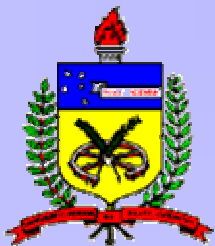


Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Centro Tecnológico

# ENERGIAS RENOVÁVEIS

Prof. Júlio César Passos

Email: [jpassos@emc.ufsc.br](mailto:jpassos@emc.ufsc.br)



*Florianópolis, 14/03/2008*



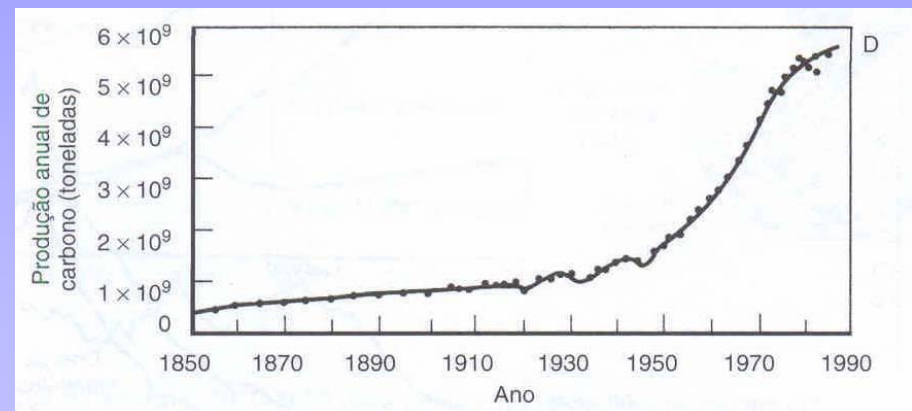
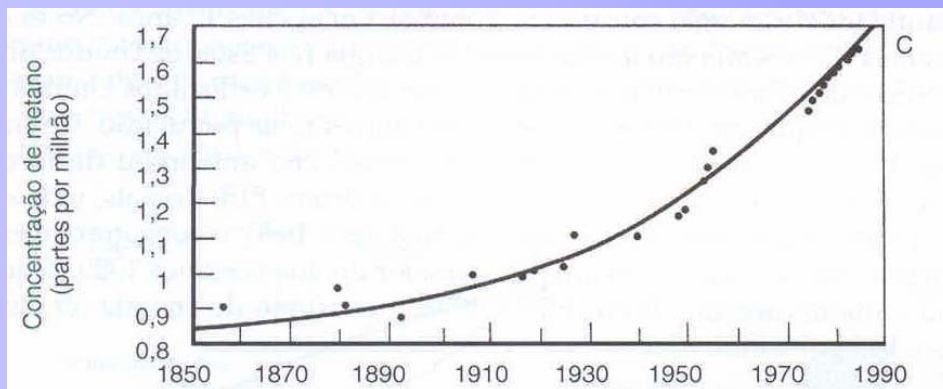
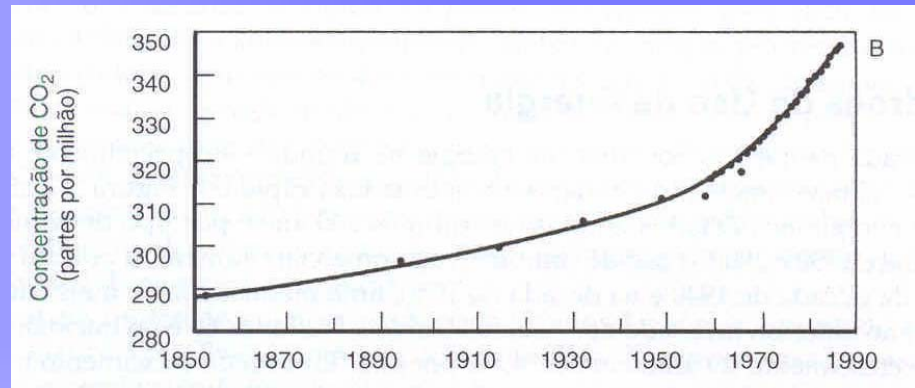
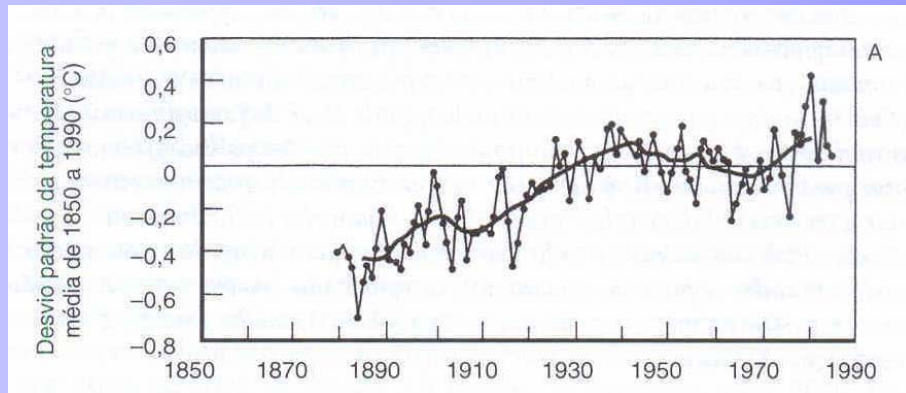
**14/03/2008 - GAZETA ENERGIA**

# 10/03/2008 BARRIL DE PETRÓLEO ATINGE US\$ 108



*in Folha de São Paulo, 11/03/2008*

# AQUECIMENTO DO PLANETA



*in Energia e Ambiente, Thomson*

# PLANO DA 2ª AULA

- O conceito de energia:
  - Um pouco de história da ciência
- Síntese do balanço energético nacional
- O conceito de energia e as leis da Termodinâmica

# O CONCEITO DE ENERGIA: HISTÓRIA DA CIÊNCIA

# ENTROPIA E ENERGIA

- O que é Entropia?

É a propriedade que mede a irreversibilidade de um processo.

- O que é Energia?

É a capacidade de produzir trabalho.

Termodinâmica é a ciência que trata da energia e de suas transformações.

ou

.....que trata da energia e da entropia.

# CONSERVAÇÃO DA ENERGIA

- O Princípio de Conservação da Energia que domina a Física moderna foi estabelecido por volta do século XIX. (Bruhat, 1968; Bejan, 1988; Kuhn, 1996)
- Newton, em sua Dinâmica do Universo, não empregou o conceito de **energia**.

$$F=ma$$

- Seus contemporâneos, Huygens e Leibnitz, utilizaram o conceito de **vis-viva (força viva)**, ou **energia cinética**.



# TRANSFORMAÇÃO E CONSERVAÇÃO

**“A chave do imenso valor da energia  
como conceito baseia-se na sua  
transformação. E esta se conserva.”**

in French (1974)  
Mecânica Newtoniana

# O EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR COMO NECESSIDADE

- Cláusula de venda da máquina a vapor de Bulton e Watt: enquanto vigorasse a patente, entre 1769 e 1800, os compradores pagariam um prêmio igual à terça parte da economia de combustível conseguida pela substituição da máquina de Newcomen pela de Watt.
- O lucro era baseado no custo da produção de energia.
- A determinação de fatores de conversão, como o **equivalente mecânico do calor** passaram a ser uma exigência dos tempos em que a **máquina a vapor** passou a ter um importante papel na economia.

*in Hoghen (1952)*

# UM LONGO PROCESSO DE AMADURECIMENTO

## Balanço de Energia (1)

Lavoisier e Laplace (1780)

publicam um “Estudo sobre o Calor”  
onde analisam a fisiologia da respiração  
e relacionam o **oxigênio inspirado ao calor  
perdido pelo corpo.**

in Kuhn (1996)

“La Conservacion de la Energia como Ejemplo de Descubrimiento

Simultáneo”

*in Hoghen (1952)*

# JULIUS ROBERT VON MAYER



(1814-1878)

Médico alemão

Publicou o seu resultado  
do equivalente mecânico  
do calor em maio de  
1842.

# JAMES PRESCOTT JOULE



(1818-1889)

Cientista amador,  
foi um minucioso  
experimentalista de  
Manchester-UK.

Publicou o seu resultado  
do  
Equivalente Mecânico do  
calor em agosto de  
1843.

## VALORES DE J OBTIDOS POR JOULE

- Alguns valores do Equivalente Mecânico - Joule (1845)

$$J = 424,77 \text{ kgf.m/kcal (água)}$$

$$J = 435,36 \text{ kgf.m/kcal (ar)}$$

$$J = 451,66 \text{ kgf.m/kcal (eletro-magnético)}$$

- Resultados posteriores:

$$J = 424 \text{ kgf.m/kcal (atrito em fluidos) - Joule (1850)}$$

$$J = 429,4 \text{ kgf.m/kcal}$$

(resistência elétrica- Efeito Joule) (1867)

$$J = 424 \text{ kgf.m/kcal - Joule (1878)}$$

Valor aceito, hoje,  $J = 427 \text{ kgf.m/kcal}$



# POINCARÉ

“não nos resta mais que um enunciado para o princípio da conservação da energia ; *existe alguma coisa que permanece constante*” -

“*sob esta forma ele se acha protegido da experiência e se reduz a uma espécie de tautologia*”.

“*rejeitar o primeiro princípio implicaria aceitar a possibilidade do movimento perpétuo*”.

*in Poincaré (1968) - “La Science et l’Hypothèse”*

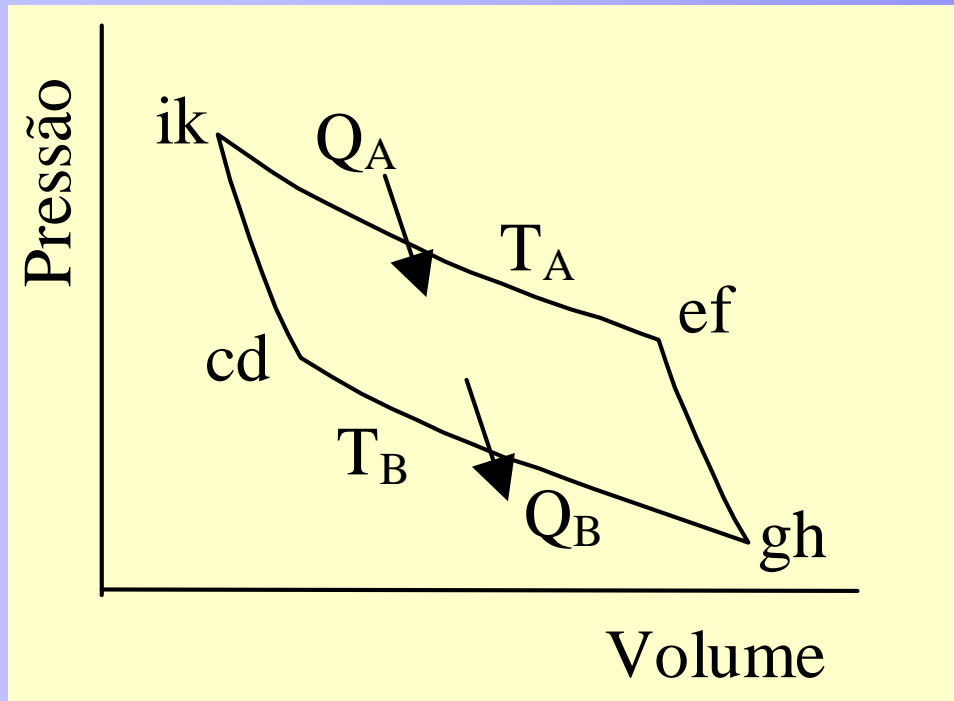
*Poincaré (1892) - “Cours de Physique Mathématique: Thermodynamique”*

# CONCLUSÕES

- A formulação geral do **PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO DA ENERGIA** exigiu um longo processo de amadurecimento até ter sido demonstrado, de forma experimental, não apenas que a energia se conserva mas que os diversos tipos de energia são equivalentes.
- Vários pesquisadores (**pelos menos 12, segundo Thomas Kuhn**) estiveram trabalhando, de forma mais ou menos independente, **sobre o problema do equivalente mecânico do calor.**



# O CICLO DE CARNOT



Duas transformações  
**isotérmicas**

e

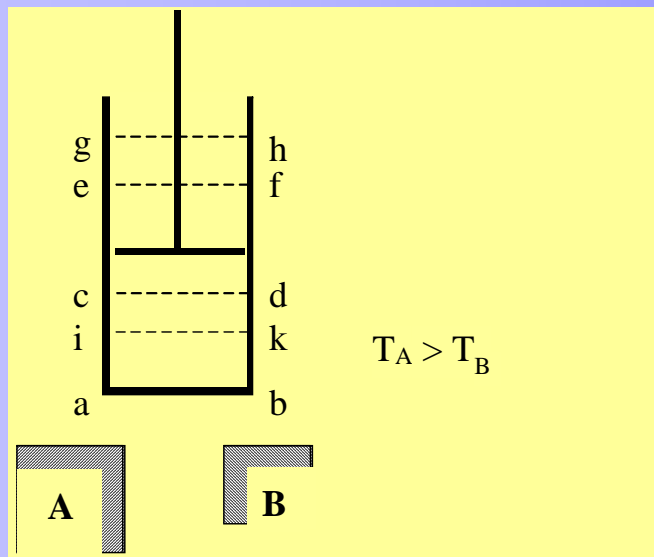
Duas transformações  
**adiabáticas ideais**

Clapeyron (1834)

Transferência de calor **sem diferenças finitas** de temperatura

Mudanças de temperatura **sem contato térmico**

# O CICLO DE CARNOT



*Carnot (1824)*

Duas transformações  
**isotérmicas**

e

Duas transformações  
**adiabáticas ideais**

# SÍNTESE DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL

Fonte: EPE – Empresa de Pesquisa Energética  
[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)

# OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL 2005 e 2006

Tabela 1 ■ Oferta Interna de Energia

Brasil – 2005/2006

	milhões de tep		
Energético	2005	2006	Δ 06/05
Oferta Total	218,7	226,1	3,4%
Energia Não-Renovável	121,3	124,4	2,6%
Petróleo e Derivados	84,6	85,5	1,1%
Gás Natural	20,5	21,6	5,3%
Carvão Mineral e Derivados	13,7	13,6	-0,5%
Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) e Derivados	2,5	3,7	44,1%
Energia Renovável	97,3	101,6	4,4%
Energia Hidráulica e Eletricidade	32,4	33,6	3,7%
Lenha e Carvão Vegetal	28,5	28,6	0,6%
Produtos da Cana-de-Açúcar	30,1	32,8	8,7%
Outras Renováveis	6,3	6,7	5,4%



Florianópolis, março de 2008



# ESTRUTURA DA OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL: 2005 e 2006 (1)

Tabela 2 ■ Estrutura da Oferta de Energia

Brasil – 2005/2006

	%	
Energético	2005	2006
Energia Não-Renovável	55,5	55,0
Petróleo e Derivados	38,7	37,8
Gás Natural	9,4	9,6
Carvão Mineral e Derivados	6,3	6,0
Urânio ( $U_3O_8$ ) e Derivados	1,2	1,6
Energia Renovável	44,5	45,0
Energia Hidráulica e Eletricidade	14,8	14,8
Lenha e Carvão Vegetal	13,0	12,7
Produtos da Cana-de-Açúcar	13,8	14,5
Outras Renováveis	2,9	2,9



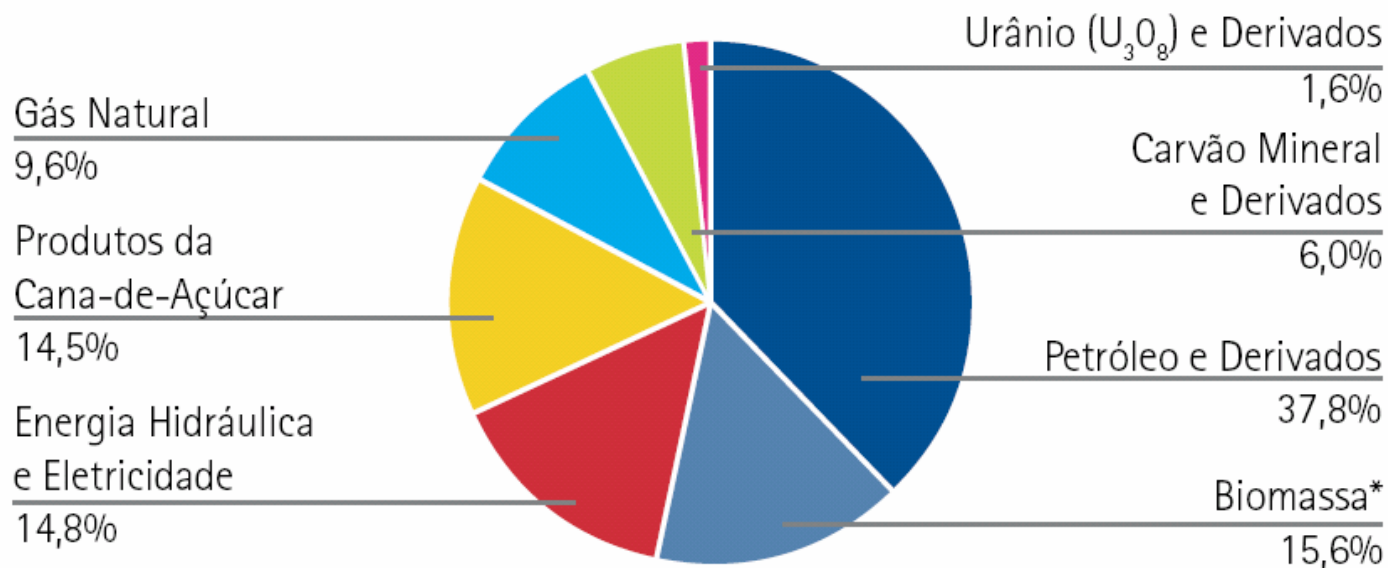
Florianópolis, março de 2008



# ESTRUTURA DA OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL: 2006 (2)

Gráfico 1 ■ Estrutura da Oferta de Energia

Brasil – 2006



\* Inclui lenha, carvão vegetal e outras renováveis.

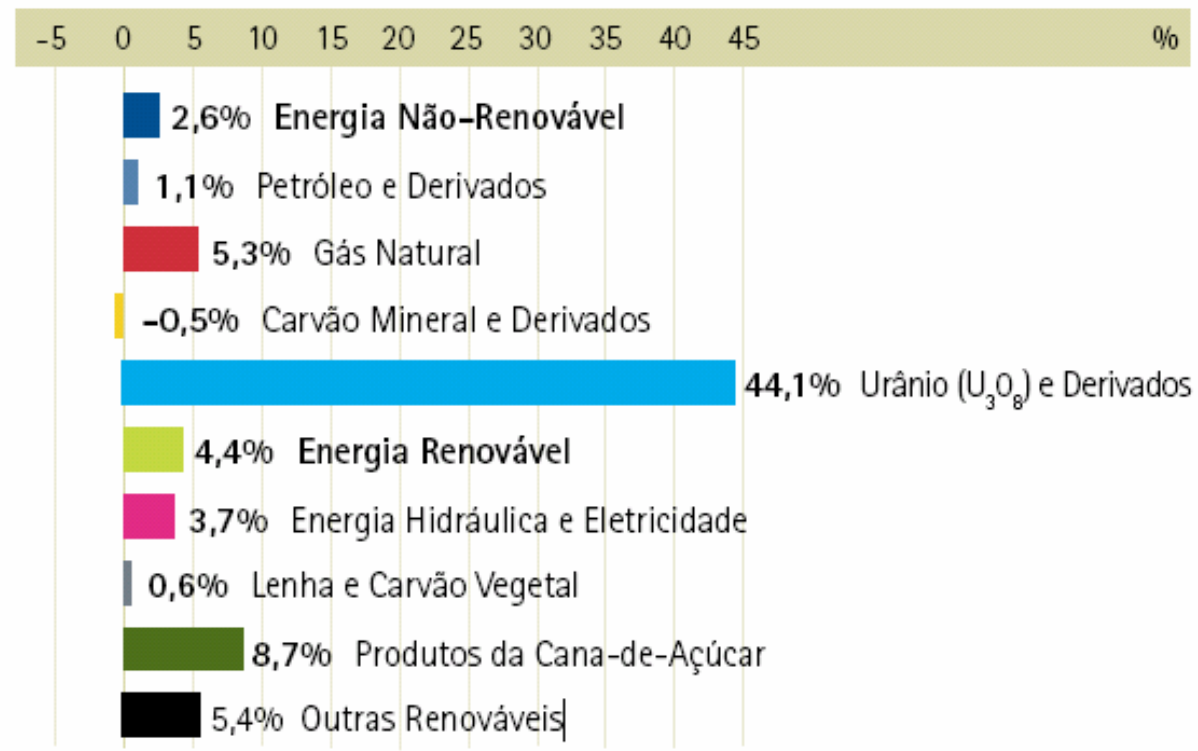


Florianópolis, março de 2008



# CRESCIMENTO DA OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL: 2006/2005

Gráfico 2 ■ Crescimento da Oferta por Energético e Tipo de Fonte  
2006/2005

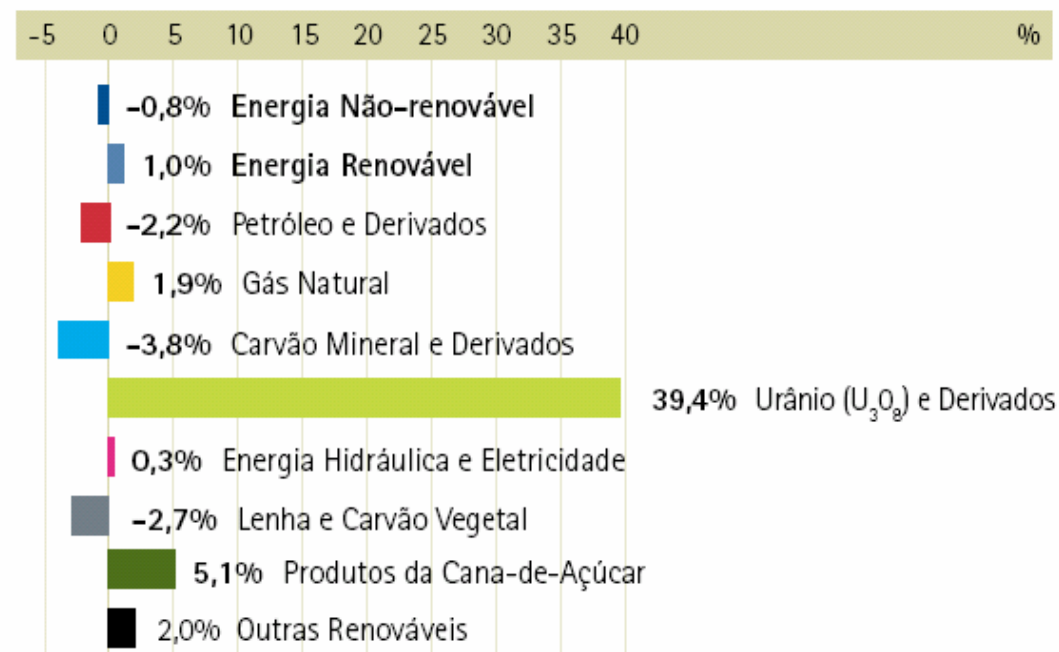


# CRESCIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DOS ENERGÉTICOS NO BRASIL: 2006/2005

Gráfico 3 ■ Oferta Interna de Energia

2006/2005

Crescimento da Participação dos Energéticos e  
Tipos de Fonte na Matriz



Florianópolis, março de 2008





# OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: 2005 e 2006 (1)

Tabela 3 ■ Oferta Interna de Energia Elétrica  
Brasil – 2005/2006

Fonte	2005	2006	Δ 06/05	TWh
<b>Oferta Total</b>	<b>441,5</b>	<b>461,2</b>	<b>4,5%</b>	
Hidráulica	337,5	349,8	3,7%	
Nuclear	9,9	13,8	39,6%	
Gás Natural	18,8	18,2	-3,1%	
Carvão	6,8	7,4	8,5%	
Derivados do Petróleo	11,7	12,0	2,0%	
Biomassa	18,3	19,6	7,2%	
Eólica	0,09	0,24	155,9%	
Importação	38,4	40,1	4,4%	

Nota: Inclui autoprodução de energia elétrica.



Florianópolis, março de 2008



# ESTRUTURA DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: 2005 e 2006 (2)

Tabela 4 ■ Estrutura da Oferta de Energia Elétrica  
Brasil – 2005/2006

Fonte	2005	2006
Hidráulica	76,4	75,9
Nuclear	2,2	3,0
Gás Natural	4,3	4,0
Carvão	1,5	1,6
Derivados do Petróleo	2,7	2,6
Biomassa	4,1	4,2
Eólica	0,0	0,1
Importação	8,7	8,7

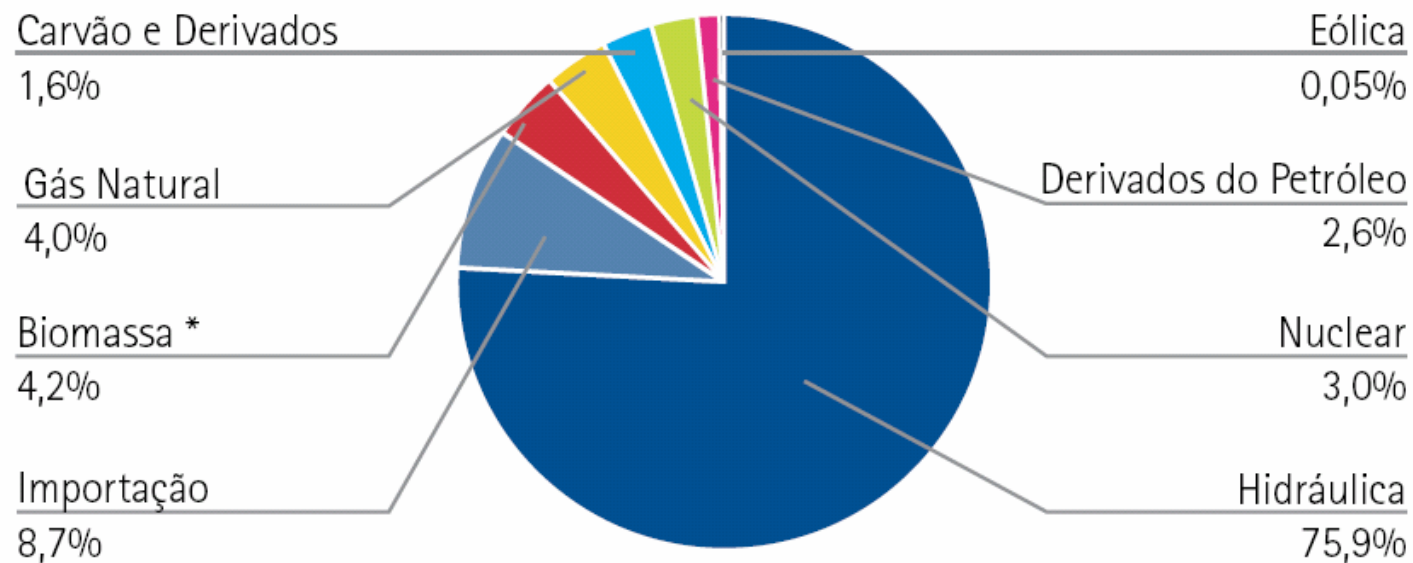
Nota: Inclui autoprodução de energia elétrica.

**84,6 %  
de fonte  
HÍDRICA**



# ESTRUTURA DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL: 2005 e 2006 (3)

Gráfico 4 ■ Estrutura da Oferta Interna de Energia Elétrica  
Brasil – 2006

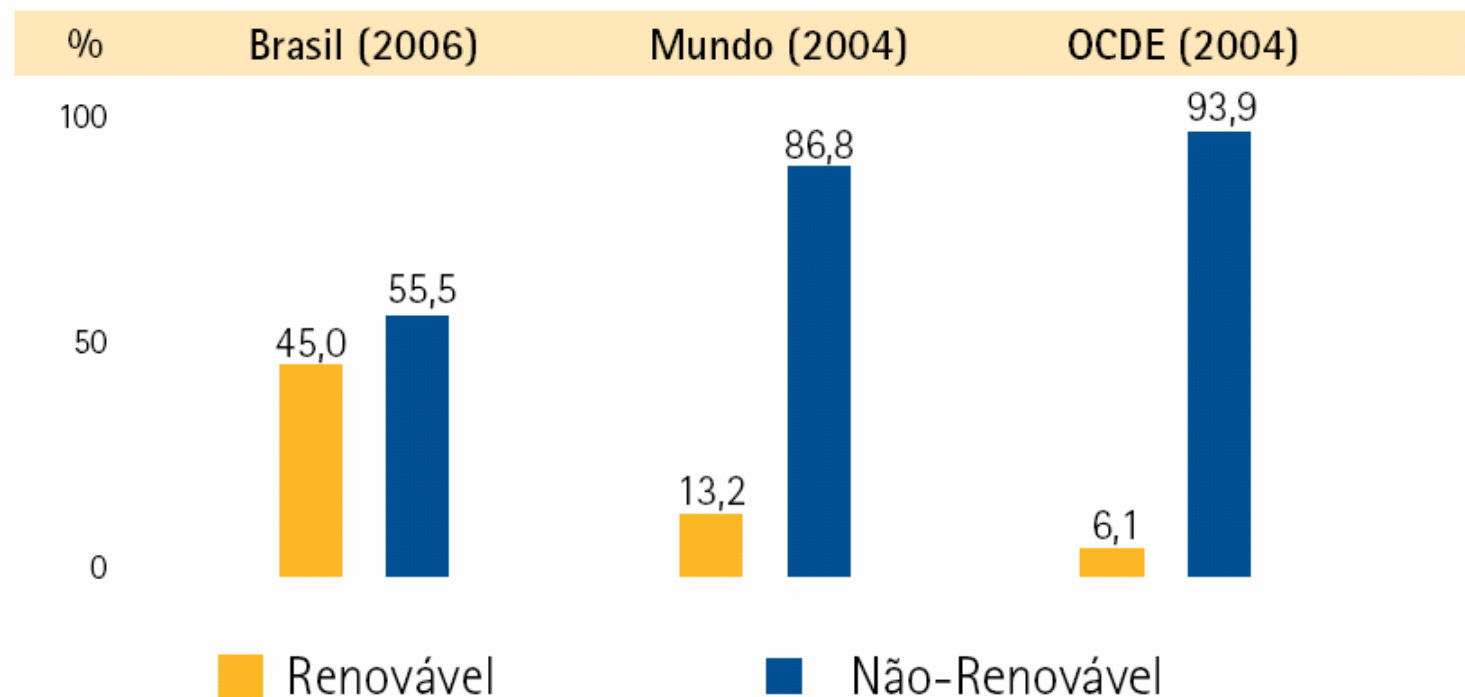


\* Inclui lenha, bagaço de cana-de-açúcar, lixívia e outras recuperações.



# COMPARAÇÃO DA ESTRUTURA DA OFERTA DE ENERGIA DO BRASIL E DO MUNDO

Gráfico 5 ■ Estrutura da Oferta Interna de Energia



# EVOLUÇÃO DA ESTRUTURA DA OFERTA DE ENERGIA DO BRASIL E DO MUNDO

Tabela 5 ■ Evolução da Estrutura da Oferta de Energia

Energético	%					
	Brasil		OCDE		Mundo	
	1973	2006	1973	2004	1973	2004
Petróleo e Derivados	45,6	37,8	53,0	40,7	45,0	34,3
Gás Natural	0,4	9,6	18,8	21,7	16,2	20,9
Carvão Mineral e Derivados	3,1	6,0	22,4	20,5	24,8	25,1
Urânio (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) e Derivados	0,0	1,6	1,3	11,0	0,9	6,5
Energia Hidráulica e Eletricidade	6,1	14,8	2,1	2,0	1,8	2,2
Biomassa*	44,8	15,6	2,4	4,1	11,3	11,0

\* Biomassa inclui lenha, carvão vegetal, produtos da cana-de-açúcar, energia solar, eólica, geotérmica, etc.



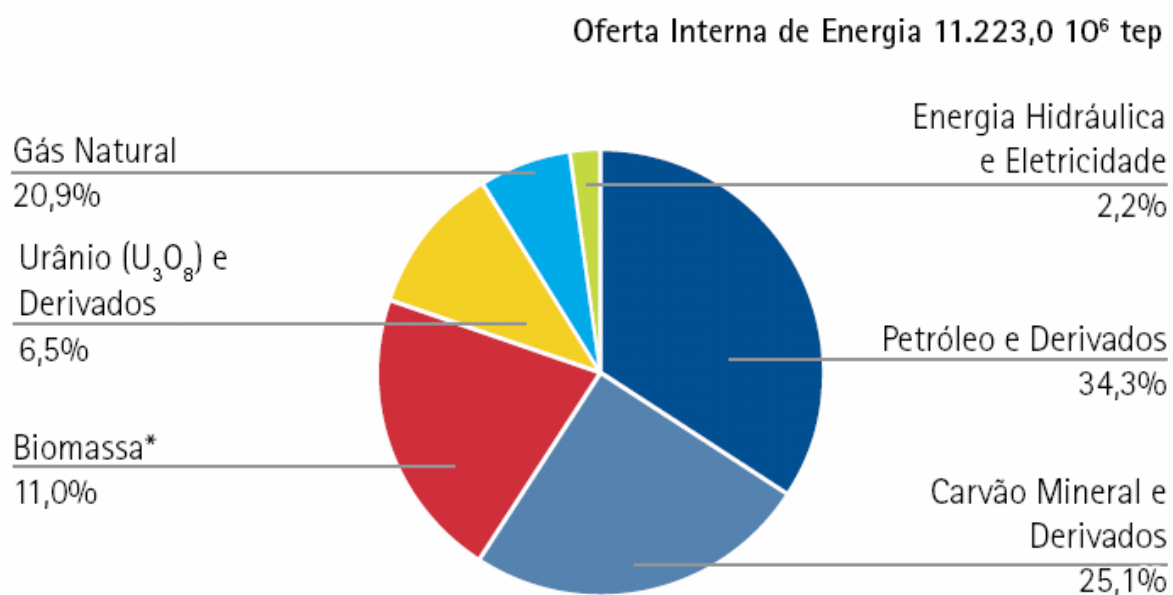
Florianópolis, 14/03/2008



# ESTRUTURA DA OFERTA DE ENERGIA NO MUNDO EM 2004

Gráfico 6 ■ Estrutura da Oferta de Energia

Mundo - 2004



\* Biomassa inclui lenha, carvão vegetal, produtos da cana-de-açúcar, energia solar, eólica, geotérmica, etc.



Florianópolis, 14/03/2008



# EVOLUÇÃO DOS INDICADORES DA OFERTA DE ENERGIA NO BRASIL: 1970 - 2006

A2 ■ Evolução dos Principais Parâmetros e Indicadores

Principais Parâmetros	Unidade	1970	1980	1990	2000	2006 <sup>1</sup>
Oferta Interna de Energia	10 <sup>6</sup> tep	66,9	114,8	142	190,6	226,1
Oferta Interna de Eletricidade <sup>2</sup>	TWh	45,7	139,2	249,4	393,2	461,5
População	10 <sup>6</sup> hab	93,1	121,6	146,6	171,3	186,8
PIB <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup> US\$	206,9	473,3	550,1	714,3	818,8

Principais Indicadores	Unidade	1970	1980	1990	2000	2006 <sup>1</sup>
PIB per capita	10 <sup>3</sup> US\$/hab	2.220	3.890	3.750	4.170	4.384
OIE per capita	tep/hab	0,719	0,944	0,969	1,113	1,210
OIE por PIB	tep/10 <sup>3</sup> US\$	0,323	0,243	0,258	0,267	0,276
OIEE per capita	kWh/hab	491	1.145	1.701	2.295	2.471
OIEE por PIB	kWh/10 <sup>3</sup> US\$	221	294	453	551	564

<sup>1</sup> Preliminar

<sup>2</sup> Inclui autoprodução

<sup>3</sup> Preços de 2006

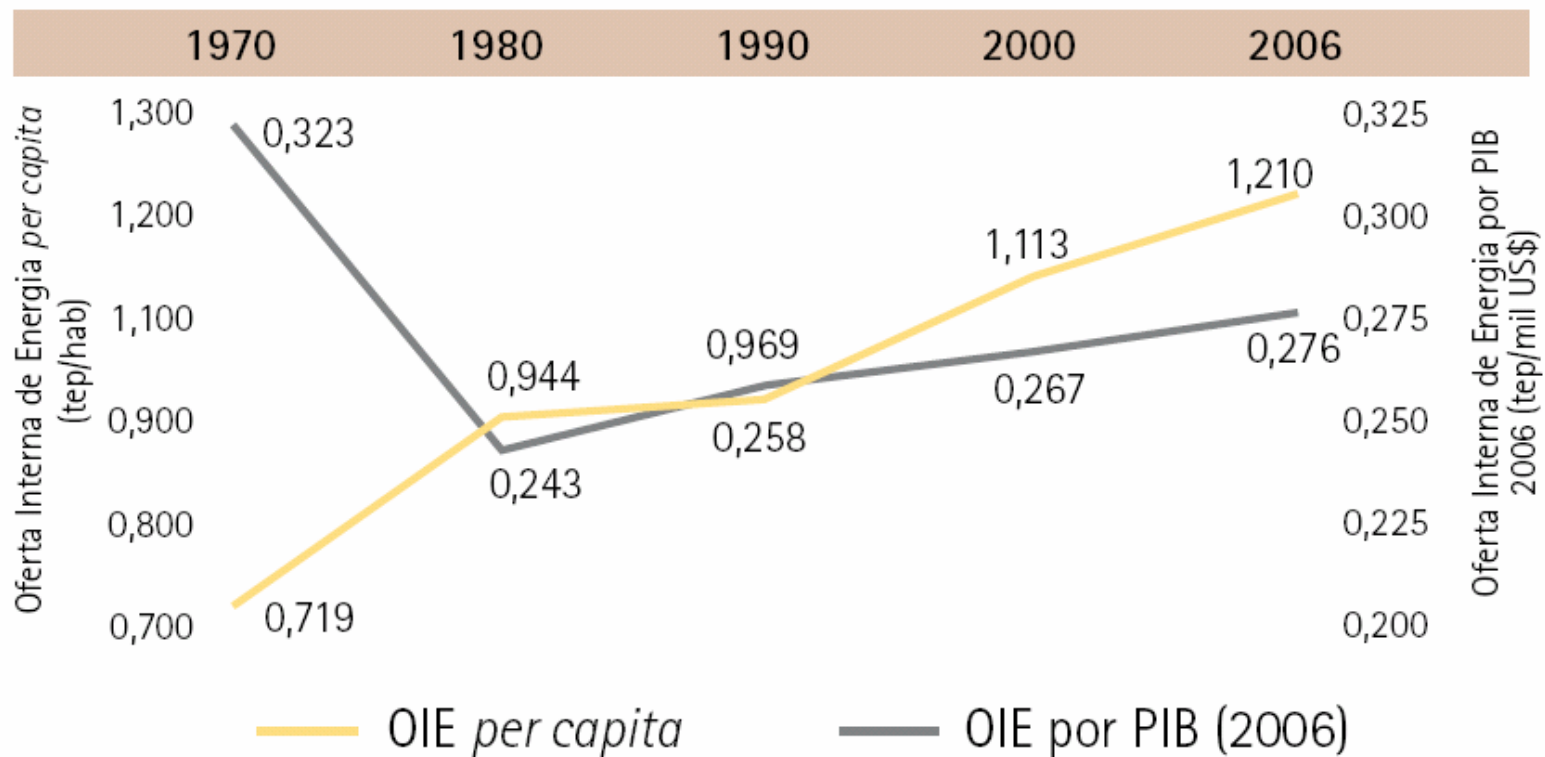


Florianópolis, 14/03/2008



# INTENSIDADE ENERGÉTICA DO PIB, BRASIL

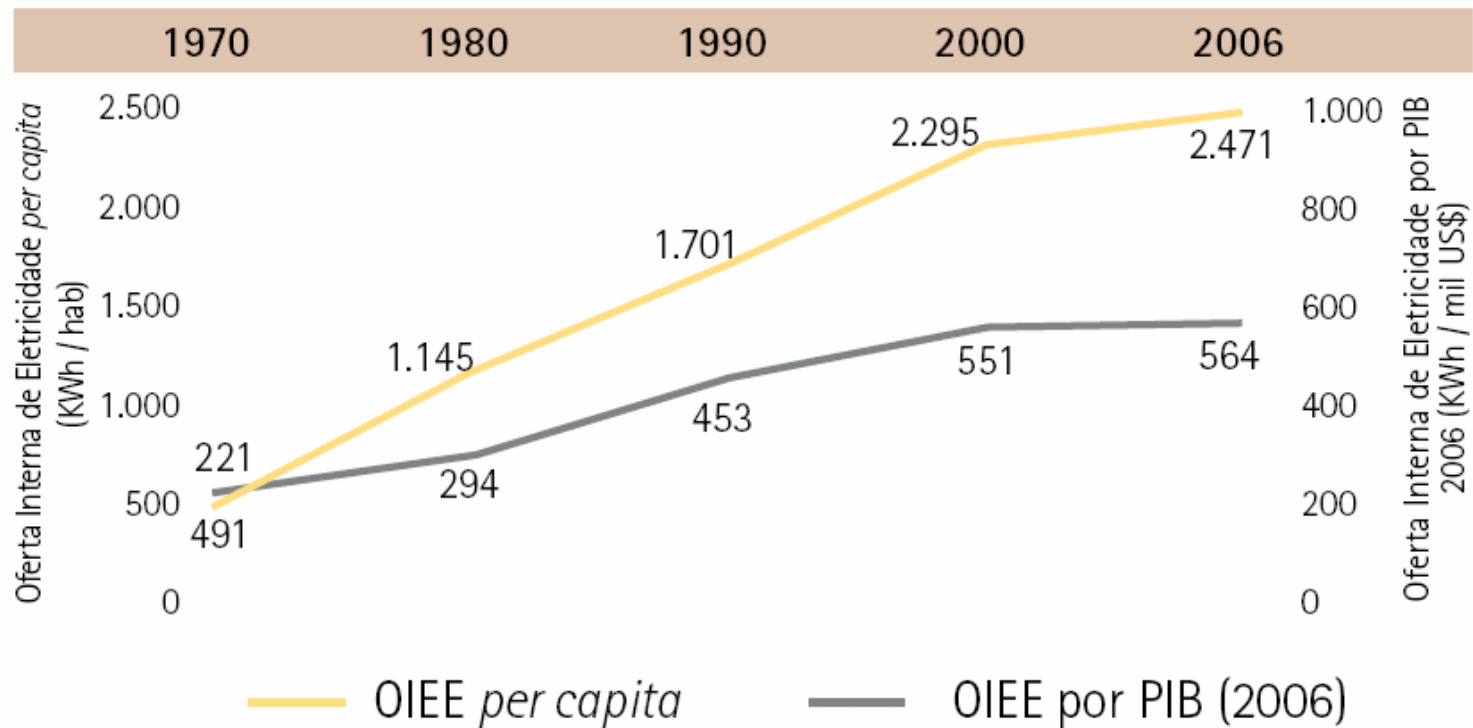
Gráfico 9 ■ Intensidade Energética





# INTENSIDADE DA OFERTA DE ENERGIA ELÉTRICA NO PIB DO BRASIL

Gráfico 10 ■ Intensidade Elétrica

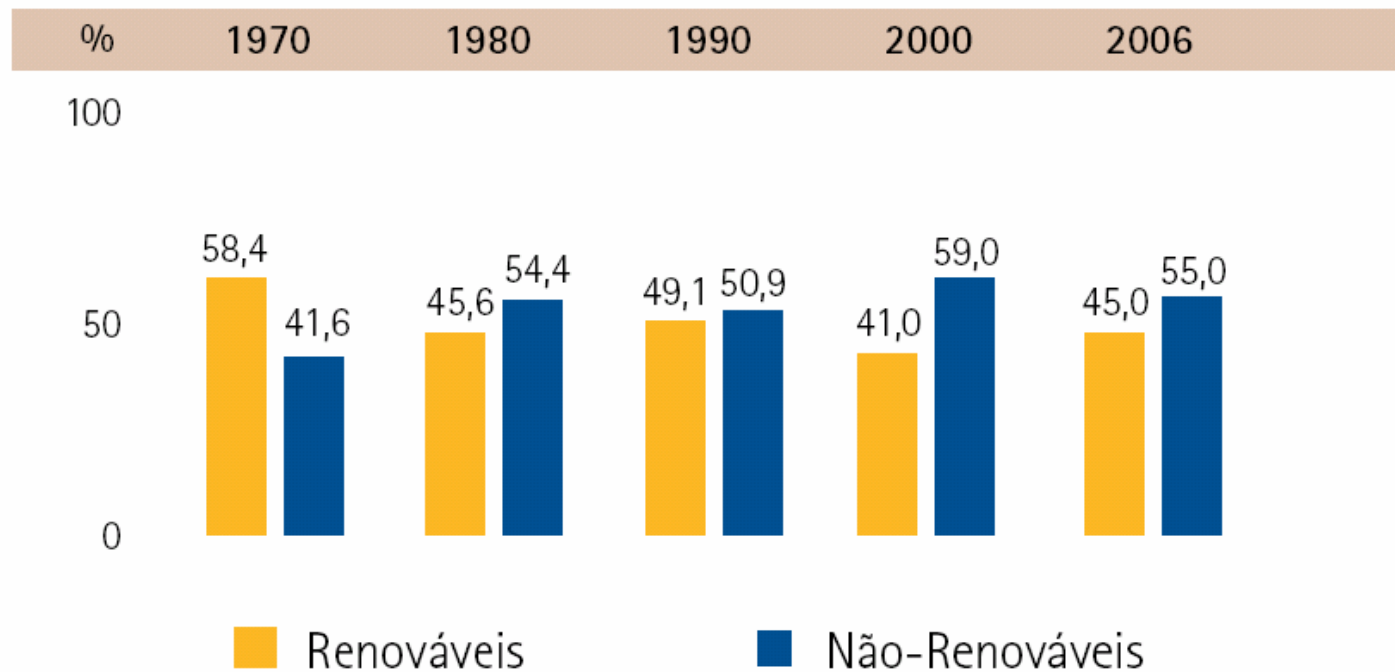


Florianópolis, 14/03/2008



# EVOLUÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS NO BRASIL

Gráfico 11 ■ Evolução da Participação das Fontes Renováveis e Não-Renováveis



# COMENTÁRIOS SOBRE OS DADOS DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL

Ano base 2006

45% de renováveis (incluindo Energia Hidráulica)

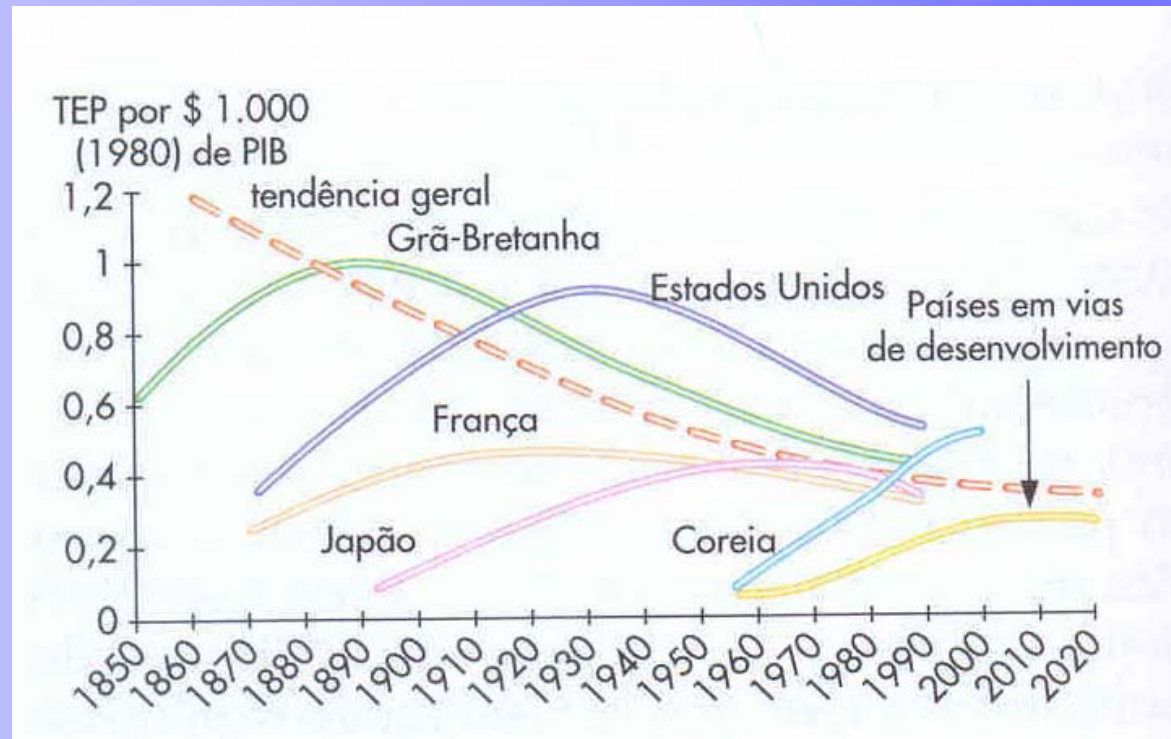


*Florianópolis, 14/03/2008*



**IEP - INTENSIDADE  
ENERGÉTICA NO PIB  
DE VÁRIOS PAÍSES**

# EVOLUÇÃO DA IEP-INTENSIDADE ENERGÉTICA DO PIB EM VÁRIOS PAÍSES



**Definição: Relação entre o consumo de energia e o PIB**

Todos os cenários sobre a demanda de energia supõem que haverá diminuição da IEP: menor demanda de energia para produzir um dólar de salário.

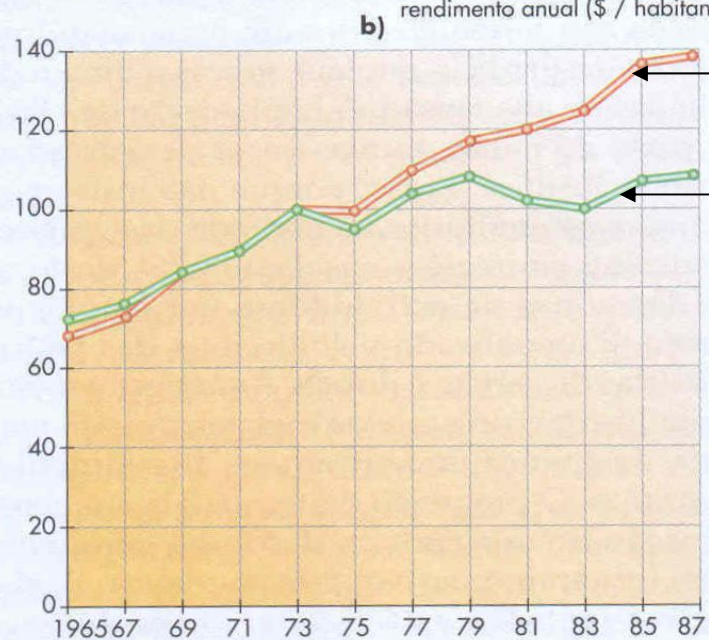
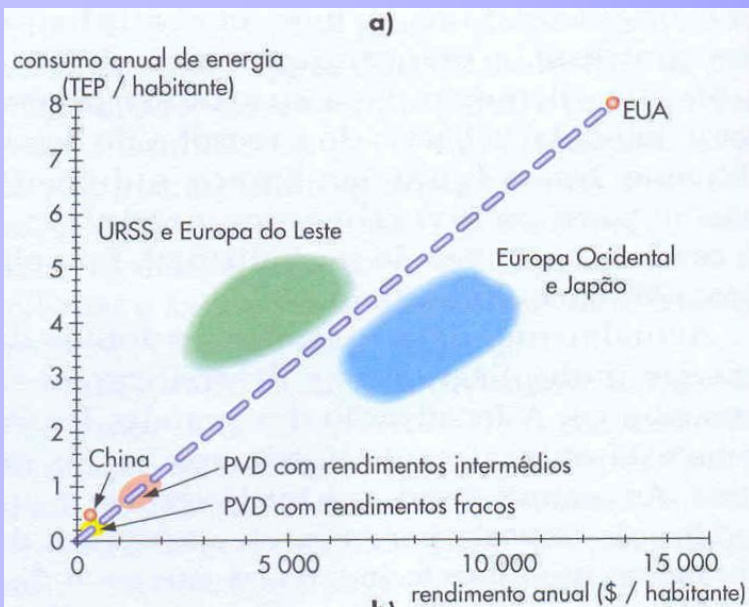


Fonte: A Energia, J. L. Bobin, Institut Piaget

Florianópolis 14/03/2008



# CONSUMO DE ENERGIA versus PIB



**Crescimento do PIB**

**Consumo de energia**

Dados de 1994 de B. Dessus,

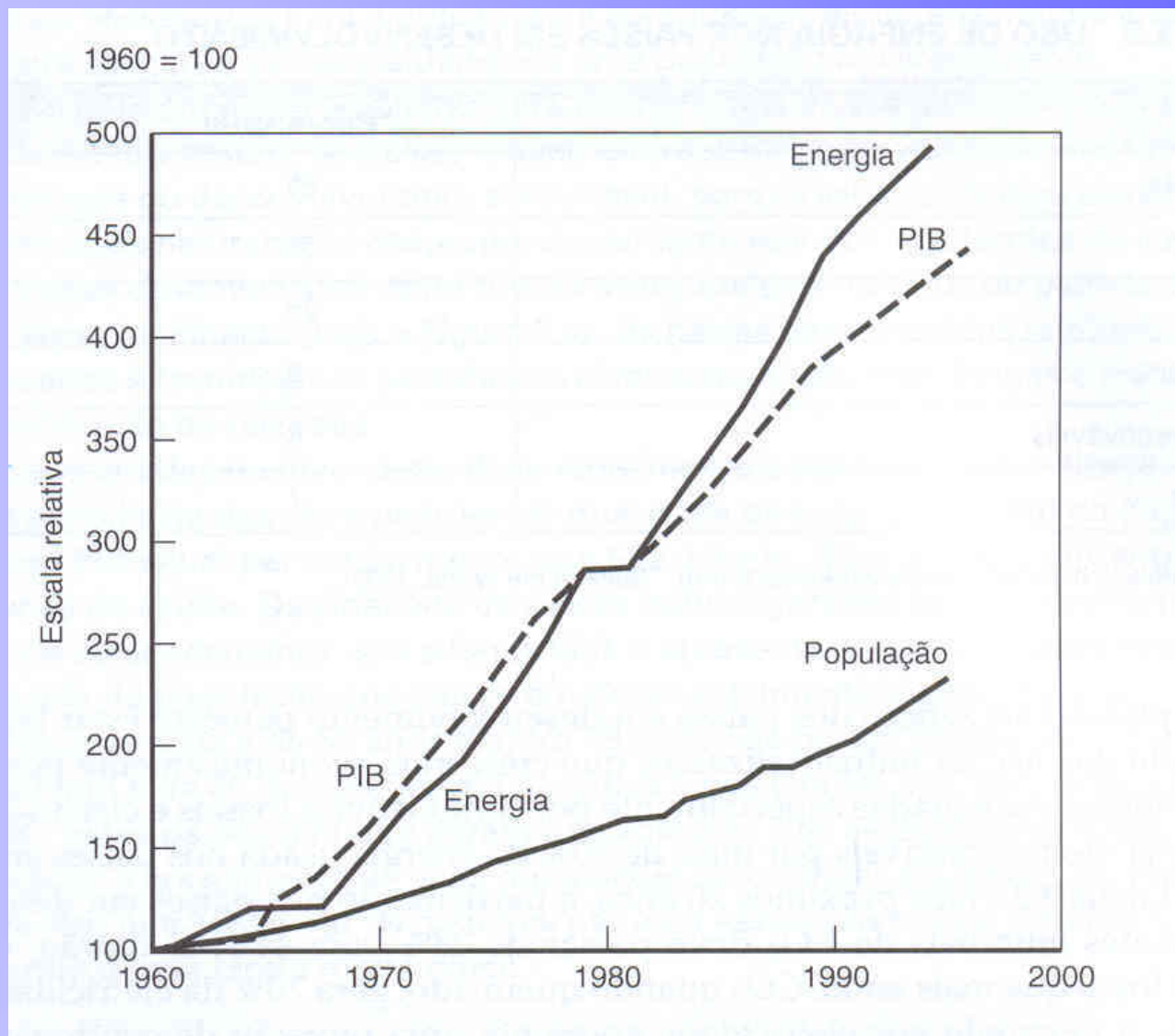
Fonte: *A Energia*, J. L. Bobin, Institut Piaget



Florianópolis 14/03/2008



# CONSUMO DE ENERGIA, PIB E POPULAÇÃO

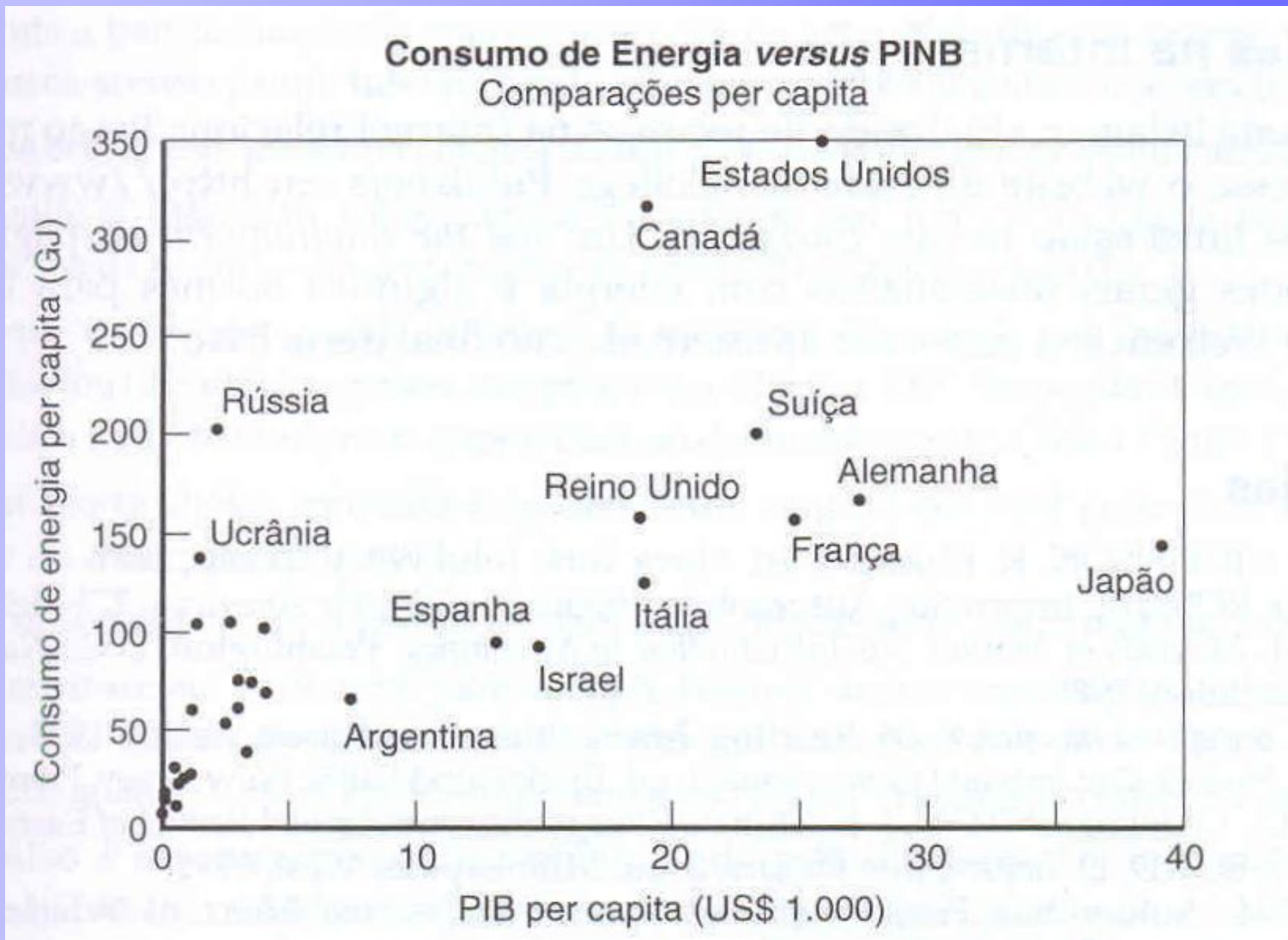


Florianópolis 14/03/2008





# CONSUMO DE ENERGIA VERSUS PIB

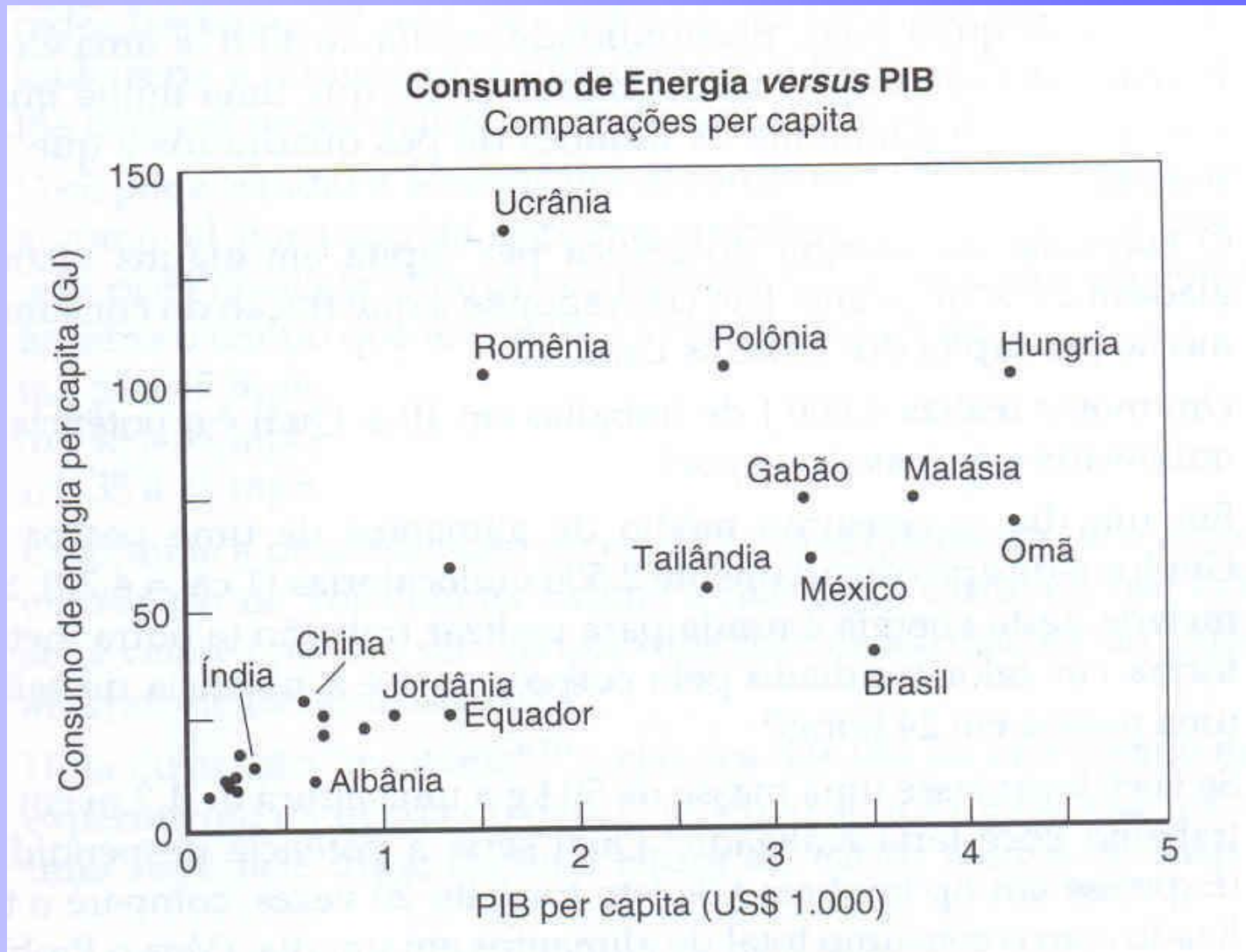


Florianópolis 14/03/2008





# CONSUMO DE ENERGIA VERSUS PIB



Florianópolis 14/03/2008



# NECESSIDADES versus REALIDADE

Quantidade diária de energia (alimentos) necessária à vida:

10 MJ = 2400 kCal

## Disparidades regionais

País ou região	Consumo médio por habitante (tep)
Estados Unidos	5,3
União Européia	2,7
Brasil	1,0
China	0,8
África	0,5
Índia	0,36

tep = 11,7 MWh = 42120 MJ=176 GCal

1,5 bilhão de pessoas, no mundo, ainda não tem acesso à eletricidade.



Florianópolis, março de 2008



O CONCEITO DE ENERGIA  
E  
AS LEIS DA TERMODINÂMICA

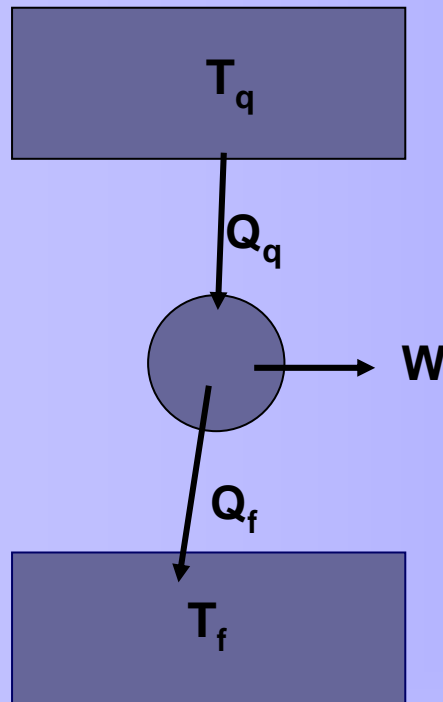


*Florianópolis, 14/03/2008*



# FUNDAMENTOS DE TERMODINÂMICA

## Rendimento de CARNOT (ciclo ideal)



$$\eta_c = \frac{W}{Q_q} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273,15$$



# FUNDAMENTOS DE TERMODINÂMICA

*Conversão de energia elétrica em energia mecânica*

$$1kWh_e = 1kWh_m \quad (\text{Aproximadamente})$$

**Conversão de Energia elétrica em Energia térmica**

$$1kWh_e \longrightarrow 1kWh_t \quad (\text{Conversão possível})$$



# FORMAS DE ENERGIA

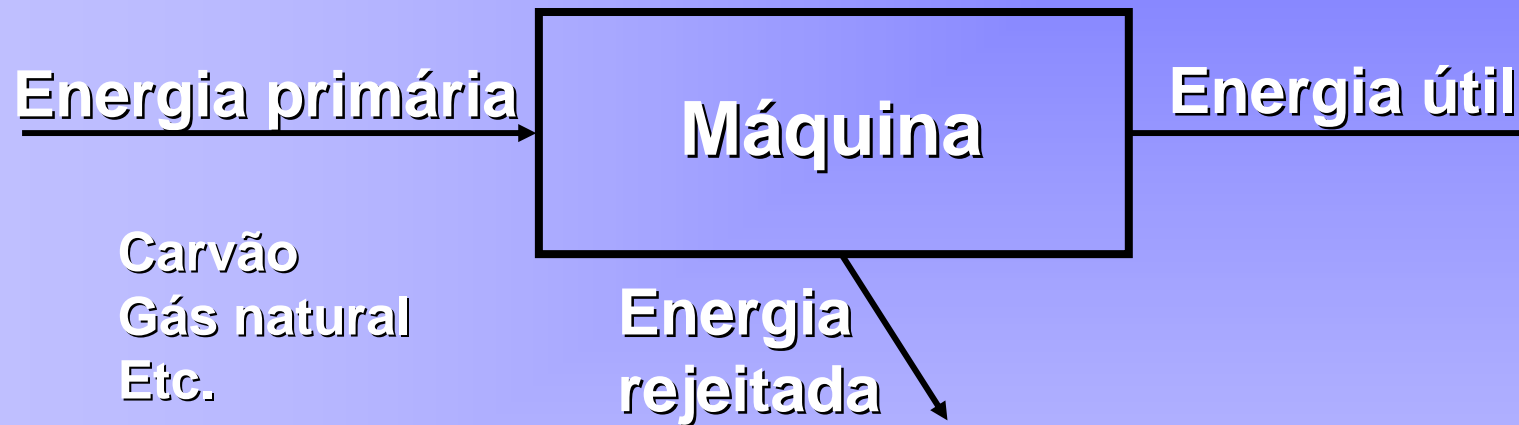
Química  
Nuclear  
Radiante  
Térmica  
Elétrica  
Mecânica (cinética, potencial)

Fontes primárias		Uso final
Química Carvão Óleo combustível Gás natural	C o n v e r s ã o	Aquecimento Iluminação Movimento Eletricidade Processos químicos
Urânio-nuclear Sol-radiante/solar		



# ENERGIA PRIMÁRIA E ENERGIA ÚTIL

## Balanco energético em uma máquina (Conversor)

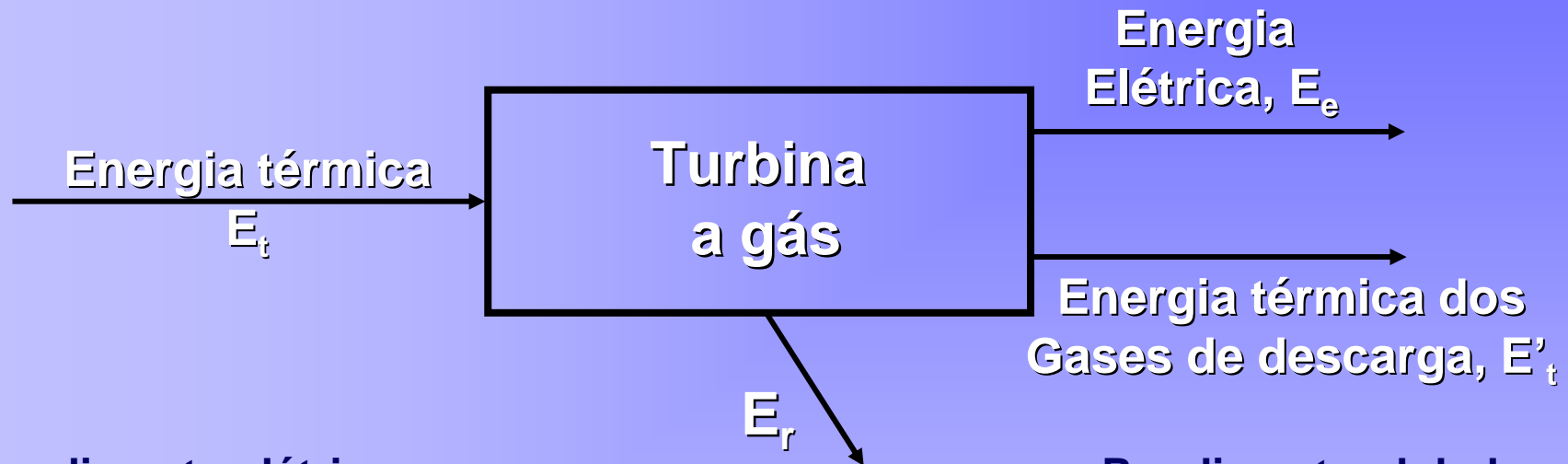


$$E_p = E_r + E_u$$



# CONVERSÃO TERMOELÉTRICA

## Balanco energético em uma turbina a gás



Rendimento elétrico

$$\eta_e = \frac{E_e}{E_t}$$

$$E_t = E_r + E_t' + E_e$$

Rendimento global

$$\eta_g = \frac{E_e + E_t'}{E_t}$$

**Conversão de Energia térmica em Energia elétrica**

**(3 ou mais) kWh<sub>t</sub> → 1 kWh<sub>e</sub>      2a Lei**





# ENERGIA PRIMÁRIA E ENERGIA ÚTIL

<b>Tipo de máquina</b>	<b>Energia primária</b>	<b>Energia útil</b>
Motor de combustão	Térmica (combustível)	Elétrica
Turbina a gás convencional	Térmica (combustível)	Elétrica
Turbina a gás de cogeração	Térmica (combustível)	Elétrica + térmica
Termelétrica a vapor	Térmica (combustível)	Elétrica
Hidrelétrica	Energia potencial da água	Elétrica
Máquina frigorífica de compressão de vapor	Elétrica	Térmica (de refrigeração)
Máquina frigorífica de absorção	Térmica (comb., gases de escape, vapor)	Térmica (de refrigeração)
Célula a combustível	Térmica (hidrogênio)	Elétrica
Bomba termométrica de refrigeração	Elétrica	Térmica (de refrigeração)
Aerogerador	Energia cinética do vento	Elétrica

Fonte: Aguer et al. (2004), "El Ahorro Energético", Ed. Diaz de Santos, Madrid.



Florianópolis, março de 2008



# RENDIMENTOS APROXIMADOS DE ALGUNS CONVERSORES DE ENERGIA

Tipo de máquina ou conversor	Rendimento aproximado (%)
Motor de combustão	30
Turbina a gás	29
Turbina Pelton	33
Célula a combustível	80
Célula fotovoltaica	12
Painel solar fototérmico	70
Motor elétrico	95

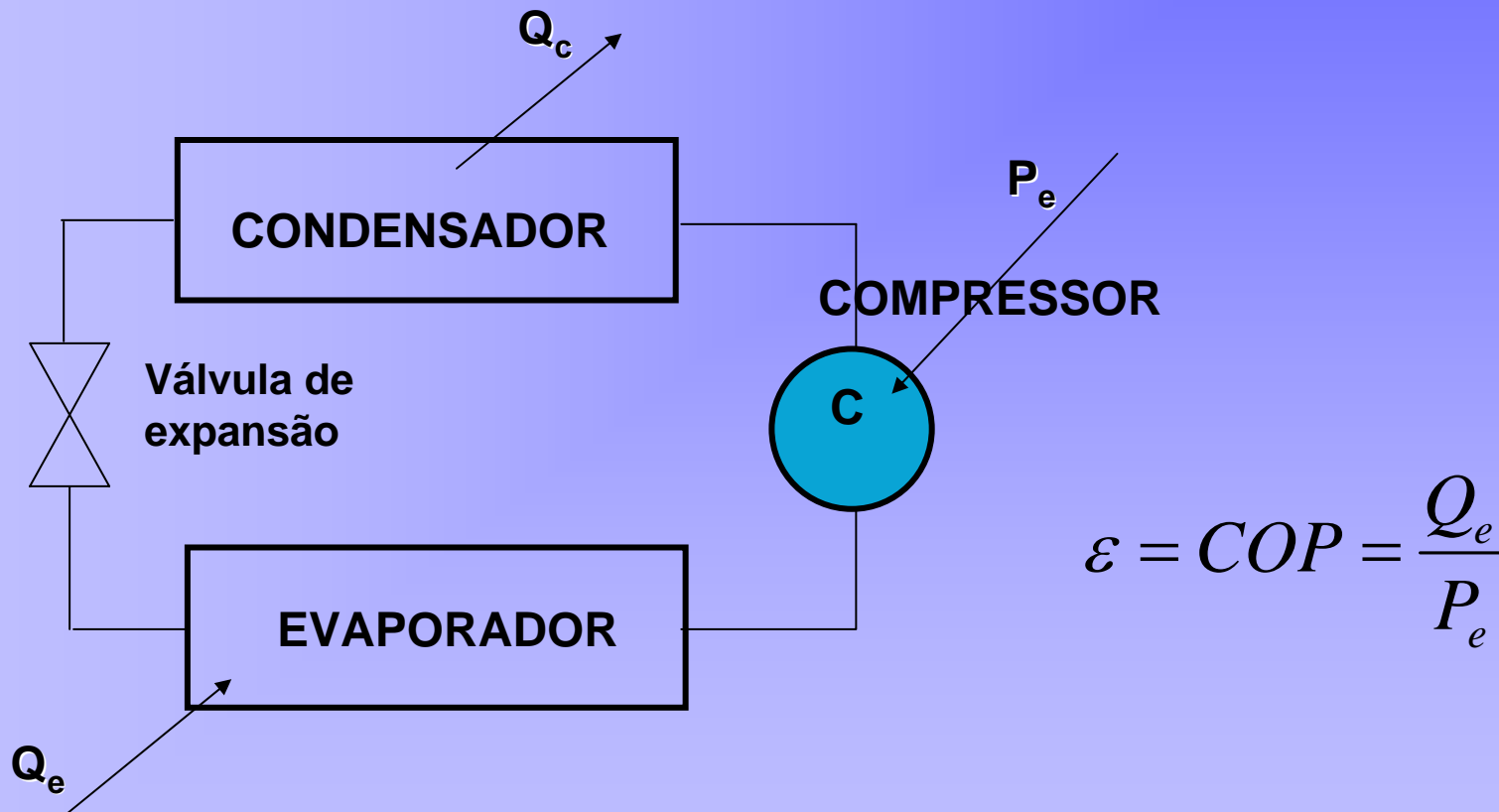
Fonte: Aguer et al. (2004), "El Ahorro Energético", Ed. diaz de Santos, Madri.



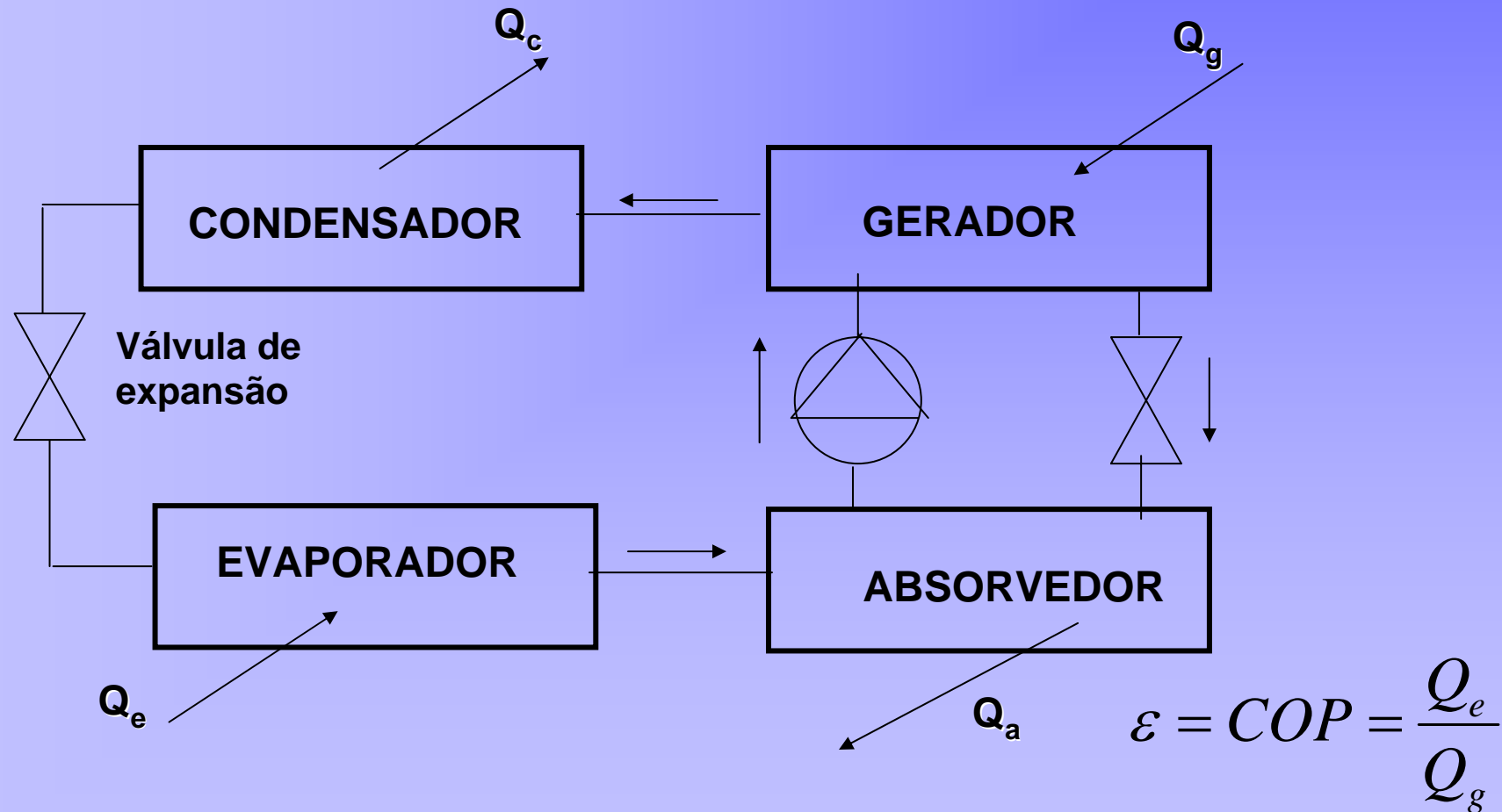
Florianópolis, 14/03/2008



# CICLO SIMPLES DE REFRIGERAÇÃO COM COMPRESSÃO DO VAPOR



# CICLO SIMPLES DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO



Florianópolis, 14/03/2008



# SÍNTESE E PERSPECTIVAS

- É preciso reduzir a emissão de GEE antes de 2050. Para tanto, é preciso reduzir o consumo de energia, especialmente a de origem fóssil, o principal responsável pela emissão GEE.
- 67% da energia primária é consumida para obtê-la ( in B. Dessus)
- A redução no consumo depende basicamente dos hábitos do cidadão.



# REFERÊNCIAS

1. Aguer, M., Jutglar, L., Miranda, A.L., Rufes, P., “El Ahorro Energético: Estudios de Viabilidad Económica”, Ed., Diaz de Santos, Madri, 2004.
2. Pappon, P., “L’Énergie à l’Heure des Choix”, Ed., Belin, Paris, 2007.
3. Hinrichs, R.A., Kleinbach, M., “Energia e Meio Ambiente”, Ed., Thomson, São Paulo, 2004.



*Florianópolis, março de 2008*



# DEVER DE CASA

## 1. Leitura dos artigos:

Texto II.1 Goldenberg ( O caminho até Joanesburgo)

Texto II.2 Benjamin Dessus (A decisão estratégica de economizar)

## 2. Leitura das entrevistas:

2.1 Eng. Otton Silva (Energia Nuclear)

2.2 Eng. Maurício Tolmasquim (Cenários de energia para o Brasil)



*Florianópolis, março de 2008*

