700 TWh

Potência média total: 300 GW

Energia elétrica: 460 TWh (17%)

Potência elétrica média: 50,2 GW

País abençoado por Deus



Potência elétrica hídrica: 38,5 GW (76,7%)

Itaipú- 14 GW

Tucuruí- 8,37 GW

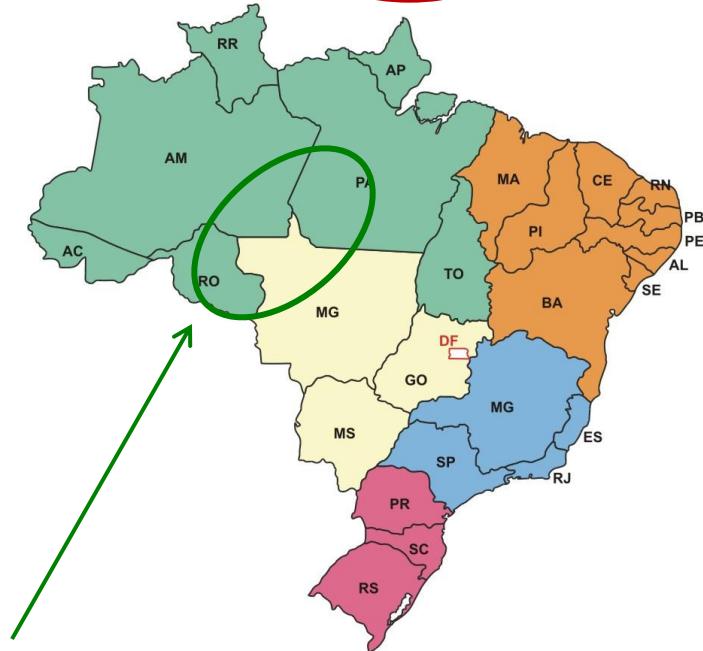
Paulo Afonso- 4,30 GW

Ilha Solteira- 3,44 GW

Xingó- 3,16 GW

Sub-total- 33,27 (86% da elétrica total)

Belo Monte- 11,2 GW
Jirau- 3,7 GW
Santo Antônio- 3,1 GW



Pesquisa em energia no Brasil

Razões da pouca pesquisa em energia no Brasil

- O país dispõe de energia abundante de fontes naturais
- No Brasil, até a década de 1960, **não havia regime de tempo integral** para os professores nas universidades. E **não havia programas institucionais de pós-graduação**
- Portanto as atividades de pesquisa nas universidades são muito recentes
- Pouca tradição de P&D&Inovação nas empresas

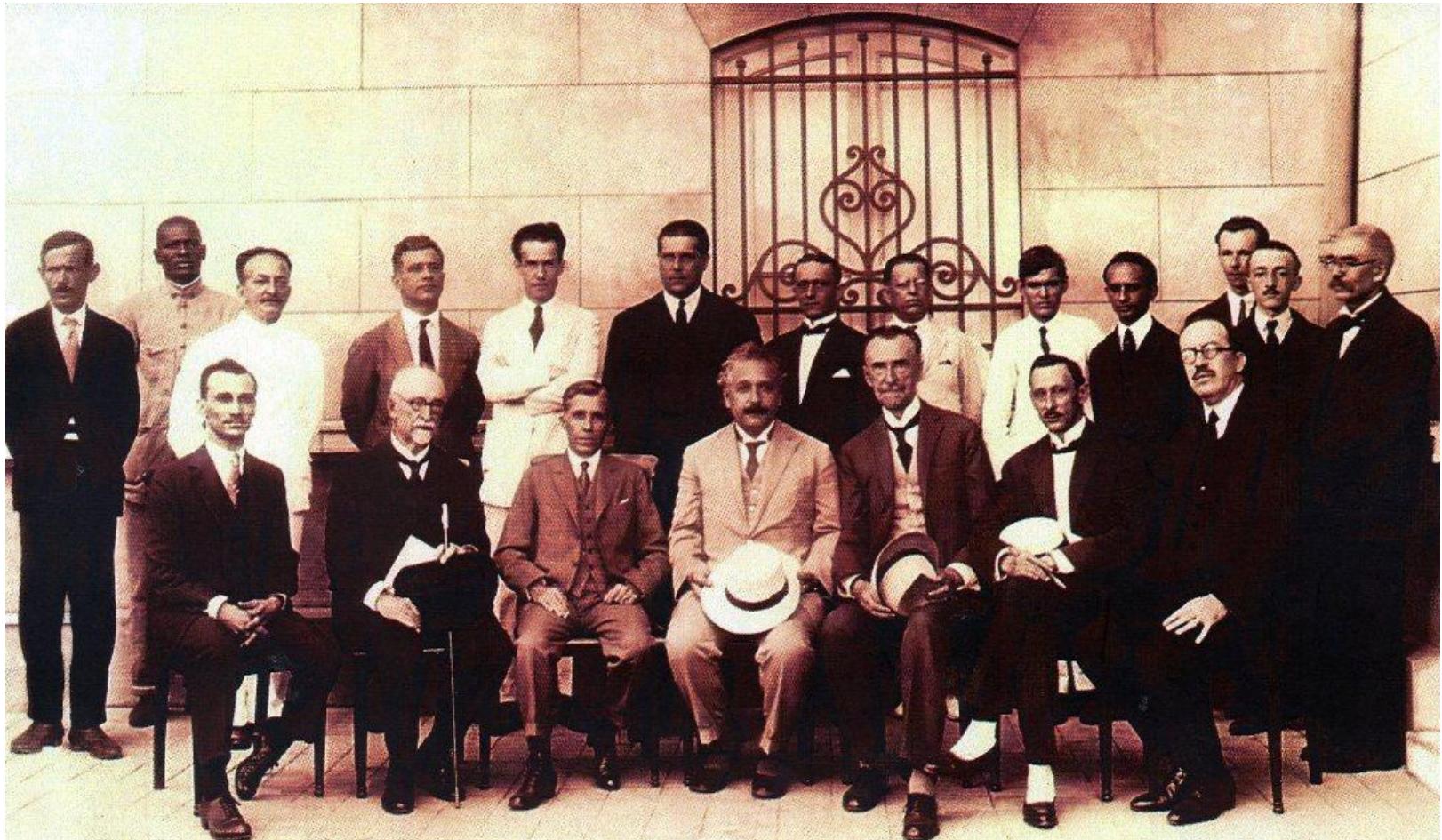
C&T no Brasil: início tardio

Alguns marcos de C&T no Brasil no Sec. XX

- 1900- Criação do Inst. Soroterápico- FIOCRUZ
- 1921 – Reestruturação do Observatório Nacional
- 1921 - Criação do Inst. Nacional de Tecnologia, RJ
- 1934 – Fundação da USP
- 1935 – Fac. de Filosofia Ciências e Letras da USP
- 1939 – Faculdade Nacional de Filosofia no RJ
- 1948 – Criação da SBPC
- 1950 – Fundação do ITA

C&T no Brasil: início tardio

Fatos marcantes para a Ciência



1925- Visita de Einstein ao ON

C&T no Brasil: início tardio

Brasil em 1950

- Pouquíssimos cientistas e pesquisadores
- Falta de ambiente de pesquisa nas universidades
- Não havia engenheiros ou especialistas em setores básicos da indústria
- Parque industrial incipiente
- Ausência de cultura de inovação nas empresas

C&T no Brasil: início tardio

Avanços no Sistema Federal de C&T

1951 – Criação do Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) e da CAPES

- CNPq e CAPES apoiam estudantes e pesquisadores individuais (bolsas auxílios à pesquisa)

- A atuação do CNPq e da CAPES nas décadas de 1950 e 1960 foi decisiva para a criação e apoio aos primeiros grupos de pesquisa no Brasil

C&T no Brasil: início tardio

Avanços no Sistema Federal de C&T

1962 – Criação do FUNTEC/BNDES

apoio institucional para os primeiros
cursos de pós-graduação modernos

1968 - Reforma universitária, **criação do tempo integral nas universidades e institucionalização da pós-graduação**

1971 – Implantação do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-FNDCT, através da FINEP

C&T no Brasil: Avanços recentes

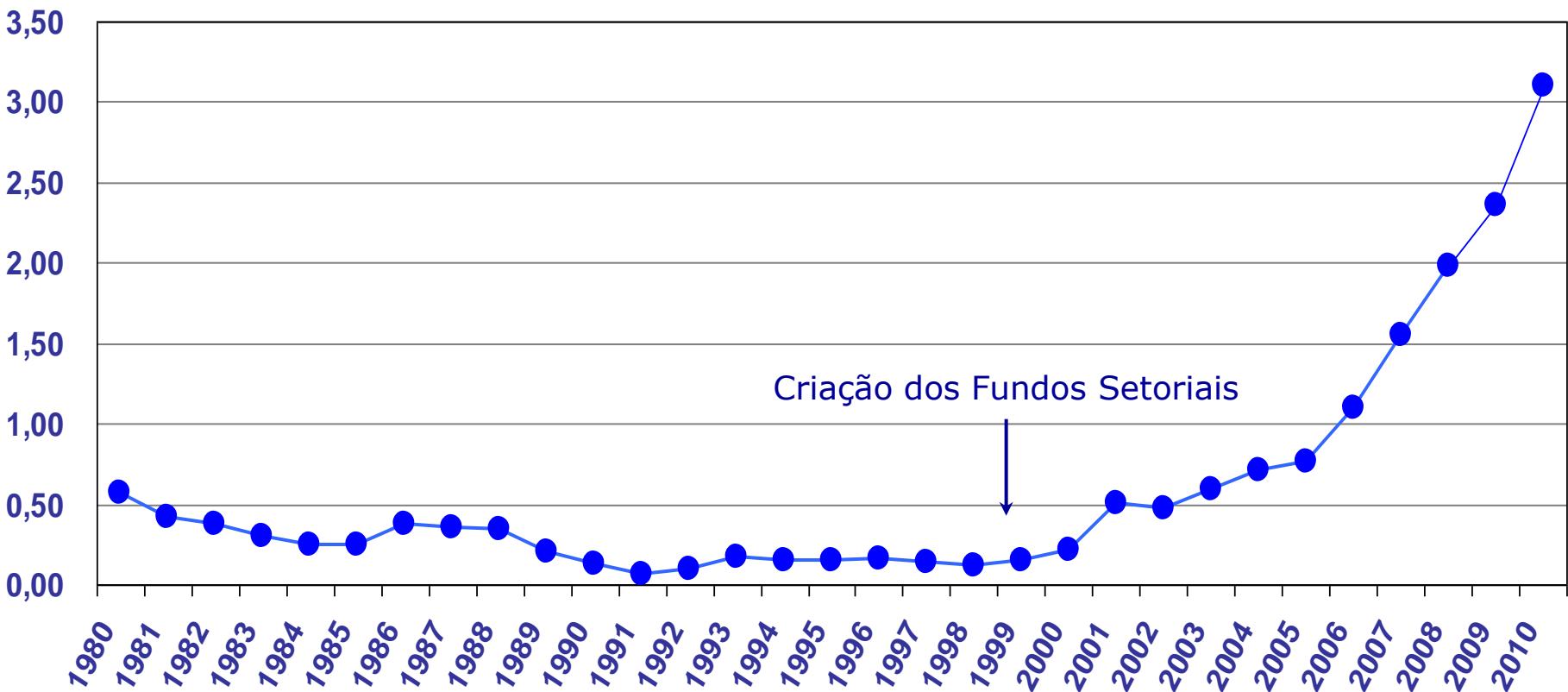
Principais avanços na última década

1- Grande aumento nos recursos financeiros federais possibilitando forte expansão do sistema de C&T, ampliação dos programas de bolsas e fomento à pesquisa com a melhoria de sua distribuição geográfica

2- Notável avanço no ambiente para inovação tecnológica nas empresas, estimulado pela Lei da Inovação e pela criação de programas para apoiar P&D&I nas empresas e para a criação de novas empresas de base tecnológica

C&T no Brasil: Avanços recentes

Evolução Orçamentária do FNDCT R\$ bilhões constantes



C&T no Brasil: Avanços recentes

Sistema Nacional de C&T em 2009



Universidades

	Número	Drs
Federais	59	39.737
Estaduais	39	24.236
Municipais	6	542
Privadas	131	12.948
TOTAL	235	77.463



Centros de ciência e P&D

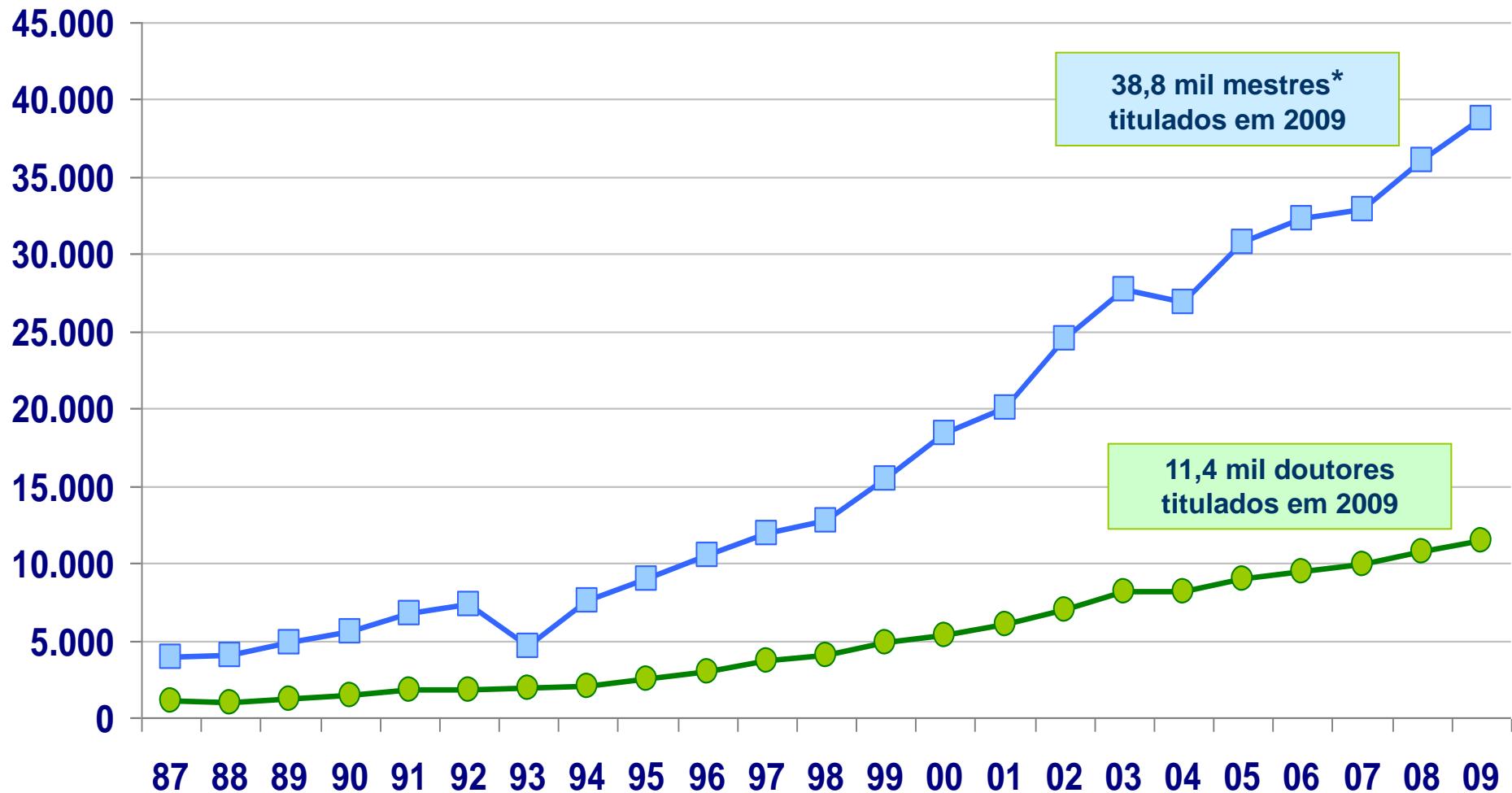
	Número	Drs
Federais	62	4.003
Estaduais	31	3.787
Outras	10	309
TOTAL	113	8.099

Somente instituições com mais de 15 Drs

Instituições de C&T **348**
Drs **85.000**

C&T no Brasil: Avanços recentes

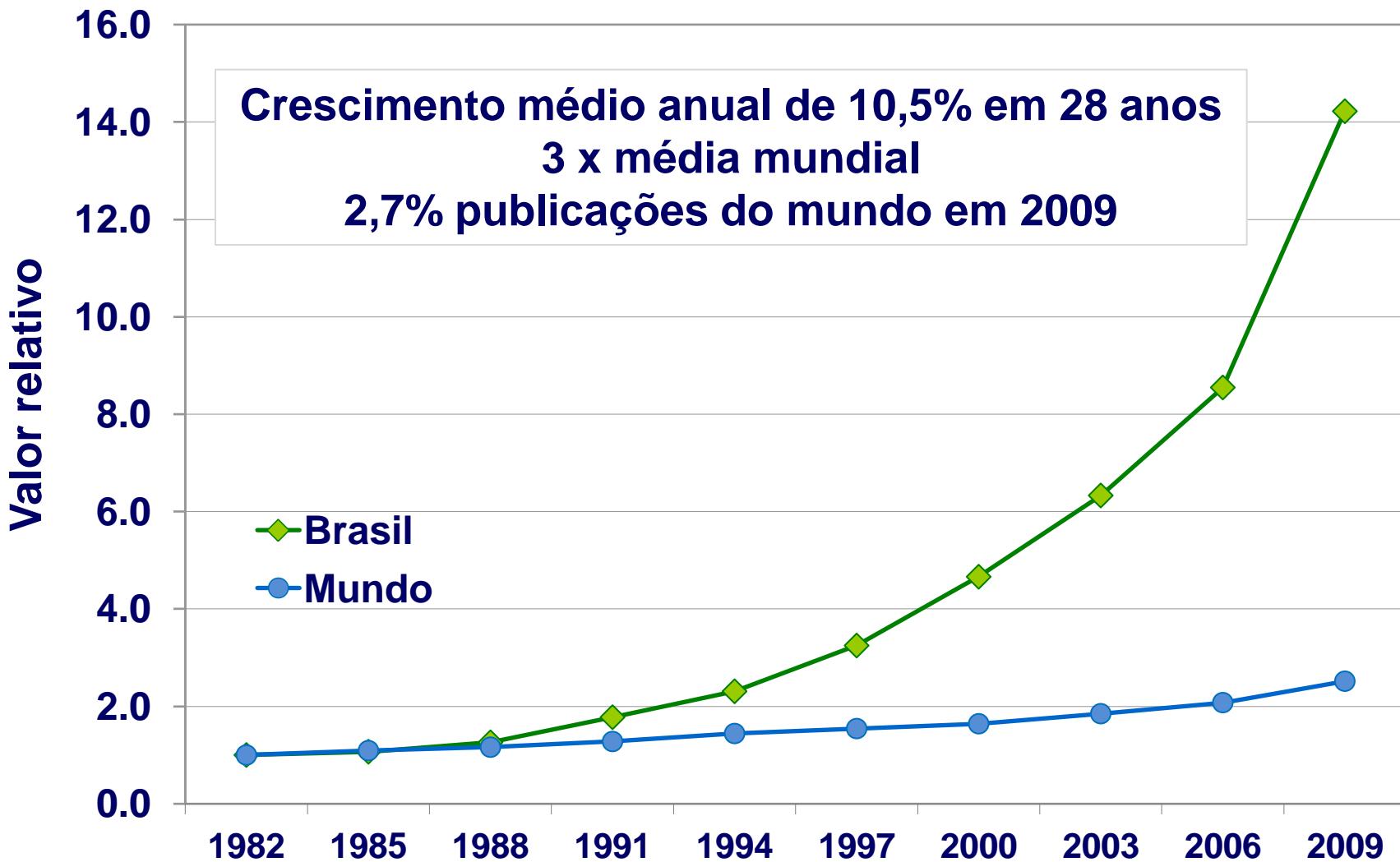
Mestres e Doutores titulados anualmente



* inclui o mestrado profissional a partir de 1999

C&T no Brasil: Avanços recentes

Crescimento das publicações científicas



Produção do conhecimento no Brasil e no Mundo

Publicações em todas as áreas

Country	Publications	Citations	Citations/Pub
1 United States	435.461	437.650	0.9
2 China	306.329	99.497	0.32
3 United Kingdom	118.401	129.036	0.95
4 Germany	115.115	113.501	0.89
5 Japan	103.224	64.292	0.59
6 France	83.575	73.931	0.81
7 Canada	68.893	67.644	0.9
8 Italy	64.667	58.412	0.81
9 India	63.354	25.912	0.38
10 Spain	57.428	47.508	0.75
11 Australia	51.424	47.553	0.83
12 South Korea	50.660	28.109	0.53
13 Brazil	40.962	17.177	0.4
14 Netherlands	37.991	48.328	1.15
15 Taiwan	34.577	16.808	0.46
16 Russian Federation	34.141	10.237	0.29
17 Switzerland	27.359	36.855	1.22
18 Turkey	27.454	10.104	0.34
19 Sweden	24.412	27.366	1.04
20 Iran	24.587	9.923	0.38



NEWS

NATURE|Vol 465|10 June 2010

High hopes for Brazilian science

As President Lula prepares to leave office, researchers expect that innovation will invigorate the economy.

BRASILIA, BRAZIL

It is rare that a head of state ends a second term with approval ratings of around 80%. But when Brazilian President Luiz Inácio Lula da Silva took to the stage last month at a science-policy conference, his popularity was clear: more than 3,000 scientists, administrators and industrialists stood to applaud him and to cheer his science minister of five years, Sérgio Rezende.

With a government convinced that science is an essential part of a growing economy, Brazilian researchers have never known better times, and the 4th National Conference on Science, Technology and Innovation in Brasilia on 26–28 May was brimming with optimism for an even sunnier future. At the conference, Lula signed a

and a physicist at the
de Janeiro. “The con-
that those at the head
tangentially involved
together — and at a
really taking off,” ad-
Brito Cruz, the scien-
São Paulo’s state re-
consensus statement
two months’ time, in
presidential candida-

One prominent subject in the statement is the need for excellence. “We need to improve our research as well as build more infrastructure,” says Brito Cruz. “The main thing is on new centre



Brazil's President Luiz Inácio Lula da Silva wants scientific investment to continue after his departure.

Novo programa importante

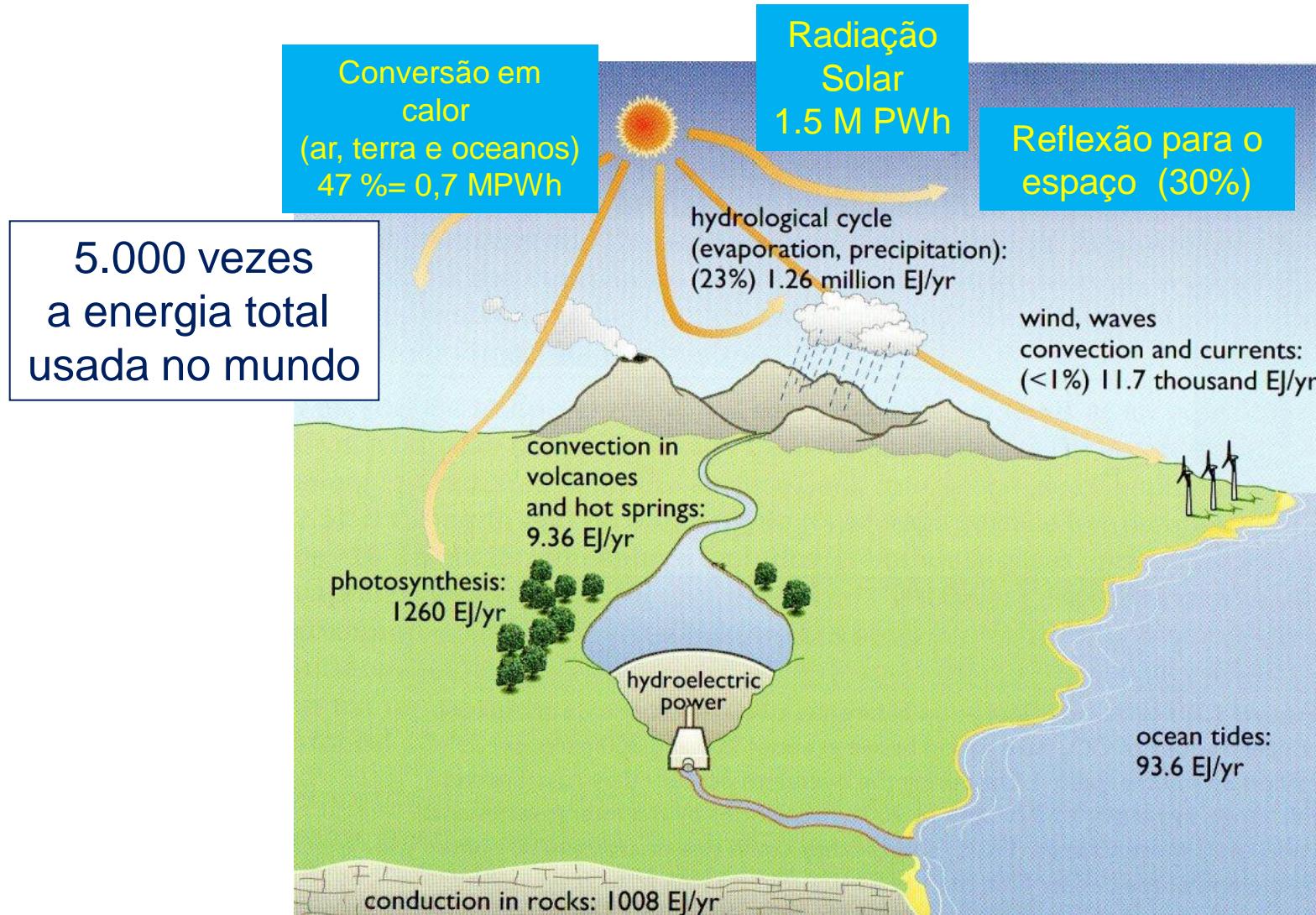


Programa anunciado pela Presidenta Dilma Rousseff para conceder 100 000 bolsas até 2015 para estudantes de graduação e de pós-graduação para estudarem no exterior e para visitantes

Energia para o futuro do Brasil

- A demanda de energia no Brasil aumentará em proporção superior ao crescimento do PIB
- Após Jirau, Santo Antônio e Belo Monte, a disponibilidade de energia elétrica de fontes hídricas no Brasil não aumentará na mesma proporção da demanda.
- Nos países industrializados a disponibilidade de energia de fontes alternativas tem aumentado fortemente, impulsionada por atividades de P&D em energia, políticas de estado e investimentos públicos e privados

De onde virá a energia além de 150 PWh para o mundo funcionar?



Fontes de energia provenientes do Sol

Agro-energia:

- Biomassa para geração de energia elétrica
- Biocombustíveis
 - { Veículos
 - Geração termo-elétrica

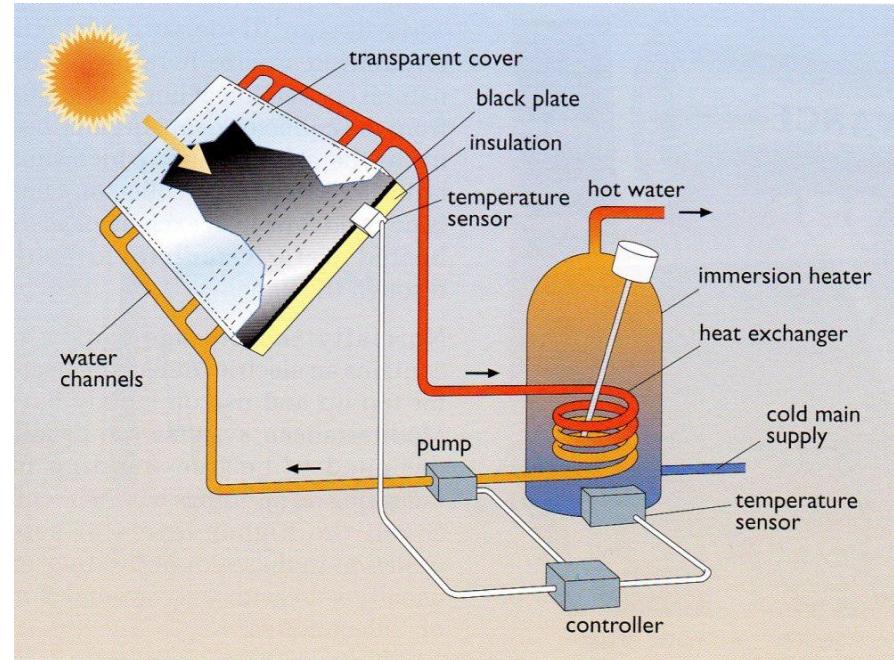
Energia eólica: Energia elétrica

Energia solar: [aquecimento térmico
[geração foto-voltaica
[geração solar-térmica

Veículos elétricos: Solar

Uso trivial de energia solar

Energia solar para aquecimento



Painéis solares de aquecimento de água

Os estados e municípios, poderiam ter leis obrigando a instalação de aquecimento solar de água nas novas construções

Energia elétrica de fonte solar térmica

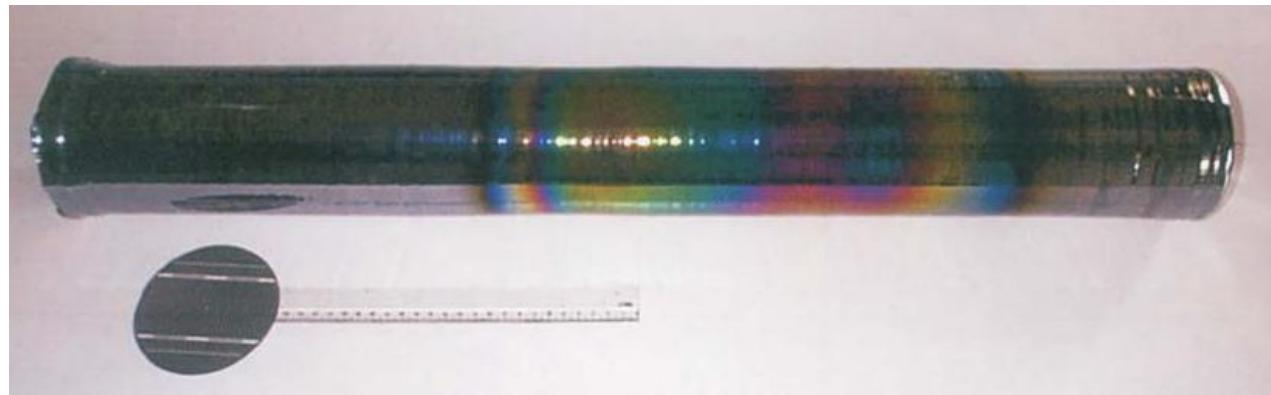


Planta de 10 MW em Barstow, CA

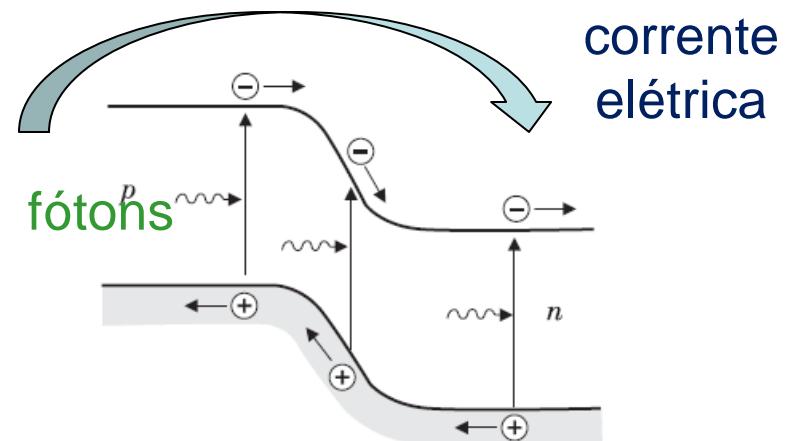
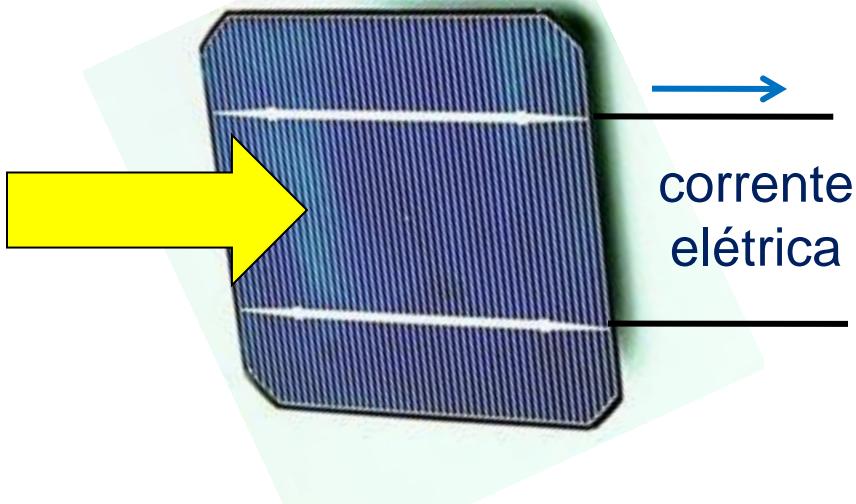
Conversão direta de energia solar em elétrica

Células solares foto-voltaicas

Bastão de Si monocristalino



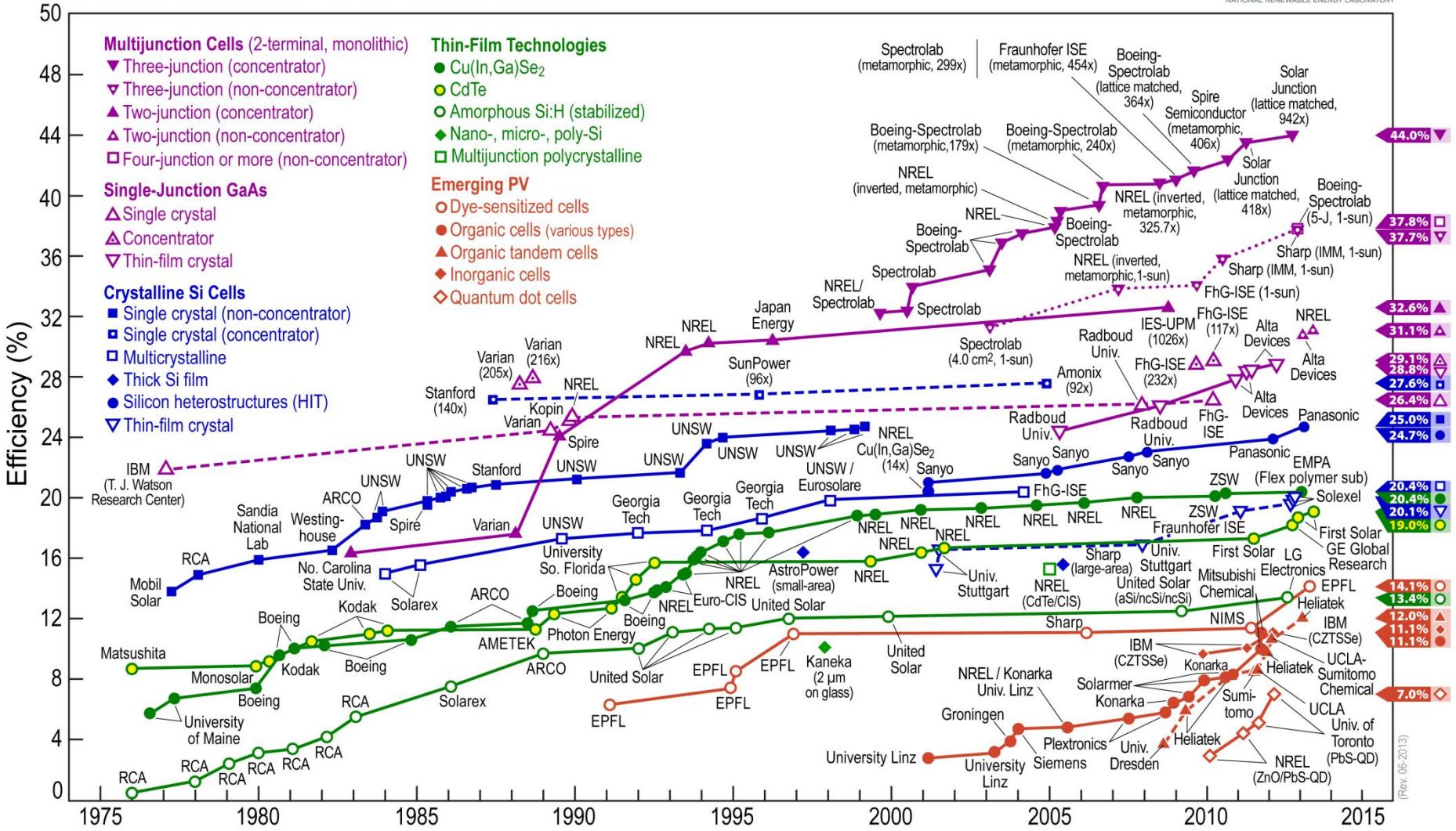
Célula solar de Si monocristalino



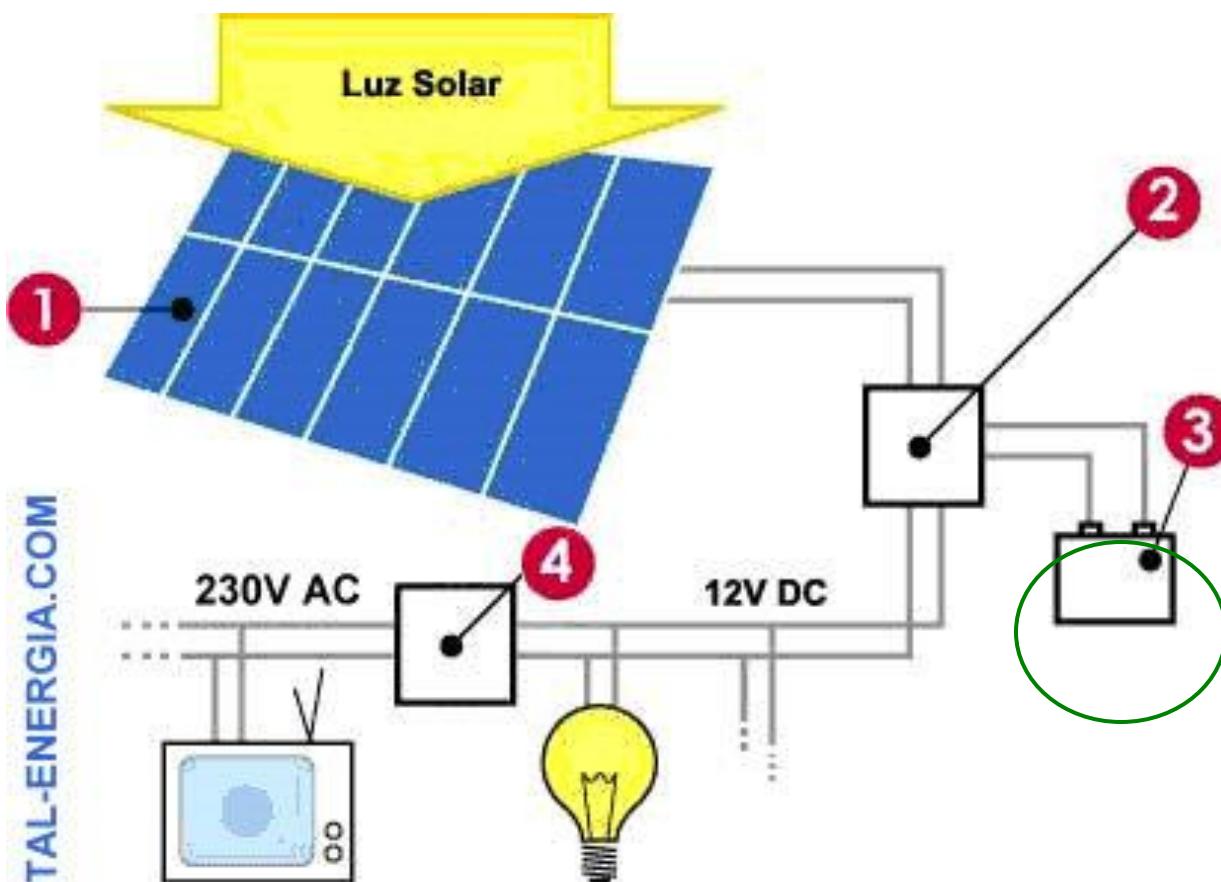
Materiais e Dispositivos Eletrônicos,
Sergio M. Rezende, Editora da Física,
São Paulo, (2004)

Conversão de energia solar em elétrica

Best Research-Cell Efficiencies



Usos de energia de fonte foto-voltaica



WWW.PORTAL-ENERGIA.COM

- 1 - Painel Solar
- 2 - Controlador de Carga das Baterias
- 3 - Baterias
- 4 - Inversor 12V DC - 230V AC

Usos de energia de fonte foto-voltaica



Muitos países europeus, com radiação solar muito menor que o Brasil, têm legislação e incentivos fiscais para disseminar o uso de energia elétrica foto-voltaica (redução de impostos, inserção na rede elétrica, etc)

Usos de energia de fonte foto-voltaica



Estacionamento de escola pública na California (maio/2012)

Veículos Elétricos

Vantagens

- ❑ Motores elétricos muito eficientes (80 a 96%)
- ❑ Nenhuma emissão de gases de EE no local
- ❑ Operação silenciosa
- ❑ Alto torque com velocidade baixa

Desvantagens

- ❑ Necessitam de bateria e energia para carregá-la (energia gerada em algum lugar)
- ❑ Tempo de recarga da bateria
- ❑ Tempo de vida e reciclagem das baterias
- ❑ Custo e peso da bateria para maior autonomia

Veículos elétricos já são realidade no mundo

Estacionamento de automóveis na Google, Mt View, CA



Razão da importância da energia solar

Estado ensolarado



Energia solar nos trópicos

$$E = 2000 \text{ kW-h/ano/m}^2 \quad P = 0.23 \text{ kW/m}^2 \text{ (média)}$$

$$\text{Pernambuco } A = 98\ 311 \text{ km}^2 = 98\ 311 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$P_s = 98\ 311 \times 0,23 \times 10^6 \text{ kW} = 22\ 611 \text{ GW}$$

$$P \text{ (total elétrica consumida no Brasil)} = 50,2 \text{ GW}$$

Energia solar em 2,5% da área de PE, convertida em energia elétrica com 13% de eficiência, seria suficiente para suprir **toda energia elétrica** no Brasil.

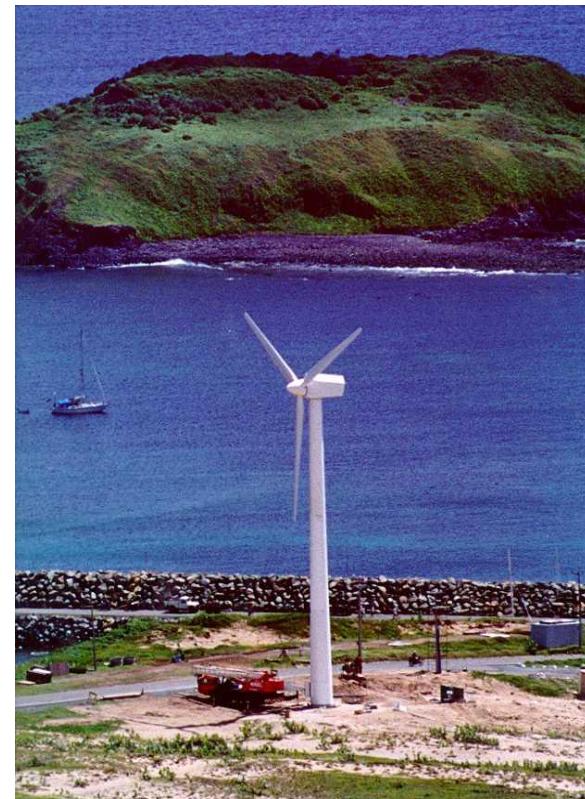
Exemplo de P&D em energia em Pernambuco

Energia Elétrica de fonte eólica

- Grupo de energia eólica da **UFPE** (1990)- Prof. Everaldo Feitosa
Formação de RH; estudos; experimentos- **pioneerismo**.



1^a turbina eólica do
Brasil- Olinda,PE



Turbina eólica experimental
Fernando de Noronha, PE

Empresas de energia em Pernambuco

Energia Elétrica de fonte eólica

- **Marco importante:** Dez/2009- Leilão de compra de energia eólica pela CCEE impulsiona setor no Brasil
- **ABEólica:** Projetos de parques e construção
- **IMPSA:** grande fabricante de equipamentos de energia P&D em materiais, componentes, etc
- **RM Eólica:** construção de torres e componentes



Exemplo de P&D em energia em Pernambuco

Energia solar fotovoltaica

➤ Grupo de Fontes Alternativas de Energia da UFPE-FAE

(~1980)- Prof. Naum Freidreich

Formação de RH; estudos; pesquisa e experimentos com painéis solares- pioneirismo.



Exemplo de P&D em energia em Pernambuco

Energia elétrica de fonte foto-voltaica



➤ Laboratório de Dispositivos e Nano-estruturas-DEES/UFPE (~1995)- Prof. Edval J.P. dos Santos
Formação de RH; pesquisa em sensores integrados, materiais para transdutores, nano-eletrônica e células foto-voltaicas



Caracterização



Nano- e Microfabricação



Projeto de Circuitos Integrados

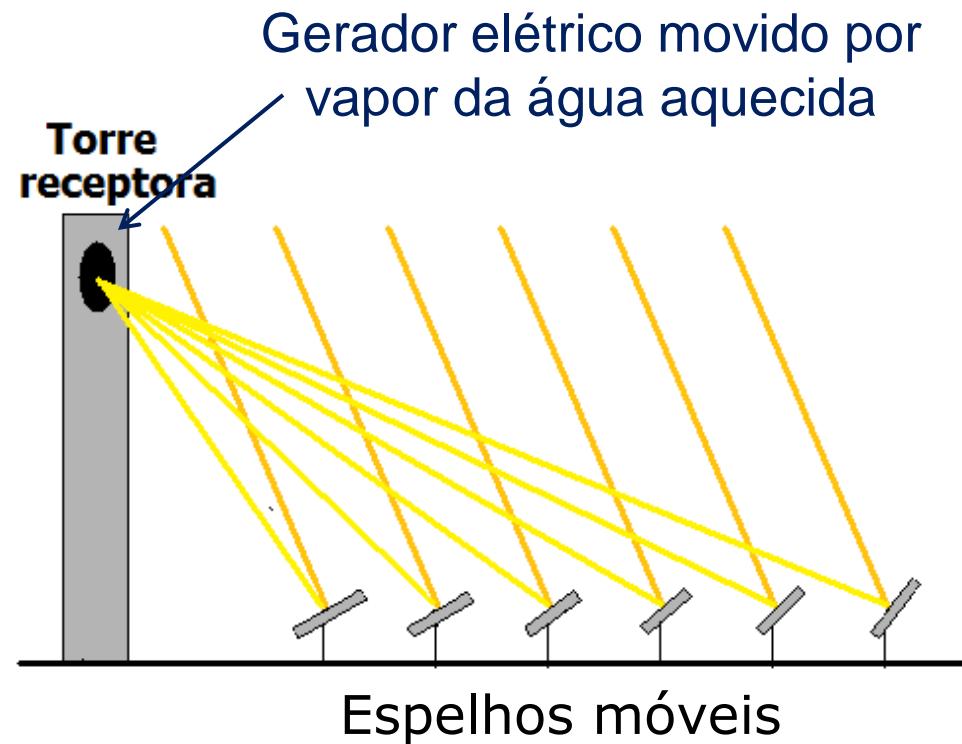


Exemplo de P&D em energia em Pernambuco

Energia elétrica de fonte solar térmica

Projeto com recursos do CT-Energ para planta piloto de geração de energia elétrica de ~ 2,5 MW utilizando energia solar de alta temperatura (tecnologias de torre central e cilindro parabólico) em Petrolina (R\$ 50 milhões Parceria MCT, Eletrobras-CEPEL, MME, MME, SECT-Facepe, UFPE)

Em fase de implantação



Exemplo de P&D em veículos elétricos no Brasil

EXEMPLO

Pálio elétrico

Parceria entre a Fiat e a Usina Binacional de Itaipu



Carro Elétrico Brasileiro



Autonomia: 120 km

Velocidade: 130 km/h

Vida útil da bateria: 130.000 km

Motor de 20 Cv(15 Kw)

Peso da bateria igual a 165 Kg

Tempo para recarga da bateria: 8 h

Exemplo de P&D em energia no Brasil

Células solares foto-voltaicas



Célula solar produzida pelo CB-Solar (PUC – RS) com eficiência entre 12 e 14,6%. (a eficiência de conversão de energia na fotossíntese é 0,7 %)

Redes Temáticas de Centros de Inovação

13 Redes SIBRATEC de Centros de Inovação

● Manufatura e Bens de Capital

● Microeletrônica

● Eletrônica para Produtos

● Vitivinicultura

● Energia Solar Fotovoltaica

● Plásticos e Borrachas

● Visualização Avançada

● Bioetanol

● Equipamentos Medico, Hospitalar e odontológico

● Insumos para a Saúde Humana

● Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

● Nanocosméticos

● Veículos Elétricos



Energia solar fotovoltaica

Esforço do País em energia solar ainda é muito tímido

Total photovoltaic peak power capacity (MWp)

Country or Region	Total 2010	2011 [64]
World	39,778	69,684
European Union	29,328	51,360
Germany	17,320	24,875
Italy	3,502	12,764
China	893	3,093
United States	2,519	4,383
Japan	3,617	4,914
Spain	3,892	4,214
France	1,025	2,831
Belgium	803	2,018
Czech Republic	1,953	1,960
Australia	504	1,298
United Kingdom	72	1,014
India	189	461
South Korea	662	754
Greece	206	631
Canada	200	563

70% de
Belo Monte



Total photovoltaic peak power capacity (MWp)

Slovakia	145	488
Switzerland	111	216
Israel	66	196
Ukraine	3	190
Austria	103	176
Portugal	131	144
Bulgaria	18	133
Netherlands	97	118
Taiwan	32	102
Slovenia	36	90
South Africa	40	41
Mexico	30	40
Brazil	27	32

28°

Energia solar fotovoltaica

Produção de painéis solares

Production

The following table lists countries by solar photovoltaic production (in MW) from 2000-2010:^[1]

Nation	2010	2009	2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	2001	2000
World	24,047	11,315	7,126	3,801	2,459	1,782	1,199	749	542	371	277
China	10,852	4,218	2,038	889	342	128	40	13	10	3	3
Taiwan	3,639	1,411	813	387	170	88	39	17	8	4	0
Japan	2,169	1,503	1,268	938	926	833	602	364	251	171	129
Germany	2,022	1,496	1,399	777	469	339	193	122	55	24	23
USA	1,115	580	401	269	178	153	139	103	121	100	75
Others	4,248	2,107	1,207	542	374	241	186	131	97	70	48

O Brasil é um dos países com maiores reservas de quartzo (SiO_2) do mundo

Veículos elétricos já são realidade no mundo

Folha de São Paulo, 21 de julho de 2013

Carros elétricos como o novo Fiat 500e estão longe do Brasil

JOSIAS SILVEIRA, ENVIADO A MICHIGAN (EUA)

Em meio ao ronco de enormes motores V8, a chave do Fiat 500e é girada no contato. Surge apenas um "bip" e o carro em silêncio pelo campo de provas de Chelsea, no estado americano do Michigan. O pequeno veículo elétrico estreia neste mês. A princípio, será vendido somente na Califórnia.



Conclusões

- ❑ O Brasil precisa despertar para a importância da energia solar em toda sua potencialidade
- ❑ O País tem muitas opções para geração e uso de energias renováveis: solar; eólica; agro-energia
- ❑ O País precisa de políticas públicas (federal, estaduais e municipais) indutoras para incentivar o uso de energia solar, fazer arranjos institucionais e formar mais recursos humanos qualificados para aproveitar as oportunidades de P&D em energia
- ❑ As empresas podem ter boas oportunidades de investimento na geração de energia e também papel fundamental em P&D&I no setor



Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Departamento de Física
rezende@df.ufpe.br

Políticas públicas, P&D e investimentos em ENERGIA SOLAR no Brasil: A HORA É AGORA

MUITO OBRIGADO E
BOA SORTE PARA TODOS NÓS