

# Sustentabilidade Energética

(Ano lectivo 2017/18 – Cenários para a evolução da utilização de energia)

Jorge Maia Alves

## O que é um cenário?

**É claro que é sempre uma previsão do que se irá passar no futuro...**

**... e também é claro que terá sempre que ser feito com base num certo número de pressupostos.**

## O que é um cenário?

**Uma previsão meteorológica é um cenário que como sabemos nem sempre acerta!**

**Porque falham estas previsões?**

- **porque se referem a questões complexas;**
- **porque nem sempre os pressupostos utilizados acabam por se verificar;**
- **porque as contas estão mal feitas!**

## O que é um cenário?

**Quando faço um cenário uso um modelo mais ou menos complexo...**

- **posso supor que algumas variáveis se irão manter constantes;**
- **posso supor que algumas taxas de variação de algumas variáveis se irão manter constantes;**
- **(...)**

**O que é um cenário?**

**No fundo fazer um cenário é sempre responder à pergunta:**

**O que é que acontece se (...)?**

## O cenário mais simples:

**O cenário mais simples é sempre o que resulta de prevermos que vai ficar tudo na mesma!**

**“business as usual” ...**

**“laissez faire” ...**

**“não te rales” ...**

**Um cenário “não te rales”: cenário de desenvolvimento até 2020 apresentado no congresso de 1992 da Comissão Mundial da Energia :**

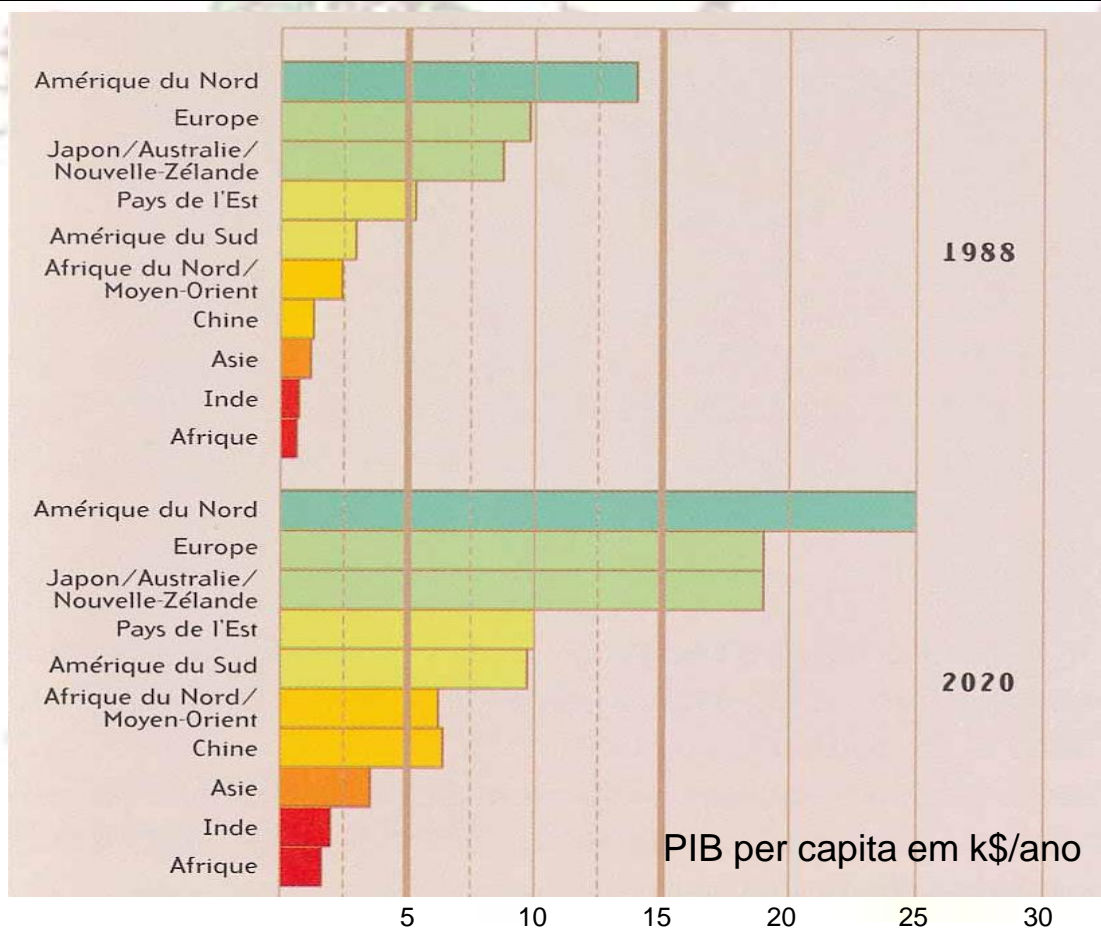
## **Pressupostos:**

**diminuição do crescimento da população até à estabilização em 2100 com uma população mundial de cerca  $1,1 \times 10^{10}$  habitantes;**

**aumento anual do PIB per capita entre 1,8% e 2,4% nos países desenvolvidos até 2020;**

**aumento anual do PIB per capita entre 3 e 5,1 % nos países em desenvolvimento até 2020;**

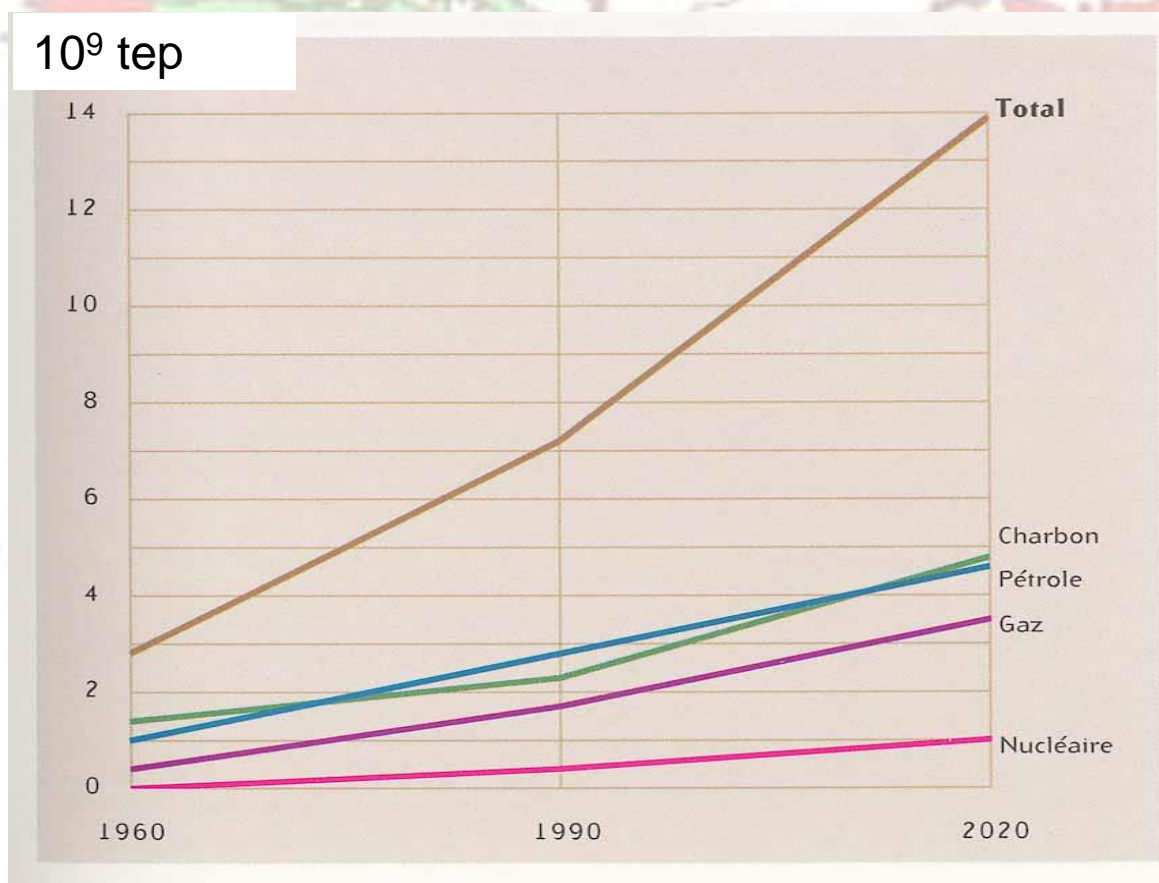
## Um cenário “não te rales”: cenário de desenvolvimento até 2020 apresentado no congresso de 1992 da Comissão Mundial da Energia :



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable



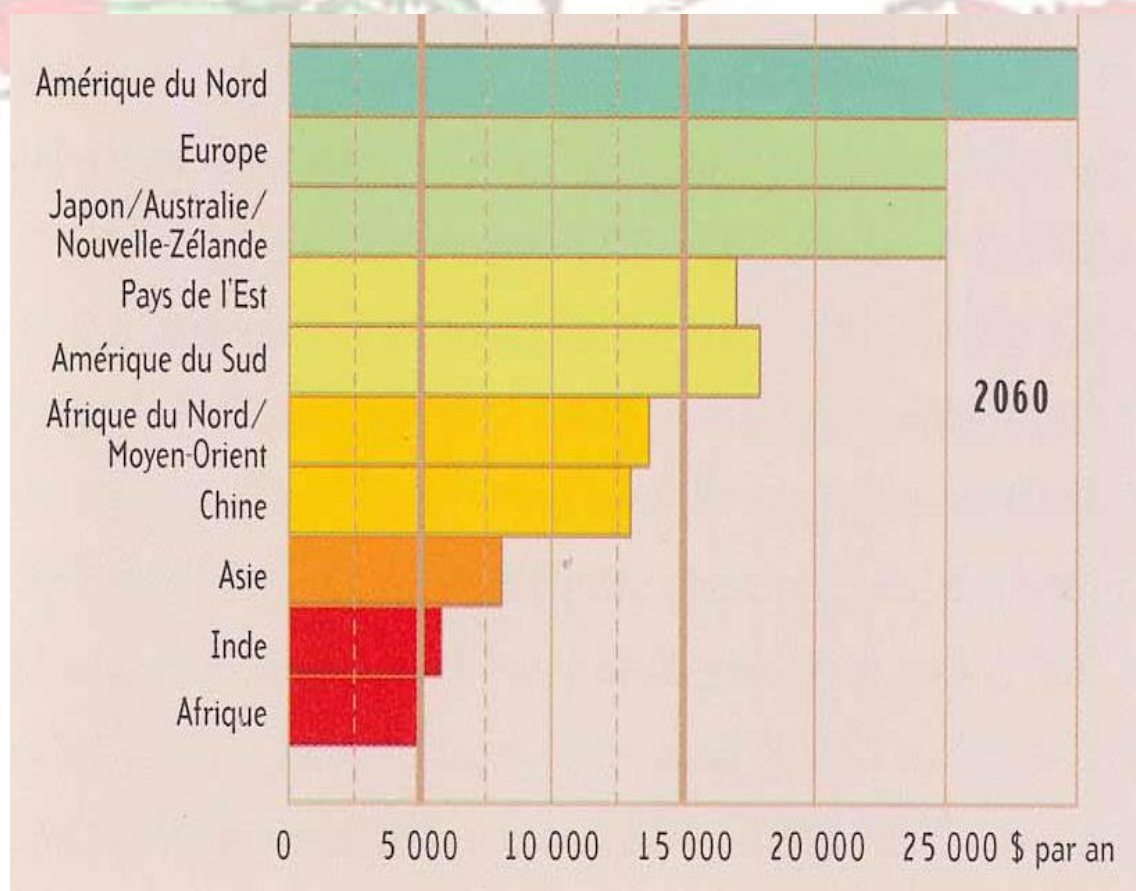
**Um cenário “não te rales”: cenário de desenvolvimento até 2020 apresentado no congresso de 1992 da Comissão Mundial da Energia :**



**que energia se prevê utilizar para satisfazer as necessidades de um cenário como este?**

fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

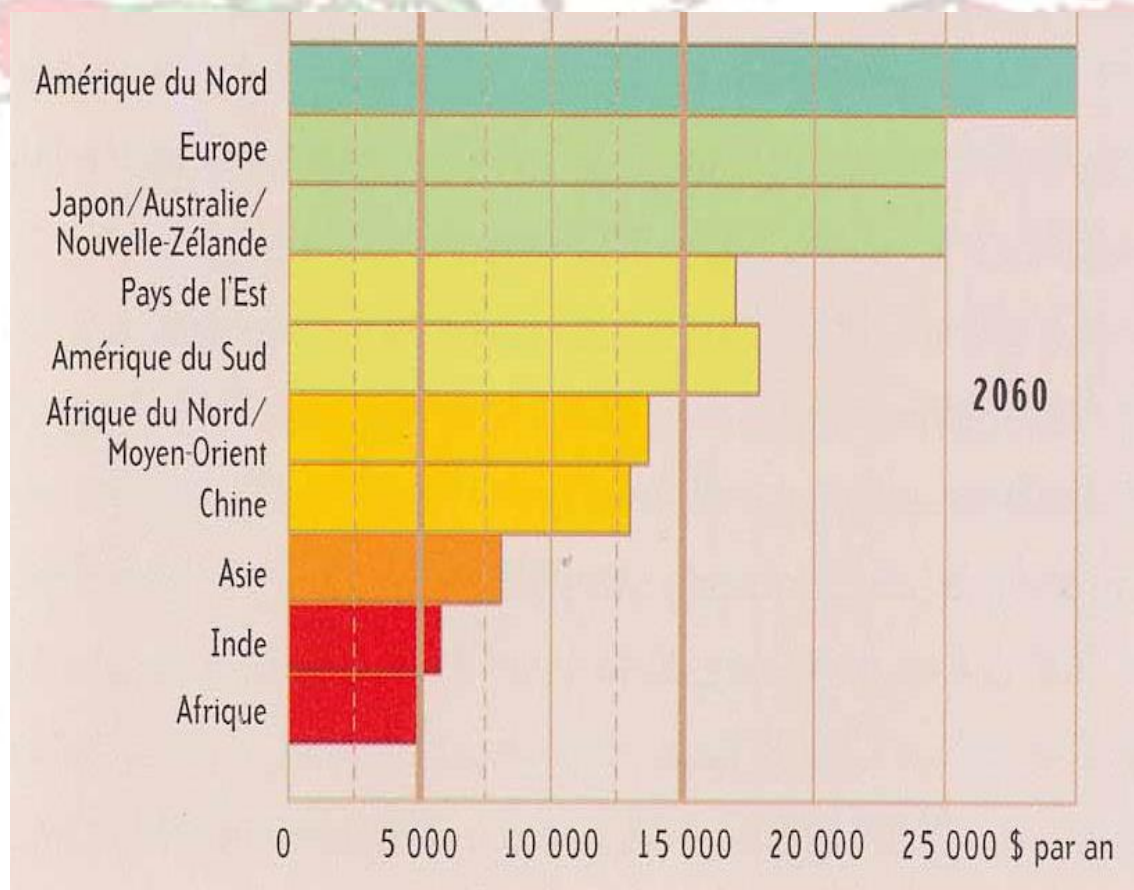
**Um cenário “não te rales”: cenário de desenvolvimento até 2020 apresentado no congresso de 1992 da Comissão Mundial da Energia :**



**e se usarmos este modelo para prever o que acontecerá em 2060?**

fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

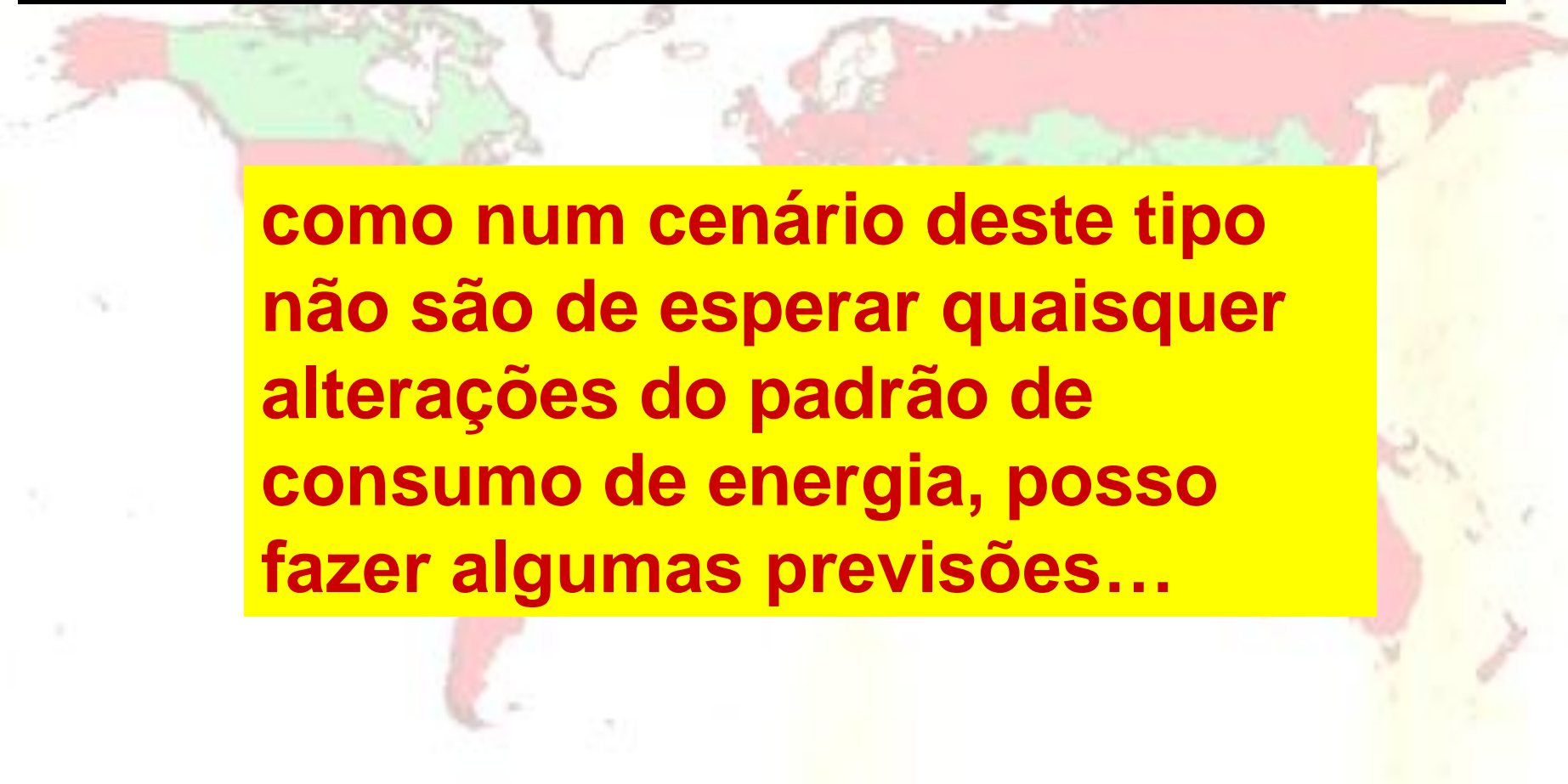
**Um cenário “não te rales”: cenário de desenvolvimento até 2020 apresentado no congresso de 1992 da Comissão Mundial da Energia :**



**não há dúvida que estaremos a diminuir as assimetrias, mas ...**

fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

**Um cenário “não te rales”: cenário de desenvolvimento até 2020 apresentado no congresso de 1992 da Comissão Mundial da Energia :**



**como num cenário deste tipo não são de esperar quaisquer alterações do padrão de consumo de energia, posso fazer algumas previsões...**

## **As consequências:**

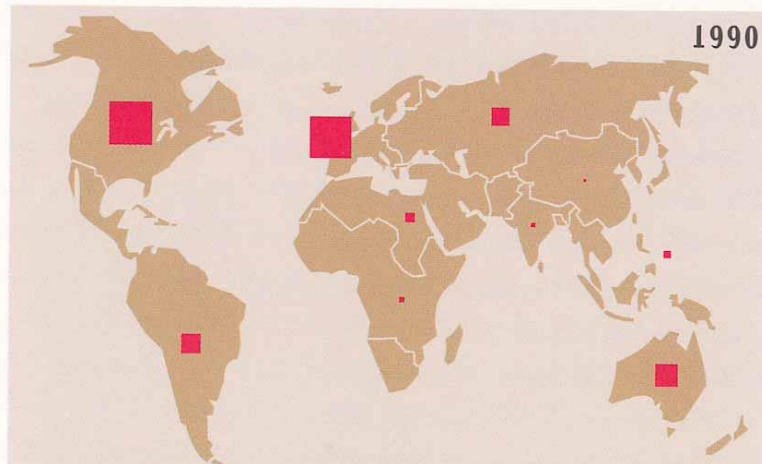
**O que posso prever relativamente ao parque automóvel?**

**sabemos que no passado o parque automóvel tem evoluído em função do desenvolvimento económico e social das diferentes regiões;**

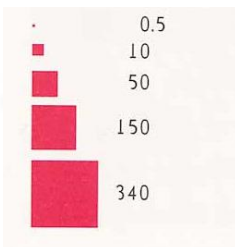
**sabemos também que, tipicamente, o parque automóvel atinge uma saturação num limite de aproximadamente 50 automóveis por cada 100 habitantes;**

**nestas condições, é de prever a existência de ~2500 milhões de veículos em 2060!**

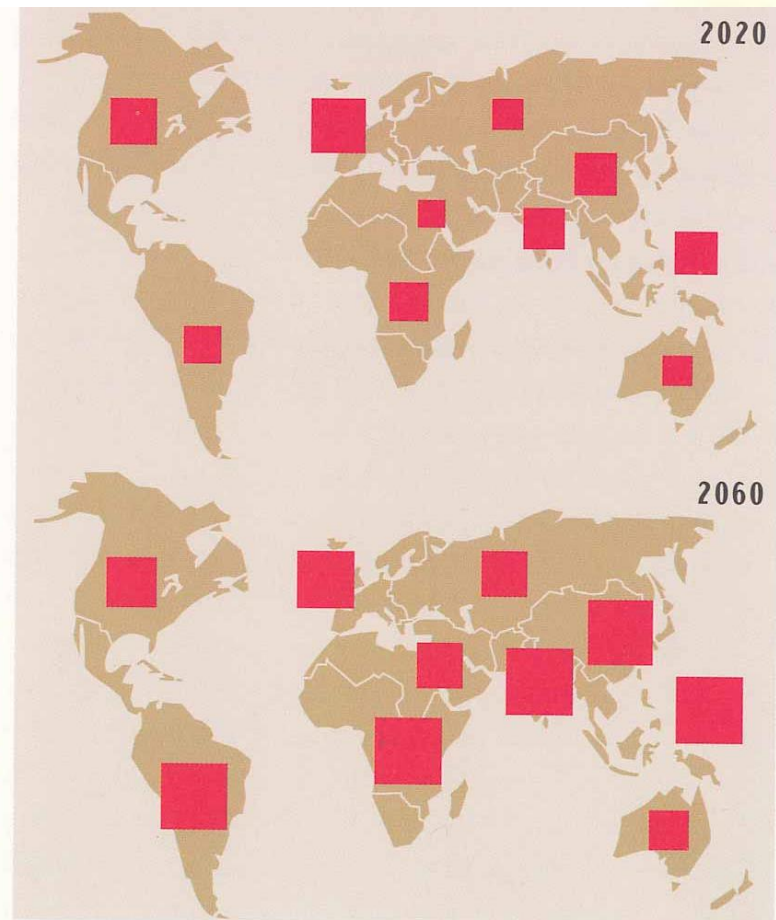
## As consequências:



10<sup>6</sup> veículos



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable



**a explosão do parque automóvel no planeta...**

## **As consequências:**

**O que posso prever relativamente ao tráfego rodoviário?**

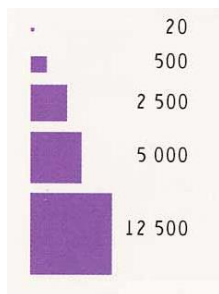
**sabemos que no passado este tráfego tem aumentado pelo menos à mesma taxa que o produto interno bruto dos países;**

**mesmo admitindo que esta tendência venha a diminuir ligeiramente no futuro é de prever um aumento de um factor 12 entre 1990 e 2060!**

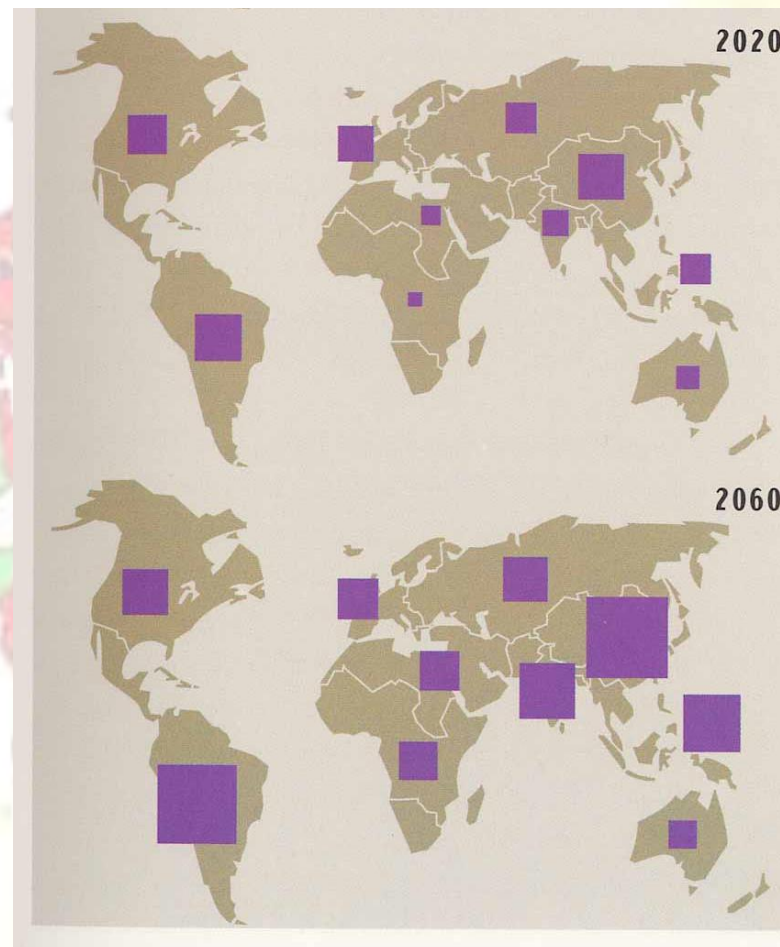
## As consequências:



Tráfego rodoviário em tonelada × km



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable



**a explosão do tráfego rodoviário no planeta...**



## **As consequências:**

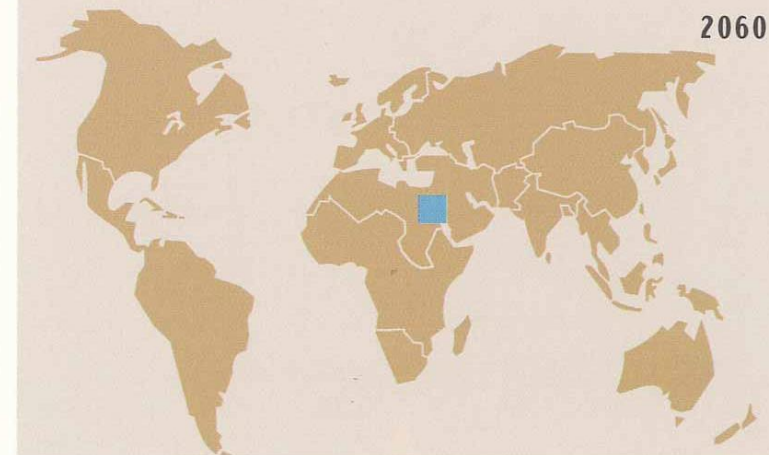
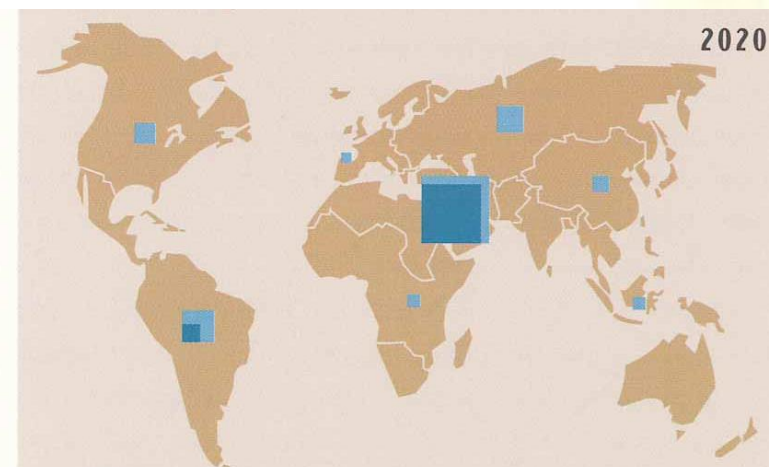
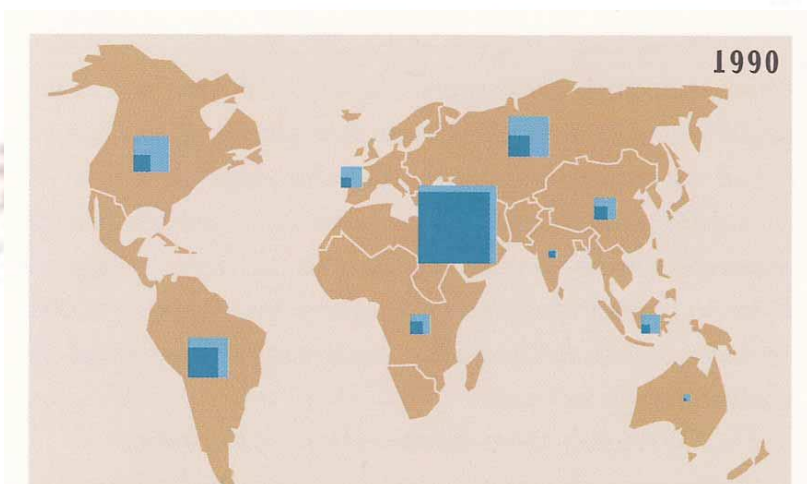
**O que posso prever relativamente às reservas de petróleo?**

**mesmo que a extracção se mantivesse ao nível do que acontecia em 1992 ( $3,1 \times 10^9$  tep por ano), e que fossem sendo descobertas novas reservas, será inevitável que as reservas se vão esgotando um pouco por todo o mundo;**

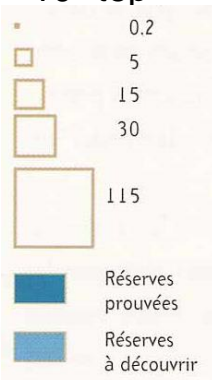
**em 2020 é provável que só exista petróleo em quantidades significativas em 4 zonas;**

**em 2060 é provável que só reste petróleo numa única região!**

## As consequências:



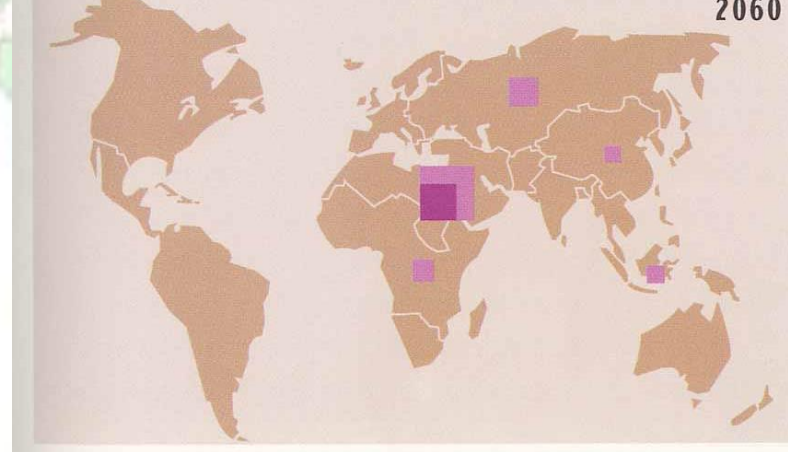
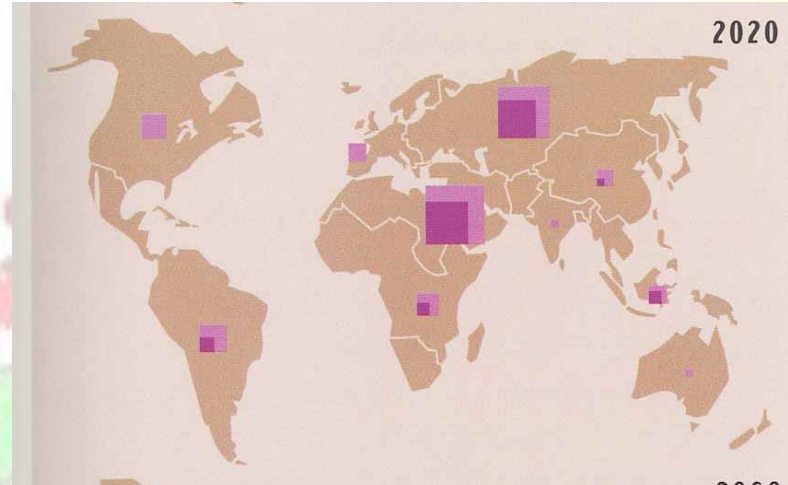
$10^9$  tep



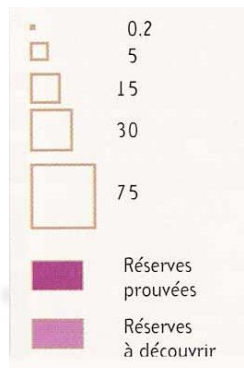
fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

**o consumo das reservas de petróleo do planeta...**

## As consequências:



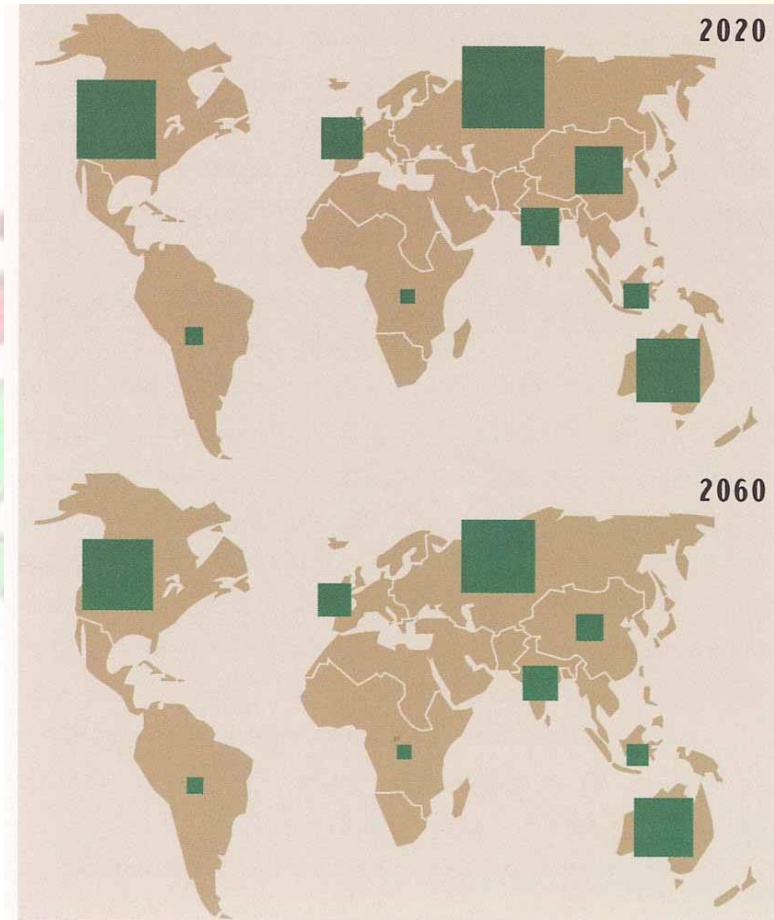
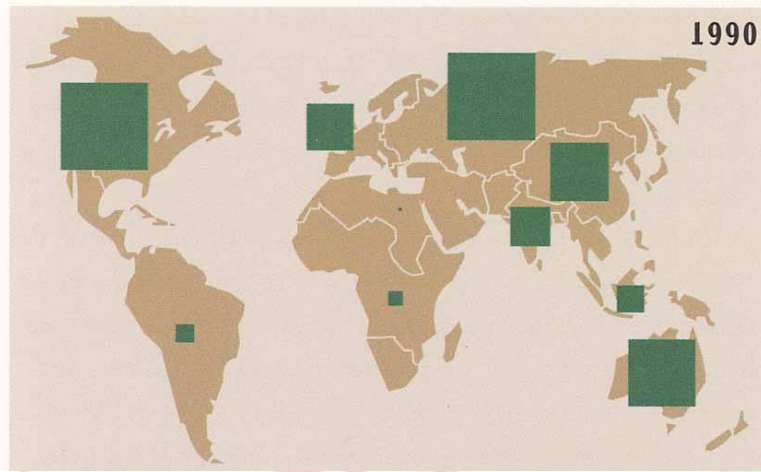
$10^9$  tep



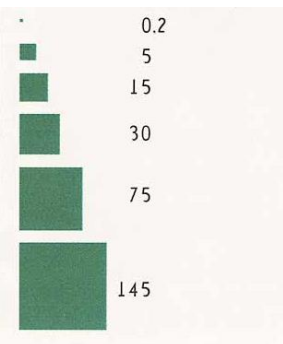
fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

**o consumo das reservas de gás do planeta...**

## As consequências:



$10^9$  tep



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

**o consumo das reservas de carvão do planeta...**

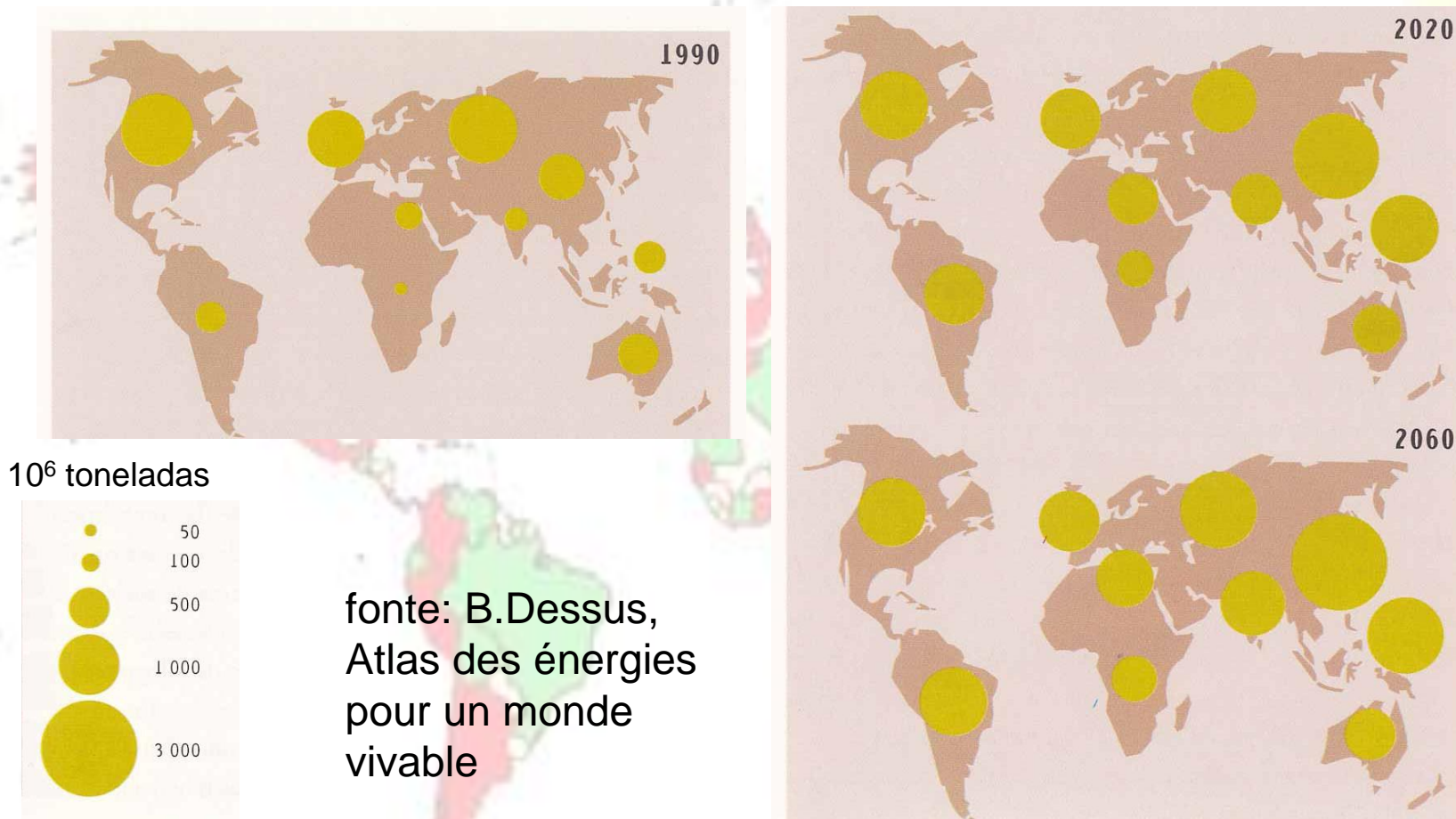
## As consequências:

e relativamente à emissão de gases causadores de efeito de estufa?

sabemos que quando queimamos 10l de gasolina estamos a emitir ~30kg de CO<sub>2</sub> (~ 8kg de carbono e ~22kg de oxigénio);

mesmo desprezando o efeito de gases como o óxido de azoto, o metano, etc. ...

## As consequências:



**a explosão das emissões de CO<sub>2</sub> no planeta...**

## **As consequências:**

**e relativamente à proliferação das centrais nucleares?**

**é previsível que dos cerca de 20 países com este tipo de centrais passemos para mais de uma centena em 2060;**

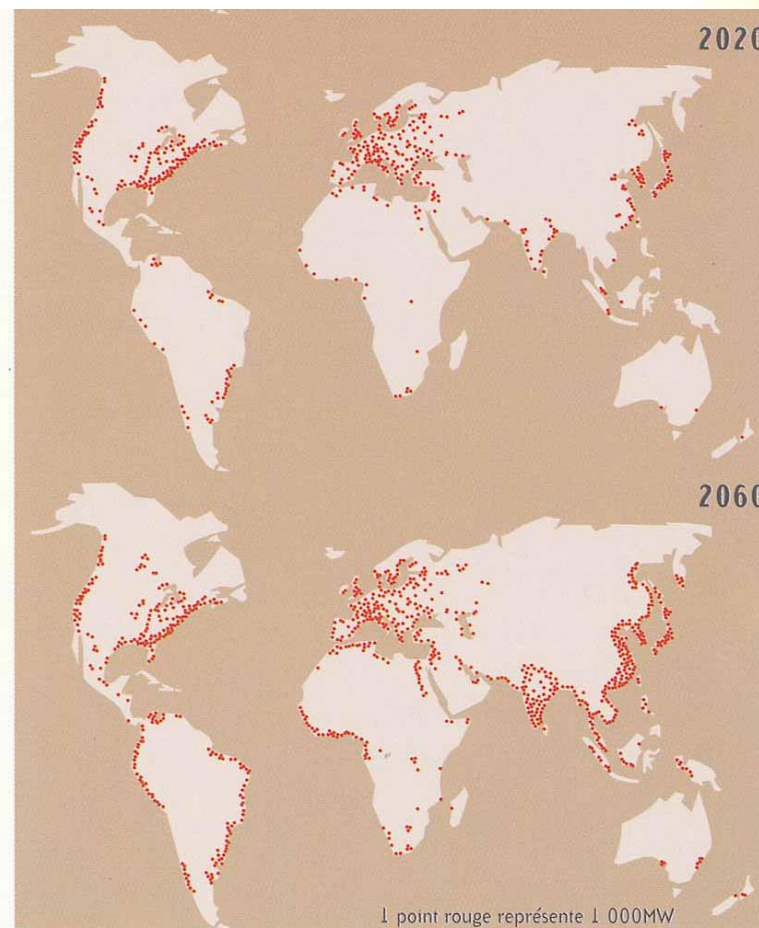
**como são produzidos cerca de 200kg de resíduos radioactivos por cada Mtep instalado, é previsível que tenhamos em mãos qualquer coisa como 18000 toneladas de um material óptimo para ...**

**fabricar cerca de 3 milhões de bombas nucleares!**

## As consequências:



fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable



**a disseminação das centrais nucleares no planeta...**

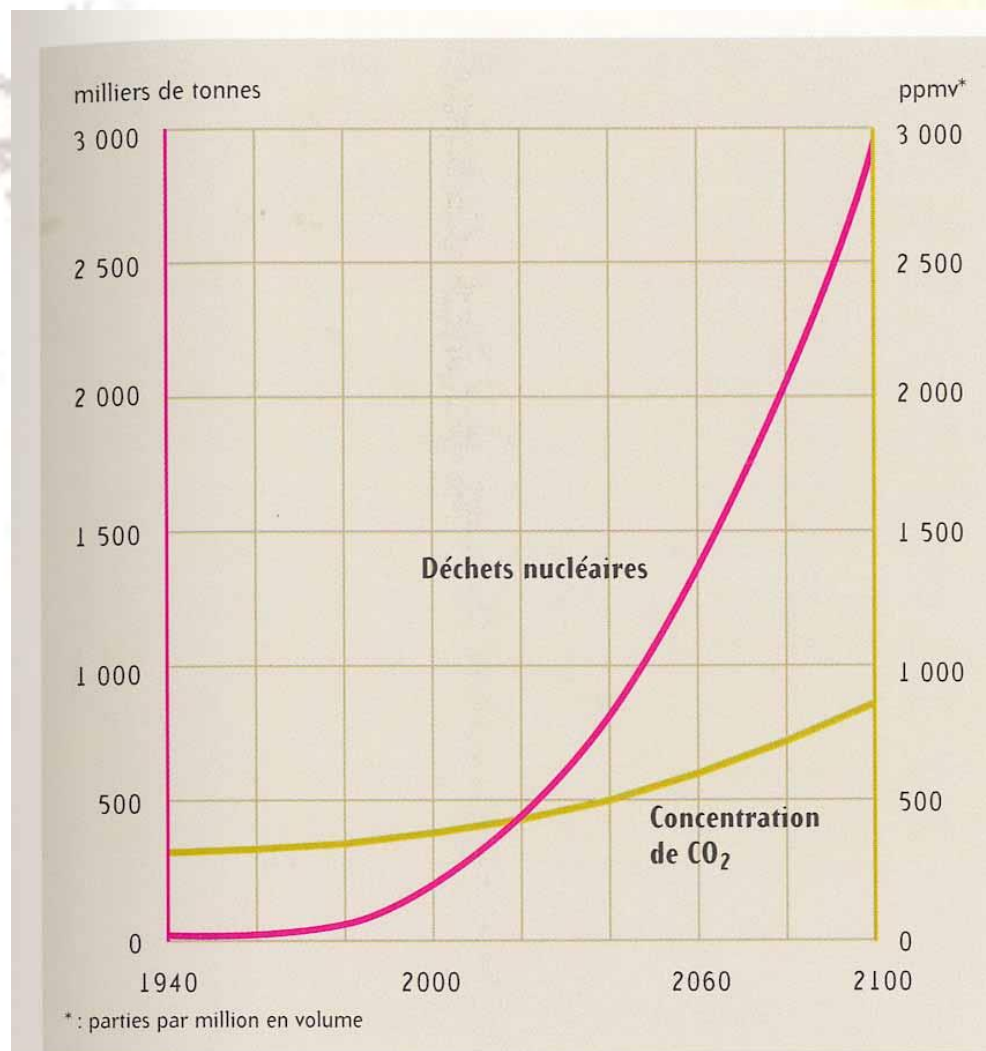


## As consequências:

fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

**o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera...**

**... e de resíduos radioativos não se sabe onde...**



## **As consequências:**

**se não surgir qualquer mecanismo ainda desconhecido de realimentação negativa que o impeça: um aumento de 4 a 5°C na temperatura média do planeta em 2050...**

**estima-se que durante a grande glaciação do quaternário a temperatura média do planeta fosse 5 a 6°C inferior à actual. Nessa altura, os glaciares cobriam todo o norte da Europa, e o nível das águas do mar estava cerca de 100m mais baixo...**

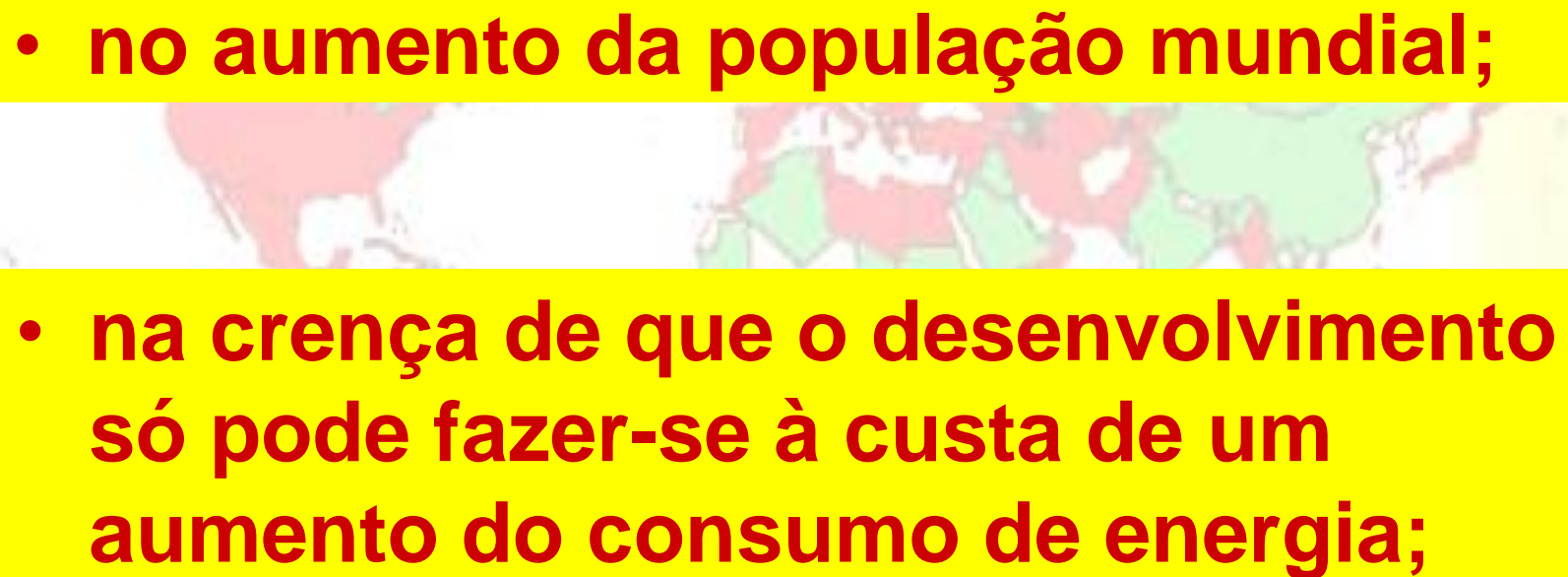
fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

**A conclusão:**

**talvez não seja muito sensato apostar numa via do tipo cenário “não te rales” ...**

**que fazer?**

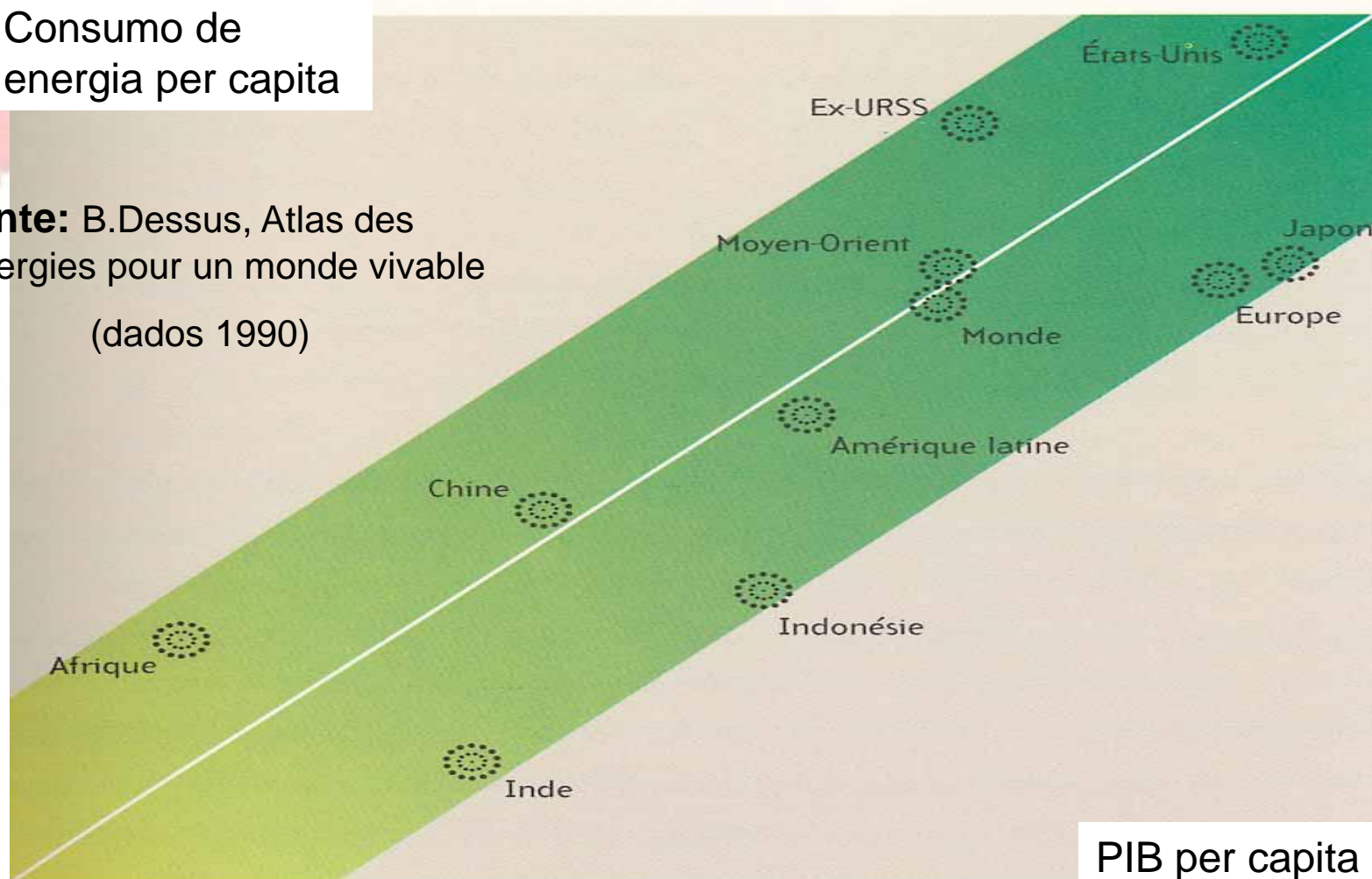
## Onde estão os problemas?

- 
- no aumento da população mundial;
  - na crença de que o desenvolvimento só pode fazer-se à custa de um aumento do consumo de energia;

# O mito “consumista” ...

Consumo de energia per capita

fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable (dados 1990)



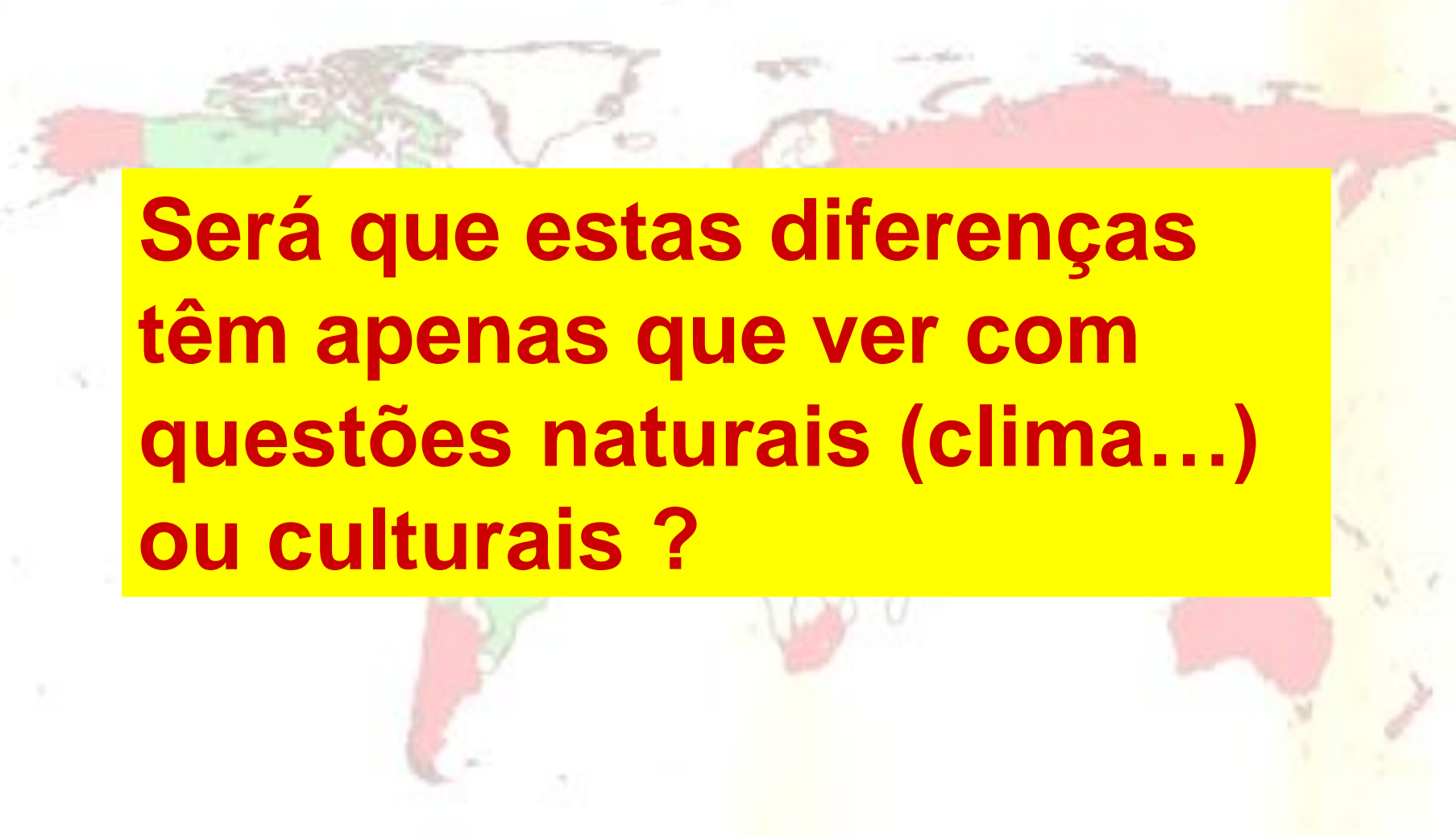
## O mito “consumista” ...

**Será mesmo verdade que para produzir mais riqueza tenho sempre que gastar mais energia?**

(1990)	Consumo per capita (TEP)	PIB per capita (\$)
Europa leste	3,4	4000
CEE	3,5	9700
Japão	3,5	11400
Ex-URSS	4,9	5500
EUA	7,5	14400
Canadá	9	14100

**fonte:** B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

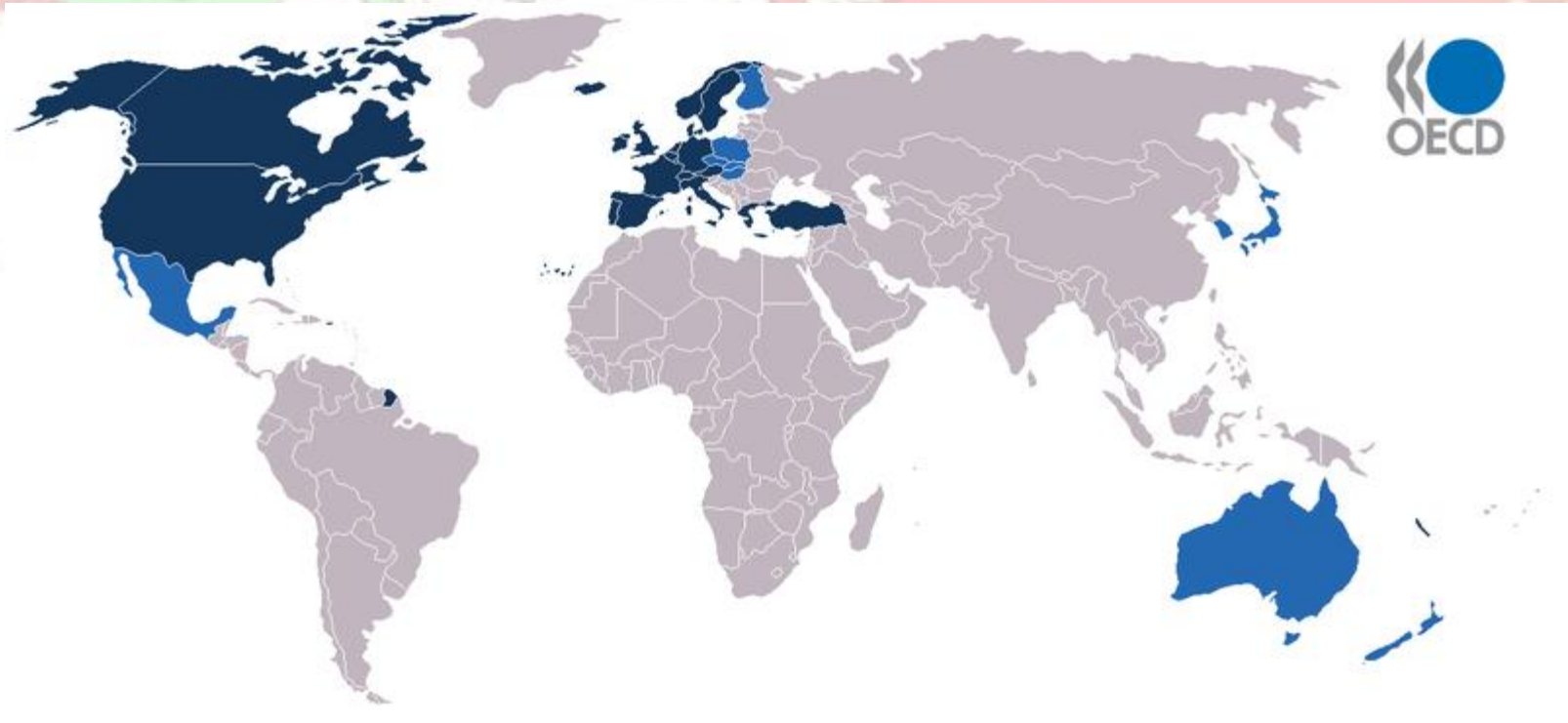
## O mito “consumista” ...



**Será que estas diferenças têm apenas que ver com questões naturais (clima...) ou culturais ?**

## O mito “consumista” ...

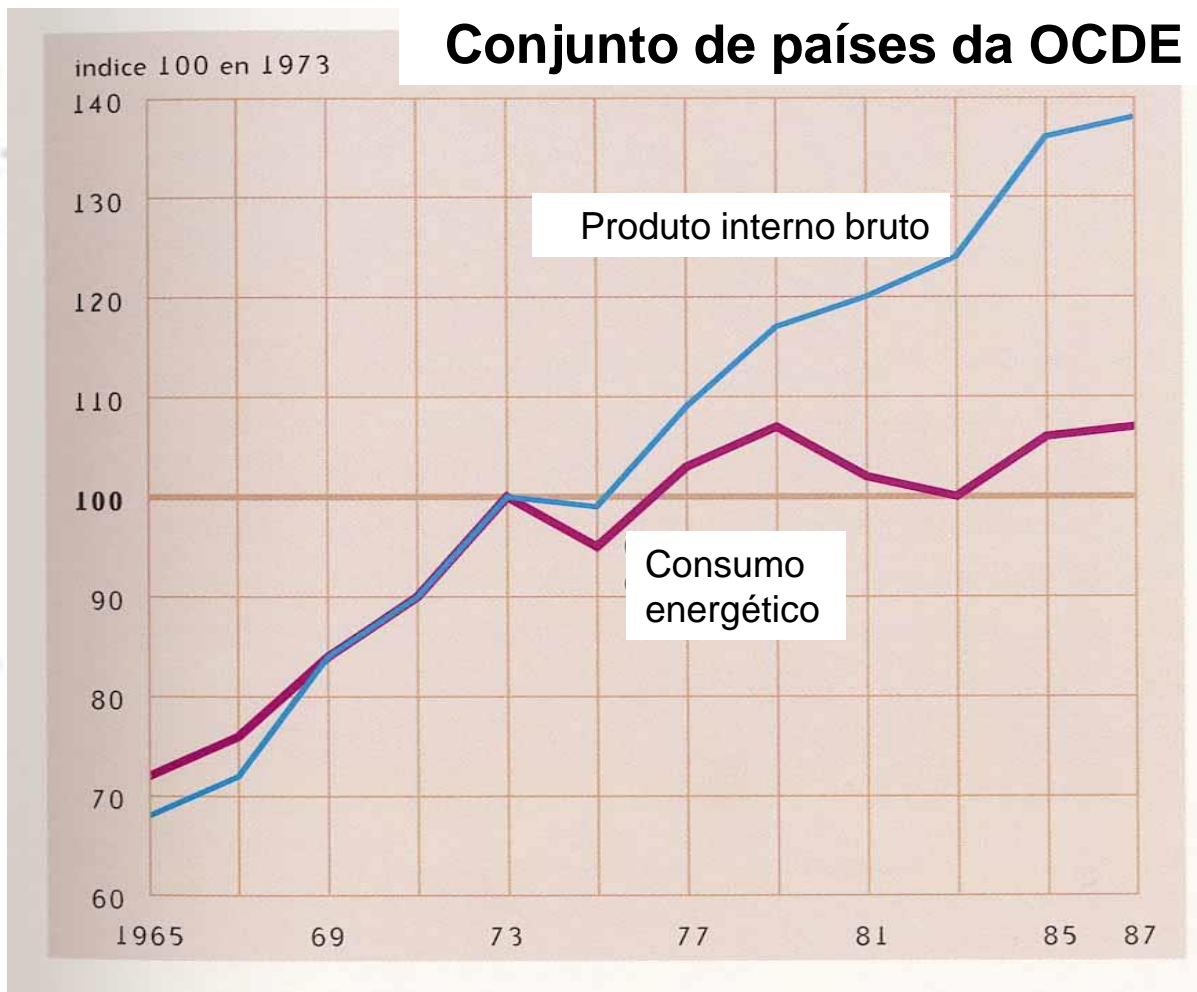
**A OCDE – Organização para a Cooperação e  
Desenvolvimento Económico (fundada em 1961)**





## O mito “consumista” ...

### Conjunto de países da OCDE

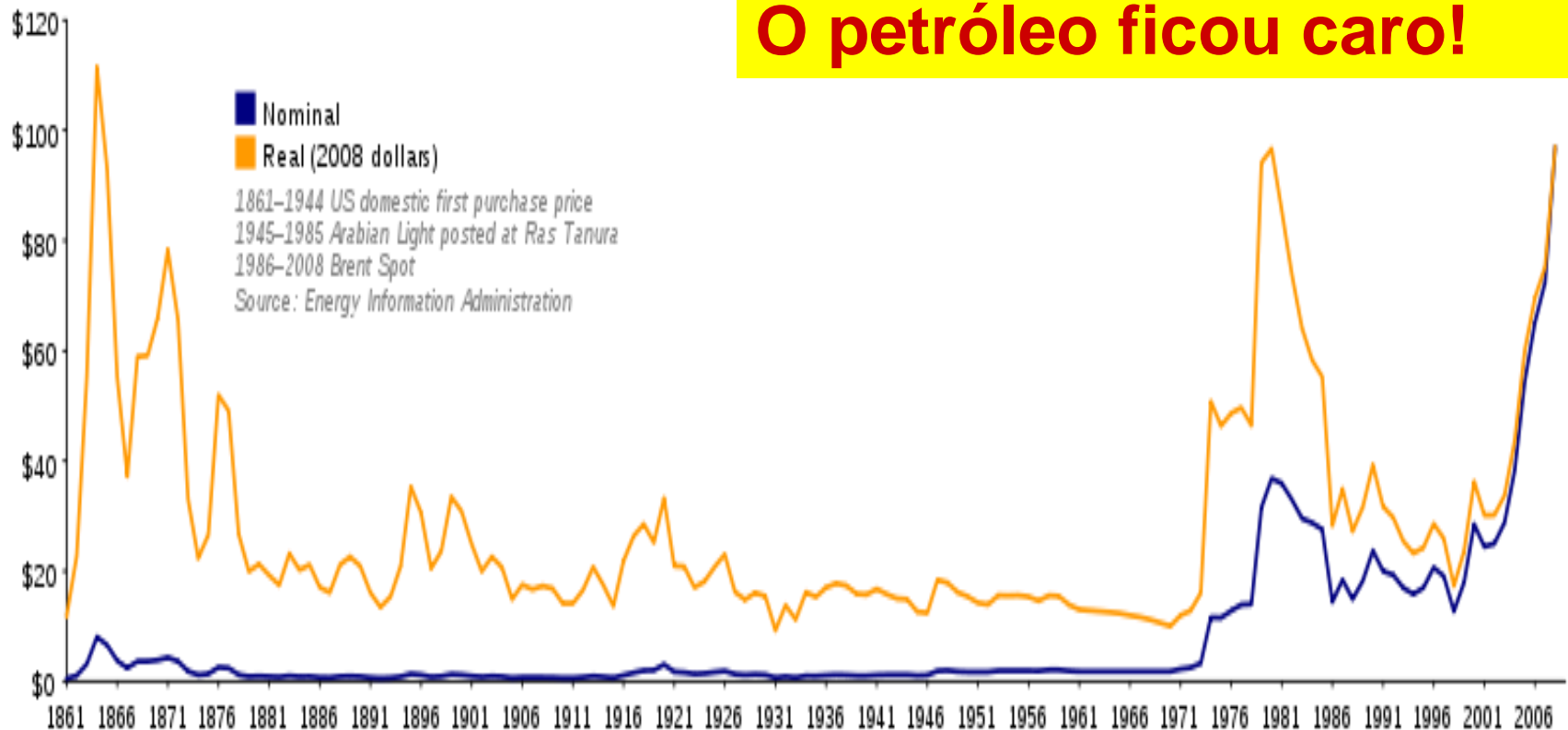


O que se passou neste conjunto de países nesta época ?

fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

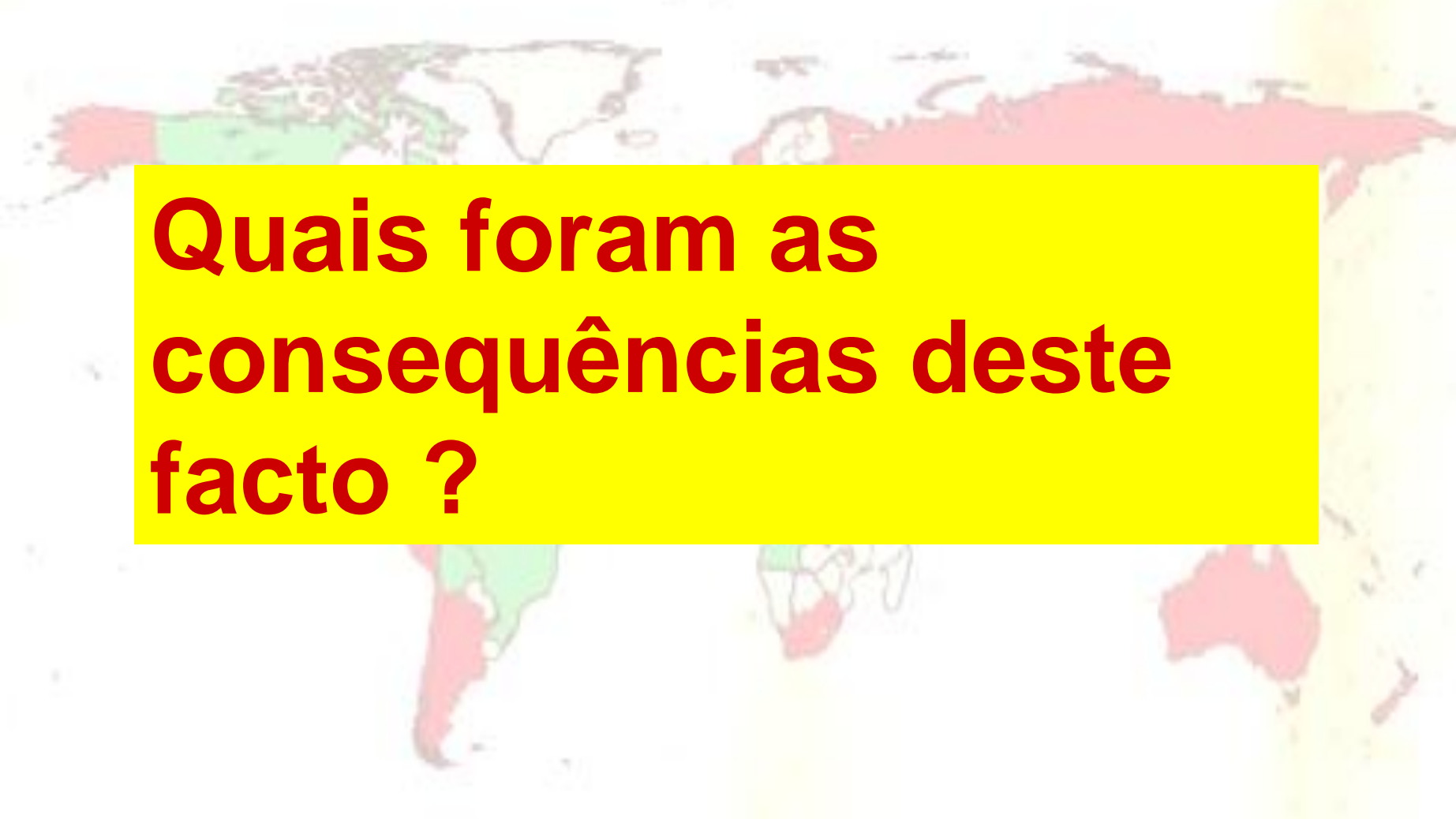
# O mito “consumista” ...

US \$ / barril



Yom Kippur

## O mito “consumista” ...

A world map is visible in the background, with regions colored in red, green, and yellow. A large yellow rectangular box is overlaid on the map, containing the text.

**Quais foram as  
consequências deste  
facto ?**

## O fim do mito...

consumo de energia anual para aquecimento de água sanitária de uma casa de 110m<sup>2</sup>

Ano const.	Consumo /TEP
Década de 50	3,4
Década de 70	2,4
Década de 90	1,1

- arquitectura mais adequada ao clima;
- melhor isolamento;
- bombas de calor mais eficientes
- sistemas de controlo mais inteligentes

**fonte:** B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

## O fim do mito...

consumo de combustível de diferentes modelos Peugeot:

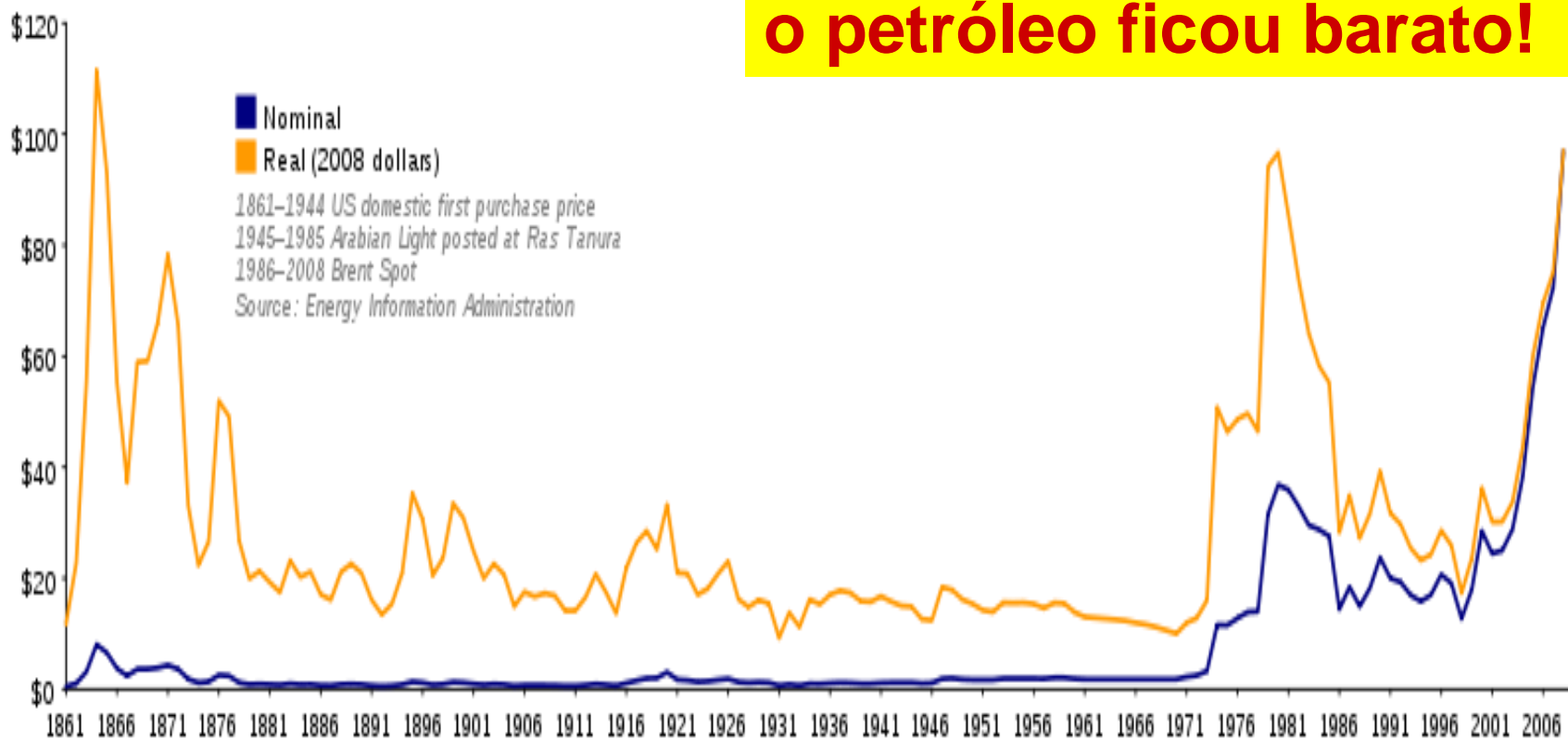
Ano	Modelo	Consumo /l aos 100km
1949	Peugeot 203	8,2
1965	Peugeot 204	7,6
1983	Peugeot 205	5,3
1995	Eco 2000*	3,5

**fonte:** B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

\*só foi construído o protótipo; o modelo não chegou a ser comercializado... é preciso dizer porquê?

# O fim do mito...

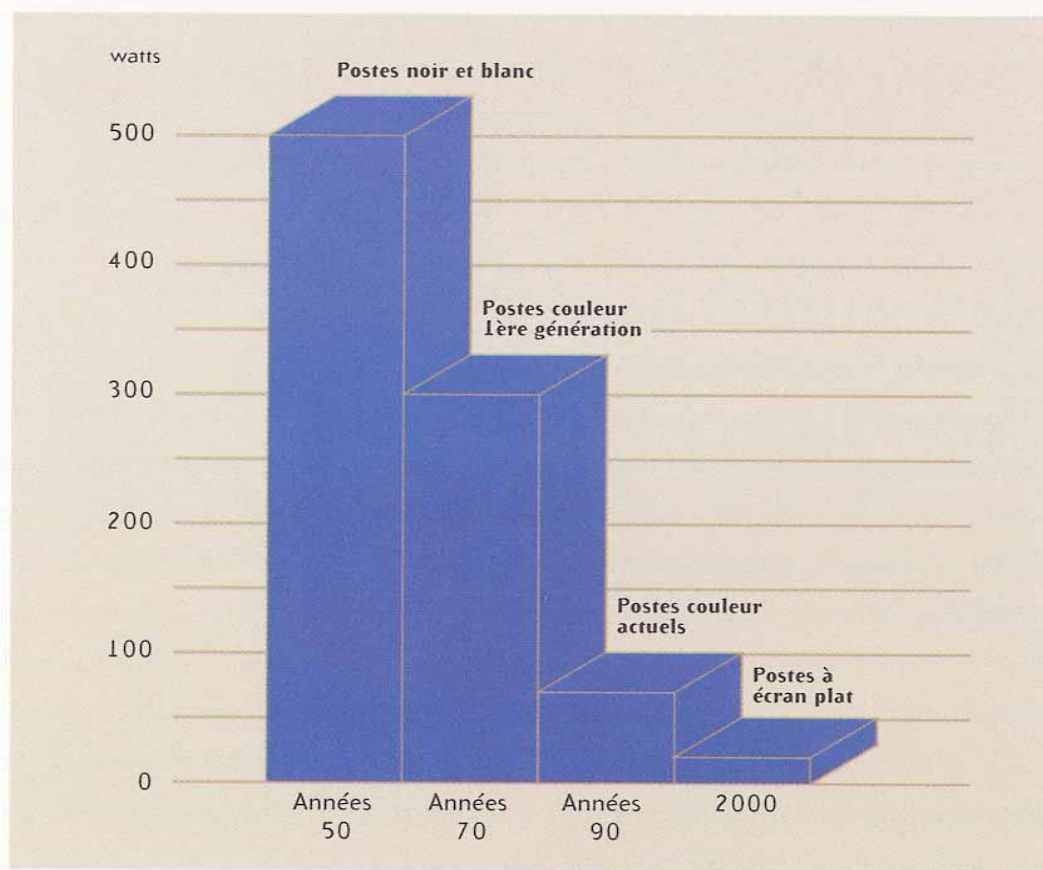
US \$ / barril



**o petróleo ficou barato!**

# O fim do mito...

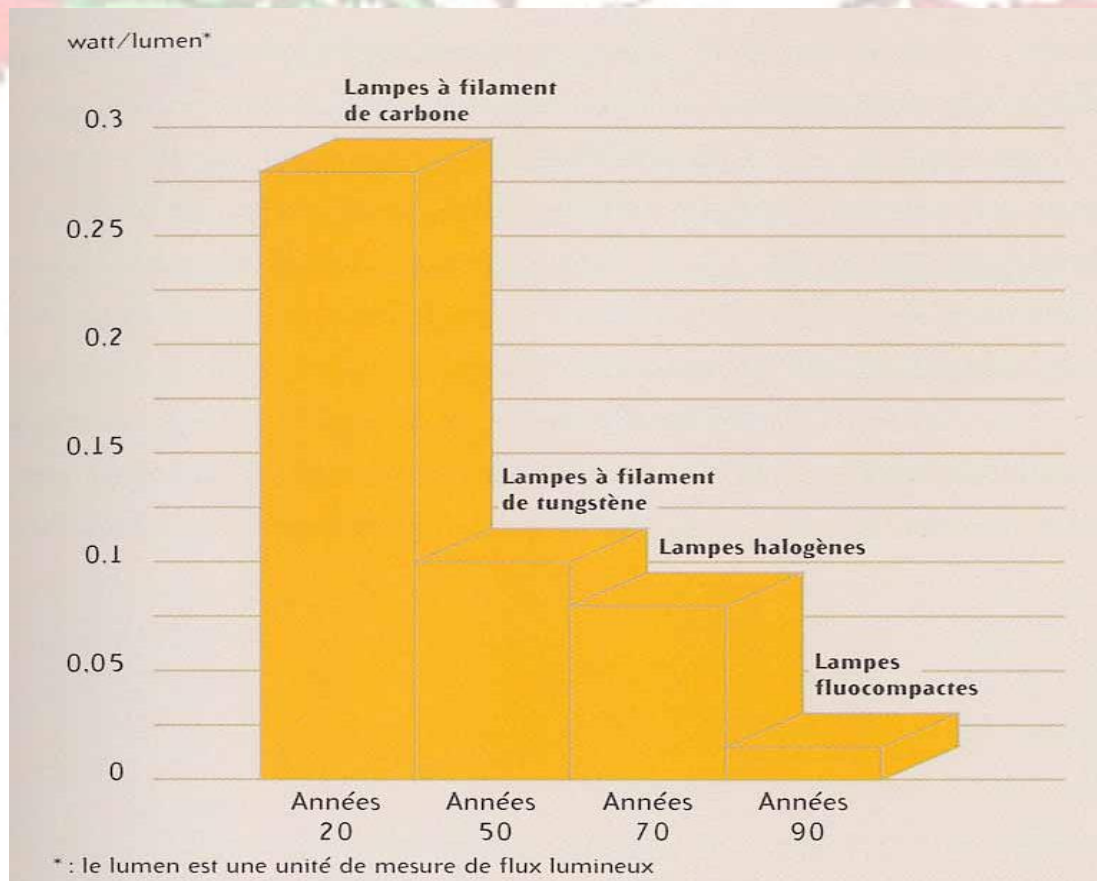
## evolução do consumo energético dos televisores



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

# O fim do mito...

## evolução do consumo energético das lâmpadas

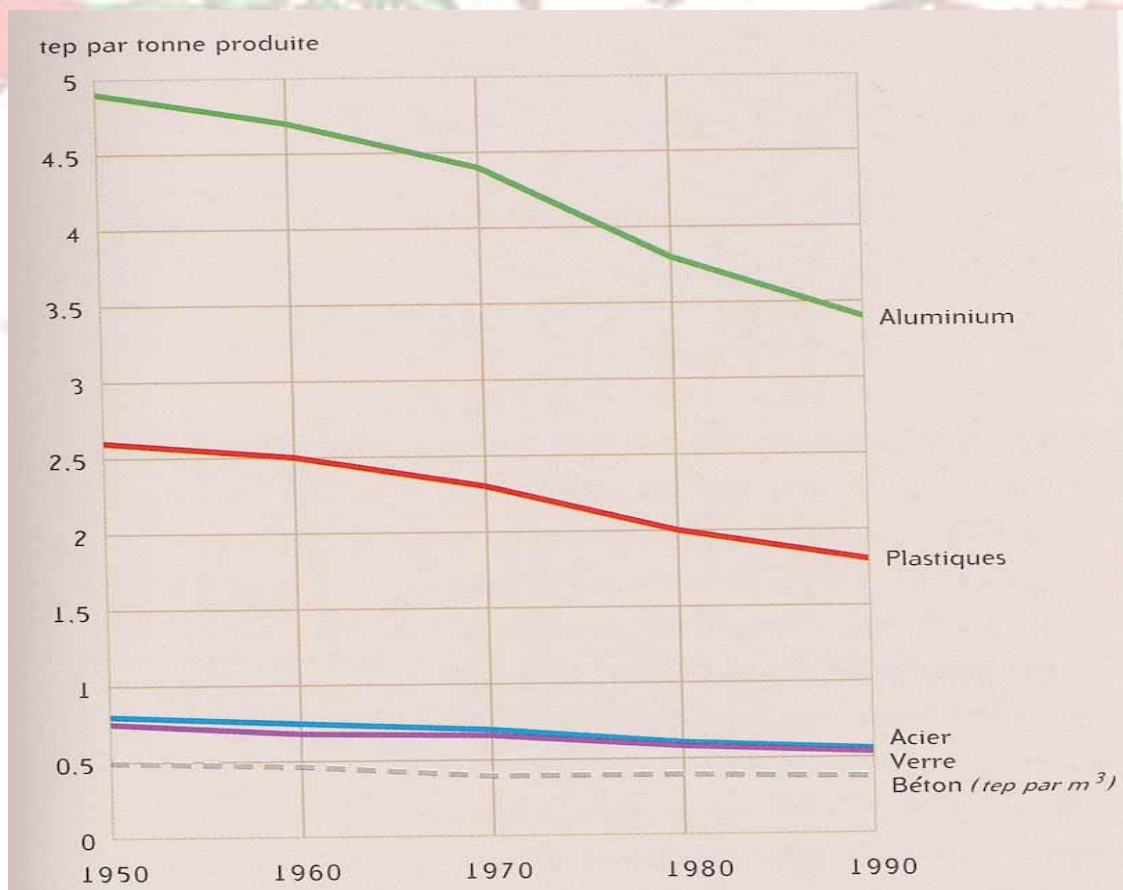


fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable



# O fim do mito...

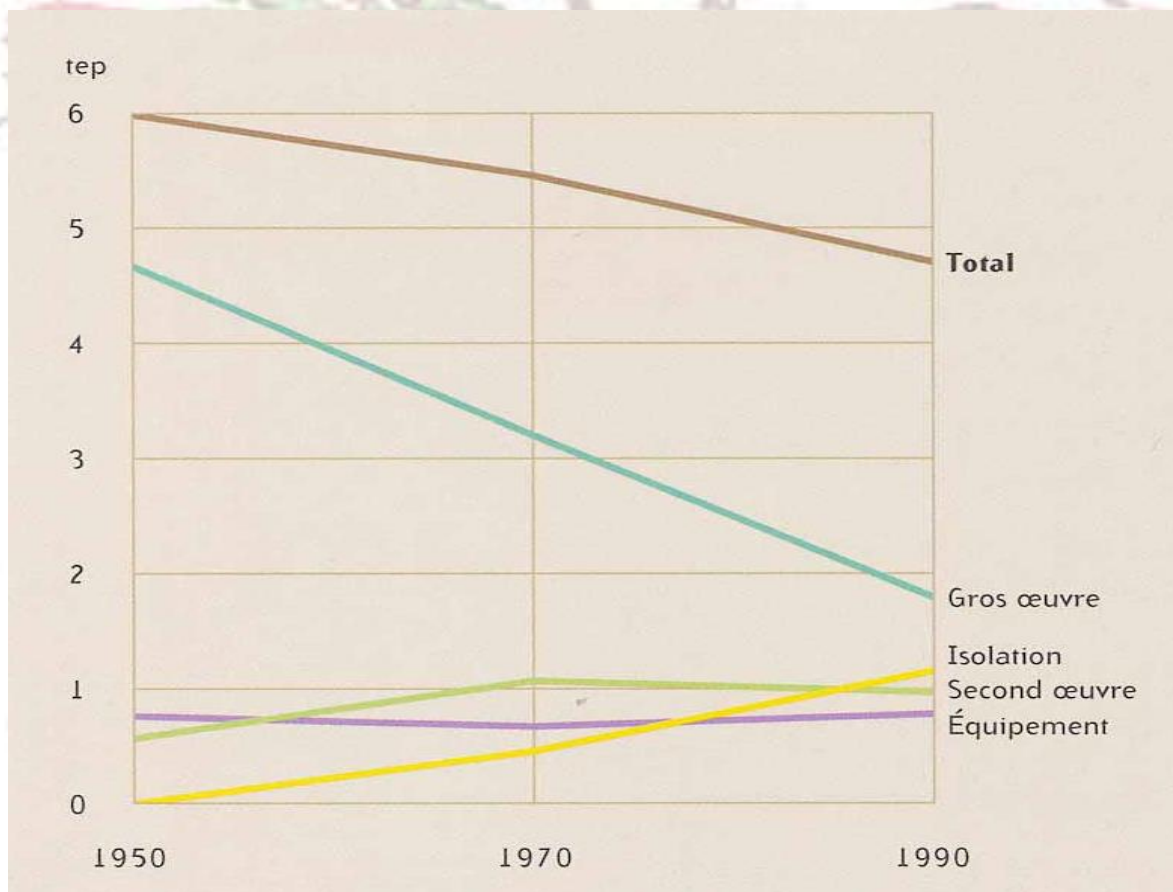
evolução do consumo energético nos produtos industriais de base



fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

## O fim do mito...

evolução do consumo energético na construção civil (110m<sup>2</sup>)



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

# O fim do mito...

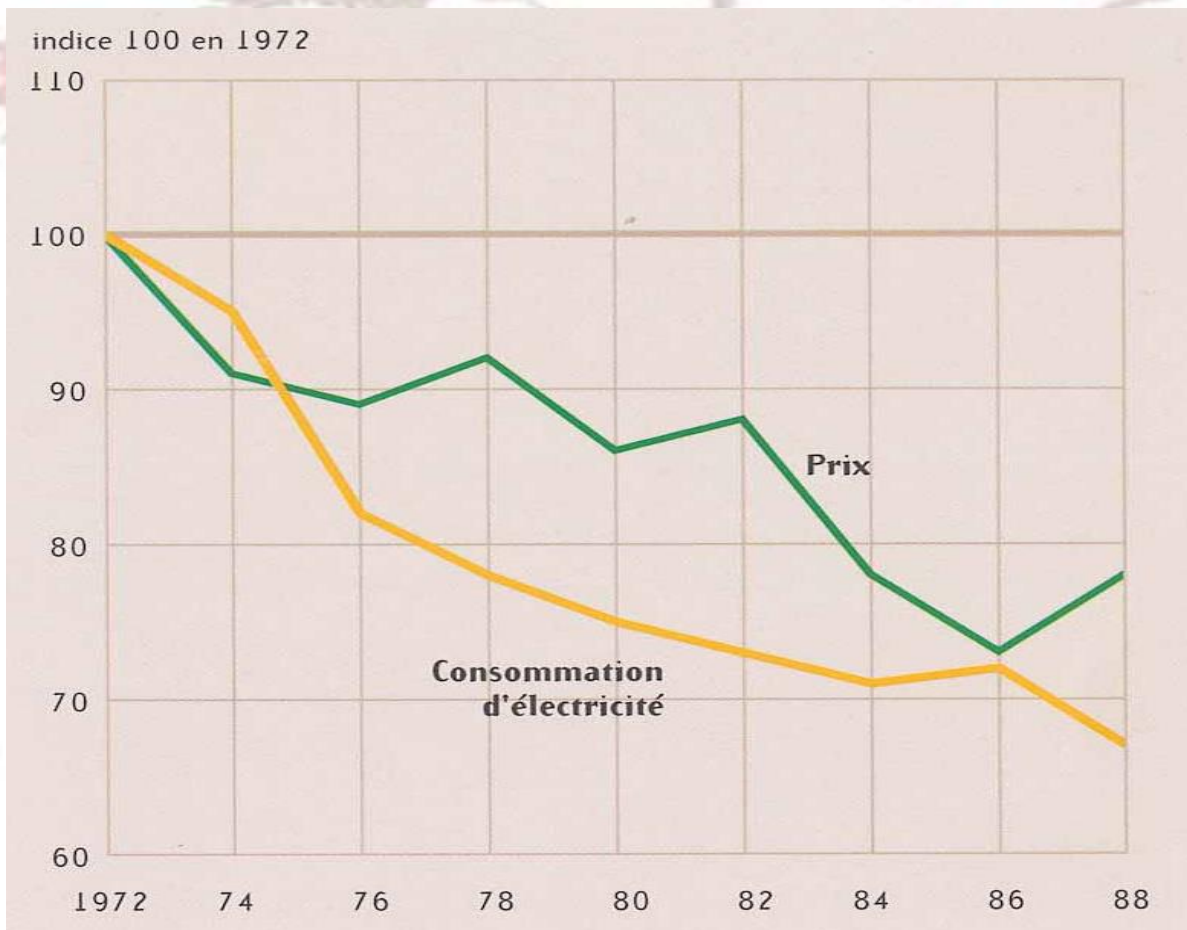
com consequências interessantes...



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

## O fim do mito...

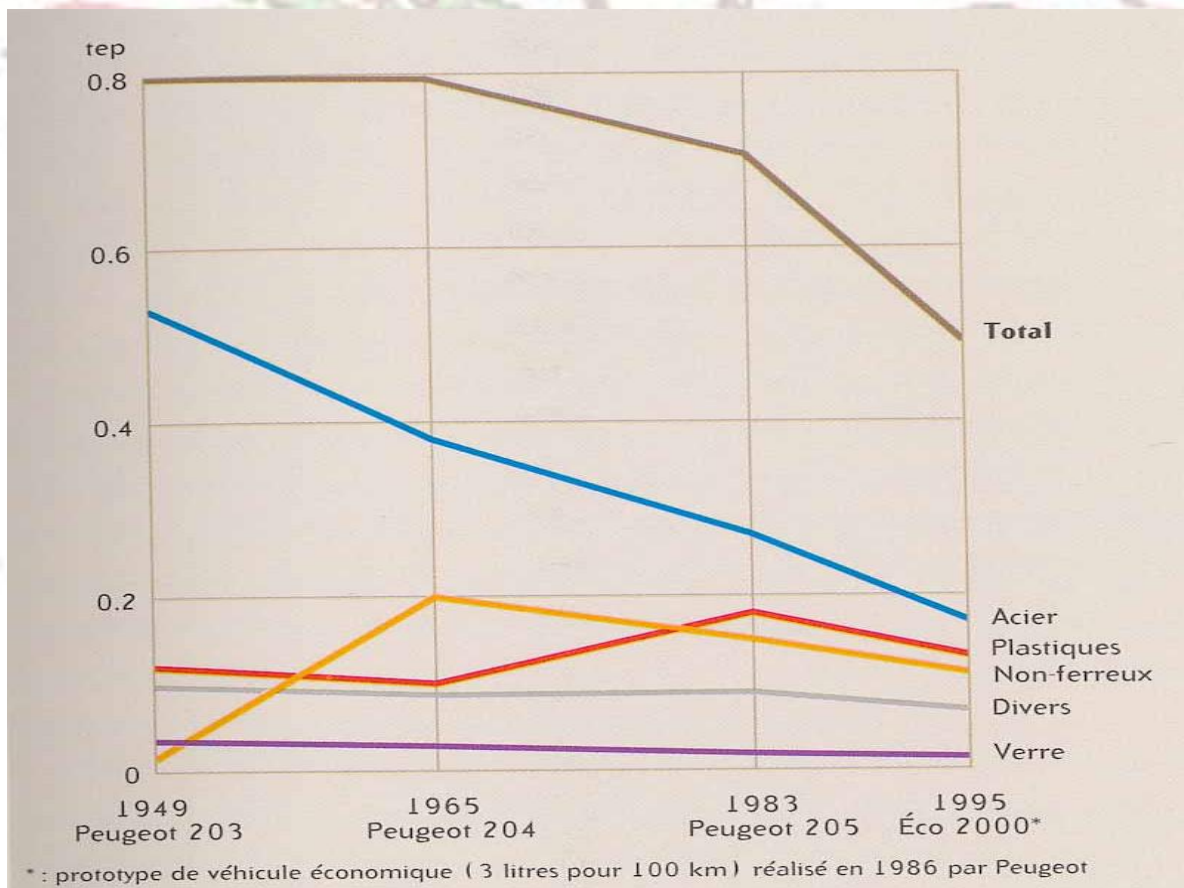
também visíveis noutro tipo de bens de consumo (frigoríficos)



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

# O fim do mito...

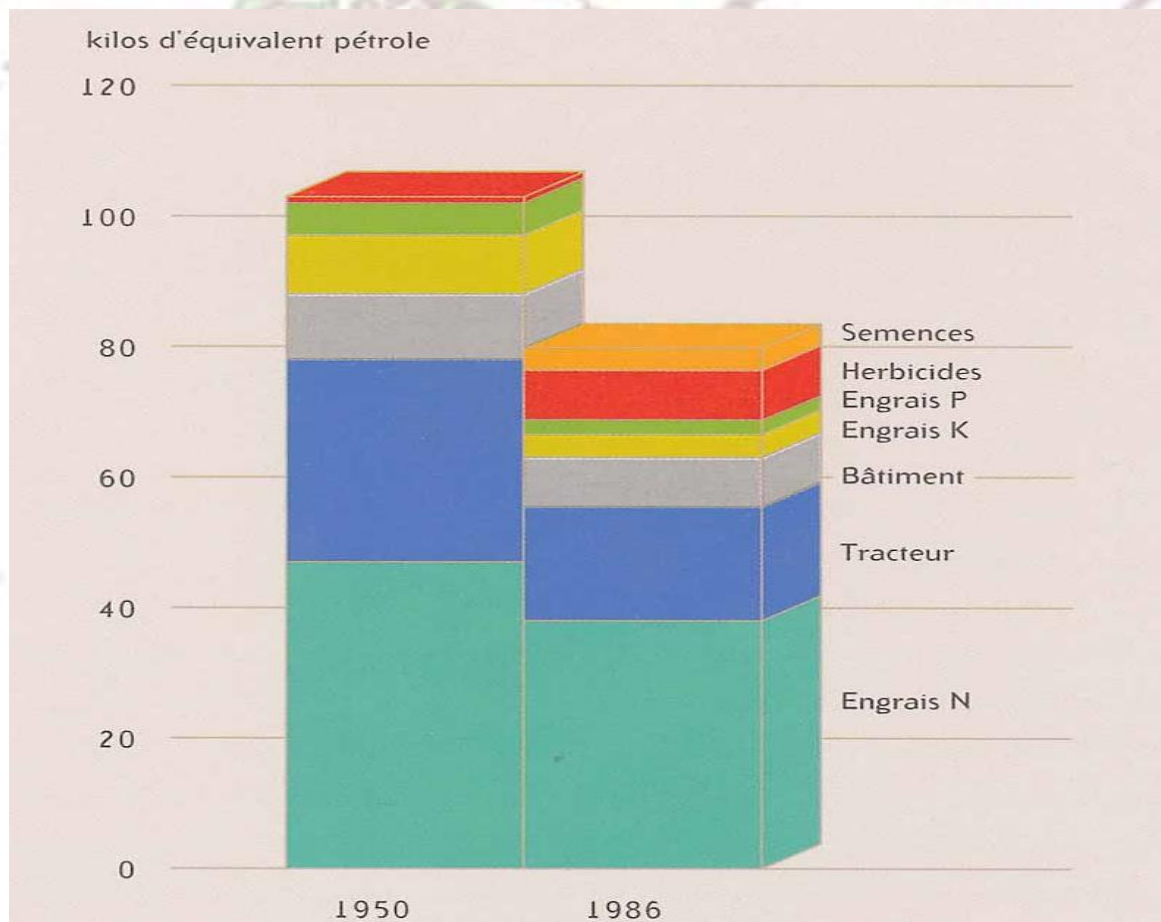
evolução do consumo energético na produção automóvel



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

# O fim do mito...

evolução do consumo energético na produção de 1 tonelada de trigo



fonte: B.Dessus,  
Atlas des énergies  
pour un monde  
vivable

## O fim do mito...

**o que isto significa é que é possível de facto encontrar processos que nos permitam consumir menos energia para fazer o mesmo...**

## **O fim do mito...**

**mas que, frequentemente,  
não os utilizamos tanto  
como podíamos porque a  
energia é demasiado barata!**

**e estes efeitos têm-se  
tornado visíveis ?**



# Um conceito: a intensidade energética do PIB

(1990)	Consumo per capita (TEP)	PIB per capita (\$)	Intensidade energética do PIB TEP / k\$
Europa leste	3,4	4000	0,85
CEE	3,5	9700	0,36
Japão	3,5	11400	0,31
Ex-URSS	4,9	5500	0,89
EUA	7,5	14400	0,52
Canadá	9	14100	0,64

**podemos acrescentar uma coluna...**

## **Um conceito: a intensidade energética do PIB**

- **é claro que esta grandeza depende, por exemplo, de factores climáticos, culturais...**
- **mas também é claro que a sua evolução temporal num dado sítio nos dá um padrão “do que é normal”!**

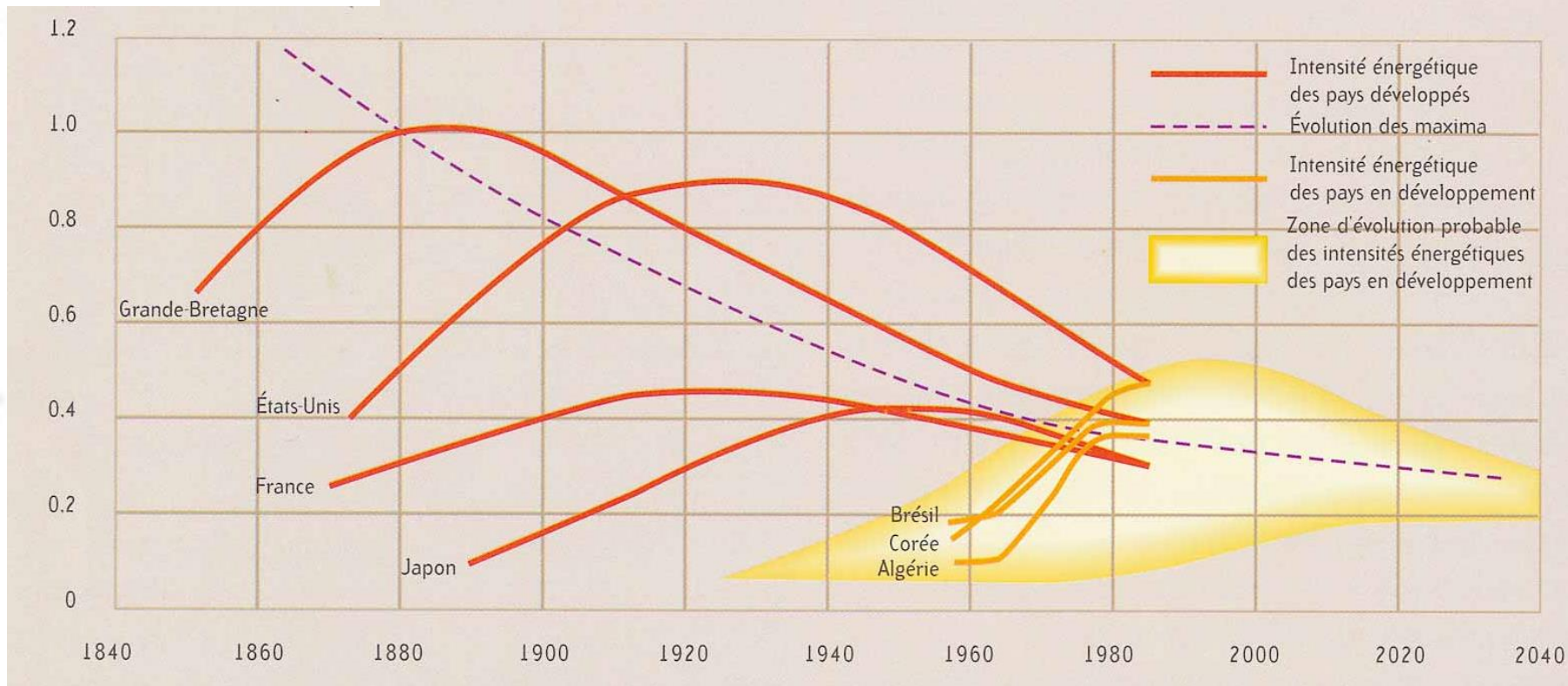
**vejamos então o que tem acontecido...**

# Intensidade energética do PIB

evolução histórica em diferente países

TEP / k\$

fonte: B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable



## Pontos importantes...

- **a forma das curvas para cada caso**  
(fase inicial – construção de infra-estruturas pesadas; quando o PIB per capita atinge ~2000\$ dá-se uma estabilização do consumo dos materiais com forte intensidade energética, e os serviços começam a ser mais importantes)
- **a evolução do máximo ao longo do tempo para diferentes casos** (progresso tecnológico)

**podemos incorporar estes efeitos nos cenários ?**

## **Cenários energeticamente sustentáveis :**

### **Pressupostos:**

**em vez de pura e simplesmente extrapolarmos o que aconteceu no passado de uma maneira cega, tentamos perceber quais serão as reais necessidades em termos de energia per capita;**

**estas necessidades são estabelecidas atendendo ao estado de desenvolvimento de que se parte (e a outros parâmetros, como seja o clima local), e definindo quais as metas a atingir (conforto, educação, alimentação, saúde, transportes,...);**

**uma vez “definidas” as necessidades per capita, e calculada a quantidade “mínima” de energia necessária para as satisfazer, pura e simplesmente multiplicamos esses valores pela população que se prevê que venha a existir na região.**

## Cenários energeticamente sustentáveis:

**fonte:** B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

### **Exemplo: necessidades de um país em desenvolvimento (clima quente) em 2020**

**Habitação:** (4 pessoas por habitação)

cozinha a gás natural;

50l por pessoa × dia de água quente sanitária;

1 frigorífico/congelador de 300l;

nível de iluminação equivalente ao dos EU em 1985;

1 televisor a cores;

1 máquina de lavar (1 lavagem / dia)

...

## Cenários energeticamente sustentáveis:

**fonte:** B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

### **Exemplo: necessidades de um país em desenvolvimento (clima quente) em 2020**

**Transportes:** (equivalente à média europeia em 1975)

0,19 veículos privados /habitante

autocarros interurbanos: 1850km × passageiro / habitante × ano

comboios passageiros: 3175km × passageiro / habitante × ano

transportes urbanos: 520km × passageiro / habitante × ano

transportes aéreos: 345km × passageiro / habitante × ano

tráfego rodoviário: 1495 toneladas × km / habitante × ano

tráfego ferroviário: 815 toneladas × km / habitante × ano

## Cenários energeticamente sustentáveis:

**fonte:** B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

### **Exemplo: necessidades de um país em desenvolvimento (clima quente) em 2020**

**Indústria:** (equivalente à média OCDE em 1978-80)

siderurgia: 320kg / habitante × ano

cimento: 480kg / habitante × ano

alumínio: 10kg / habitante × ano

cartão: 105kg / habitante × ano

fertilizantes azotados: 25kg / habitante × ano

...

**Serviços:** (semelhante à media Europeia em 1975)

necessidades relacionadas com 4 m<sup>2</sup> /habitante × ano



## Cenários energeticamente sustentáveis:

**fonte:** B.Dessus, Atlas des énergies pour un monde vivable

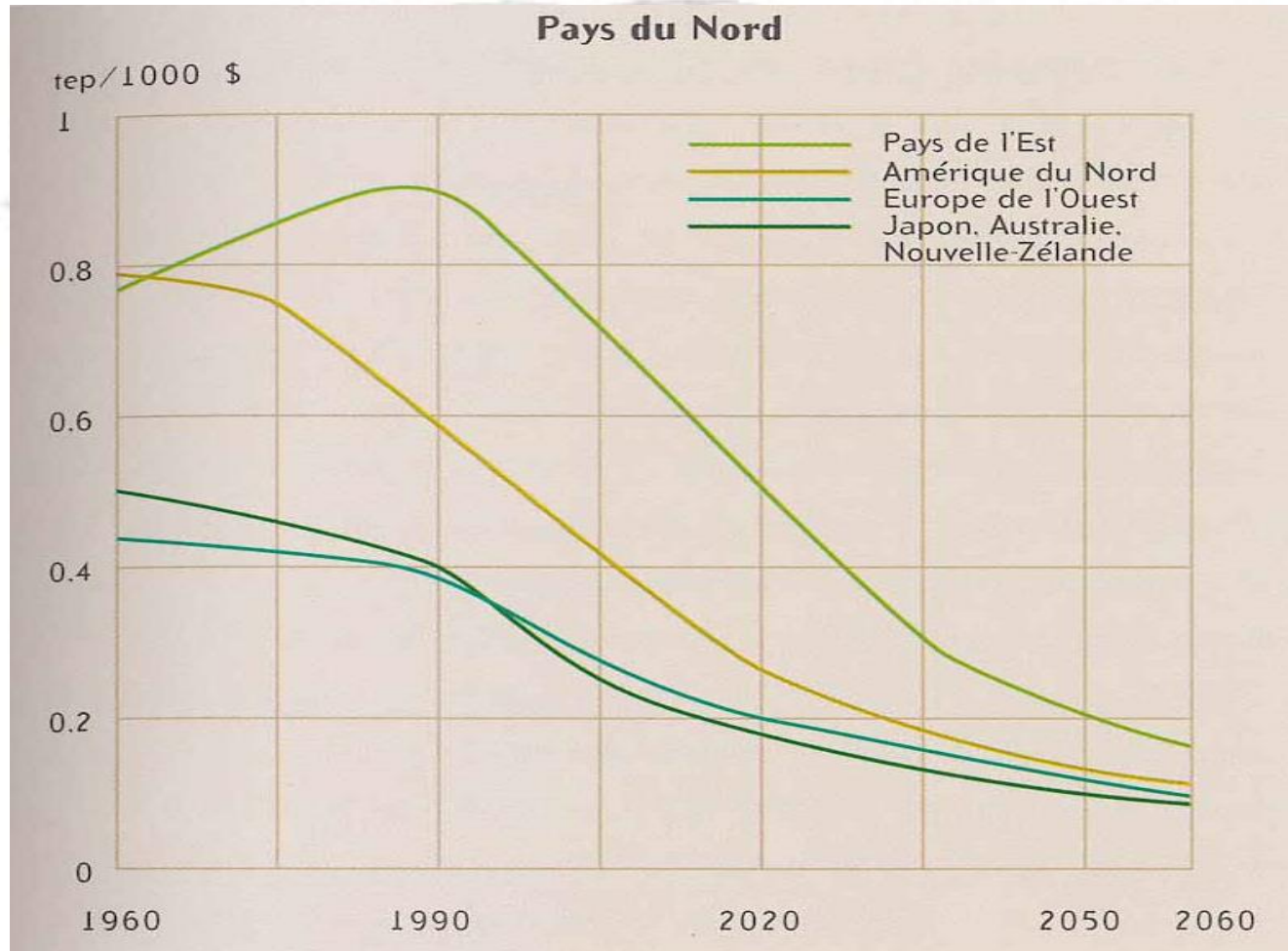
### **Exemplo: necessidades de um país em desenvolvimento (clima quente) em 2020**

#### **Em resumo:**

supõe-se que estamos a falar de um país tropical com um nível de vida análogo ao que acontecia em média na Europa no final da década de 70;

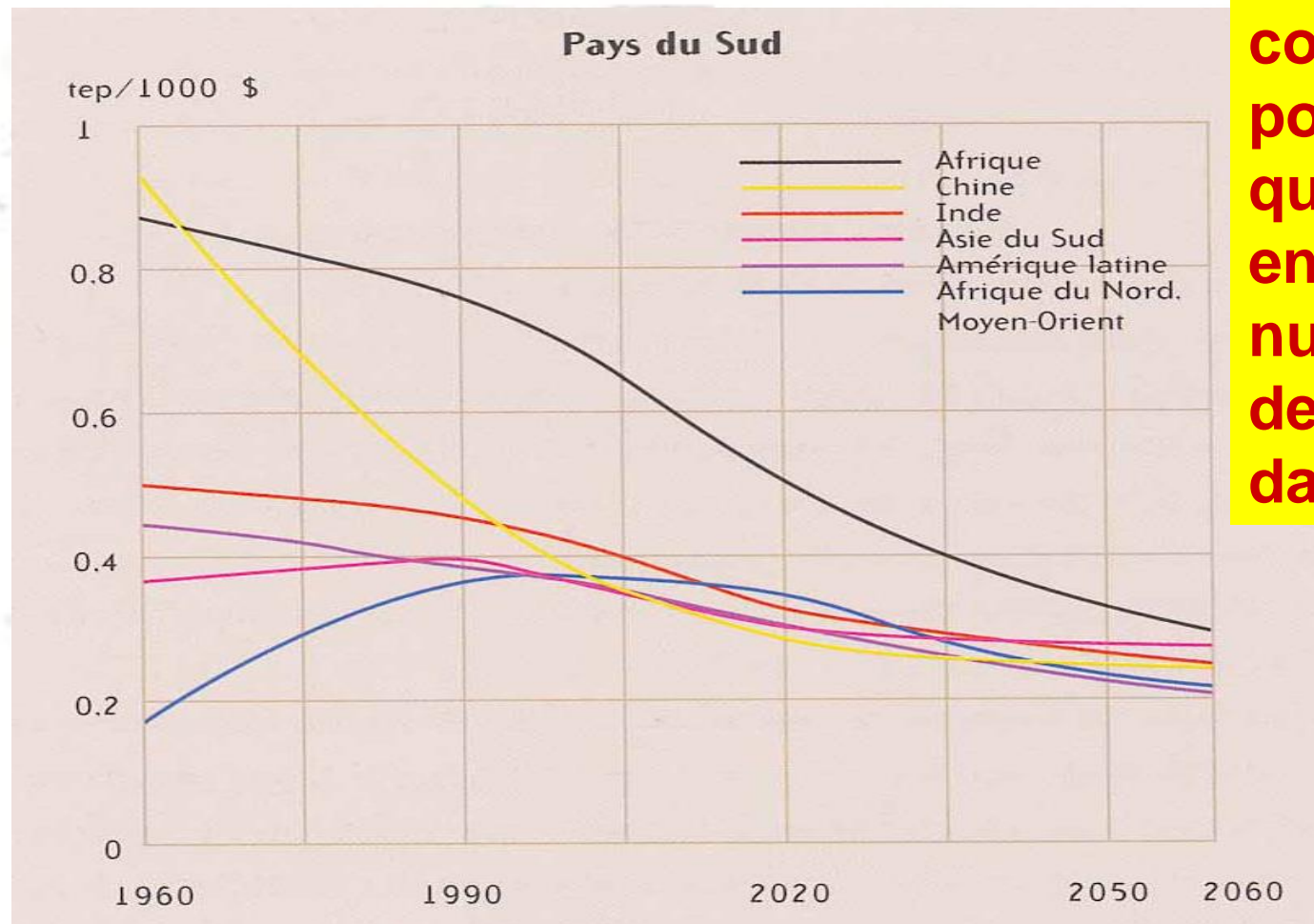
e admito ainda que até 2020 as diferentes tecnologias irão evoluir numa lógica de continuidade em relação ao passado no que se refere à sua eficiência, e que a utilização das tecnologias mais eficientes se disseminará pelo mundo (o que, naturalmente, implica uma cooperação Norte-Sul com esse objectivo).

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**



**fonte:**  
B.Dessus,  
Atlas des  
énergies  
pour un  
monde  
vivable

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**



**como é possível prever que África se encontre já numa fase descendente da curva ?**

**fonte:**  
B.Dessus,  
Atlas des énergies pour un monde vivable

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

**Não é assim tão difícil de entender se pensarmos, por exemplo, que...**

**um fogão a gás é 8 vezes mais eficiente que uma fogueira para cozinhar;**

**uma lâmpada fluorescente é 35 vezes mais eficiente que um candeeiro a petróleo;**

**um parque automóvel renovado facilmente permite diminuir os consumos de um factor 2 ou mais;**

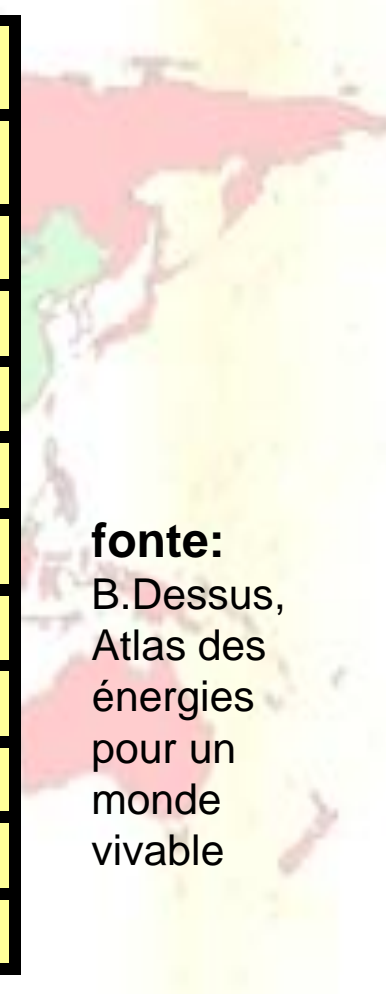
**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

**Estas são as previsões no que se refere à intensidade energética...**

**então e o que se prevê num cenário deste tipo em termos de consumo?**

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

Regiões	Consumo /TEP/habitante			
	1985	2020	2060	2100
América do norte	7,5	4,7	2,5	1,7
Europa	3,0	2,5	1,5	1,3
Japão, Austrália e Nova Zelândia	3,1	2,6	1,6	1,4
Ex-URSS, Europa Central	4,5	3,3	2,1	1,7
América Latina	1,1	1,4	1,4	1,3
Norte África, Médio Oriente	0,9	1,1	1,3	1,3
África	0,4	0,4	0,6	0,8
Índia	0,3	0,4	0,7	0,9
China	0,6	1,0	1,2	1,3
Ásia, Oceânia	0,5	0,9	1,1	1,2



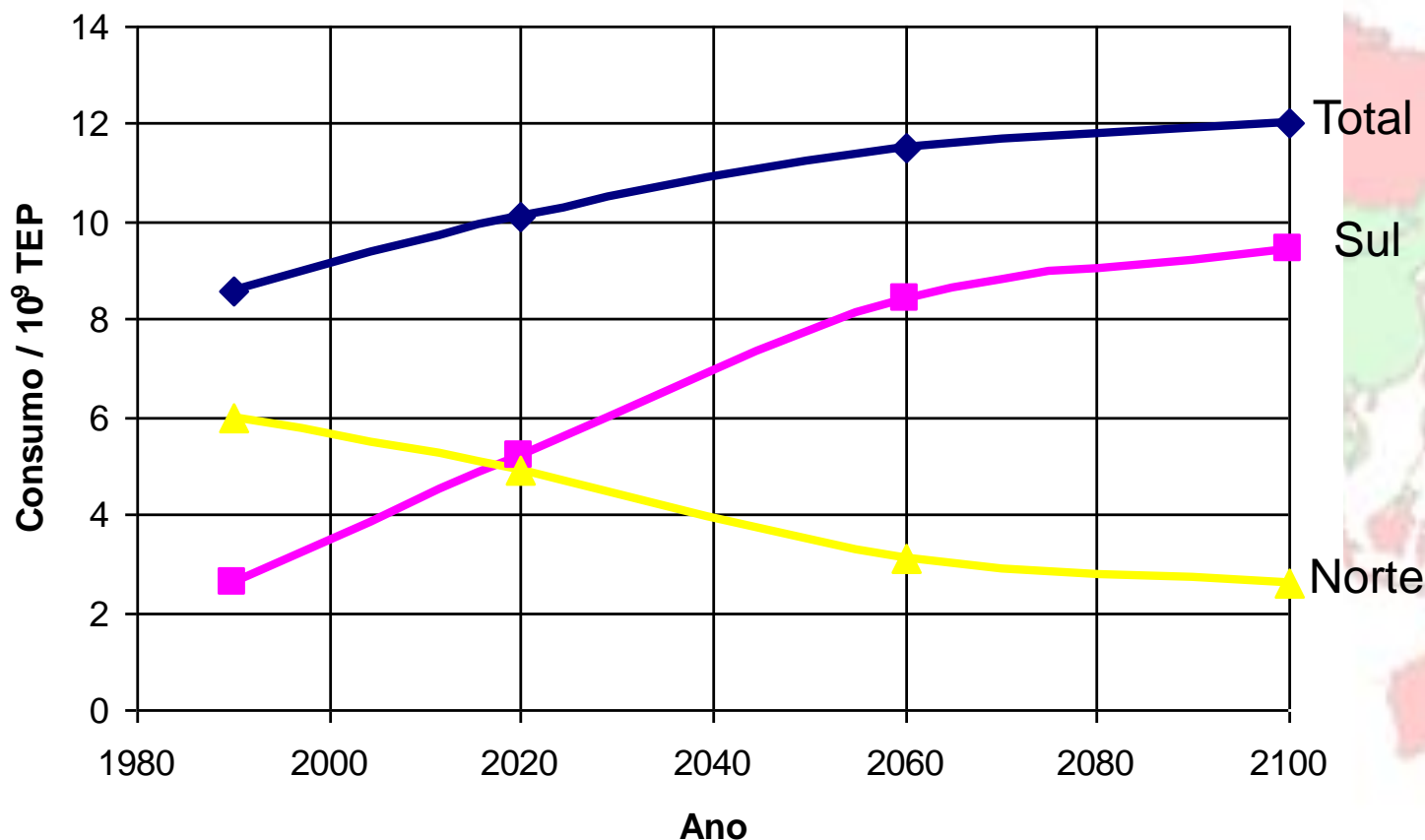
**fonte:**  
B.Dessus,  
Atlas des  
énergies  
pour un  
monde  
vivable

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

**Agora basta utilizar os dados relativos à população mundial nas diferentes regiões...**



**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**



**fonte:**  
B.Dessus,  
Atlas des  
énergies  
pour un  
monde  
vivable

**a caminho da estabilização do consumo mundial**



**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

**Mas não chega dizer que vamos estabilizar o consumo...**

**é preciso dizer quais vão ser as fontes de energia para o satisfazer!**

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

**como garantir que temos combustíveis fósseis enquanto precisamos deles, e que as emissões associadas à sua queima não são elevadas demais?**

**como evitar acumular quantidades perigosamente elevadas de detritos nucleares?**

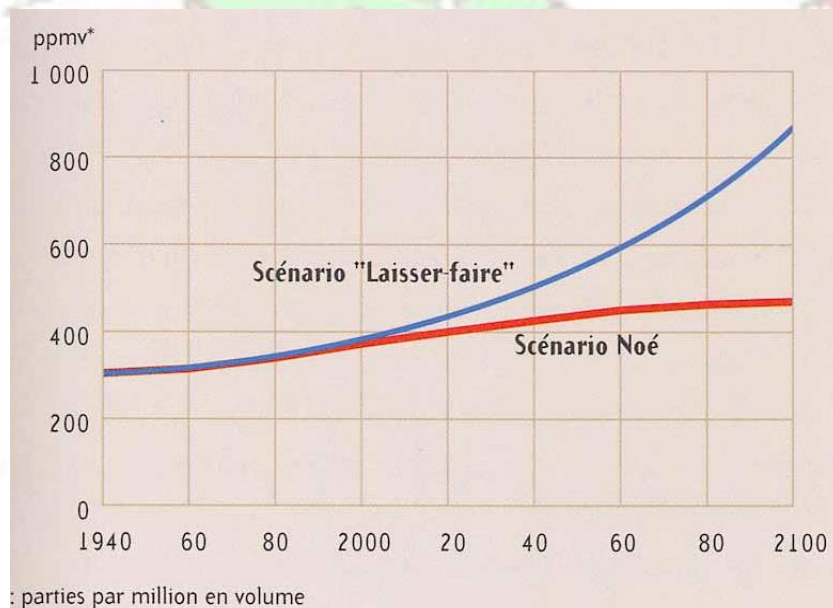
**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

**A proposta deste cenário:**

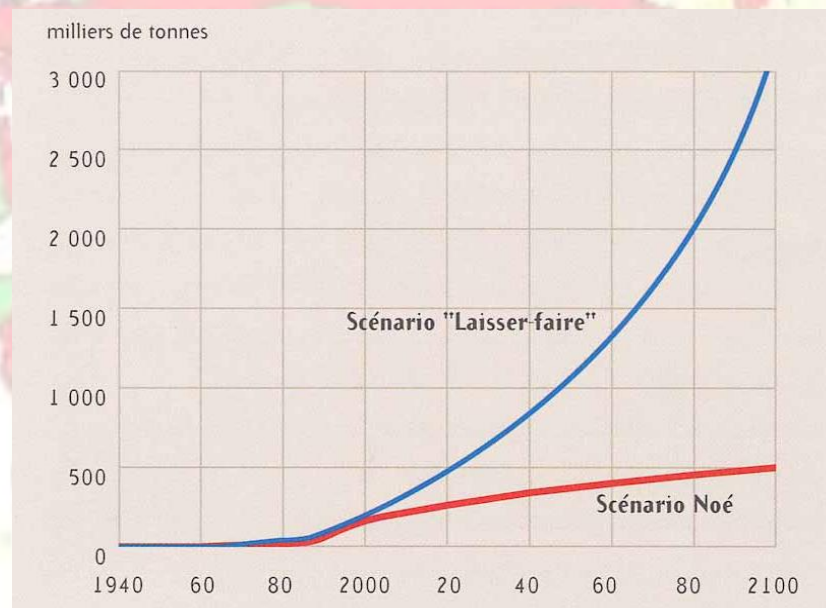
**estabilizar até ao fim do século XXI, quer a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, quer a quantidade de resíduos radioactivos armazenados**

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

**A proposta deste cenário:**



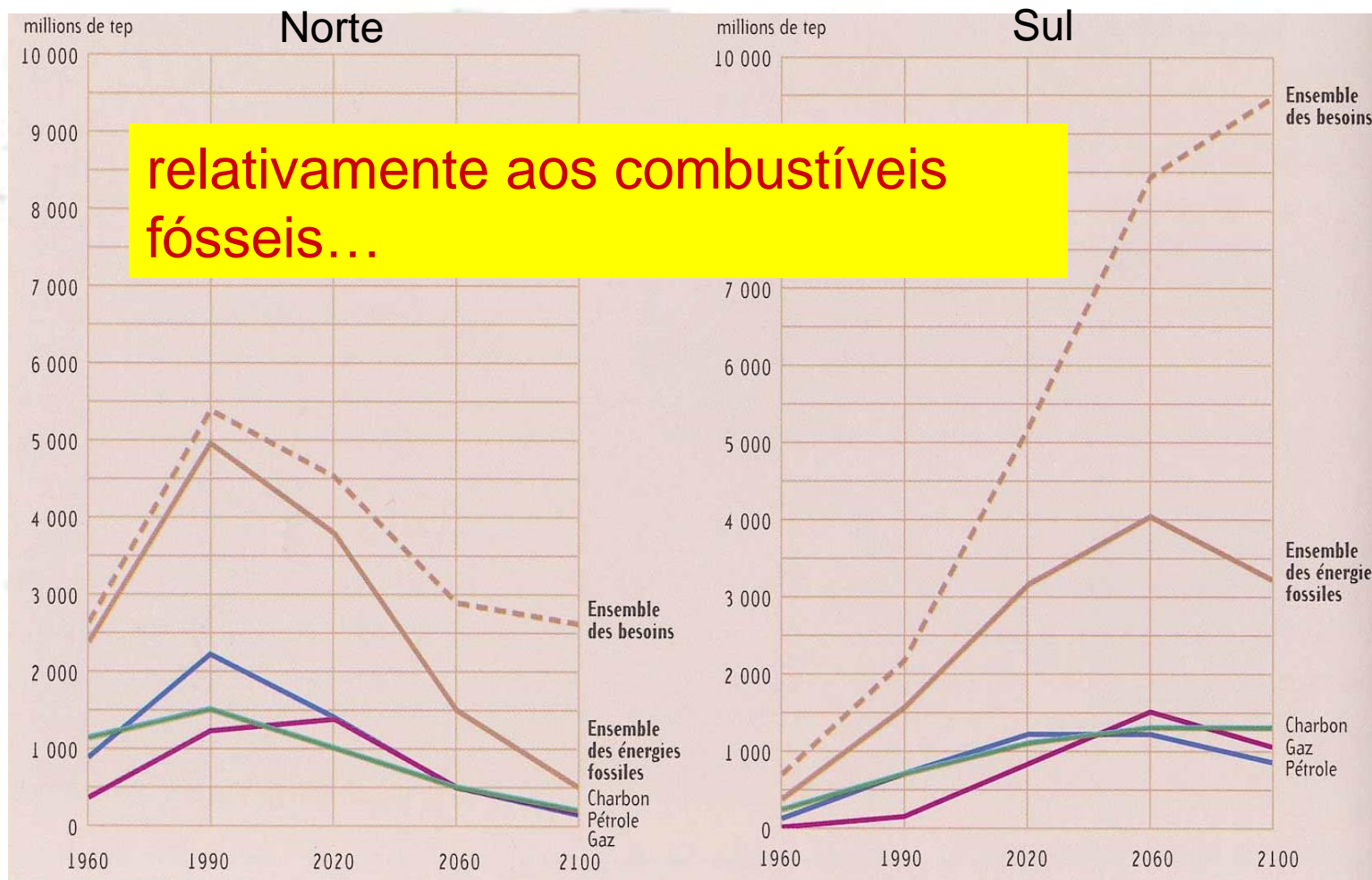
estabilização nas 450ppmv



estabilização nas 500 000 toneladas

**Como chegar lá ?**

## Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)



**fonte:**  
B.Dessus,  
Atlas des  
énergies  
pour un  
monde  
vivable

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

relativamente ao nuclear...

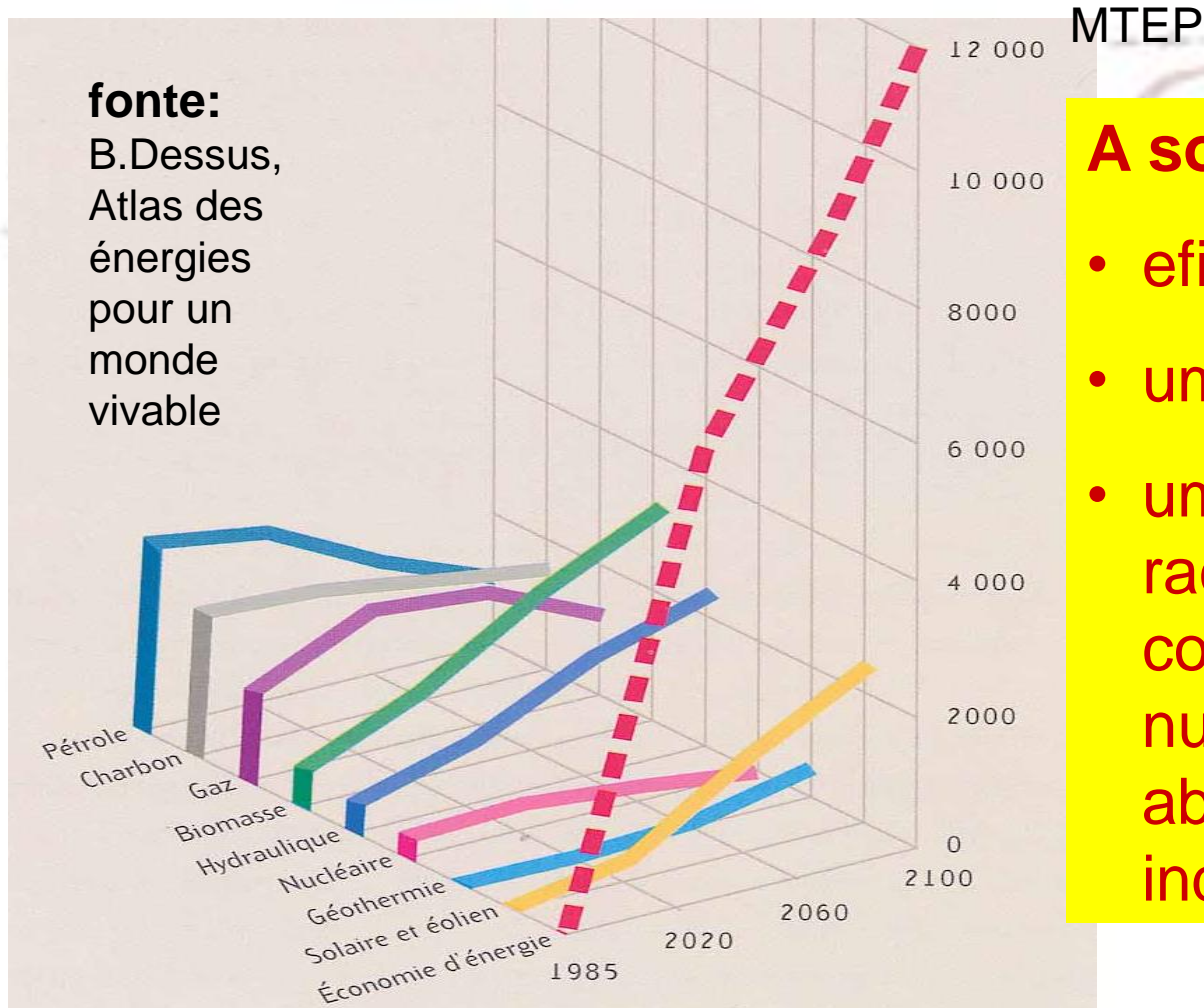
Não construir mais nenhuma central depois de 2060, porque o seu tempo de vida é de 40 anos

**Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)**

**E quanto à energia que falta?**

**Teremos que a obter  
com recurso às energias  
renováveis!**

## Um dos primeiros cenários energeticamente sustentáveis: o cenário Noé (1990)



### A solução proposta:

- eficiência energética;
- um mix de renováveis;
- uma utilização mais racional de combustíveis fósseis e nuclear, enquanto for absolutamente indispensável