

# Plano Nacional de Energia 2030



## Carvão Mineral

# Plano Nacional de Energia 2030

## *Carvão Mineral*

### Roteiro

Observações Iniciais	1
Carvão Mineral no Mundo	2
Tecnologias para uso do carvão na geração de energia elétrica	3
Carvão Mineral no Brasil	4
Expansão da Geração de Energia Elétrica a partir do Carvão no Brasil	5

# Observações Iniciais

---

## Observações iniciais

### Metodologia de trabalho: reuniões temáticas

- Durante os meses de fevereiro e março de 2006, a EPE promoveu uma série de **reuniões temáticas**, direcionadas para os **estudos da oferta**.
- No dia **14 de março**, no Escritório Central da empresa, teve lugar a que se ocupou do tema **Carvão**.
- Os depoimentos e os esclarecimentos colhidos nessas reuniões fazem parte do material de referência utilizado nos estudos da oferta.
- No caso do Carvão foram especialmente importantes, seja por sua relevância intrínseca, dada a qualificação dos profissionais convidados, seja por sua atualidade.

## Observações iniciais: Referências utilizadas

### Convidados para o tema Carvão

- João Eduardo **Berbigier**, Gerente de Combustíveis da Tractebel Energia S.A.;
- Irineu **Capelletti**, Assessor Especial da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia –MME.
- **Carlos Henrique** Brasil de Carvalho, Assessor Econômico da Assessoria Especial do Gabinete da Ministra-Chefe da Casa Civil da Presidência da República.
- **Ignácio Resende**, Assessor da Presidência da COPELMI Mineração
- José Lourival **Magri**, Gerente de Meio Ambiente da Tractebel.
- Fernando Luis **Zancan**, secretário-executivo do Sindicato das Empresas da Extração de Carvão de Santa Catarina (Siescesc) e pesquisador do Centro de Documentação do Carvão-CEDRIC

### Outras referências importantes no tema

Balanco Energético Nacional, MME: 2004; EPE: 2005  
Anuário Mineral Brasileiro, MME: 2004; DNPM:2005  
World Coal Institute, 2005  
Energy International Agency, 2004; 2005

## Observações iniciais: **Conceitos utilizados**

### **classificação das reservas**

as reservas são classificadas conforme o nível de certeza em medidas (maior certeza), indicadas e inferidas.

**reservas inferidas**

**reservas indicadas**

**reservas  
medidas**

### **reservas totais (recursos)**

soma das reservas medidas, indicadas e inferidas.

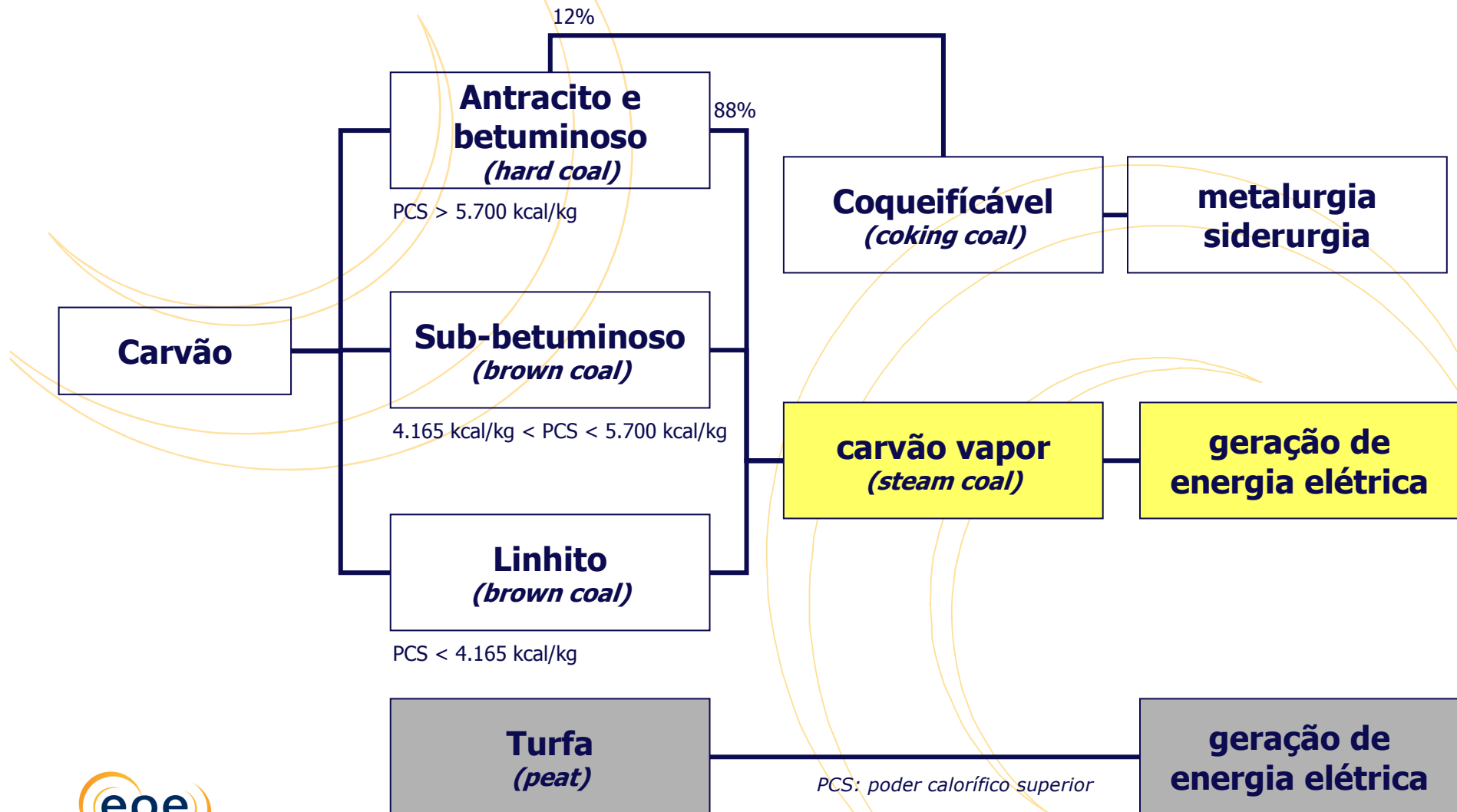
### **reservas provadas**

volume de reservas que os estudos de engenharia e geologia indicam, com razoável certeza, que pode ser recuperado a partir de depósitos conhecidos, dadas as condições atuais de operacionalidade e economicidade.

### **razão R/P**

período de tempo (anos) que as reservas remanescentes poderiam atender a um dado nível contínuo de produção.

## Observações iniciais: Tipos de carvão e principais usos



# Carvão Mineral no Mundo

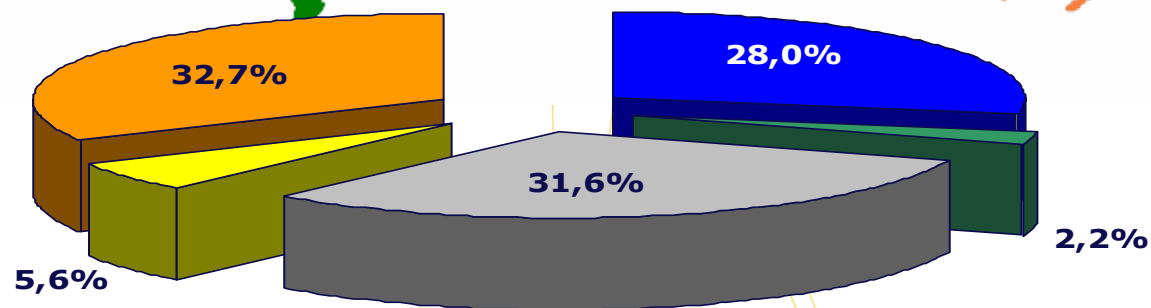
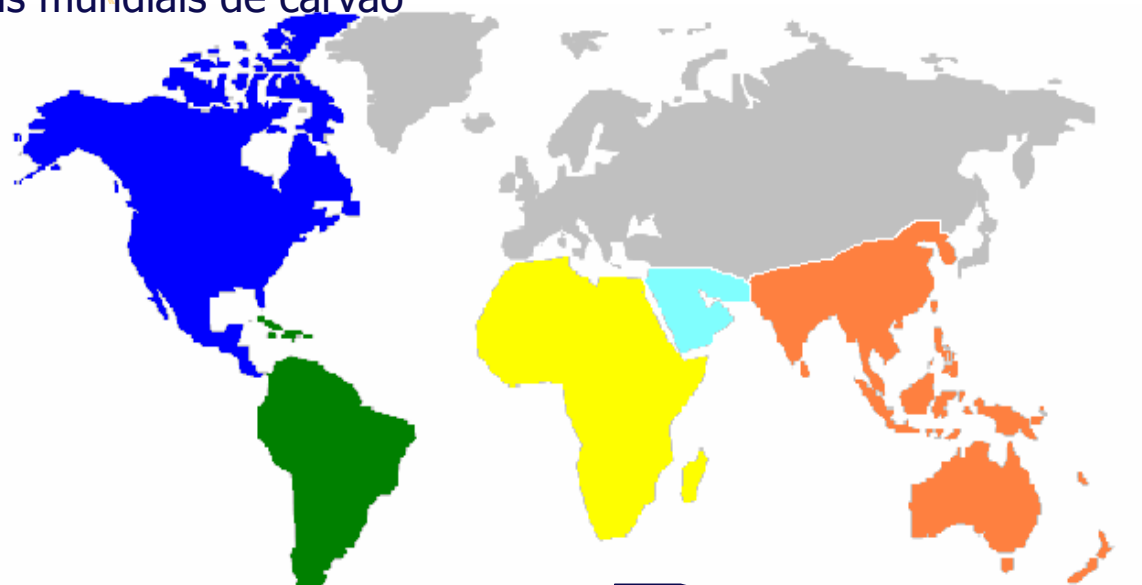
---





## Carvão Mineral no Mundo: Reservas Provadas - 2004

- Ásia e Oceania, Eurásia e América do Norte concentram mais de 90% das reservas mundiais de carvão



■ América do Norte      ■ América do Sul      ■ Europa & Ásia  
■ África & Oriente Médio      ■ Ásia & Oceania

Fonte: BP, 2005

## Carvão Mineral no Mundo: Reservas Provadas - 2004



- 10 países (Brasil é o 10º) detinham 91% das reservas provadas de carvão em 2004
- 52% das reservas provadas [2004] são de antracito e carvão betuminoso

Região País	Antracito & betuminoso	Sub-betuminoso e linhito	TOTAL	Part.	R/P (anos)
<b>América do Norte</b>	<b>115,7</b>	<b>138,8</b>	<b>254,5</b>	<b>28,0%</b>	<b>235</b>
Estados Unidos	111,3	135,3	246,6	27,1%	245
<b>América do Sul</b>	<b>7,7</b>	<b>12,2</b>	<b>19,9</b>	<b>2,2%</b>	<b>290</b>
Brasil	-	10,1	10,1	1,1%	> 500
Colômbia	6,2	0,4	6,6	0,7%	120
<b>Europa &amp; Eurásia</b>	<b>112,3</b>	<b>174,8</b>	<b>287,1</b>	<b>31,6%</b>	<b>242</b>
Rússia	49,1	107,9	157,0	17,3%	> 500
Ucrânia	16,3	17,9	34,2	3,8%	424
Casaquistão	28,2	3,1	31,3	3,4%	360
Polônia	14,0	-	14,0	1,5%	87
<b>África &amp; Oriente Médio</b>	<b>50,6</b>	<b>0,2</b>	<b>50,8</b>	<b>5,6%</b>	<b>204</b>
África do Sul	48,8	-	48,8	5,4%	201
<b>Ásia &amp; Oceania</b>	<b>192,3</b>	<b>104,3</b>	<b>296,9</b>	<b>32,7%</b>	<b>101</b>
China	62,2	52,3	114,5	12,6%	59
Índia	90,1	2,4	92,5	10,2%	229
Austrália	38,6	39,9	78,5	8,6%	215
<b>MUNDO</b>	<b>478,8</b>	<b>430,3</b>	<b>909,1</b>	<b>100%</b>	<b>164</b>

Unidade: bilhões de toneladas

Fonte: BP, 2005

## Carvão Mineral no Mundo: Propriedades de alguns carvões

- Existem tipos muito diferenciados de carvão no mundo. O preço do carvão depende muito do poder calorífico e do teor de enxofre

- Mundo*

	Austrália	África do Sul	Colômbia	EUA (Ohio)
Poder Calorífico (kcal/kg)	5.370	6.760	7.000-8.000	6.378-7.728
Umidade (%)	6,9	4,3	2,0-7,0	nd
Voláteis (%)	24,8	35,3	34,0-39,0	38,1
Carbono (%)	44,3	50,3	nd	64,2-77,4
Cinzas (%)	24,0	10,1	1,0 - 6,0	7,5-19,8
Enxofre (%)	0,35	0,70	0,35 - 1,0	1,0-2,5

- Brasil (carvão bruto)*

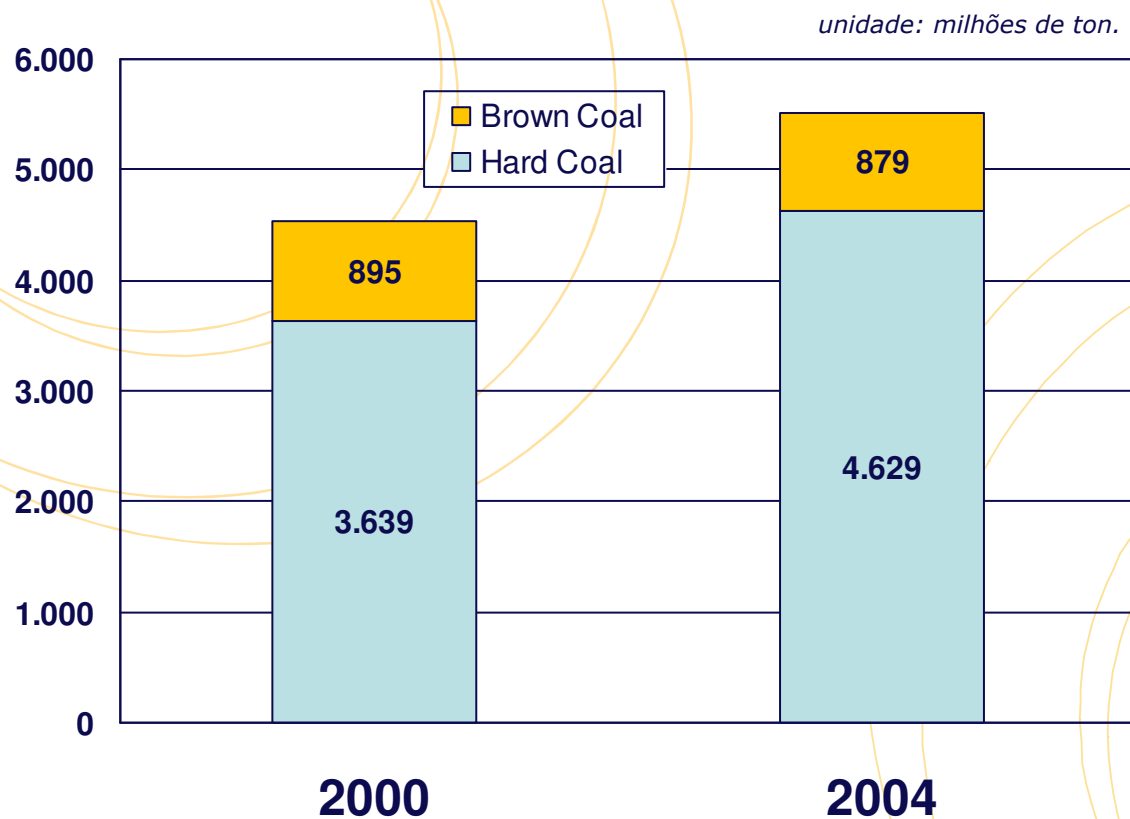
	PCS Kcal/kg	Carbono (%)	Cinzas (%)	Enxofre (%)
<b>Paraná</b>	<b>4.850</b>	<b>30</b>	<b>44</b>	<b>7,0</b>
<b>Sta. Catarina</b>	<b>2.750</b>	<b>21-26</b>	<b>58-62</b>	<b>4,3-4,7</b>
<b>Candiota</b>	<b>3.200</b>	<b>23</b>	<b>52</b>	<b>1,6</b>
<b>Outros RS</b>	<b>3.000-4.500</b>	<b>23-30</b>	<b>40-55</b>	<b>0,5-2,5</b>

PCS: poder calorífico superior

Fontes: WCI, CPRM

## Carvão Mineral no Mundo: Produção/Consumo - 2004

- 84% do carvão produzido/consumido no mundo é do tipo "hard coal"



- Maiores produtores [2004]  
"hard coal"

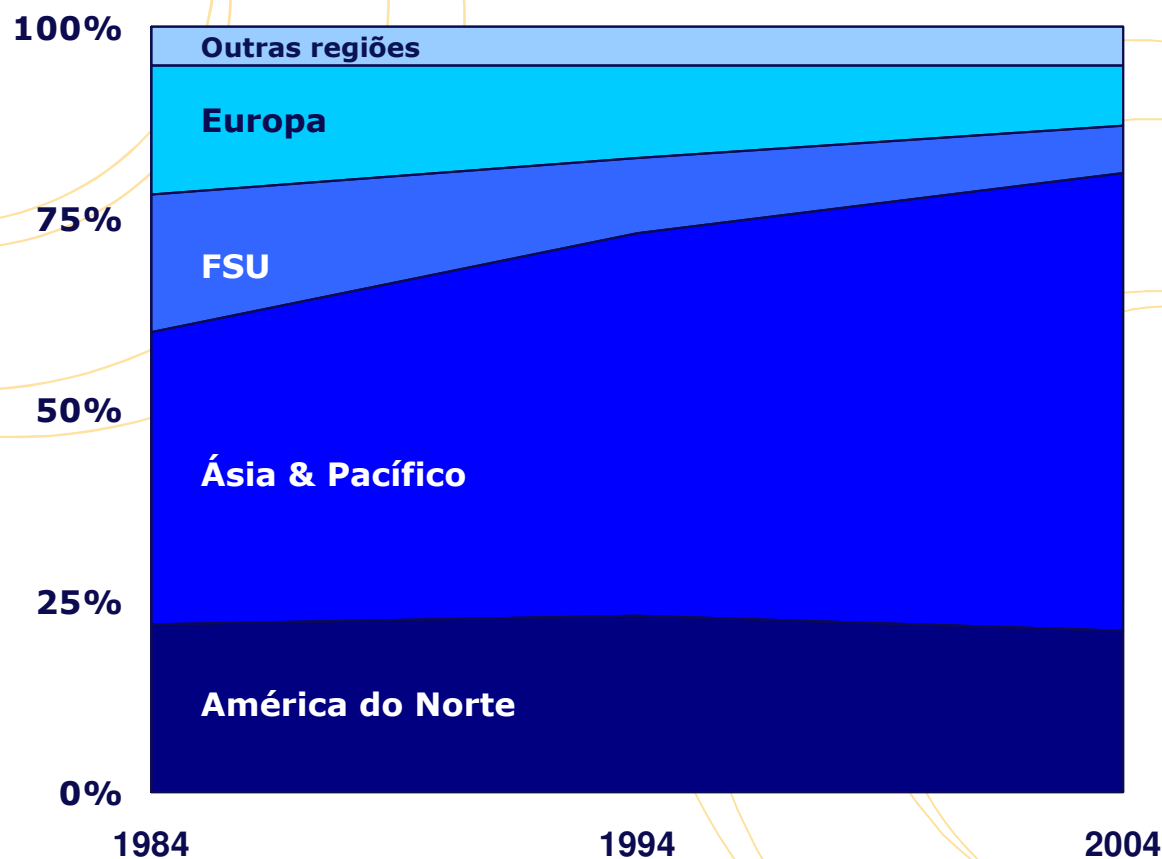
Unidade: 10<sup>6</sup> t

País	Produção (10 <sup>6</sup> t)	Porcentagem (%)
China	1.956	42,3%
EUA	933	20,2%
Índia	373	8,1%
Austrália	285	6,2%
África do Sul	238	5,1%
Rússia	210	4,5%
Indonésia	129	2,8%
Polônia	100	2,2%
Casaquistão	83	1,8%
Ucrânia	62	1,3%
<b>TOTAL</b>	<b>4.369</b>	<b>94,4%</b>

- Menos de 12% da produção mundial de "hard coal" (545 x 10<sup>6</sup> t) é utilizada pela siderurgia, embora mais de 2/3 da produção mundial de aço seja dependente do carvão.

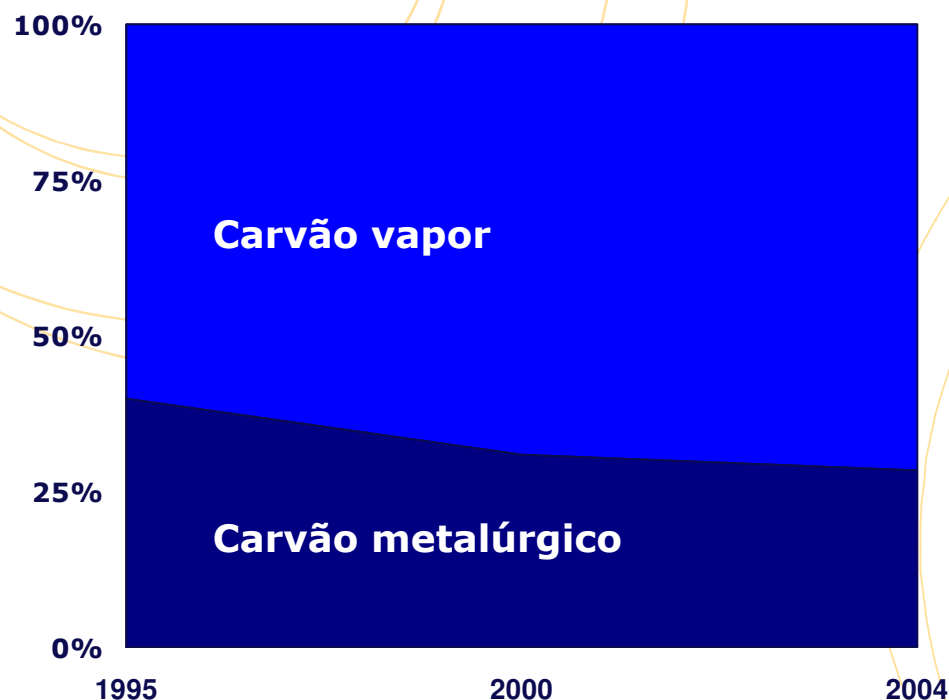
## Carvão Mineral no Mundo: Consumo - 2004

- Nos últimos 20 anos, China e Índia comandaram o crescimento do consumo de carvão ("hard coal") no mundo: Ásia e Pacífico respondiam por 38% do consumo mundial em 1984; hoje [2004], respondem por 60%.



## Carvão Mineral no Mundo: Comércio - 2004

- Em 2004, mais de 70% do comércio mundial de carvão ( $755 \times 10^6$  t) referiu-se ao carvão-vapor ("*steam coal*"); em 1995, essa proporção era de 40%.



- Em 2004, mais de 89% do comércio mundial de carvão ( $674 \times 10^6$  t) se fez por via marítima, sendo que 72% referiram-se ao carvão-vapor "*steam coal*".

	Steam	Coking
<b>Atlântico</b>	<b>31%</b>	<b>10%</b>
<b>Pacífico</b>	<b>41%</b>	<b>18%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>72%</b>	<b>28%</b>

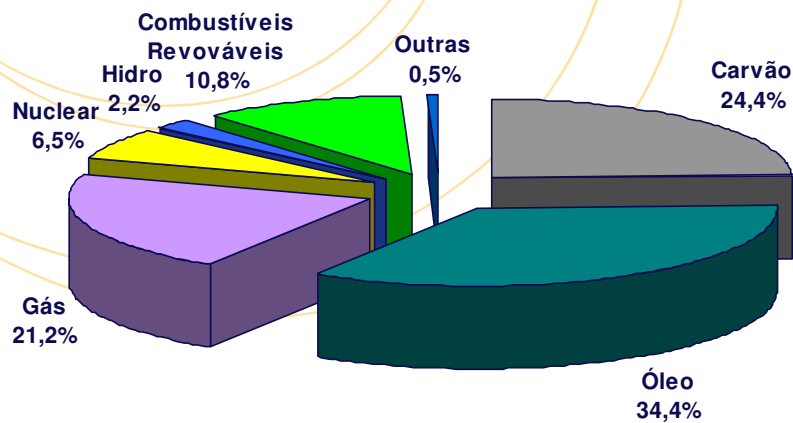
- Maiores exportadores [2004]

10 <sup>6</sup> t	TOTAL	Steam	Coking
<b>Austrália</b>	<b>219</b>	<b>107</b>	<b>112</b>
<b>Indonésia</b>	<b>107</b>	<b>90</b>	<b>17</b>
<b>China</b>	<b>86</b>	<b>80</b>	<b>6</b>
<b>África do Sul</b>	<b>67</b>	<b>64</b>	<b>3</b>
<b>Rússia</b>	<b>65</b>	<b>51</b>	<b>14</b>
<b>Colômbia</b>	<b>52</b>	<b>51</b>	<b>1</b>
<b>EUA</b>	<b>43</b>	<b>19</b>	<b>24</b>
<b>Canadá</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>26</b>
<b>Cazaquistão</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>0</b>

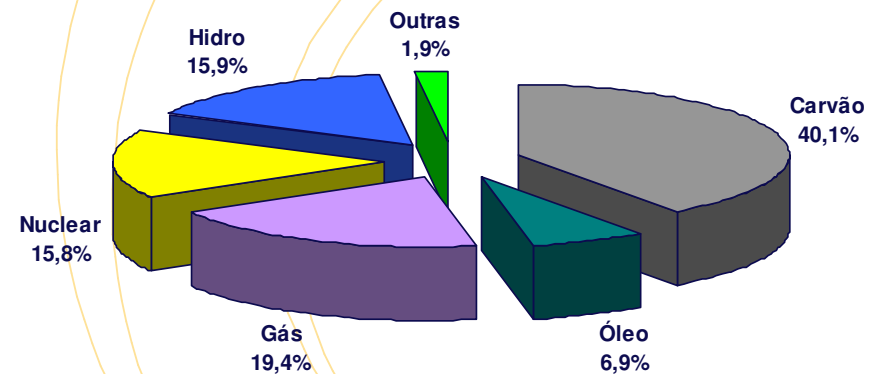
## Carvão Mineral no Mundo: Participação do carvão como fonte de energia

- Em 2003, o carvão respondeu por 24,4% da oferta mundial de energia primária e manteve-se como o principal combustível para geração de energia elétrica (40,1% da geração mundial provêm de térmicas a carvão)

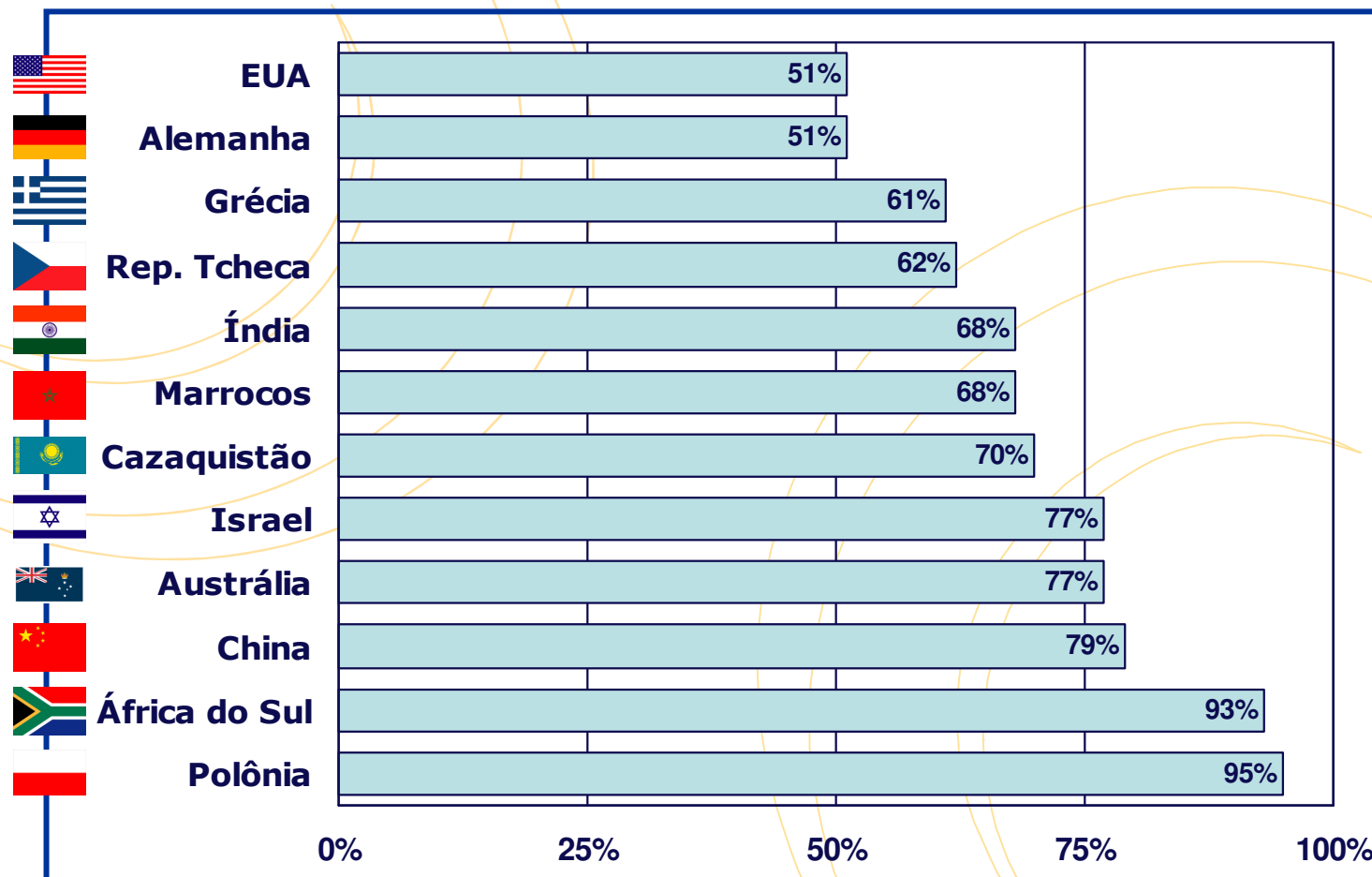
Oferta de Energia Primária no Mundo - 2003



Geração de Energia Elétrica no Mundo - 2003



## Carvão Mineral no Mundo: Dependência do carvão na geração de energia elétrica



Dados de 2003  
 Fonte: World Coal Institute



# Tecnologias para uso do carvão na geração de energia elétrica

---

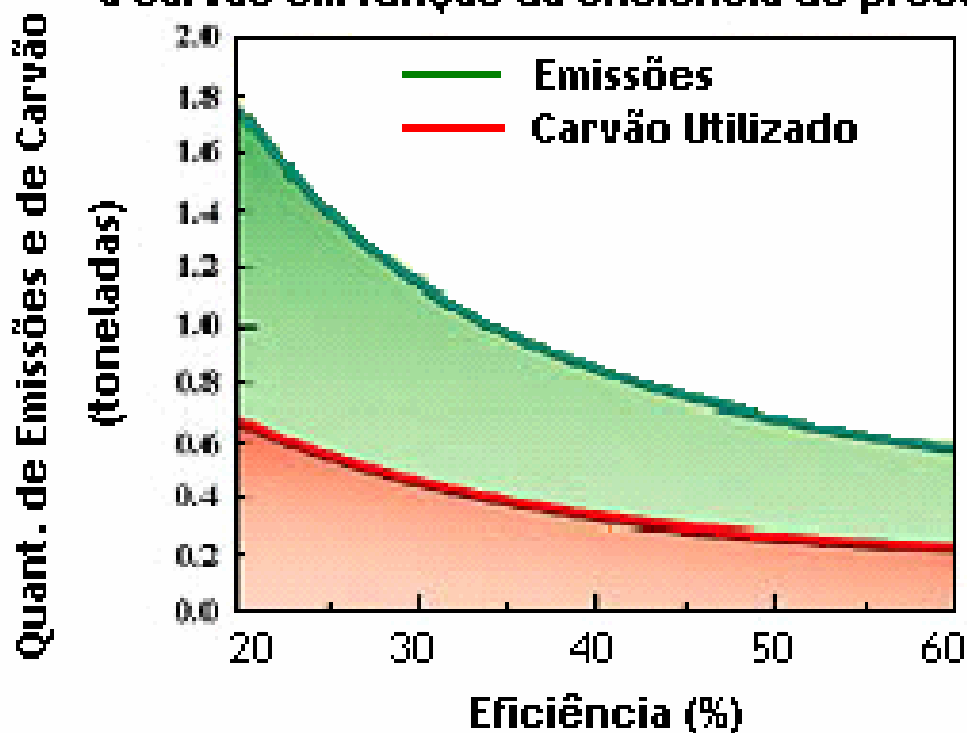


*Usina de Polk Power, da Tampa Electric, na  
Flórida (EUA)*

## Tecnologias para Geração de Energia Elétrica: Clean Coal Technologies

- Os avanços tecnológicos têm buscando aumentar a eficiência na geração e a aceitabilidade ambiental da geração a carvão, considerando extração, preparo e uso – *clean coal technologies (CCT)*

**Emissões de CO<sub>2</sub> por MWh produzido pela geração a carvão em função da eficiência do processo**



## Tecnologias para Geração de Energia Elétrica: **Tecnologias disponíveis**

- Existem três tecnologias demonstradas: combustão pulverizada, combustão em leito fluidizado e gaseificação integrada com ciclo combinado

### **Combustão Pulverizada (PC)**

- **Comercialmente disponível**
- **Tecnologia de maior difusão mundial (é utilizada nas térmicas brasileiras existentes)**
- **Em geral, são usinas de ciclo simples, com baixa eficiência (33%)**
- **Começam a operar primeiras unidades com ciclo de vapor supercrítico (eficiência de 44%) e ultra-supercrítico (eficiência de 50%)**
- **Necessidade de equipamentos adicionais para controle de emissões de SOx e NOx e de material particulado**

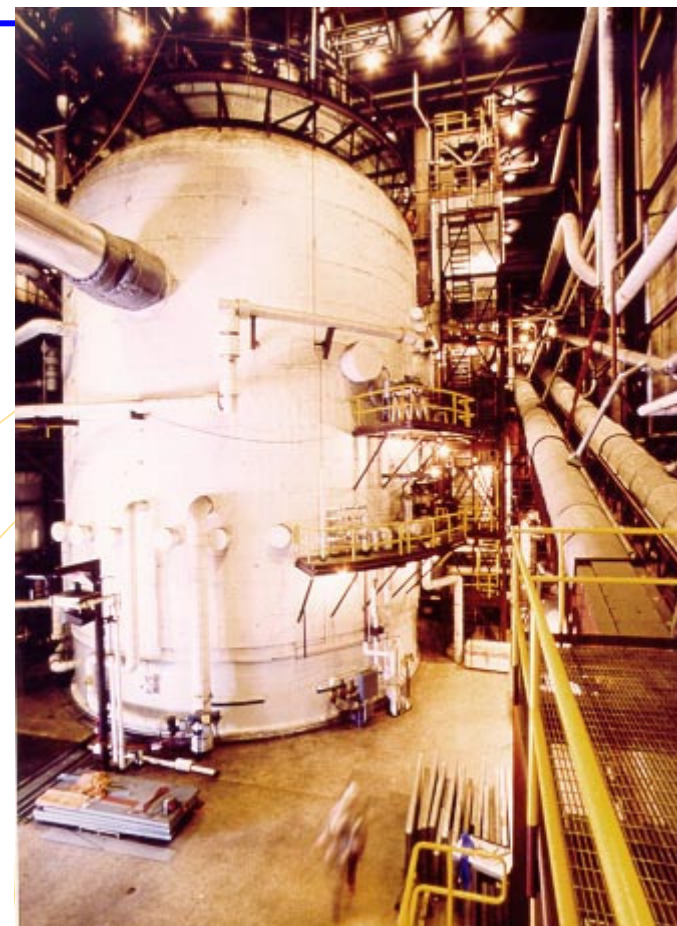


Usina de Herne, na Alemanha.

## Tecnologias para Geração de Energia Elétrica: **Tecnologias disponíveis**

### **Combustão em Leito Fluidizado (FBC)**

- **Comercialmente disponível**
- **Permite o uso de carvões de baixa qualidade (menor poder calorífico)**
- **Em geral, são usinas de ciclo simples, porém com eficiência entre 40 e 44%**
- **Permite a captura de enxofre e material particulado, reduzindo emissão de poluentes e a necessidade de equipamentos adicionais para controle de emissões**
- **Com sistemas pressurizados (PFBC) pode funcionar em ciclo combinado com turbinas a gás**
- **As atuais unidades de demonstração de PFBC têm, todas, cerca de 80 MW.**
- **Duas grandes unidades iniciaram operação no Japão, em Karita e Osaki, com potência de 360 e 250 MW, respectivamente. O tamanho dessas unidade é limitado pelas turbinas a gás.**



Boiler em leito fluidizado pressurizado contruído pela The Ohio Power Company próximo à cidade de Brilliant, Ohio, em cooperação com o U.S. Department of Energy.

## Tecnologias para Geração de Energia Elétrica: **Tecnologias disponíveis**

### **Gaseificação Integrada com Ciclo Combinado (IGCC)**



Usina de Polk Power, da Tampa Electric, na Flórida (EUA)

- Tecnologia nova, considerada a tendência das *clean coal technologies*.
- Todas as atuais usinas com a tecnologia IGCC são ainda subsidiadas. As usinas europeias são parte do Programa Thermie. Nos Estados Unidos, o U.S. DoE suporta parte dos custos de projeto e construção e também da operação inicial.
- Algumas unidades de demonstração, de cerca de 250 MW, estão em operação na Europa e nos Estados Unidos.

*A Usina de Buggenum, de 235 MW, na Holanda, iniciou sua operação em 1993. Há três usinas nos EUA: Wabash River (Indiana); Polk Power (Tampa, Florida) e Piñon Pine (Nevada). A maior usina em operação é a de Pertollano, na Espanha, com 330 MW.*

- São usinas de ciclo combinado com eficiência mínima de 45%, podendo chegar a 52%.
- A tecnologia permite redução de emissões de CO<sub>2</sub>.

## Tecnologias para Geração de Energia Elétrica: Tecnologias disponíveis

### Síntese do estado da arte das tecnologias de combustão eficiente do carvão

Tecnologia	Situação	Eficiência de conversão	Custo de capital (US\$/kW)	Redução nas emissões %	
				SOx	NOx
<b>Combustão Pulverizada</b>	Comercial	38-47%	1300-1500	-	-
<b>Combustão em Leito Fluidizado</b>					
Pressão atmosférica	Com./Dem.	34-37%	1450-1700	90-95	60
Circulação (*)	Com./Dem.	37-39%	1450-1700	90-95	60
Pressurização (*)	Demonstrado	42-45%	1450-1700	98-99	70
<b>Gaseificação Integrada</b>					
Com ciclo combinado	Demonstrado	45-48%	1450-1700	92-99	98-99
Com célula combustível	P&D	40-60%	1700-1900	85-95	92
<b>Combustão Direta</b>					
Turbina	P&D	35-45%	1200	85-95	70-80
Diesel	P&D	35-40%	500-1000	80	50

*Redução nas emissões relativamente à tecnologia de combustão pulverizada*

Fonte: AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA – AIE. "Energy technologies for the 21st Century". Paris, 1997.

Disponível em: [www.iea.org/techno/index.htm](http://www.iea.org/techno/index.htm).

(\*) Vapores sub e supercríticos

# Carvão Mineral no Brasil

---



*Mineração de carvão a céu aberto.  
Local: Mina do Recreio, Butiá - Leão, RS*

## Carvão Mineral Brasil: Reservas

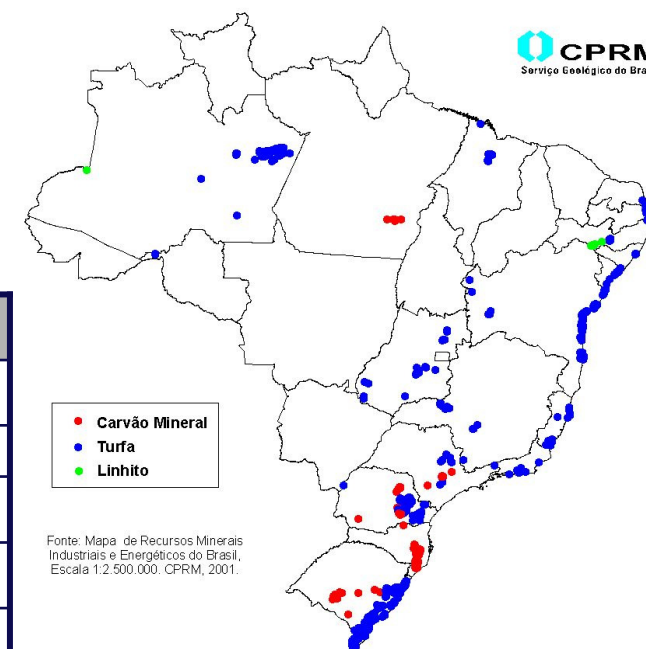
Reservas totais de carvão: 23.955,3 x 10<sup>6</sup> t



Estado	Medida	Indicada	Inferida	TOTAL	%
Maranhão	1,1	1,7	-	2,8	-
Paraná	4,6	-	-	4,6	-
São Paulo	3,0	1,8	1,4	6,2	-
Santa Catarina	1.424,8	601,5	217,2	2.243,5	9,4%
Rio Grande do Sul	5.280,8	10.100,3	6.317,1	21.698,2	90,6%
<b>TOTAL</b>	<b>6.714,3</b>	<b>10.705,3</b>	<b>6.535,7</b>	<b>23.955,3</b>	<b>100%</b>

Obs: As reservas de economicidade comprovada não superam 1 bilhão de toneladas.  
 Fonte: DNPM

### Principais ocorrências

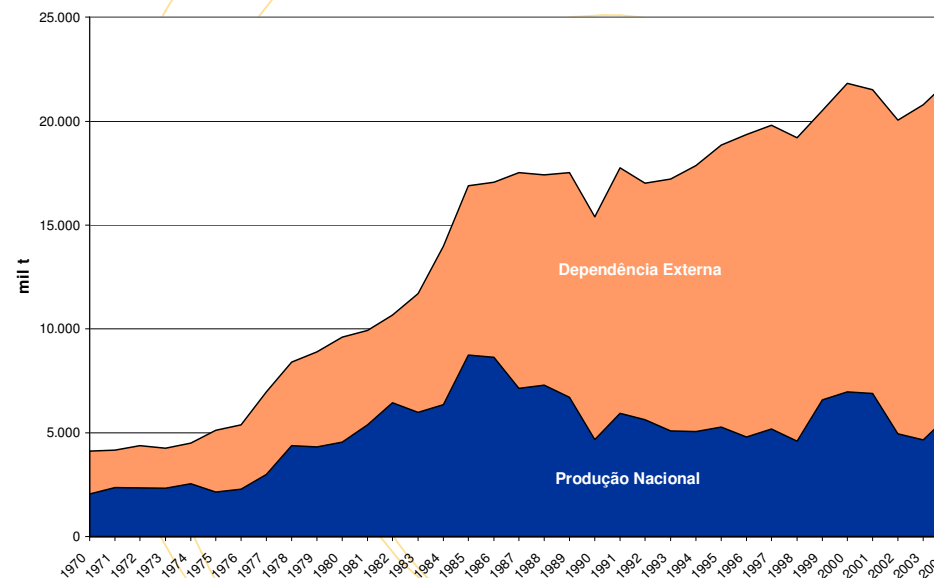


Fonte: Mapa de Recursos Minerais Industriais e Energéticos do Brasil, Escala 1:2.500.000. CPRM, 2001.



## Carvão Mineral Brasil: Produção/Consumo

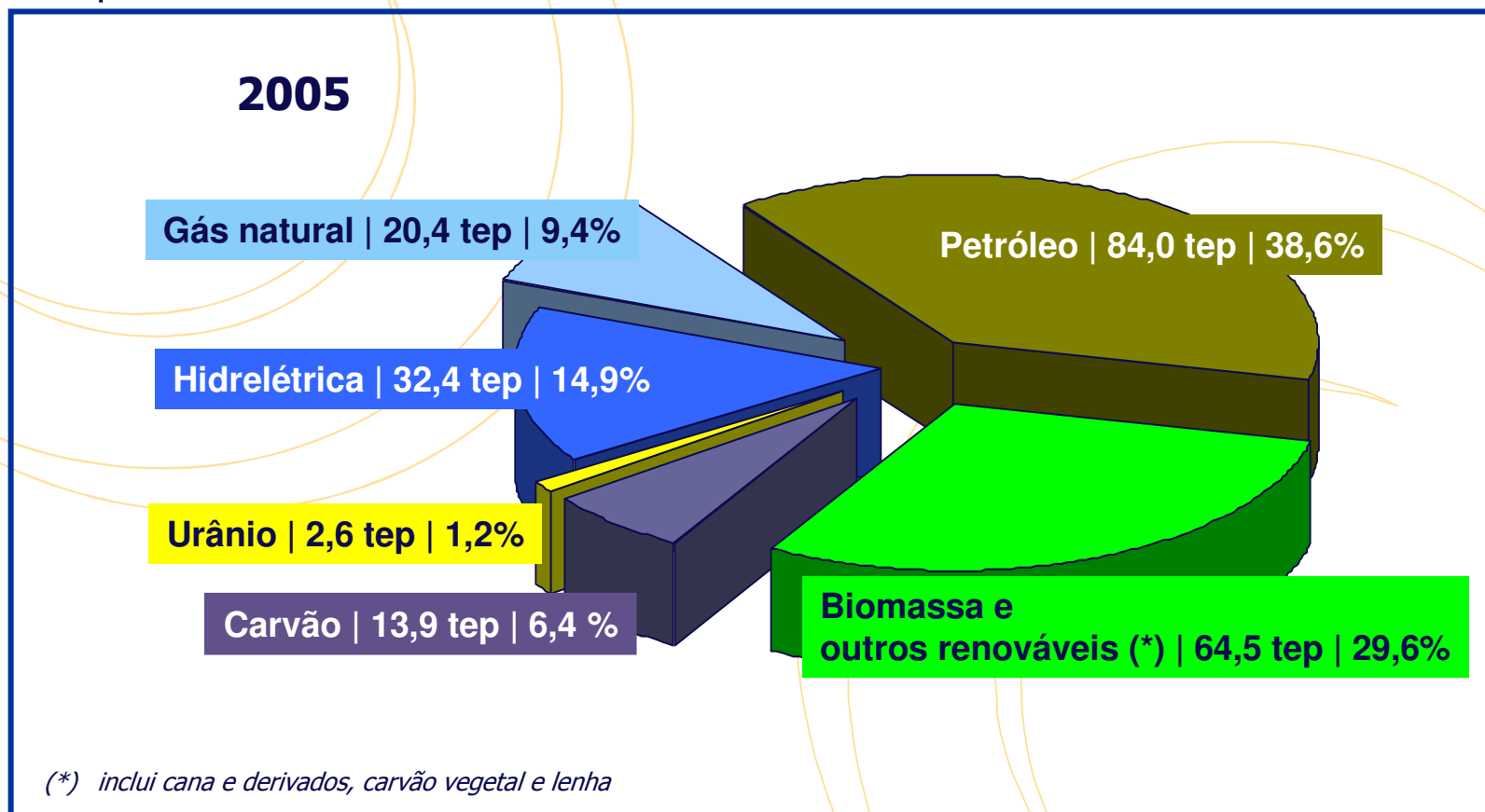
- Em 2004, a produção de carvão mineral nacional beneficiado ( $5,4 \times 10^6$  t) correspondeu a 46% da produção bruta ( $11,7 \times 10^6$  t)
- 93% do carvão nacional beneficiado destinou-se à geração de energia elétrica
- Santa Catarina e Rio Grande do Sul consumiram 50,1% e 47,3% da produção nacional de carvão mineral beneficiado, respectivamente
- A produção nacional de carvão correspondeu a 22% do consumo total doméstico nacional ( $23,8 \times 10^6$  t)
- O Brasil importou  $18,5 \times 10^6$  t destinadas basicamente à siderurgia



Fonte: DNPM (Anuário Mineral Brasileiro: 2005)

## Carvão Mineral Brasil: Oferta Interna de Energia

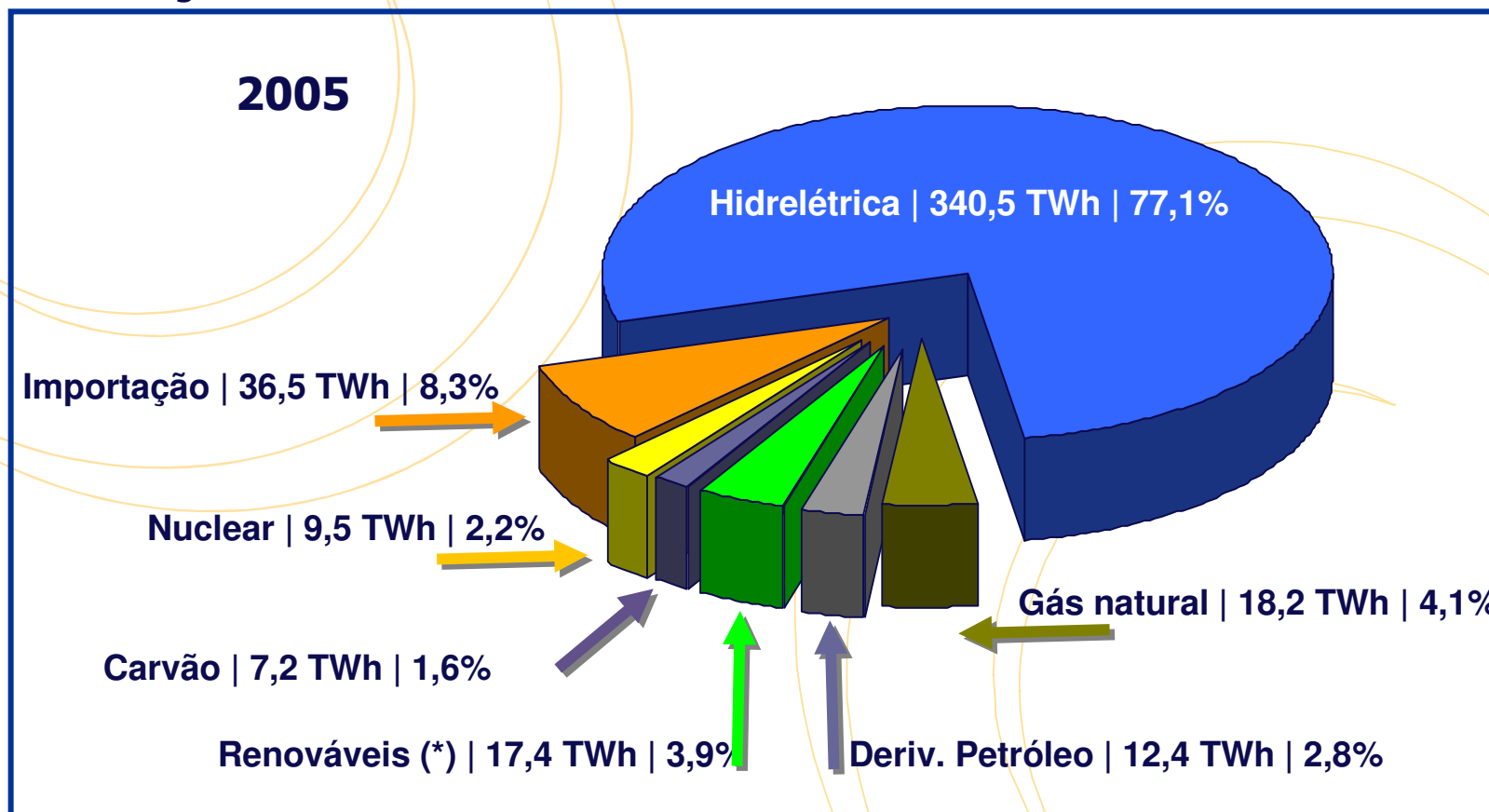
- Em 2005, o carvão mineral representou 6,4% da oferta nacional de energia primária



Fonte: Balanço Energético Nacional, 2005

## Carvão Mineral Brasil: Oferta Interna de Eletricidade

- Em 2005, o carvão mineral representou apenas 1,6% da oferta nacional de energia elétrica



## Carvão Mineral Brasil: Usinas em Operação - 2006

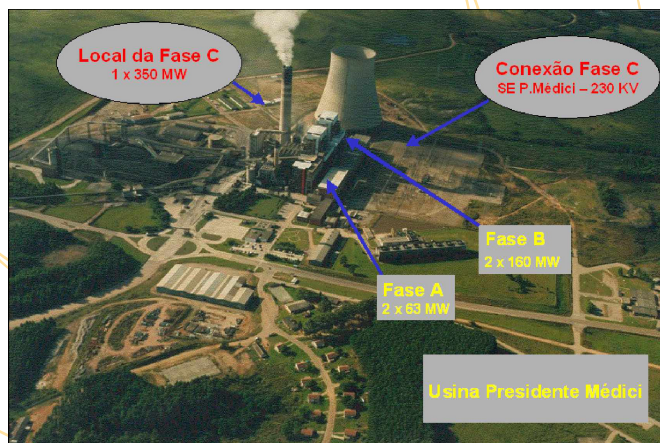
- Há em operação no Brasil 7 usinas térmicas a carvão, totalizando 1.415 MW de potência instalada, todas utilizando a tecnologia de carvão pulverizado (PC)

Usina	Potência (MW)	Proprietários	Município
Charqueadas	72	Tractebel Energia S/A	Charqueadas - RS
Figueira	20	Copel Geração S/A	Figueira - PR
Jorge Lacerda I e II	232	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo - SC
Pres. Médici A/B	446	CGTEE	Candiota - RS
São Jerônimo	20	CGTEE	São Jerônimo - RS
Jorge Lacerda III	262	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo - SC
Jorge Lacerda IV	363	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo - SC
<b>Total</b>	<b>1.415</b>		

Fonte: Aneel (Banco de Informações de Geração)

## Carvão Mineral Brasil: Novos projetos de geração de energia elétrica

### USINA PRESIDENTE MÉDICI FASE C (CANDIOTA III)



Fonte: CGTEE

**Capacidade Instalada 350 MW**

<b>Localização</b>	Município de Candiota, Rio Grande do Sul
<b>Combustível</b>	Carvão mineral da jazida de Candiota
<b>Consumo de Carvão</b>	1.085 kg/MWh
<b>Tecnologia</b>	Combustão pulverizada
<b>Início de Operação</b>	01/01/2010
<b>Limpeza de Gases</b>	Equipamentos de controle de emissões atmosféricas
<b>Investimento Global</b>	US\$ 427,9 milhões (contrato de EPC: US\$ 330,9 milhões)

### USINA JACUÍ

**Capacidade Instalada 350 MW**

<b>Localização</b>	Município de Charqueadas, Rio Grande do Sul
<b>Combustível</b>	Carvão mineral da mina de Leão 2
<b>Tecnologia</b>	Combustão pulverizada
<b>Início de operação</b>	01/01/2009
<b>Limpeza de Gases</b>	Equipamentos de controle de emissões atmosféricas
<b>Investimento Global</b>	US\$ 500 milhões

## Carvão Mineral Brasil: Novos projetos de geração de energia elétrica

### USINA TERMELÉTRICA SUL CATARINENSE - USITESC



Fonte: Carbonífera Metropolitana

**Capacidade Instalada 440 MW**

Localização	Município de Treviso, SC
Combustível	Carvão bruto (ROM) + rejeitos (70:30)
Consumo de Carvão	1.085 kg/MWh
Tecnologia	Combustão em Leito Fluidizado Circulante
Limpeza de Gases	Adição de calcário à combustão e utilização de lavadores de gases com amônia líquida
Investimento Global	US\$ 600 milhões



### USINA SEIVAL

**Capacidade Instalada 500 MW**

Localização	Município de Candiota, RS
Combustível	Carvão mineral de Candiota
Consumo de Carvão	cerca de 1.000 kg/MWh
Tecnologia	Combustão pulverizada
Limpeza de Gases	Equipamentos de controle de emissões atmosféricas
Investimento Global	US\$ 800 milhões

# Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil

---



*UTE P. Médici*

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: Aspectos relevantes

### Elementos chave

- **Reservas**
- **Tecnologia & Meio Ambiente**
- **Custo do Combustível**
- **Competitividade**



## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: **Potencial**

- Considerando apenas as reservas medidas de carvão nacional, há um potencial teórico para instalação de 28.000 MW em novas usinas, operando com 60% de fator de capacidade médio por 25 anos

Vida útil

25 anos

Rendimento

33%

Consumo específico

815 kg/MWh

Fator de capacidade

60%

PCS médio do carvão

3.200 kcal/kg

Consumo usinas existentes

$166,2 \times 10^6$  t

Consumo usinas em projeto

$198,9 \times 10^6$  t

**Potencial de novas usinas**

**28.000 MW**

*(considerando somente reservas medidas e recuperação de 50% no beneficiamento)*

*PCS: poder calorífico superior*

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: Tecnologia & Meio Ambiente

### Emissões de CO<sub>2</sub>

O nível de emissões de CO<sub>2</sub> na geração de energia elétrica a carvão é função do tipo de combustível mas, principalmente, da eficiência da usina (tecnologia).

De acordo com o *World Coal Institute*, usinas térmicas a carvão emitem, em média:

- Eficiência de 33%: 0,97 t CO<sub>2</sub>/MWh gerado (estágio tecnológico atual)
- Eficiência de 45%: 0,78 t CO<sub>2</sub>/MWh gerado (estágio tecnológico avançado)

Nessas condições, para uma potência de referência de **500 MW**, pode-se calcular o volume de emissões de uma usina térmica a carvão em:

Tecnologia	Combustão pulverizada		Clean coal technologies	
Rendimento	33%		45%	
Fator de capacidade	50%	80%	50%	80%
Emissões (10 <sup>6</sup> t CO <sub>2</sub> /ano)	2,1	3,4	1,7	2,7

*Emissões de CO<sub>2</sub> no Sistema Interligado Nacional em 2005: cerca de 19,7 x 10<sup>6</sup> t*

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: **Tecnologia & Meio Ambiente**

### **Tecnologia de queima limpa do carvão** *(Clean Coal Technology)*

**A partir de 1980, houve um avanço mundial na redução de emissões de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> e melhoras significativas na redução de material particulado**

- Baseadas em pesquisas governamentais e de empresas privadas
- Instalação de alternativas otimizadas
- Experiência operativa

**Contudo, os gastos com proteção ambiental adicionam 30% dos custos totais de EPC de uma usina à carvão**

**No mesmo período, a Alemanha gastou mais de US\$ 20 bilhões em pesquisas na área de “Clean Coal Technology”**

**Os Estados Unidos têm orçamento de US\$ 10 bilhões para o desenvolvimento do uso sustentável do carvão para os próximos 15 anos**

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: Tecnologia & Meio Ambiente

### Seqüestro de carbono

Captura de emissões de CO<sub>2</sub> e armazenagem em reservatórios naturais

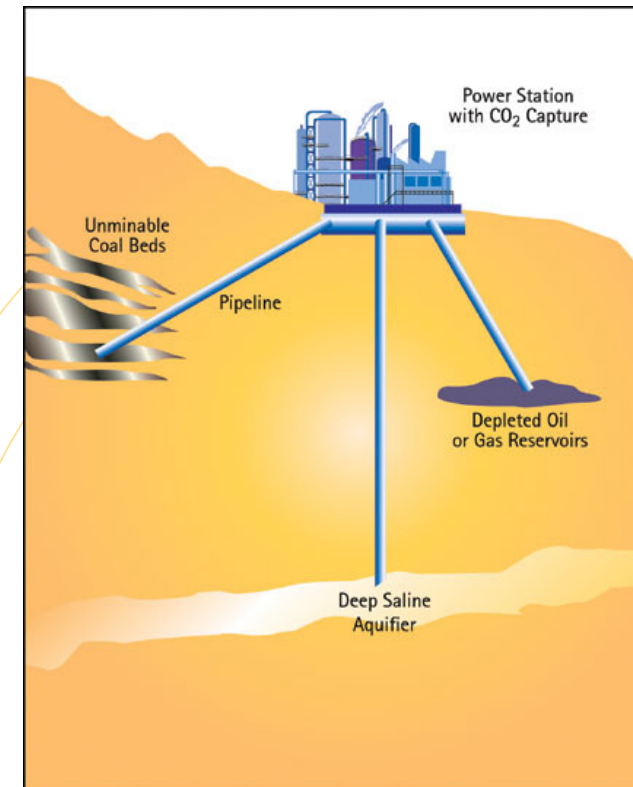
Tecnologia em fase de pesquisa e desenvolvimento

### O Projeto FutureGen

O Governo americano está patrocinando o projeto **FutureGen** que tem por meta construir uma térmica a carvão com emissão "zero", produzindo hidrogênio e eletricidade e capturando e armazenando o carbono.

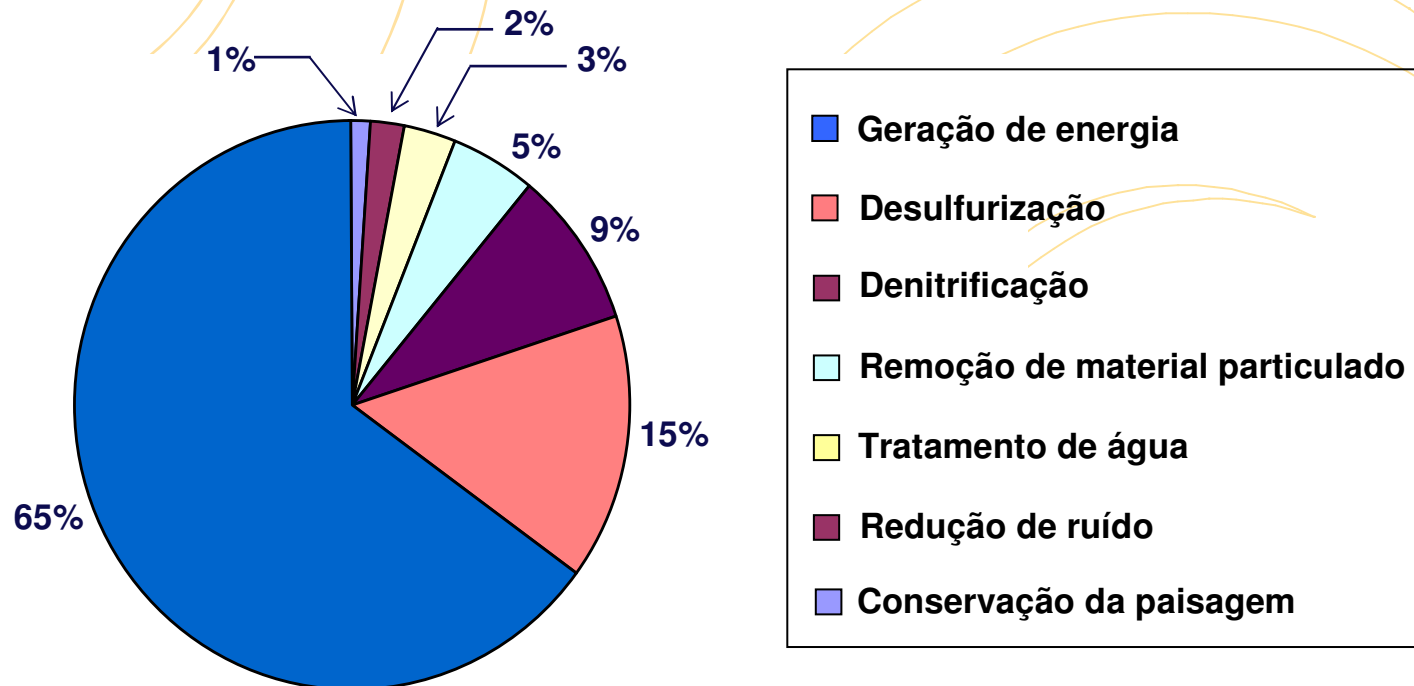
**FutureGen** terá 275 MW, demandará prazo de 10 anos de construção e pesquisas e investimentos de US\$ 870 milhões (US\$ 620 milhões do U.S. DoE e US\$ 250 milhões de um consórcio privado).

**FutureGen** pretende seqüestrar emissões de CO<sub>2</sub> de 1 milhão de ton por ano, de modo a testar adequadamente as condições geológicas de um reservatório representativo.



## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: Tecnologia & Meio Ambiente

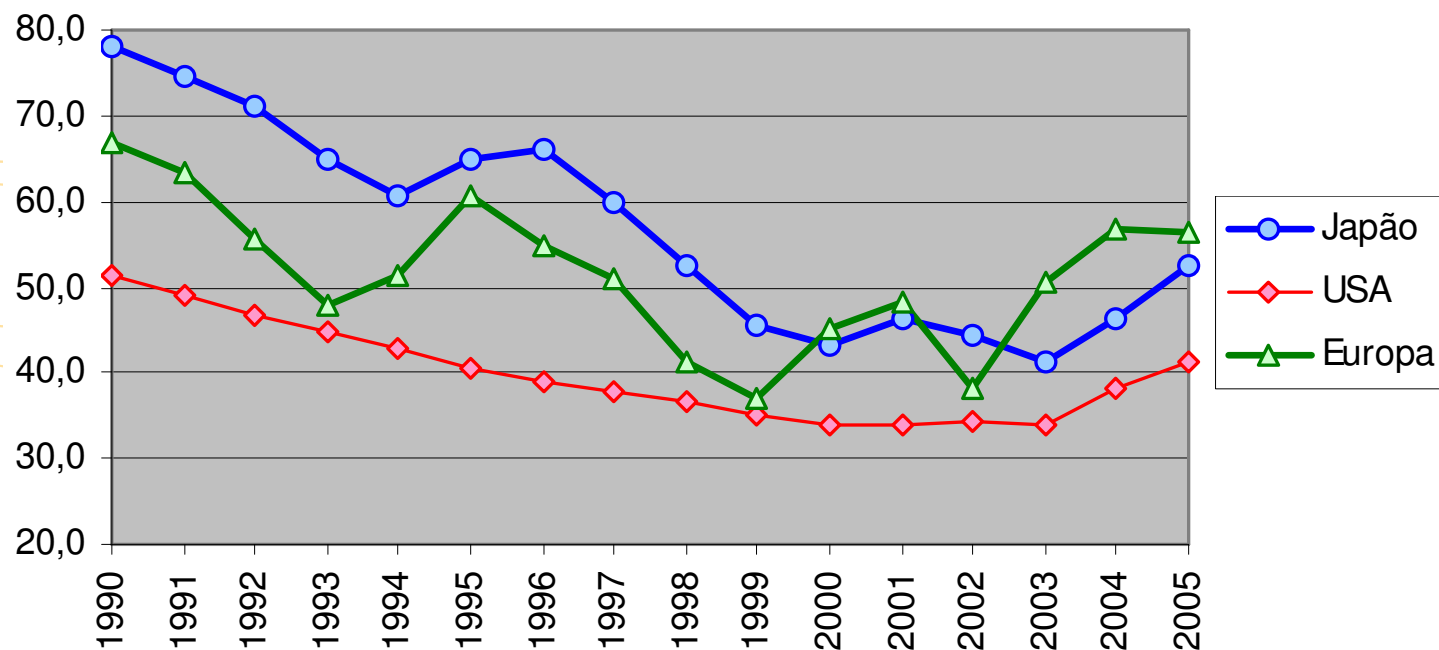
- Controle de emissões ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ), captura de enxofre e particulados e recuperação das áreas de mineração são os elementos mais visíveis. Mas há ainda outros aspectos a tratar.
- Em qualquer caso, a proteção envolve custos que podem corresponder a 35% do custo da geração de eletricidade a partir do carvão



Fonte: Ignácio Resende in Reuniões Temáticas na EPE

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: Custo do Combustível

- Apesar de sofrer influência dos preços da energia em geral, o preço do carvão apresenta volatilidade menor.
- Situa-se hoje na faixa de US\$ 40 a US\$ 60 por ton.



Japão: CIF-porto  
Europa: CIF-ARA  
EUA: CIF-usina

Fonte: BP, 2005

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: Custo do Combustível

- A diferença entre os preços internacionais e os nacionais é fundamentalmente devida às características do carvão.
- No caso do carvão nacional, influi também o tipo de mina.
- O frete marítimo [out-2005] está entre US\$ 16 e US\$ 18 por tonelada (*África do Sul-Rotterdam e Queensland-Rotterdam, navios de 130 mil ton*).

Preços internacionais, US\$/t (1)		Preços do carvão nacional, US\$/t (2)		
Origem	Abr/06	Mina	Usina	Mai/05
China	48,30	Candiota	P. Médici	16,25
Austrália (Newcastle)	50,60	Recreio	Charqueadas	27,48
Austrália (Queensland)	51,70	Leão I	São Jerônimo	40,02
Rússia (Leste)	51,80	SIESESC	J. Lacerda	55,47
Polônia	52,00	Cambuí	Figueira	83,40
África do Sul	52,05			
Rússia (Báltico)	54,10			
Colômbia	54,60			
Venezuela	56,50			

*Preços spot*

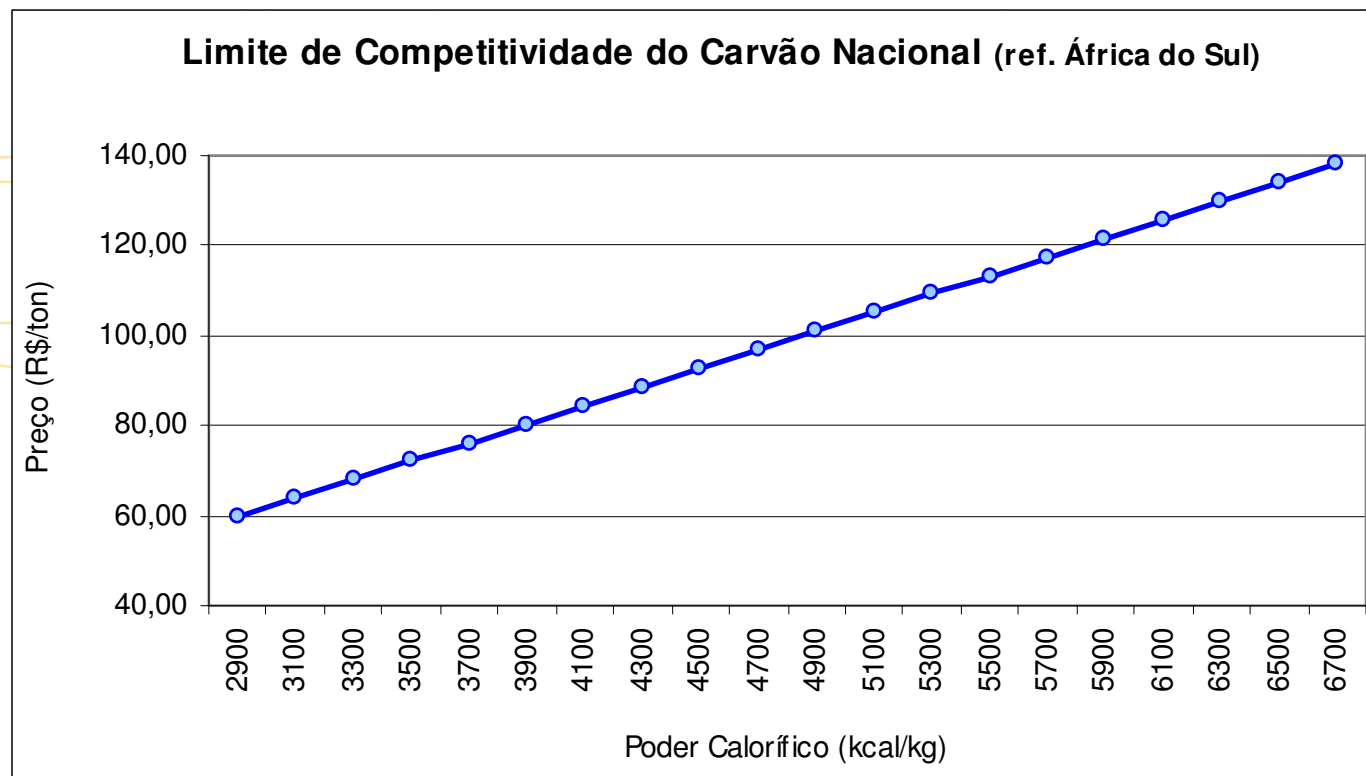
*(1) Preços FOB-porto de origem; Fonte: e-coal.com, 2006*

*(2) Preços CIF-usina, Fonte: Eletrobras, Câmbio: US\$ 1.00 = R\$ 2,30*

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: Custo do Combustível

### Competitividade do carvão nacional

- Preço por tonelada do carvão nacional (e seu respectivo poder calorífico) que torna indiferente seu uso ou o do carvão importado (referência carvão da África do Sul) na geração termelétrica.
- A região abaixo da curva indica maior competitividade do carvão nacional.



Obs.: preços de abril/2006



## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: **Competitividade**

### Hipóteses de cálculo do custo de geração - 1

#### **Investimento:**

- Usinas combustão pulverizada: US\$ 1.300 a 1.500/kW
- Usinas combustão em leito fluidizado: US\$ 1.500 a 1.800/kW

#### **Custos operacionais:**

*(média de diversas fontes: EPRI, NETL, DOE, CERI, ConocoPhillips, GE, Bechtel)*

- O&M Fixo: 28,00 US\$/kW.ano
- O&M Variável: 4,20 US\$ /MWh

#### **Vida Útil:**

- 25 anos

#### **Taxa de desconto:**

- 8 a 12% ao ano

#### **Encargos setoriais:**

- Custo de acesso e uso da rede (TUST): R\$ 2,2 kW.mês
- Taxa de fiscalização (ANEEL): 0,5% da receita
- Investimento em pesquisa e desenvolvimento: 1% da receita líquida

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: **Competitividade**

### Hipóteses de cálculo do custo de geração - 2

#### **Combustível:**

- Carvão nacional: US\$ 16/t (PC: 3.200 kcal/kg)
- Carvão importado: US\$ 60/t (PC: 6.700 kcal/kg)

#### **Consumo específico do combustível:**

*(eficiência de 33% na geração de energia elétrica)*

- Carvão nacional: 815 kg/MWh
- Carvão importado: 390 kg/MWh

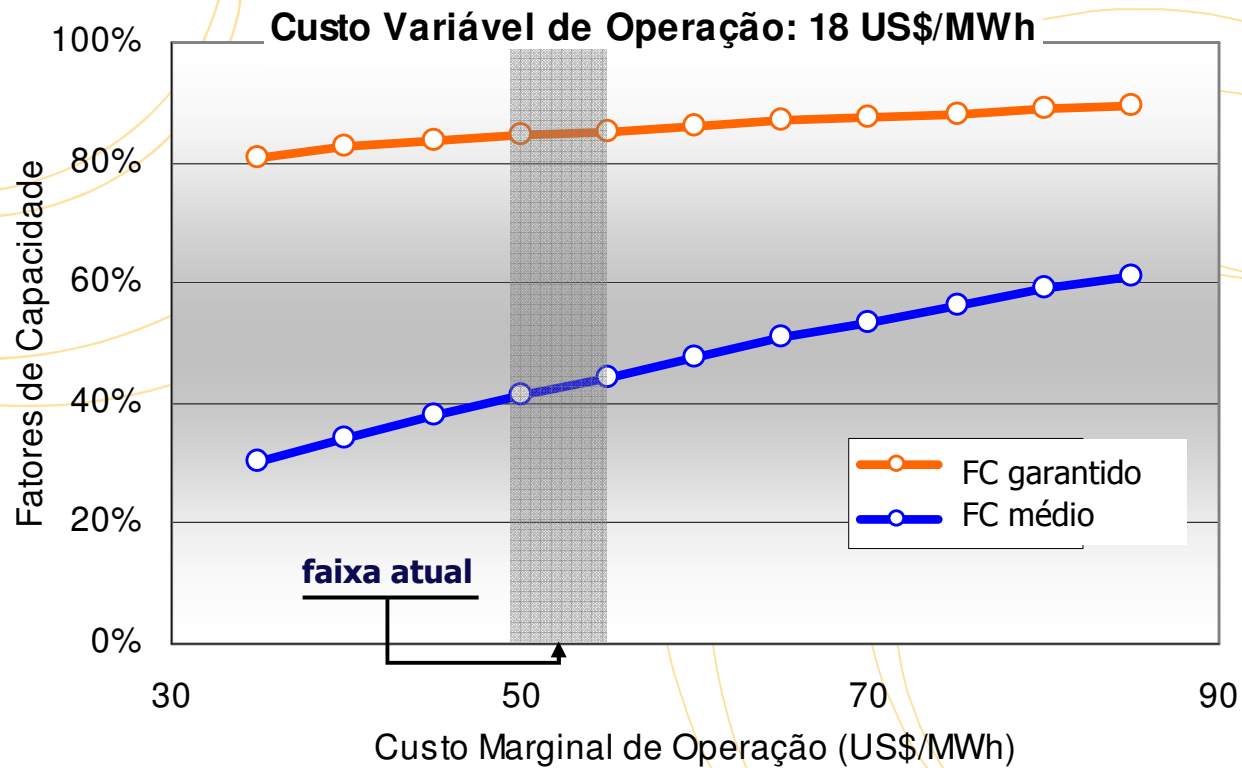
#### **Características operacionais:**

- Despacho mínimo obrigatório 50% (situação atual das térmicas existentes)
- Fator de disponibilidade máxima 93% (saídas forçadas e manutenção programada)

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: Competitividade

### Hipóteses de cálculo do custo de geração - 3

#### Fatores de capacidade:



*Obs.: Fatores calculados para térmica totalmente flexível. A aplicação destes resultados demanda ajustes às condições de despacho mínimo e fatores de indisponibilidades.*

## Expansão da Geração de Energia Elétrica a Carvão no Brasil: **Competitividade**

### Custo médio de geração (R\$/MWh)

Invest. US\$/kW	Carvão nacional			Carvão importado		
	8% aa	10% aa	12% aa	8% aa	10% aa	12% aa
1.200	98,7	107,0	116,2	111,5	120,0	163,0
1.400	105,5	115,2	126,0	118,4	128,3	177,3
1.600	112,2	123,4	135,7	125,3	136,6	191,7
1.800	119,0	131,6	145,4	132,2	144,9	206,0
Consumo médio anual (t/MW)			4.400	1.960		
Emissões anuais de CO <sub>2</sub> (t/MW)			5.235	4.875		

# Muito obrigado!



**EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE**

<http://www.epe.gov.br>

Av. Rio Branco, 1 – 11º andar  
20090-003 Rio de Janeiro RJ  
Tel.: + 55 (21) 3512 - 3100  
Fax: + 55 (21) 3512 - 3199

