

# SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA

---

## CONSUMO



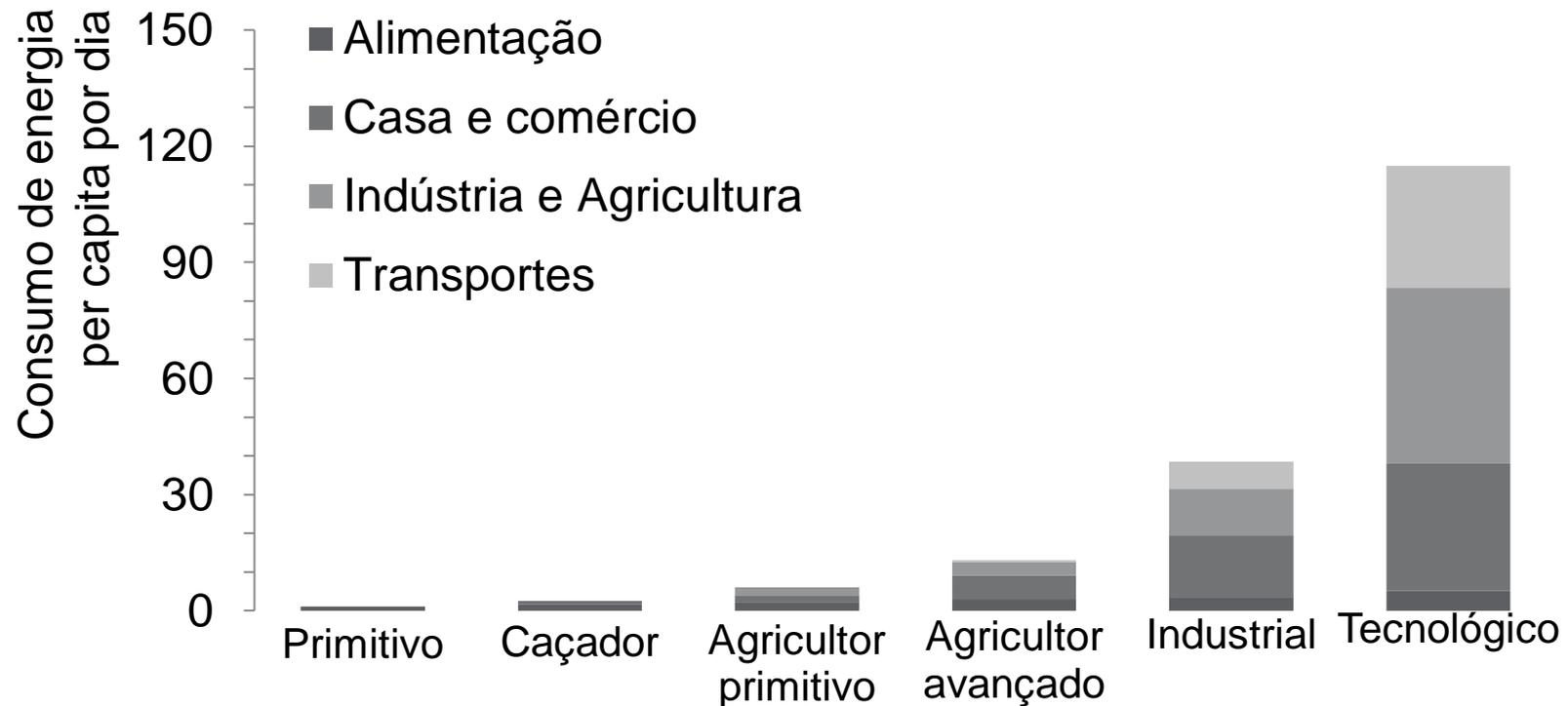
Miguel Centeno Brito

# Consumo de energia

- ❑ A função exponencial
- ❑ Crescimento demográfico
- ❑ Crescimento consumo de energia
- ❑ Limites ao crescimento

# Consumo de energia

Como é que o consumo pode crescer tão depressa?



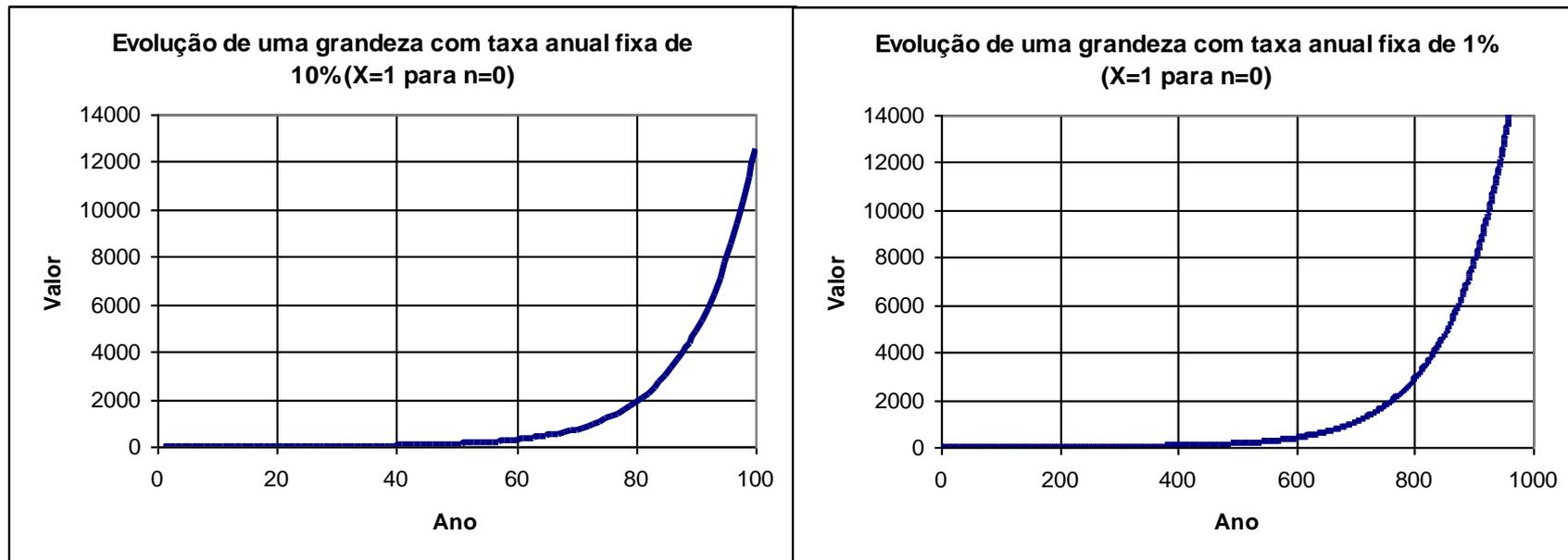
# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%$ /ano.

Ano	Valor
0	$x$
1	$x + \frac{t}{100}x = x\left(1 + \frac{t}{100}\right)$
2	$x\left(1 + \frac{t}{100}\right) + \frac{t}{100}\left[x\left(1 + \frac{t}{100}\right)\right] = x\left(1 + \frac{t}{100}\right)^2$
...	
n	$x\left(1 + \frac{t}{100}\right)^n$

# Função exponencial

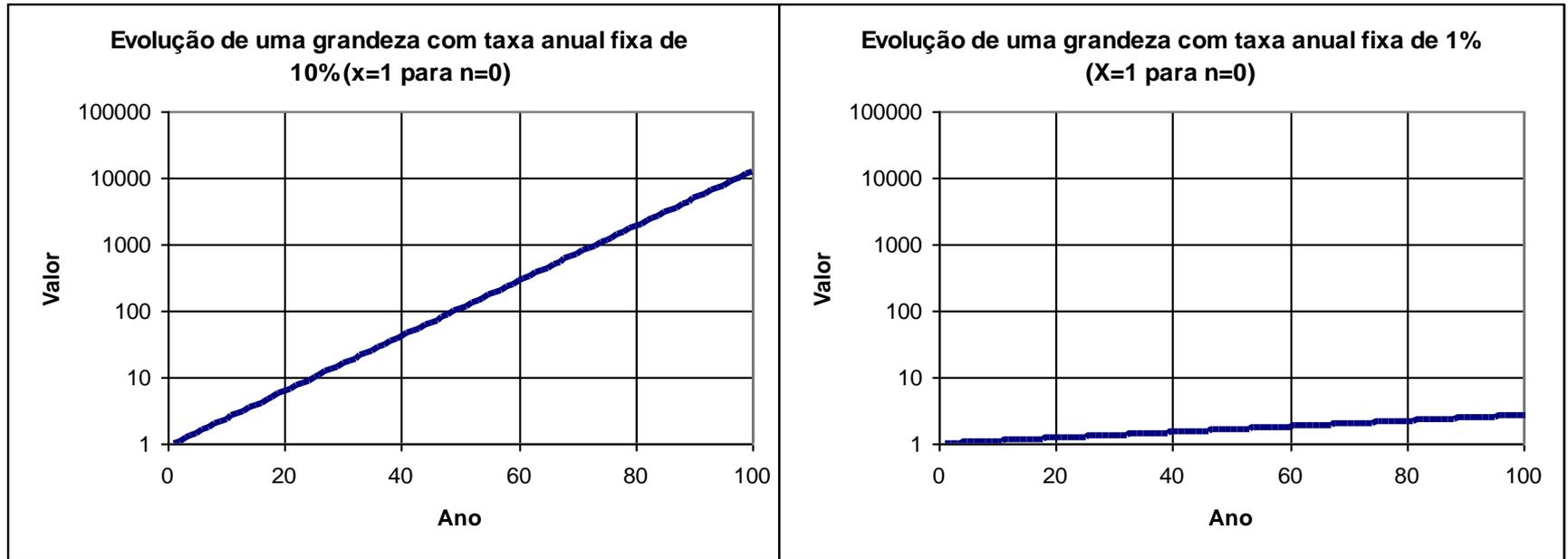
Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .



A forma é sempre a mesma, durante algum tempo não passa nada e de repente parece incontrolável.

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .



Numa escala logarítmica é linear. O declive varia com a taxa anual.

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

Quanto tempo demora a duplicação do seu valor?

É o valor de  $n$  que satisfaz a equação

$$x \left( 1 + \frac{t}{100} \right)^n = 2x$$

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

Quanto tempo demora a duplicação do seu valor?

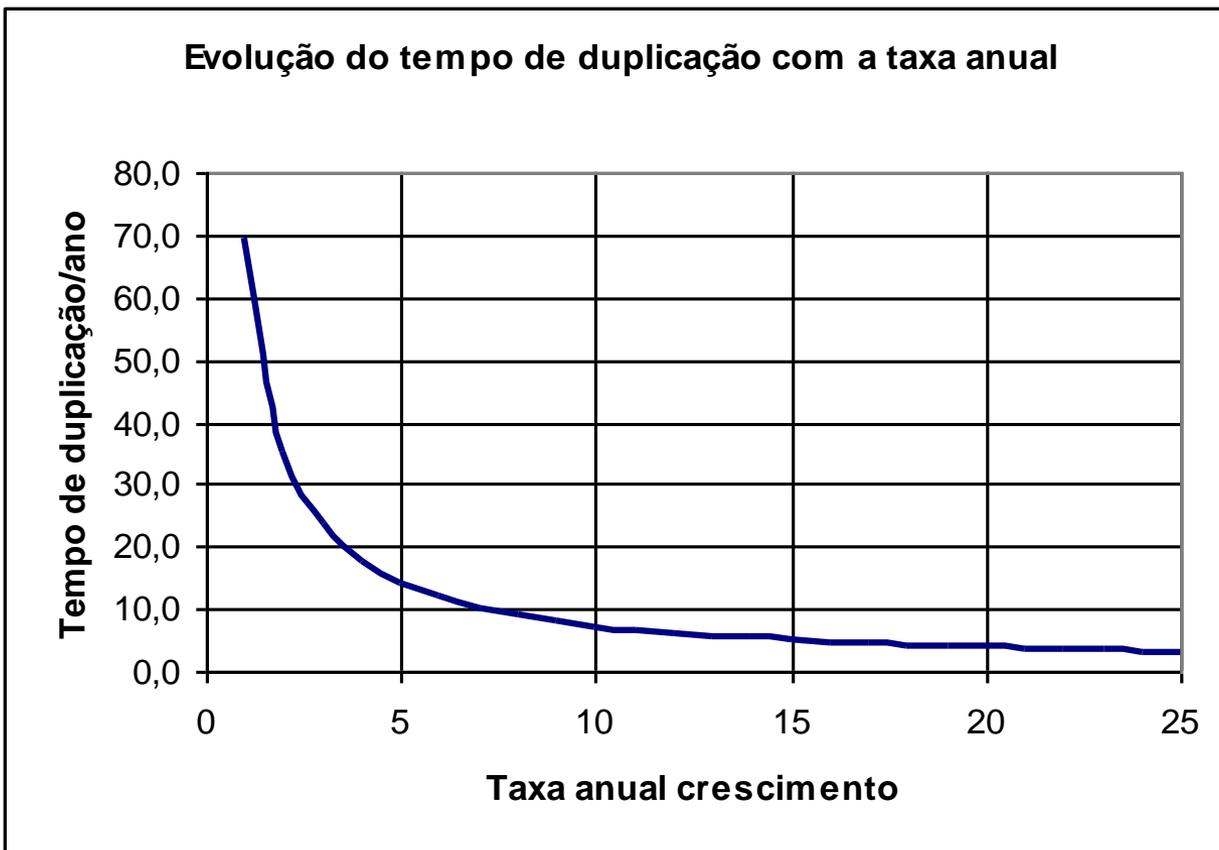
Taxa (%)	Tempo de duplicação (anos)
1	69.7
2	35.0
3	23.4
4	17.7
5	14.2
6	11.9
7	10.2
8	9.0
9	8.0
10	7.3

Mesmo com uma taxa de 1% o tempo de duplicação é inferior à esperança média de vida actual.

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

Quanto tempo demora a duplicação do seu valor?

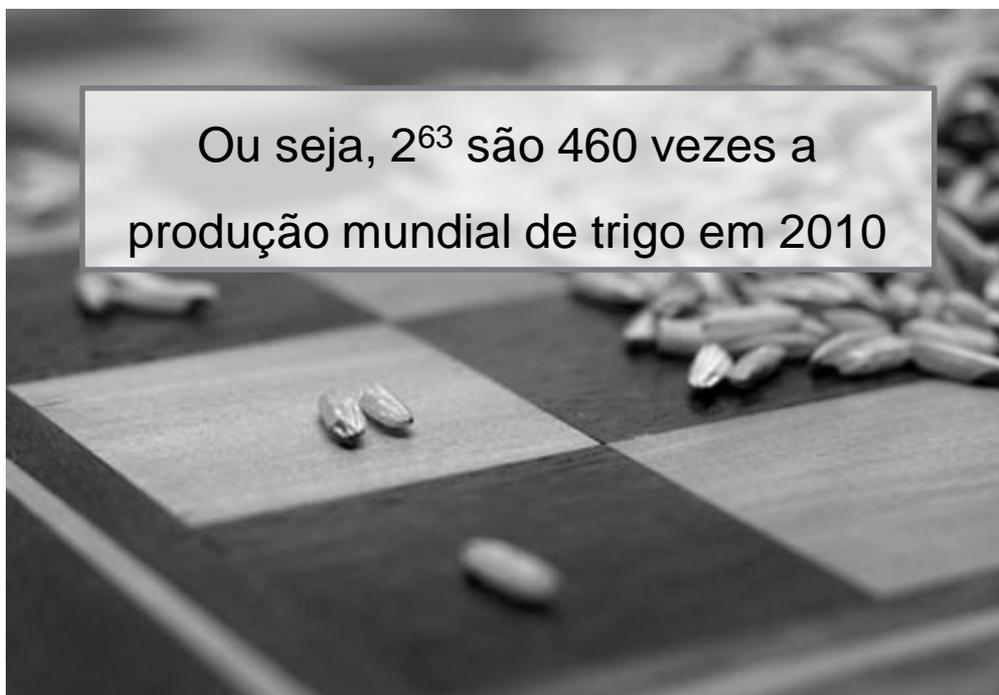


Mesmo com uma taxa de 1% o tempo de duplicação é inferior À esperança média de vida actual.

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

Duplicar é bem mais do que aumentar o mesmo em termos absolutos.



Ou seja,  $2^{63}$  são 460 vezes a produção mundial de trigo em 2010

Casa	Número de grãos
1	$1 = 2^0$
2	$2 = 2^1$
3	$4 = 2^2$
...	...
64	$2 = 2^{63}$

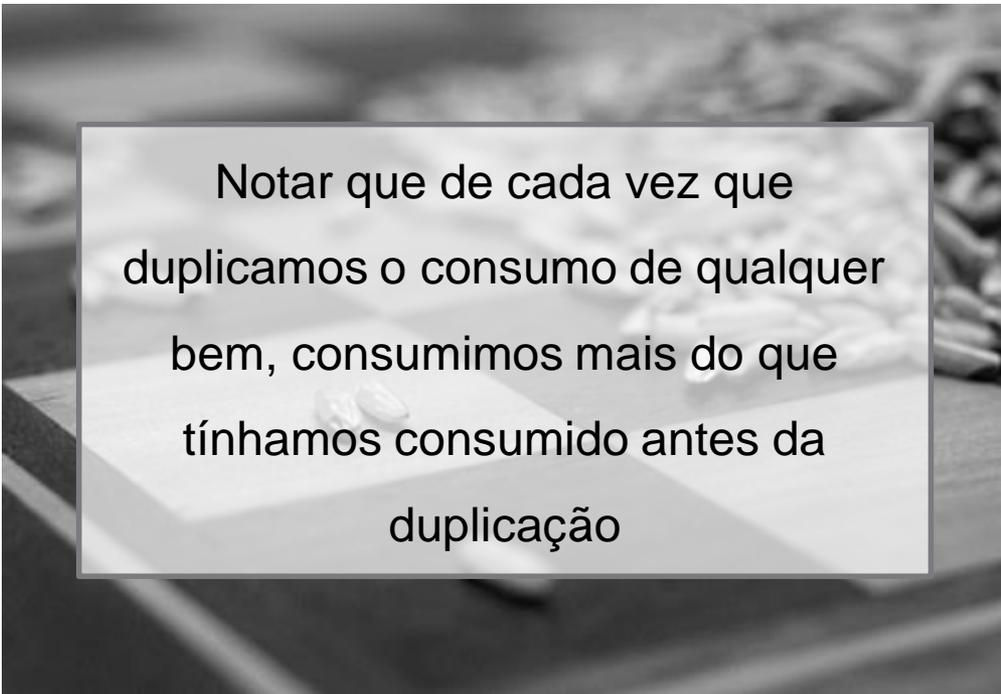
Quanto trigo é  $2^{63}$  grãos?

Cada grão pesa cerca de 30g logo  $2^{63} = 2^{63} \times 3 \times 10^{-8} = 2.8 \times 10^{11}$  toneladas

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

Duplicar é bem mais do que aumentar o mesmo em termos absolutos.



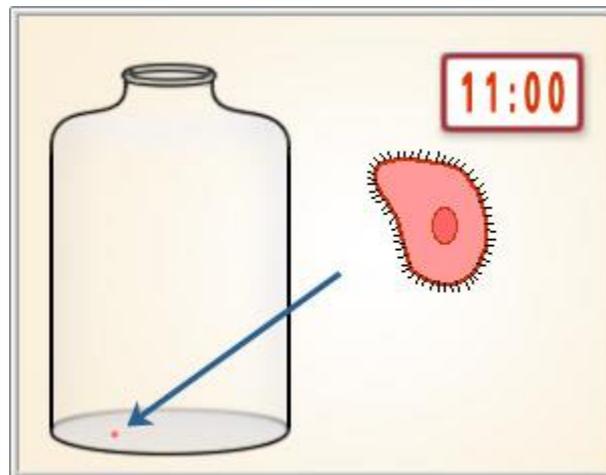
Notar que de cada vez que duplicamos o consumo de qualquer bem, consumimos mais do que tínhamos consumido antes da duplicação

Casa	Número de grãos
1	$1 = 2^0$
2	$2 = 2^1$
3	$4 = 2^2$
...	...
64	$2 = 2^{63}$

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

**Outro exemplo** [Albert Barlett – *Arithmetic, population and energy*]



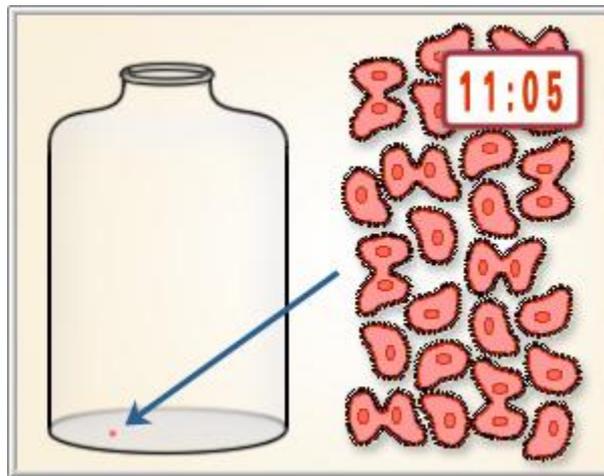
As bactérias reproduzem-se por **duplicação**.

Suponhamos que colocamos uma bactéria dentro de uma garrafa vazia às 11h00 e que elas se reproduzem uma vez por minuto.

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

**Outro exemplo** [Albert Barlett – *Arithmetic, population and energy*]



As bactérias reproduzem-se por **duplicação**.

Suponhamos que colocamos uma bactéria dentro de uma garrafa vazia às 11h00 e que elas se reproduzem uma vez por minuto.

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

**Outro exemplo** [*Albert Barlett – Arithmetic, population and energy*]



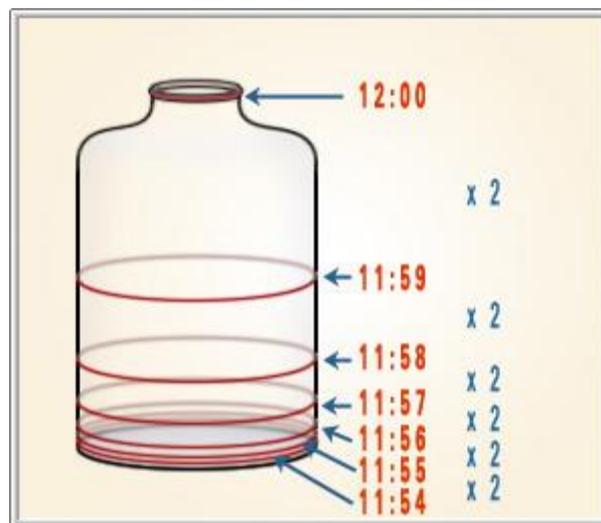
Ao meio dia a garrafa está totalmente preenchida.

**A que horas é que a garrafa estava meio cheia?**

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

**Outro exemplo** [Albert Barlett – *Arithmetic, population and energy*]



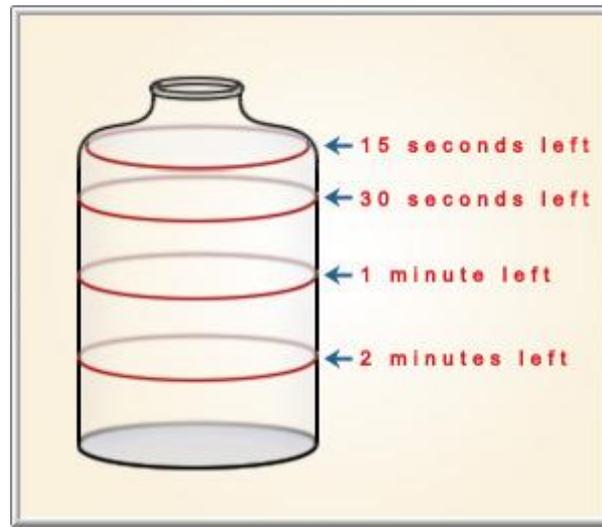
Ao meio dia a garrafa está totalmente preenchida.

**A que horas é que a garrafa estava meio cheia?**

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

**Outro exemplo** [Albert Barlett – *Arithmetic, population and energy*]



Ao meio dia a garrafa está totalmente preenchida.

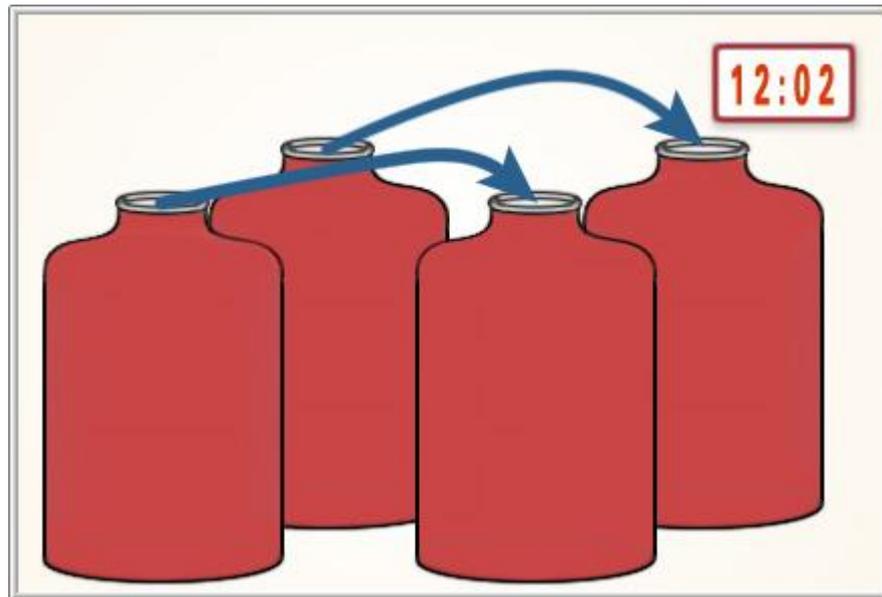
**A que horas é que a garrafa estava meio cheia?**

E a que horas é que as bactérias começaram a ficar preocupadas?

# Função exponencial

Uma dada grandeza qualquer aumenta com uma taxa anual constante,  $t\%/ano$ .

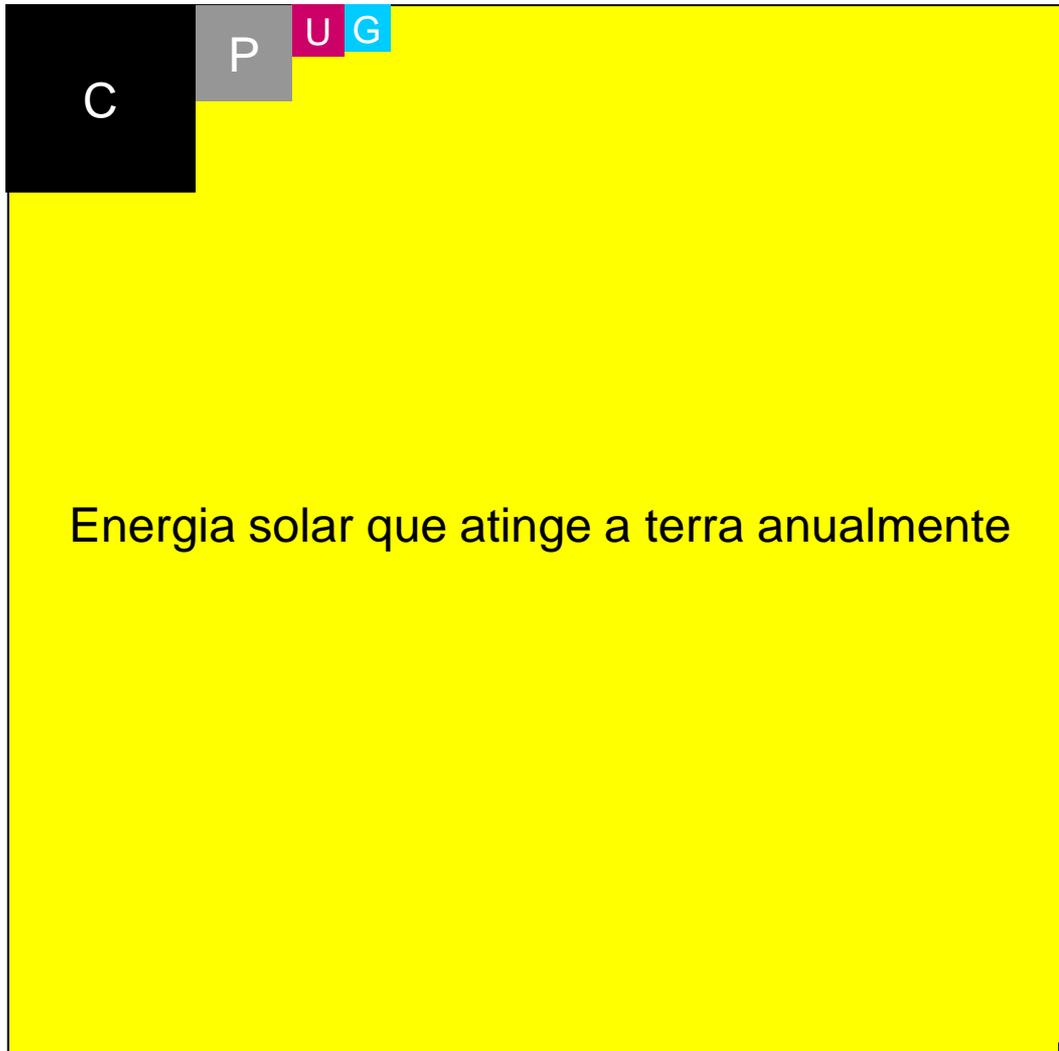
**Outro exemplo** [Albert Barlett – *Arithmetic, population and energy*]



E o que acontece depois?

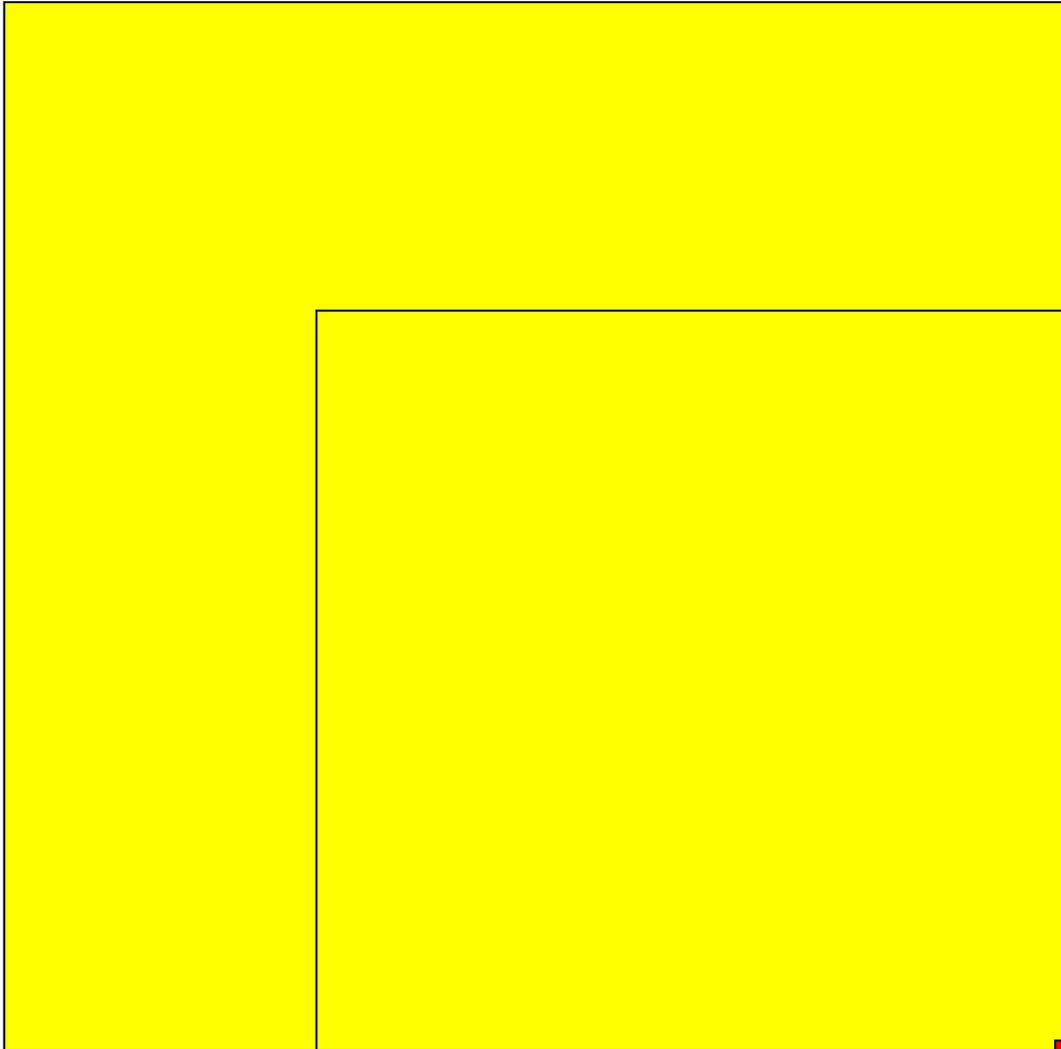
O grupo expedicionário localizou 3 novas garrafas... e a colónia ganhou mais dois minutos de vida.

# Função exponencial



Só precisamos de ser capazes de aproveitar menos de 0,1% da energia limpa que recebemos diariamente do sol!

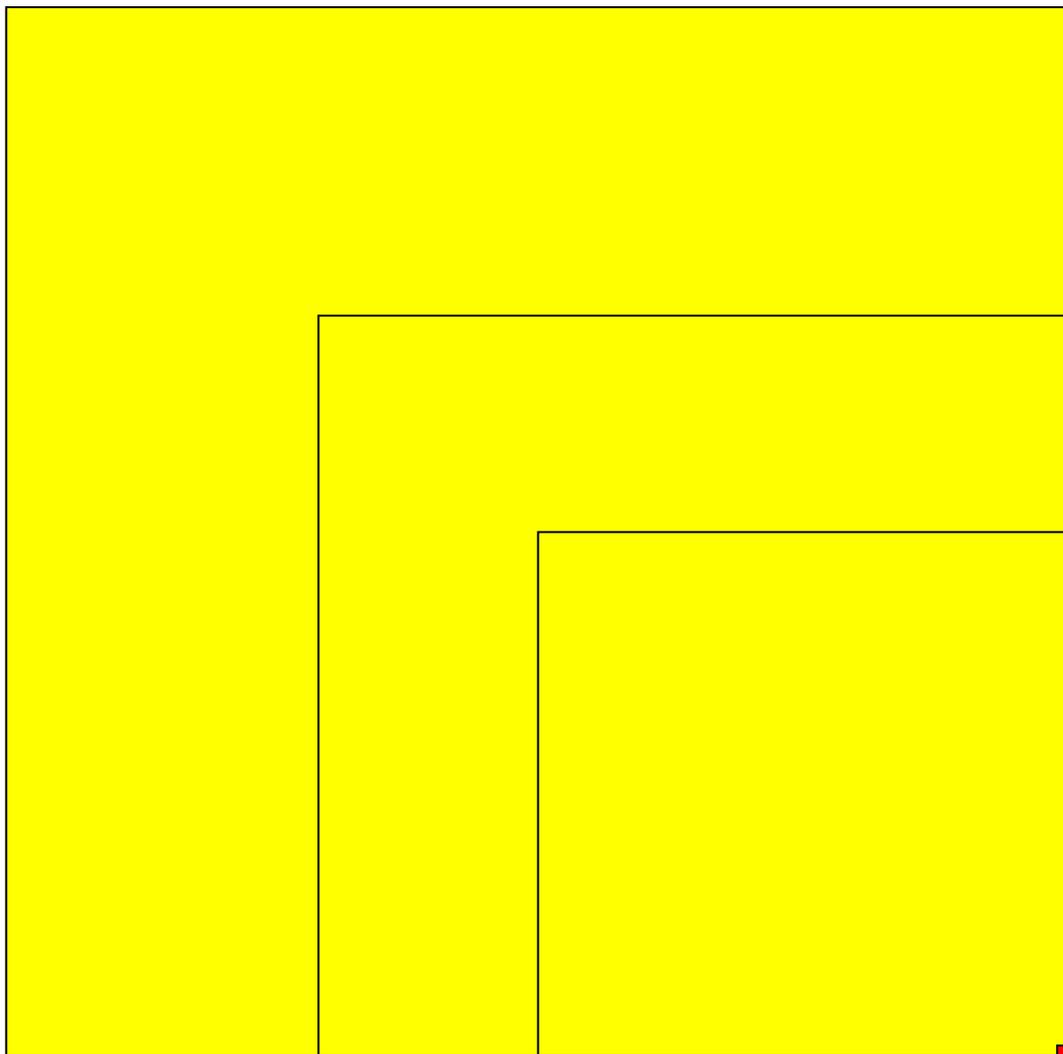
# Função exponencial



Que horas são?

11h59

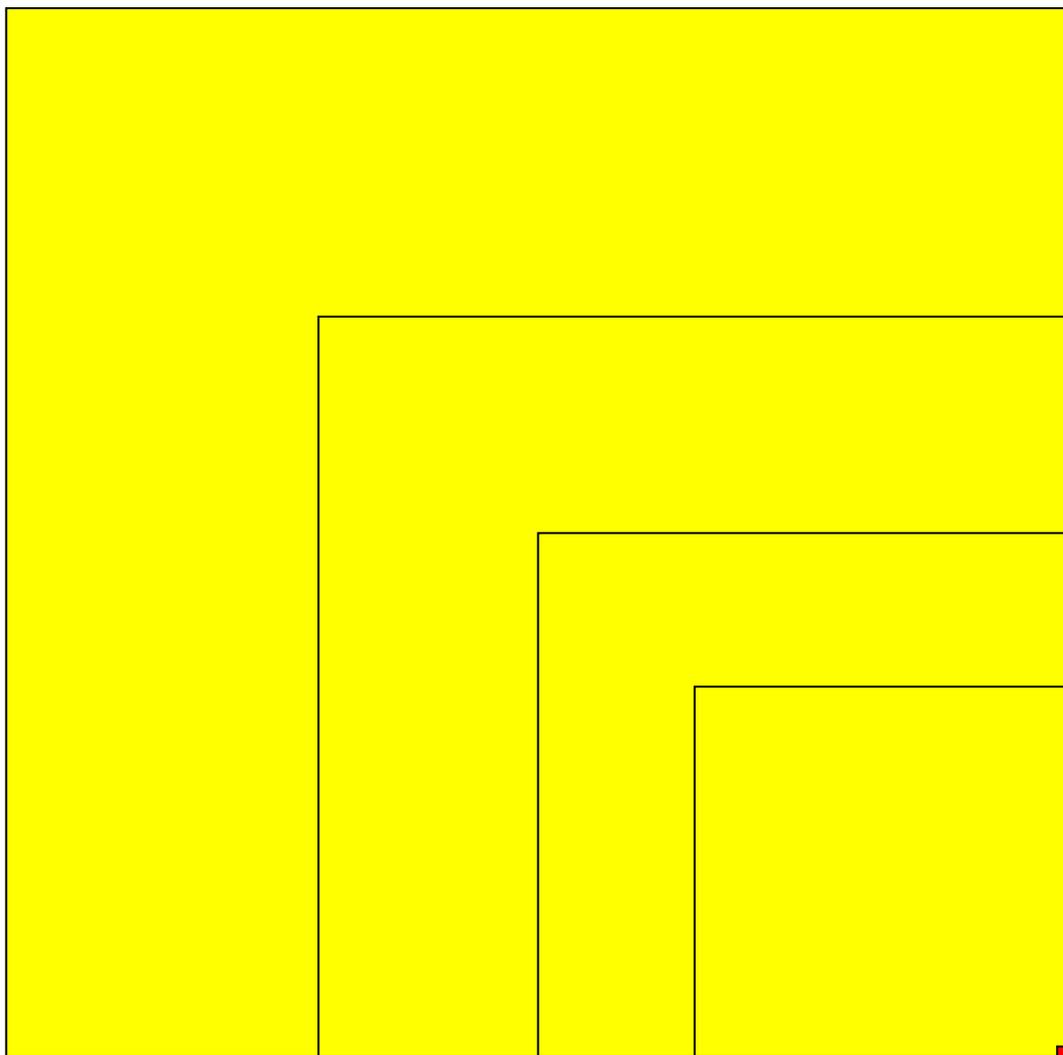
# Função exponencial



Que horas são?

11h58

# Função exponencial

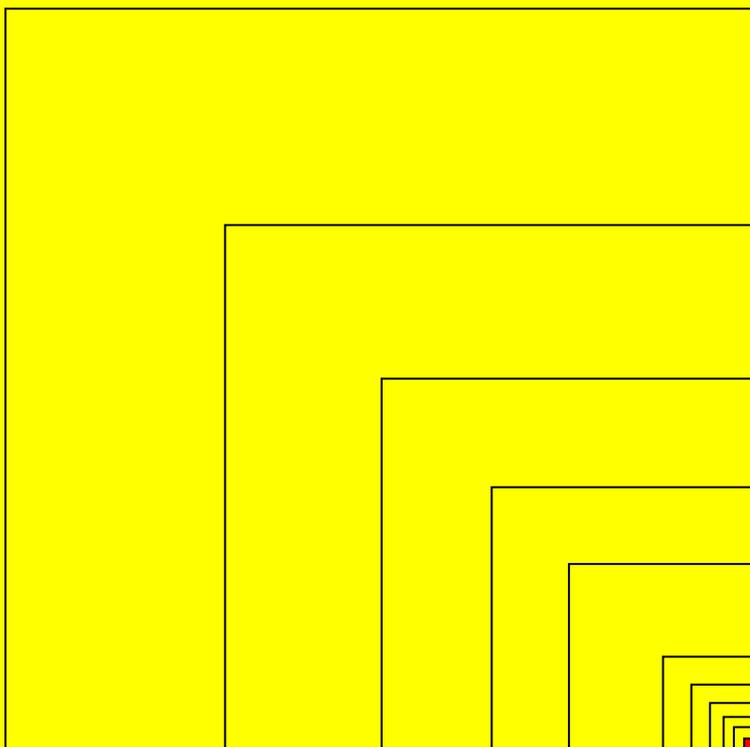


Que horas são?

11h57

# Função exponencial

Se o aumento de consumo for exponencial bastam 13 duplicações para esgotarmos toda a energia solar disponível.



Que horas são?

11h47

# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

Recebemos **energia química** (dos alimentos) que transformamos em **calor/trabalho**.

Exemplo: Glucose



100g de batata =

22g hidratos de carbono + 2g proteínas + 76g água



Tipo de alimento	Energia obtida
Hid. Carbono	4kCal/g
Proteínas	4kCal/g
Álcool	7kCal/g

O meu organismo é capaz de aproveitar cerca de 4kCal por cada grama de um hidrato de carbono que é oxidado no interior do meu corpo.

# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

Recebemos **energia química** (dos alimentos) que transformamos em **calor/trabalho**.

Exemplo: Glucose  
 $C_6H_{12}O_6$

100g de batata =

22g hidratos de carbono + 2g proteínas + 76g água



Tipo de alimento	Energia obtida
Hid. Carbono	4kCal/g
Proteínas	4kCal/g
Álcool	7kCal/g

Portanto, quando como uma batata com 100g, estou a aumentar a minha energia interna de qualquer coisa como  $(22 + 2)g \times 4kCal/g = 96kCal$

# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

Este processo de conversão de energia implica um consumo de oxigénio, que é praticamente independente do tipo de alimento que estamos a utilizar.

5kCal por cada litro de O<sub>2</sub> que consumimos

Uma pessoa com 75kg de peso consome 6 litros de O<sub>2</sub> por hora (em repouso), portanto para estar vivo consumo  $6 \times 5 \times 24 \sim 1900 \text{kCal/dia}$

- ❑ Actividade ligeira: TM ~ 125 a 250 kCal/h
- ❑ Em esforço: TM ~ pode atingir 1500 kCal/h

TMB – taxa metabólica basal

# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

*Suponhamos que num dia durmo/descanso 10h, desenvolvo uma actividade ligeira durante 13h, e uma actividade intensa durante 1h.*

**Quanta energia consumo?**

$$E_{\text{consumida}} \sim (10 \times 80 + 13 \times 150 + 1 \times 750) \text{ kCal} = 3500 \text{ kCal/dia}$$

- ❑ Actividade ligeira: TM ~ 125 a 250 kCal/h
- ❑ Em esforço: TM ~ pode atingir 1500 kCal/h

# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

*Suponhamos que num dia durmo/descanso 10h, desenvolvo uma actividade ligeira durante 13h, e uma actividade intensa durante 1h.*

**Quanta energia consumo?**

$$E_{\text{consumida}} \sim (10 \times 80 + 13 \times 150 + 1 \times 750) \text{ kCal} = 3500 \text{ kCal/dia}$$

**Qual a potência que lhe corresponde?**

$$P = \frac{3500 \times 10^3 \text{ Cal} \times 4,18 \text{ J/Cal}}{24 \times 60 \times 60 \text{ s}} \cong 170 \text{ W}$$

E portanto, em unidades mais usuais

$$E = 24 \text{ h} \times 170 \text{ W} \cong 4000 \text{ kWh}$$

Onde é que vou buscar esta energia?

# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

O recurso solar é, em média, de cerca de **4h diárias de sol a 1kW/m<sup>2</sup>**.

Isto quer dizer que cada m<sup>2</sup> de solo recebe em média cerca de 4kWh de energia solar sob a forma de radiação por dia.

**Quanta desta energia é convertida em energia química?**

$$E_{química} = 4kWh \times \eta_{fotos.} \cong 4kWh \times 0,003 = 0,012 kWh/m^2 \times dia$$

Se eu for vegetariano (e comer cenouras e troncos de pinheiro) preciso de

$$\frac{4 kWh/dia}{0,012 kWh/m^2 \times dia} \cong 330m^2$$



# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

O recurso solar é, em média, de cerca de **4h diárias de sol a 1kW/m<sup>2</sup>**.

Isto quer dizer que cada m<sup>2</sup> de solo recebe em média cerca de 4kWh de energia solar sob a forma de radiação por dia.

**Quanta desta energia é convertida em energia química?**

$$E_{quimica} = 4kWh \times \eta_{fotos.} \cong 4kWh \times 0,003 = 0,012 kWh/m^2 \times dia$$

Se eu for exclusivamente carnívoro, considerando a eficiência da conversão em músculo (e.g. lombo) de 5 a 10%

$$E'_{quimica} \cong 0,075 \times 0,012 kWh/m^2 \times dia = 9 \times 10^{-4} kWh/m^2 \times dia$$

E portanto

$$\frac{4 kWh/dia}{9 \times 10^{-4} kWh/m^2 \times dia} \cong 4500 m^2$$

# Consumo de energia

Qual o consumo de energia que nos mantém vivos?

O recurso solar é, em média, de cerca de **4h diárias de sol a 1kW/m<sup>2</sup>**.

Isto quer dizer que cada m<sup>2</sup> de solo recebe em média cerca de 4kWh de energia solar sob a forma de radiação por dia.

**Quanta desta energia é convertida em energia química?**

$$E_{química} = 4kWh \times \eta_{fotos.} \cong 4kWh \times 0,003 = 0,012 kWh/m^2 \times dia$$

Se utilizarmos apenas 10% do coberto vegetal as áreas passam a ser

*"Vegetarians puros"  $\cong 3300m^2$*

*"Carnívoros puros"  $\cong 45000m^2$*

# Consumo de energia

Quantas pessoas conseguimos alimentar?

A terra seca disponível no planeta é de cerca de  $1,48 \times 10^{14} \text{ m}^2$

E portanto, se fosse possível utilizá-la na totalidade podíamos ter

$$\frac{1,48 \times 10^{14}}{3300} \cong 4,5 \times 10^{10} \quad \text{"Vegetarianos puros"}$$

$$\frac{1,48 \times 10^{14}}{45000} \cong 3,3 \times 10^9 \quad \text{"Carnívoros puros"}$$

Tomemos a média destes dois números como limite  $2,4 \times 10^{10}$  habitantes.

Hoje somos  $6,7 \times 10^9$ .

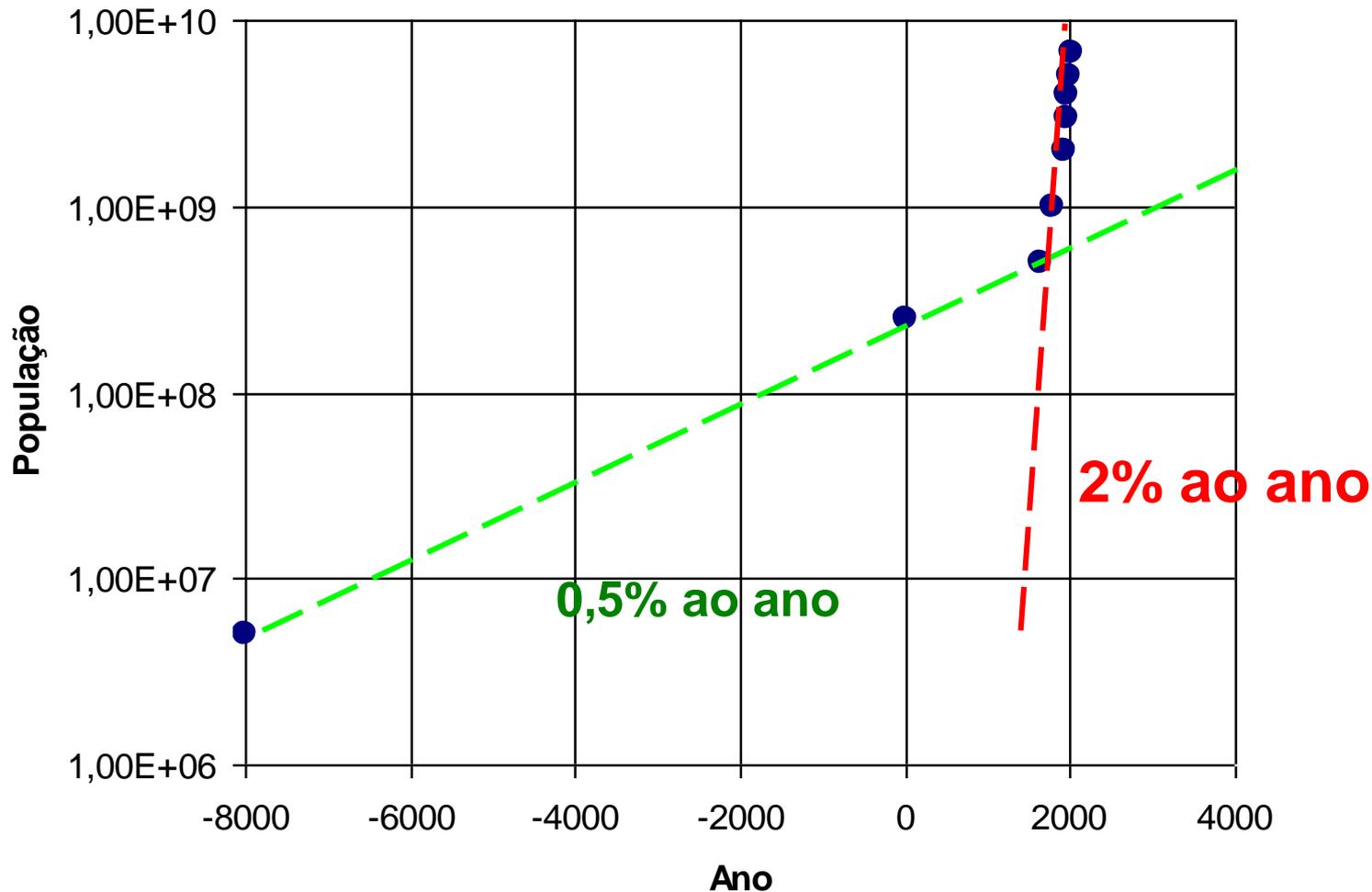
Que horas são?

11:58



# Consumo de energia

Mas será o crescimento da população mesmo exponencial?



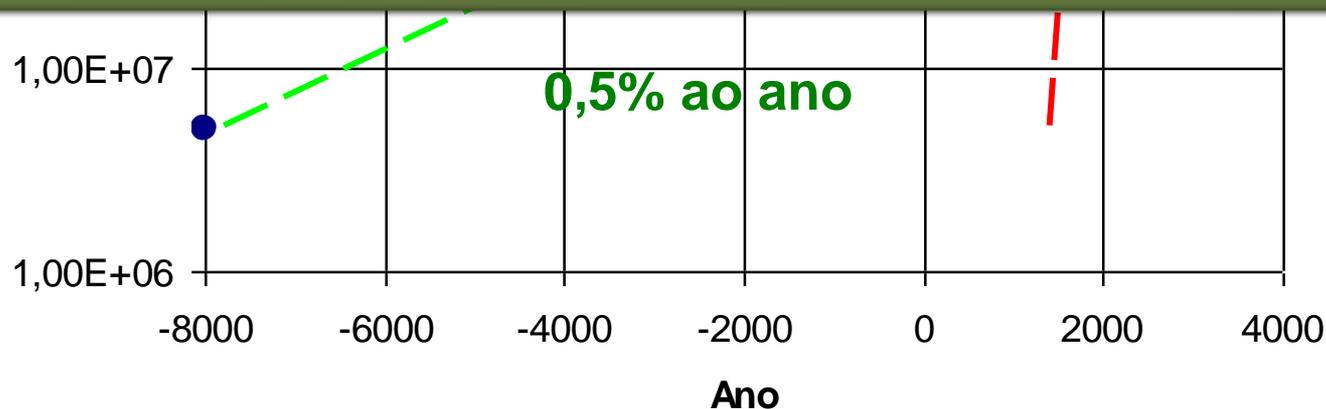
# Consumo de energia

Mas será o crescimento da população mesmo exponencial?

O controlo da natureza, e das suas ameaças, permitiu um crescimento da população mais acelerado:

- Maior disponibilidade de alimentação
- Controlo das doenças

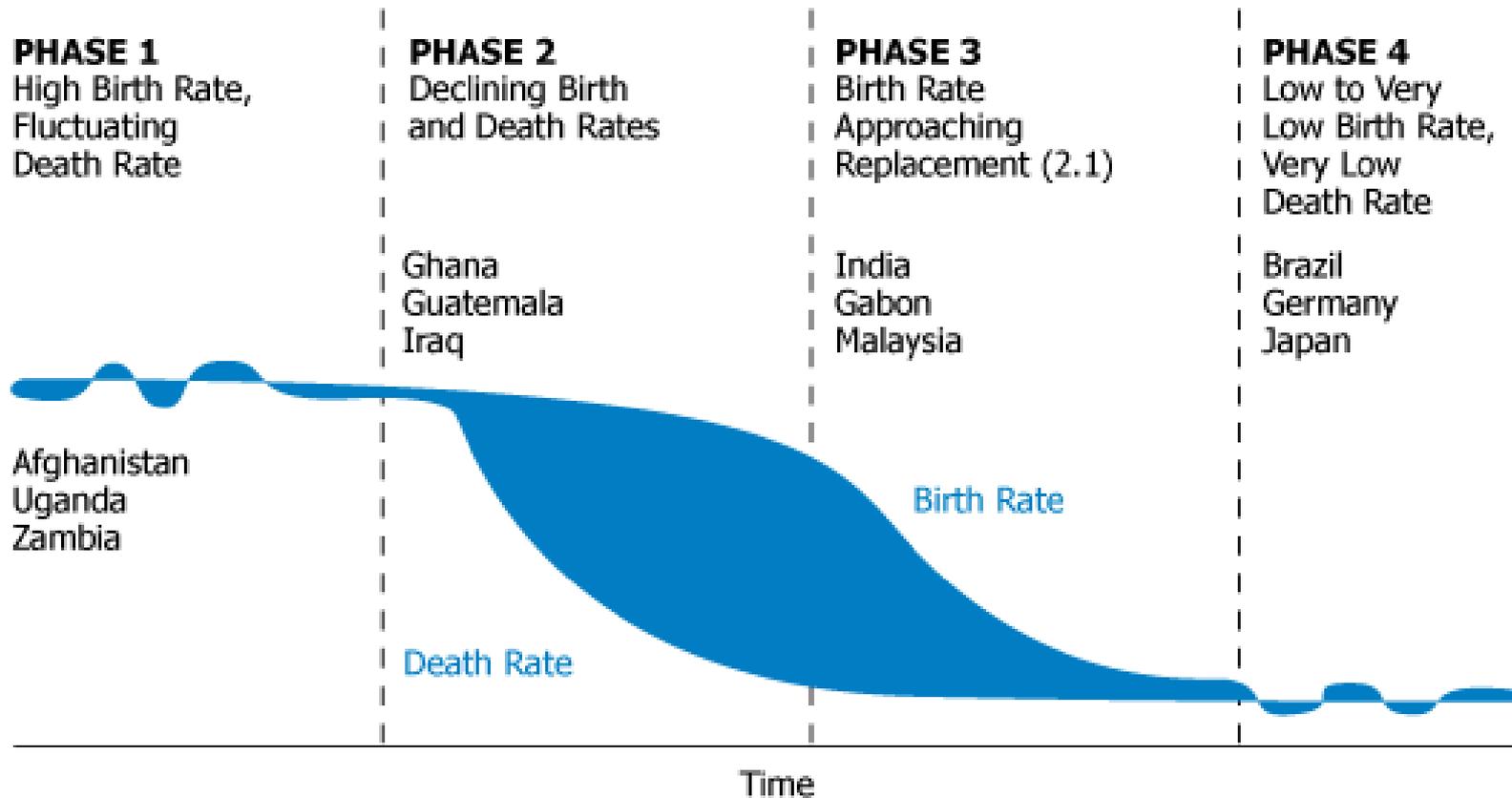
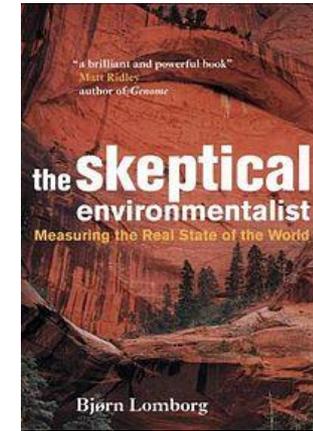
*As pessoas não começaram a reproduzir-se como coelhos.  
Apenas deixaram de morrer como moscas.*



# Consumo de energia

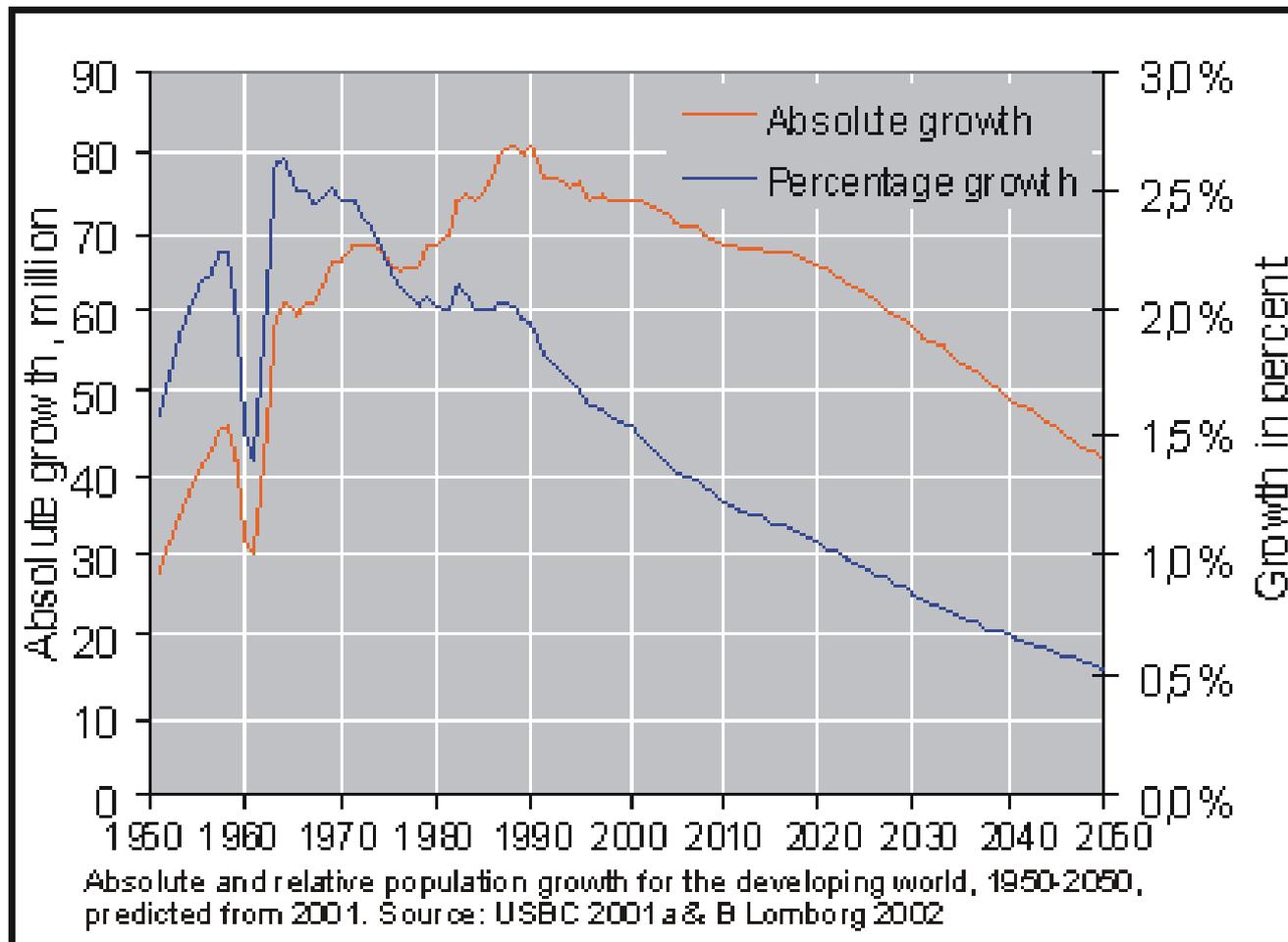
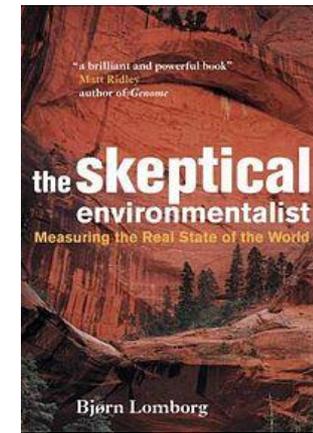
Mas será o crescimento da população mesmo exponencial?

De facto há evidência que o crescimento da população diminui com o desenvolvimento económico.



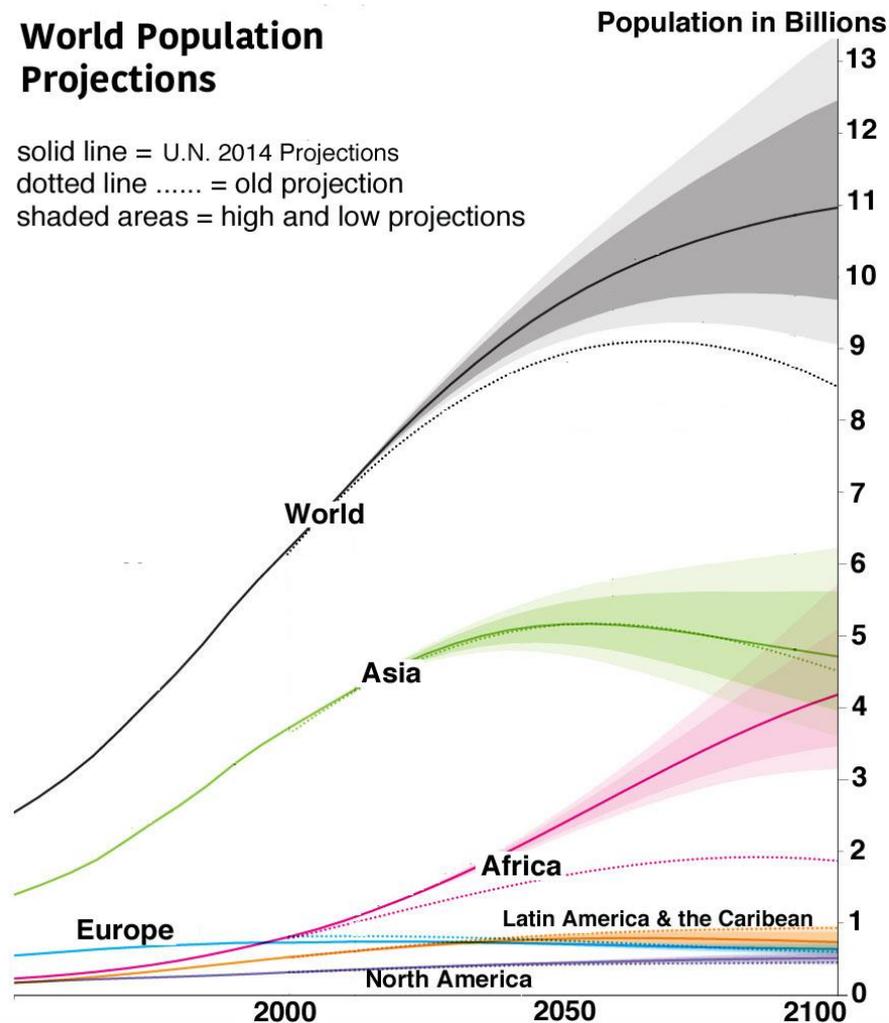
# Consumo de energia

Mas será o crescimento da população mesmo exponencial?



# Consumo de energia

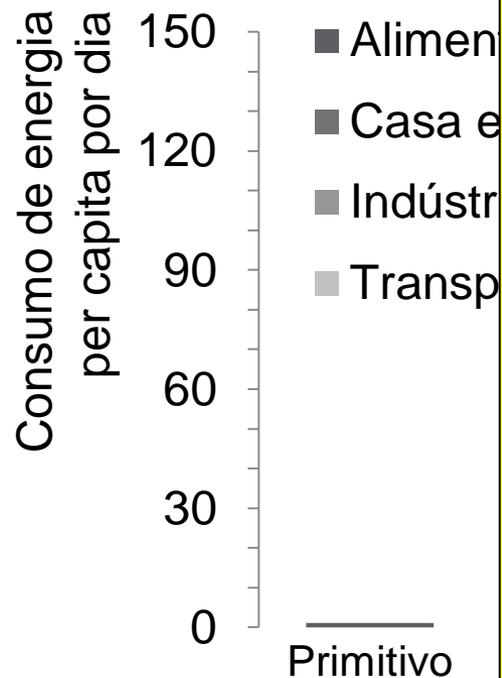
Mas será o crescimento da população mesmo exponencial?





# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



**10<sup>6</sup> anos atrás**

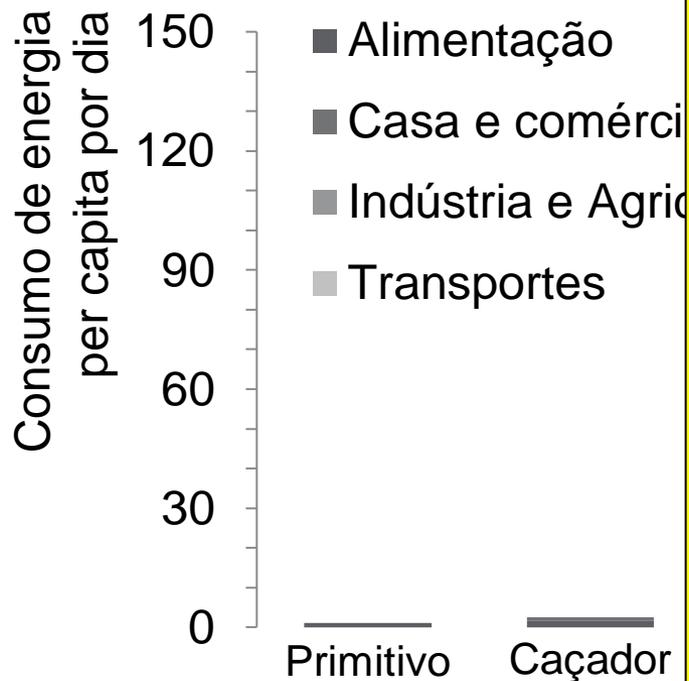
ser vivo **endossomático, conversão de energia apenas no seu organismo (3000kCal/dia)**

**forma de energia utilizada:**

muscular

# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



## 10<sup>5</sup> anos atrás

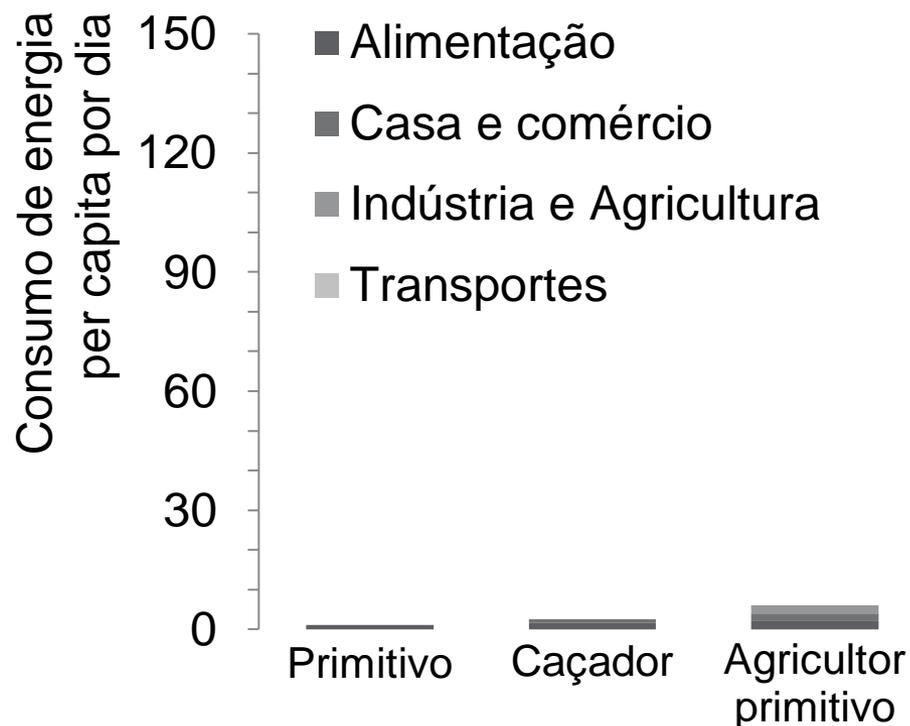
homem transforma-se num ser vivo **exosomático (conversão de energia fora do seu organismo)**: começa a ser capaz de utilizar o fogo queimando biomassa (lenha) para cozinhar e aquecer-se;

continua completamente dependente da natureza em estado selvagem para obter alimentação (caçador/recolector)

**forma de energia utilizada:** muscular e biomassa

# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



**$5 \times 10^3$  anos atrás**

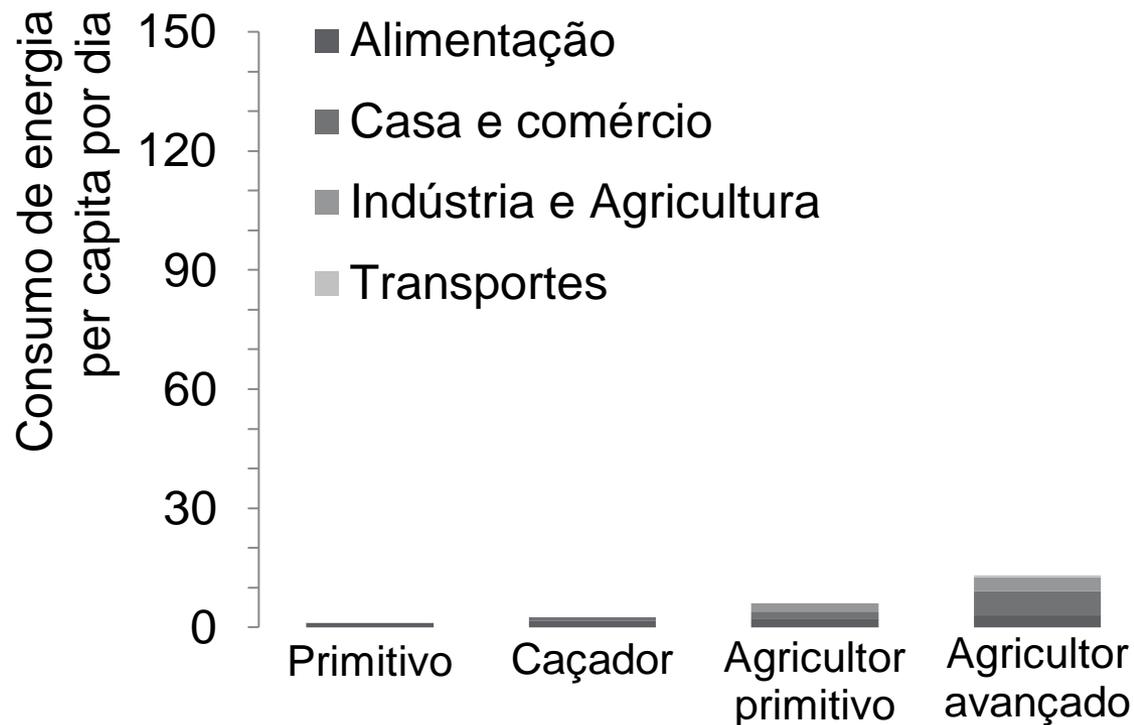
surgem as primeiras sociedades que praticam a agricultura;

pela primeira vez existe capacidade de armazenamento de alimentos;

forma de energia utilizada: muscular (incluindo animal) e biomassa

# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



## 1400 - 1875

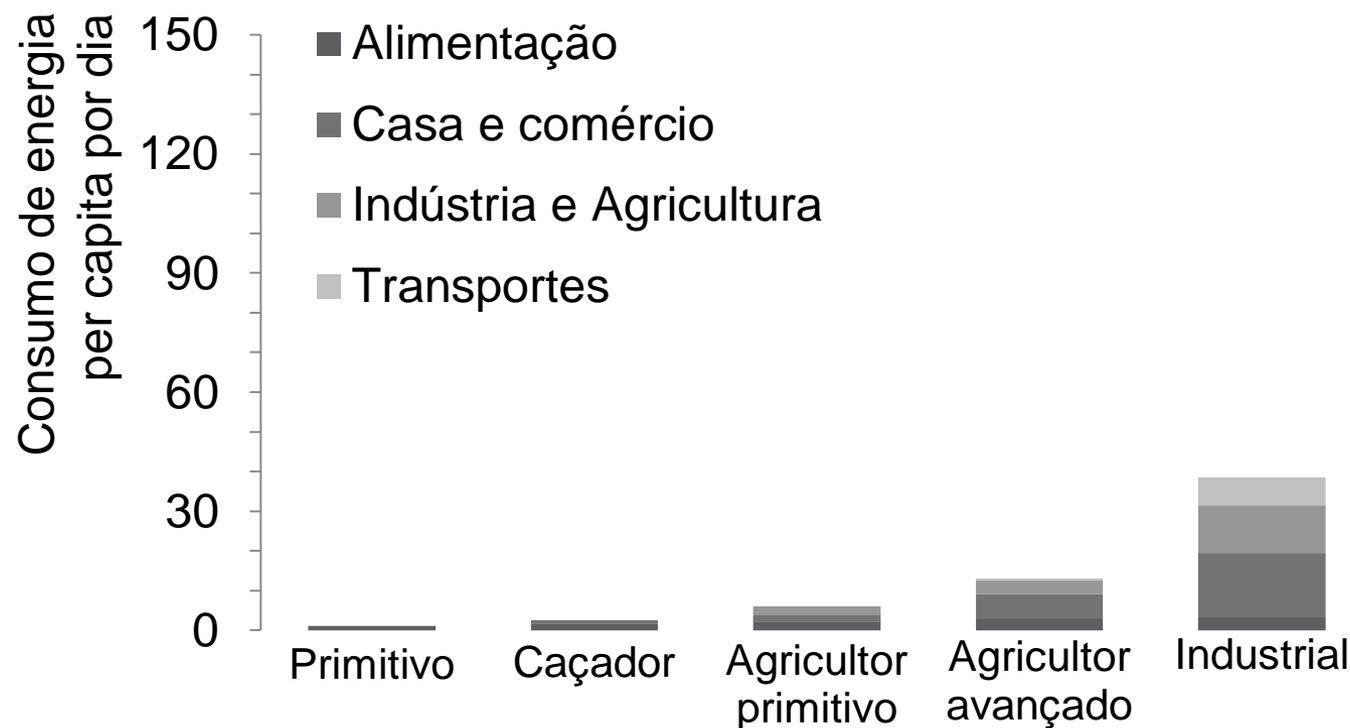
animais para transporte;  
utilização de moinhos de vento e mini-hídricas rudimentares

utilização de pequenas quantidades de carvão para aquecimento

formas de energia utilizada: muscular, biomassa, vento, mini-hídrica e carvão

# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



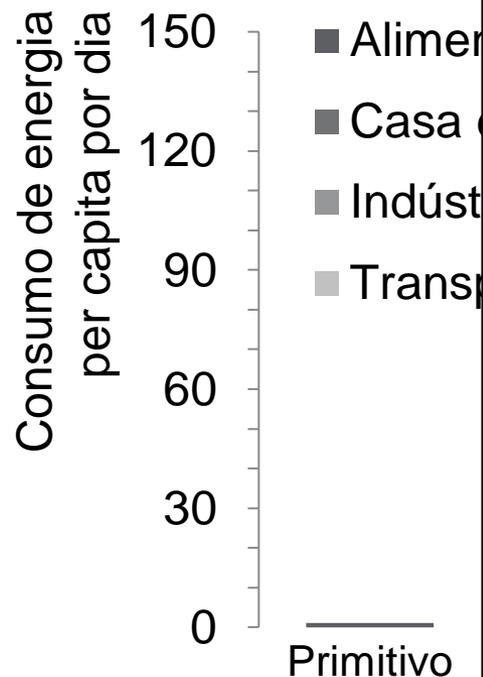
1875 - 1970

máquina a vapor;  
motor combustão  
interna;  
electricidade

formas de  
energia  
utilizadas:  
muscular,  
biomassa, vento,  
mini-hídrica,  
carvão, petróleo,  
gás natural e  
nuclear

# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.

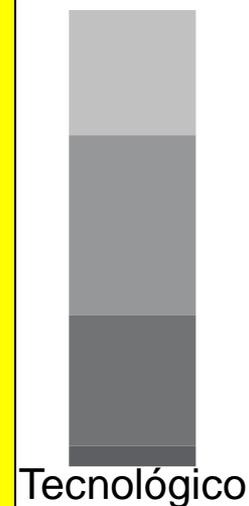


1970 - hoje

motores de combustão interna;  
electricidade (26% consumo)

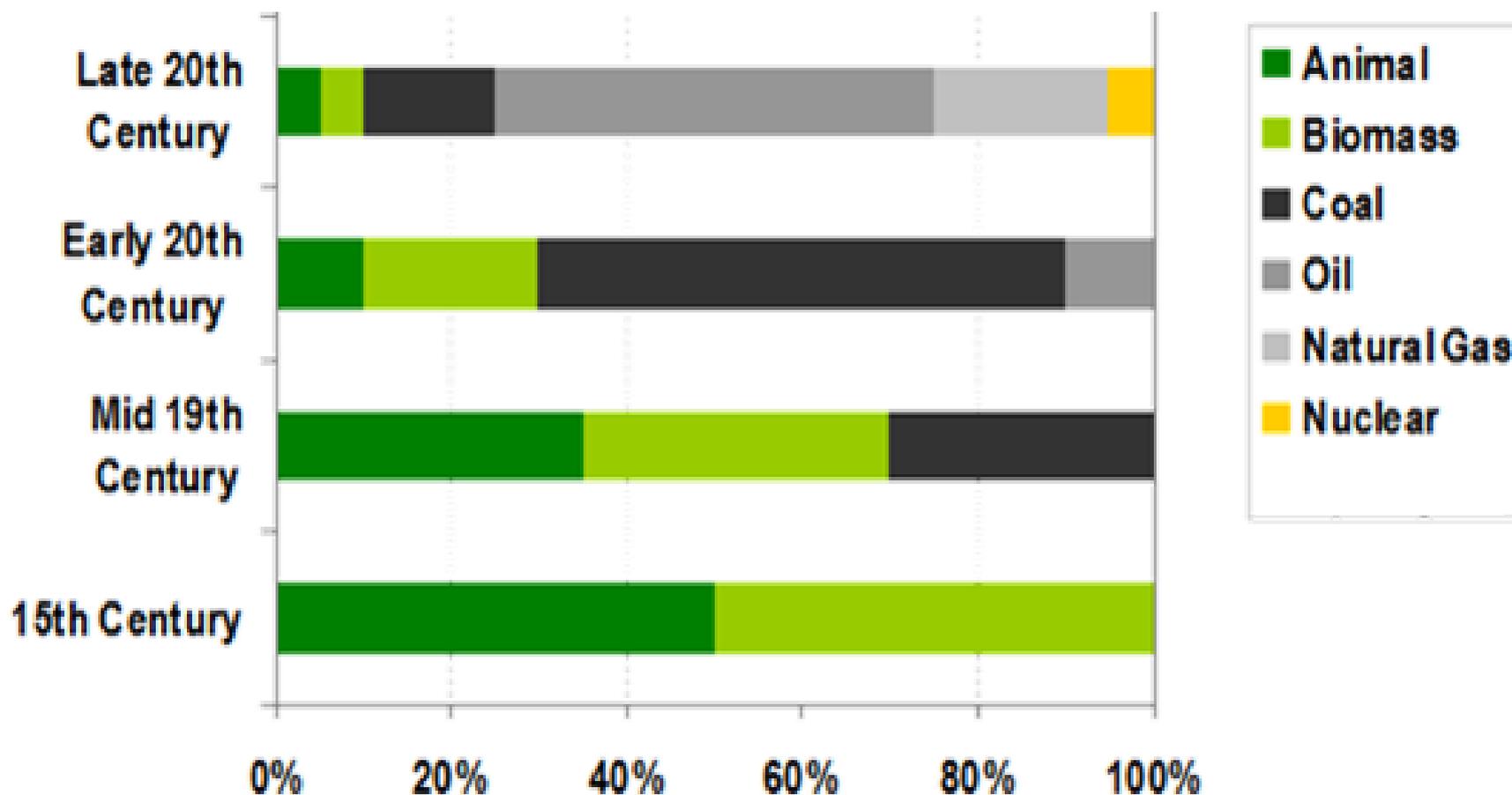
consumo diário total de cerca de  
230000kCal per capita, quase  
igualmente repartido entre três  
sectores:

Edifícios, Transportes e Indústria/  
Agricultura



# Consumo de energia

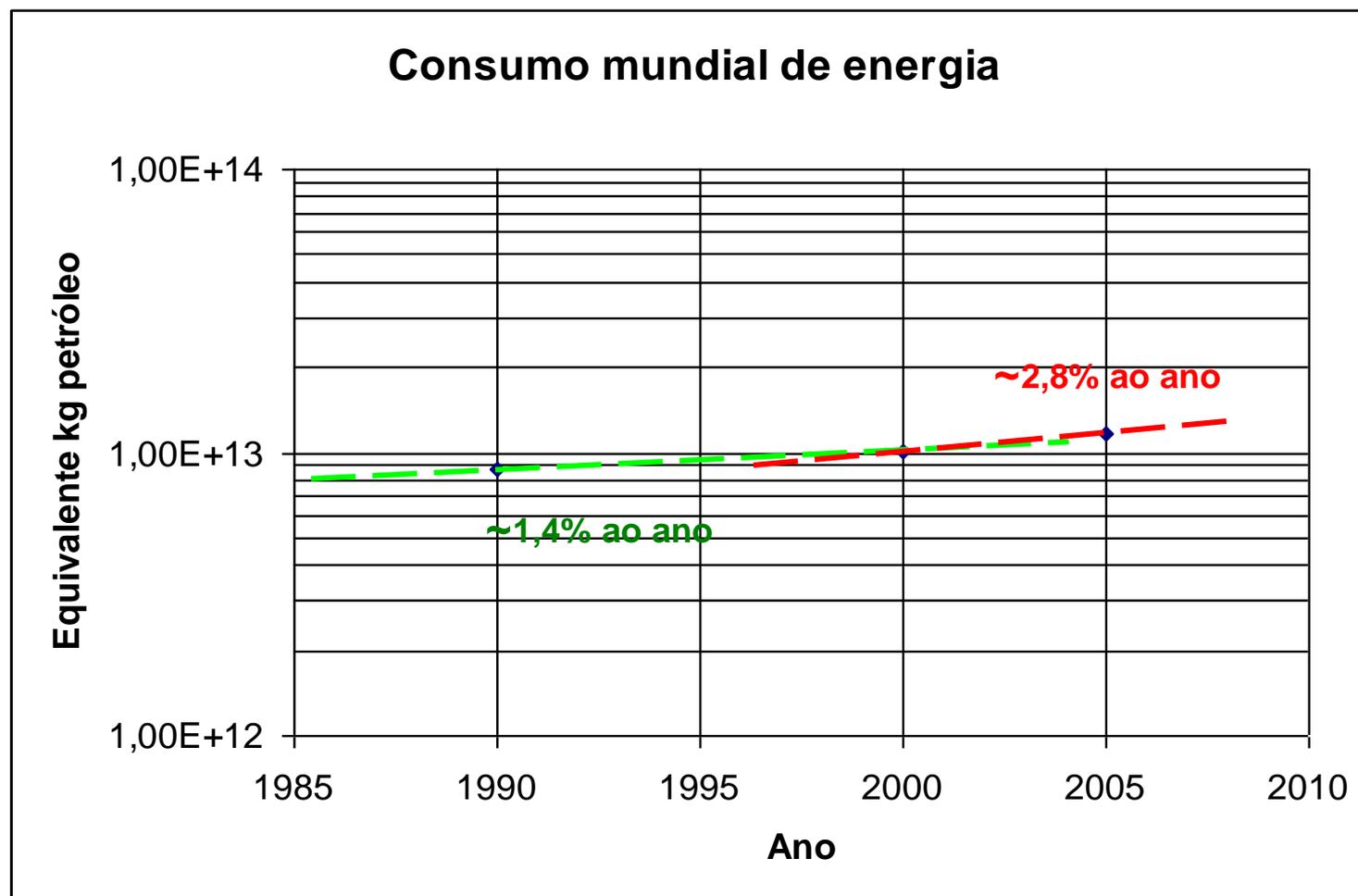
O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



Utilização de fontes primárias cada vez com maior densidade de energia

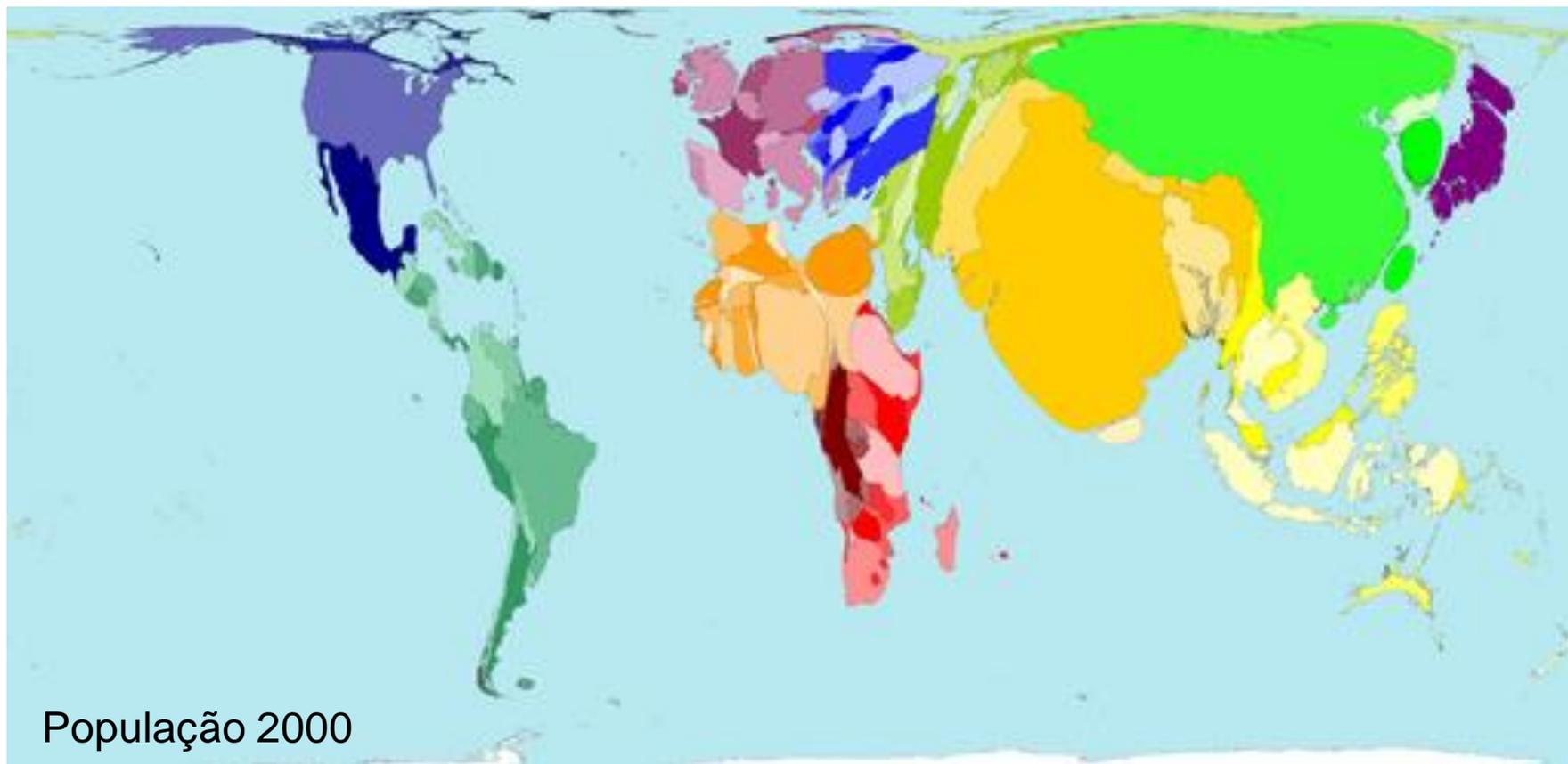
# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



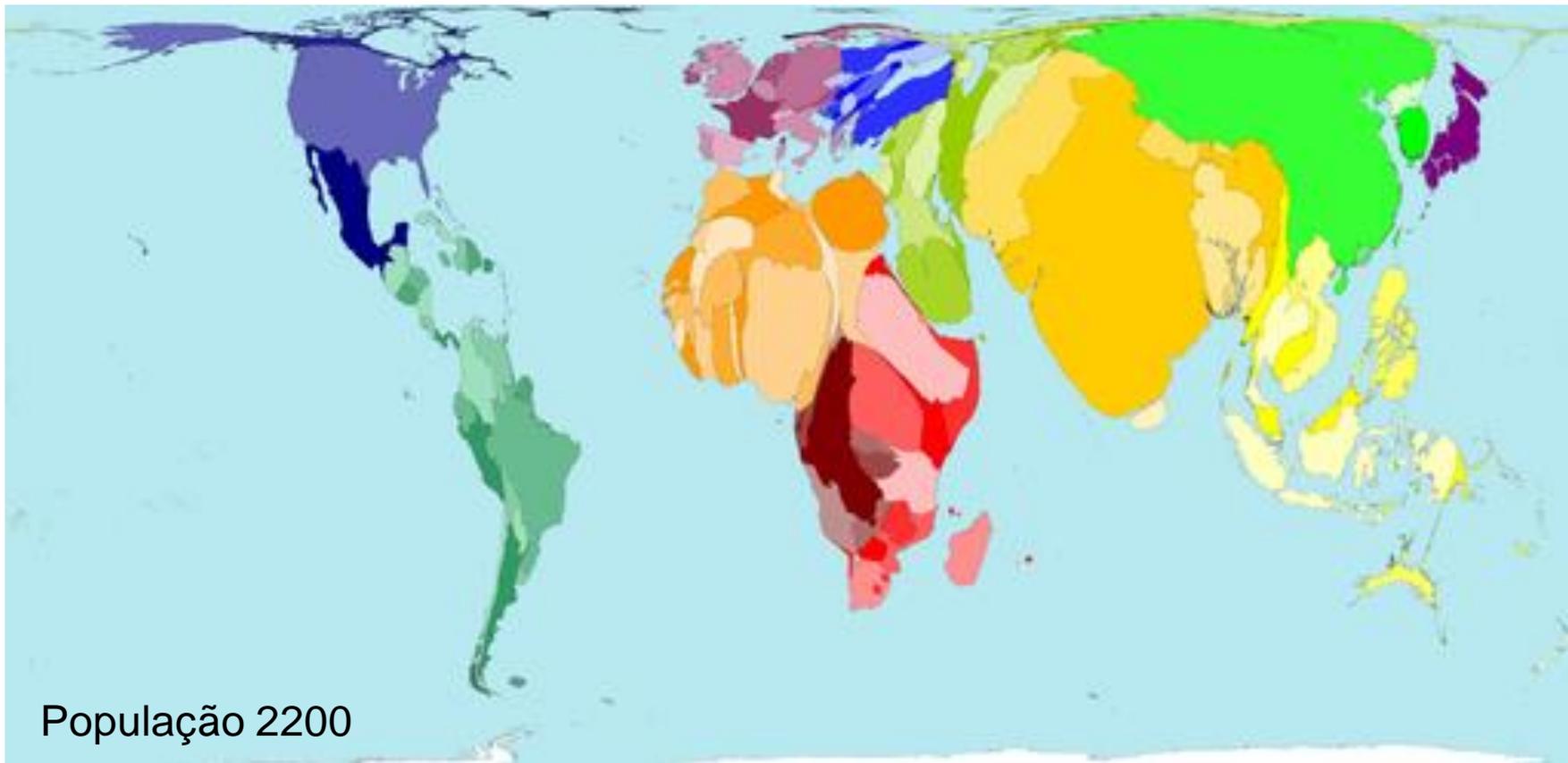
# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



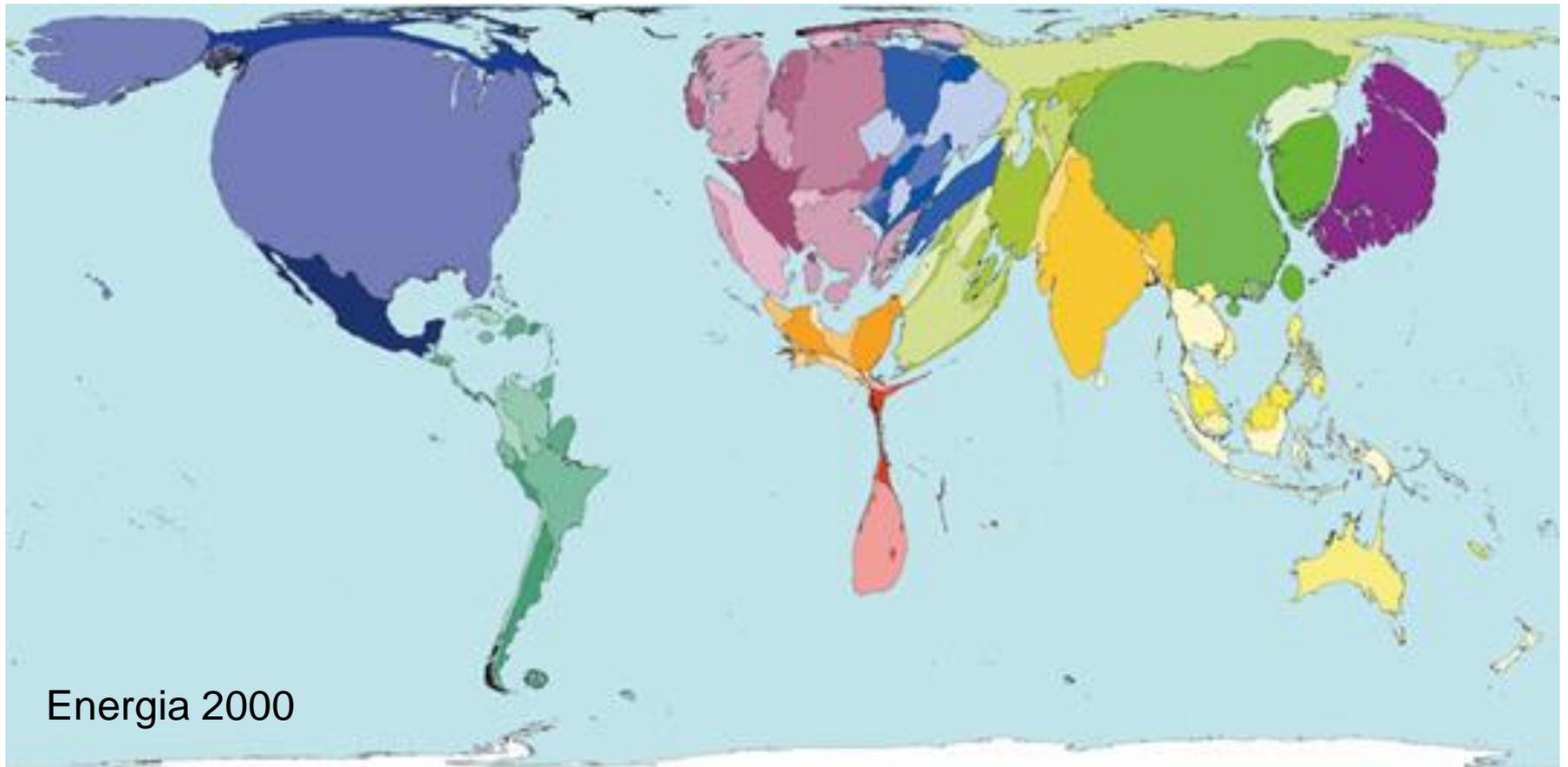
# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



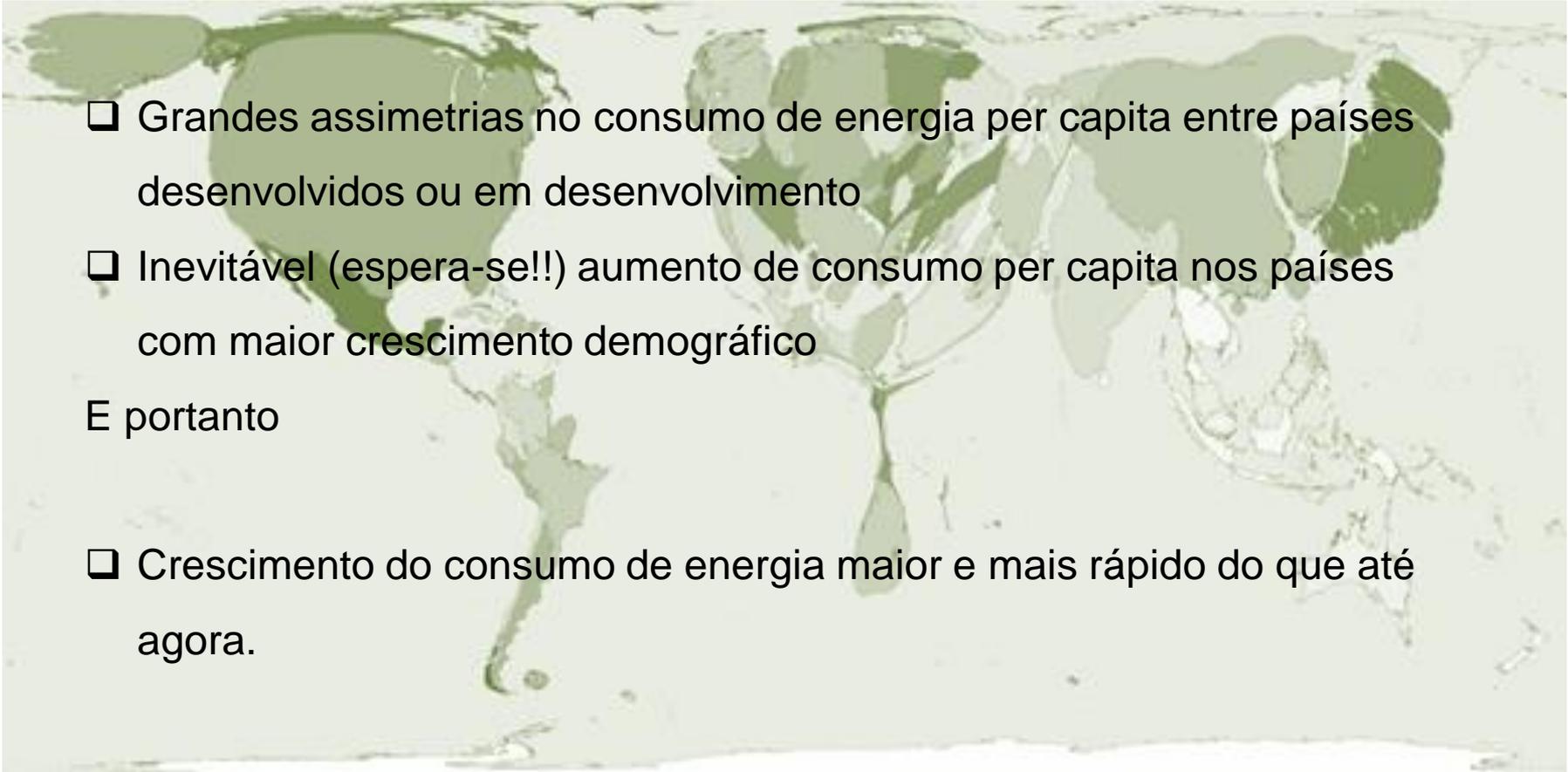
# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.



# Consumo de energia

O consumo de energia cresce mais rápido do que a população.

- 
- ❑ Grandes assimetrias no consumo de energia per capita entre países desenvolvidos ou em desenvolvimento
  - ❑ Inevitável (espera-se!!) aumento de consumo per capita nos países com maior crescimento demográfico

E portanto

- ❑ Crescimento do consumo de energia maior e mais rápido do que até agora.

# Limites ao crescimento

O crescimento do consumo de energia está associado ao crescimento **demográfico**, que está associado ao consumo de **alimentos**, que está associado ao desenvolvimento **industrial**, que está associado aos **recursos**, que está associado à **poluição**...

**THE LIMITS TO**

**growth**



**Donella H. Meadows**

**Dennis L. Meadows**

**Jørgen Randers**

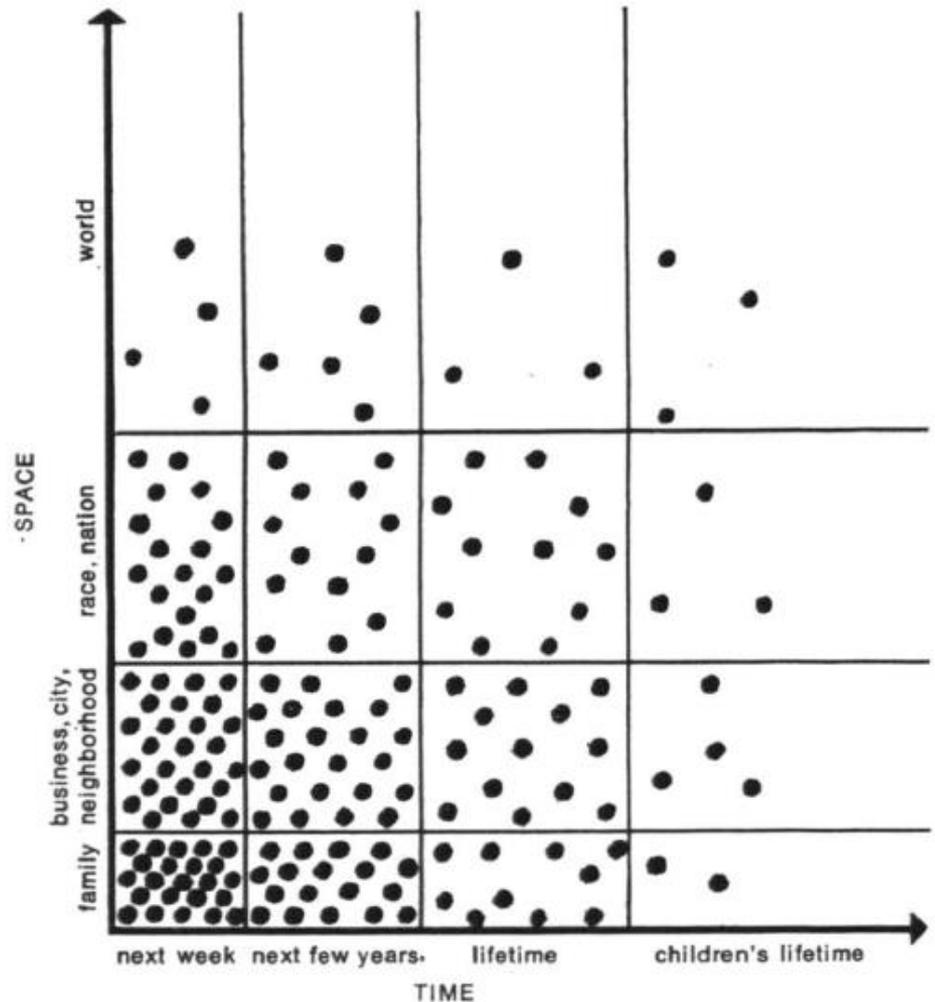
**William W. Behrens III**

# Limites ao crescimento

A maior parte do tempo, a maioria das pessoas está preocupada com os problemas que afectam as pessoas mais próximas no futuro próximo.

Por vezes precisamos de pensar nos problemas que nos afectam a todos, num futuro mais longínquo.

Figure 1 HUMAN PERSPECTIVES

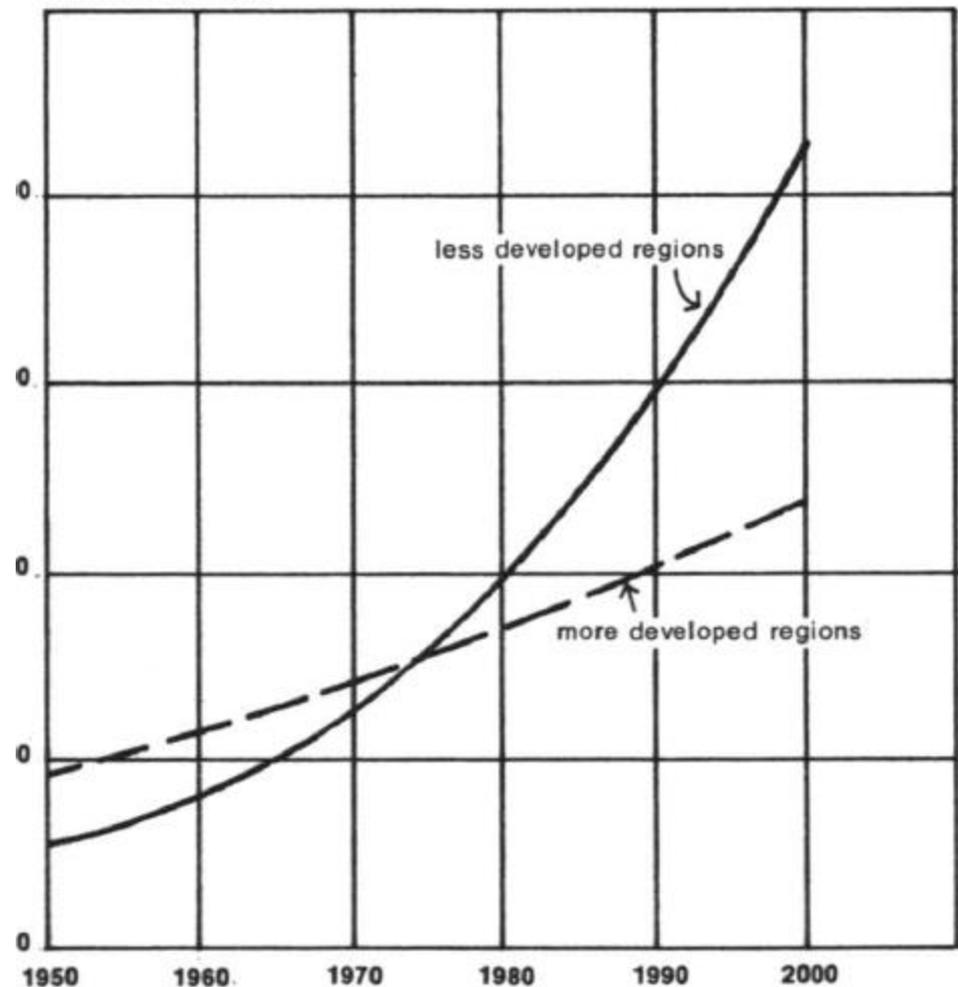


# Limites ao crescimento

Na época em que o estudo foi feito, metade da população mundial vivia nos países desenvolvidos, mas a tendência era evidente.

**Figure 3 WORLD URBAN POPULATION**

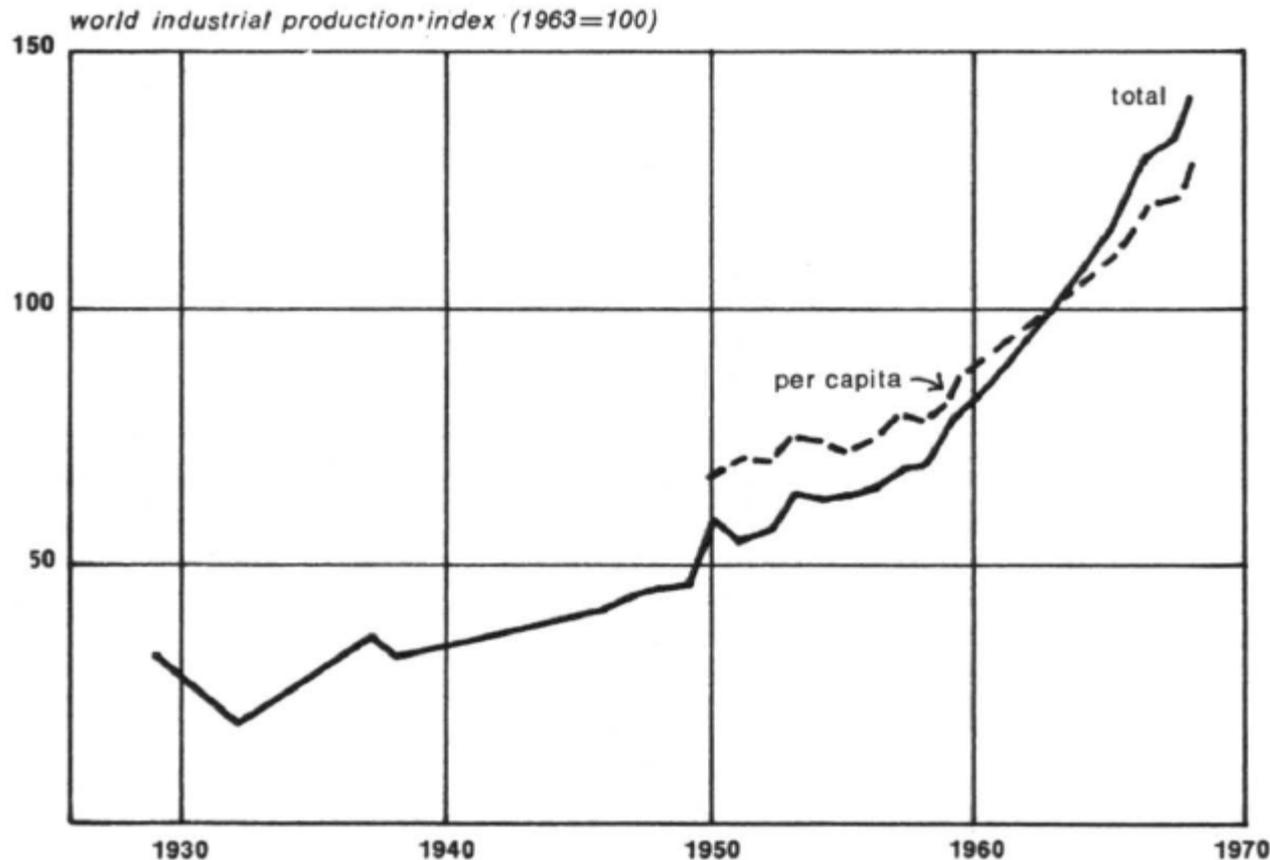
*millions of people*



# Limites ao crescimento

A produção industrial também apresenta um crescimento exponencial.

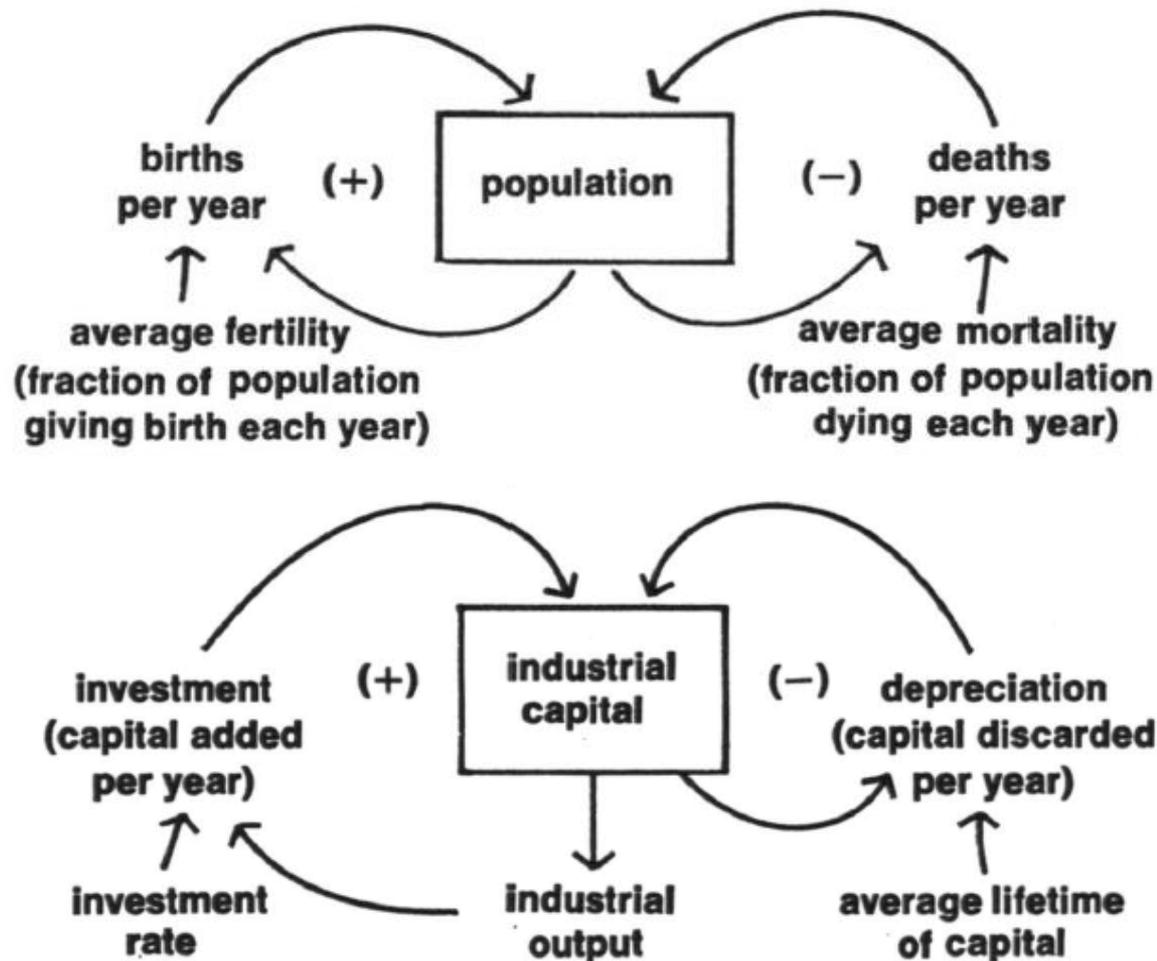
**Figure 6 WORLD INDUSTRIAL PRODUCTION**



Taxas de crescimento  
médio de 7%/ano  
(e 5%/ano per capita)

# Limites ao crescimento

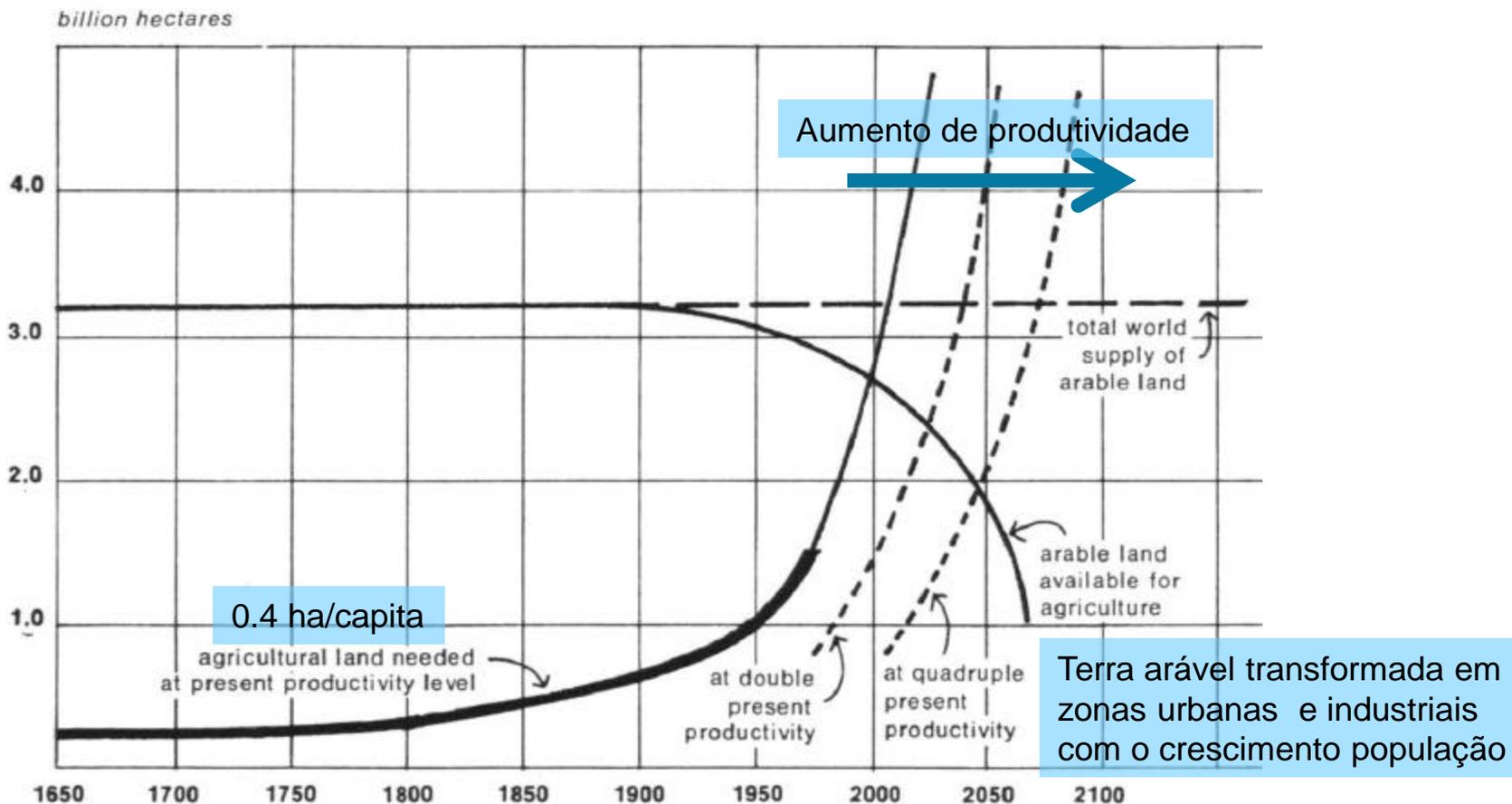
Identificação de alguns ciclos de realimentação positiva e negativa



# Limites ao crescimento

A terra arável (um recurso finito) é mais difícil de estimar

Figure 10 ARABLE LAND

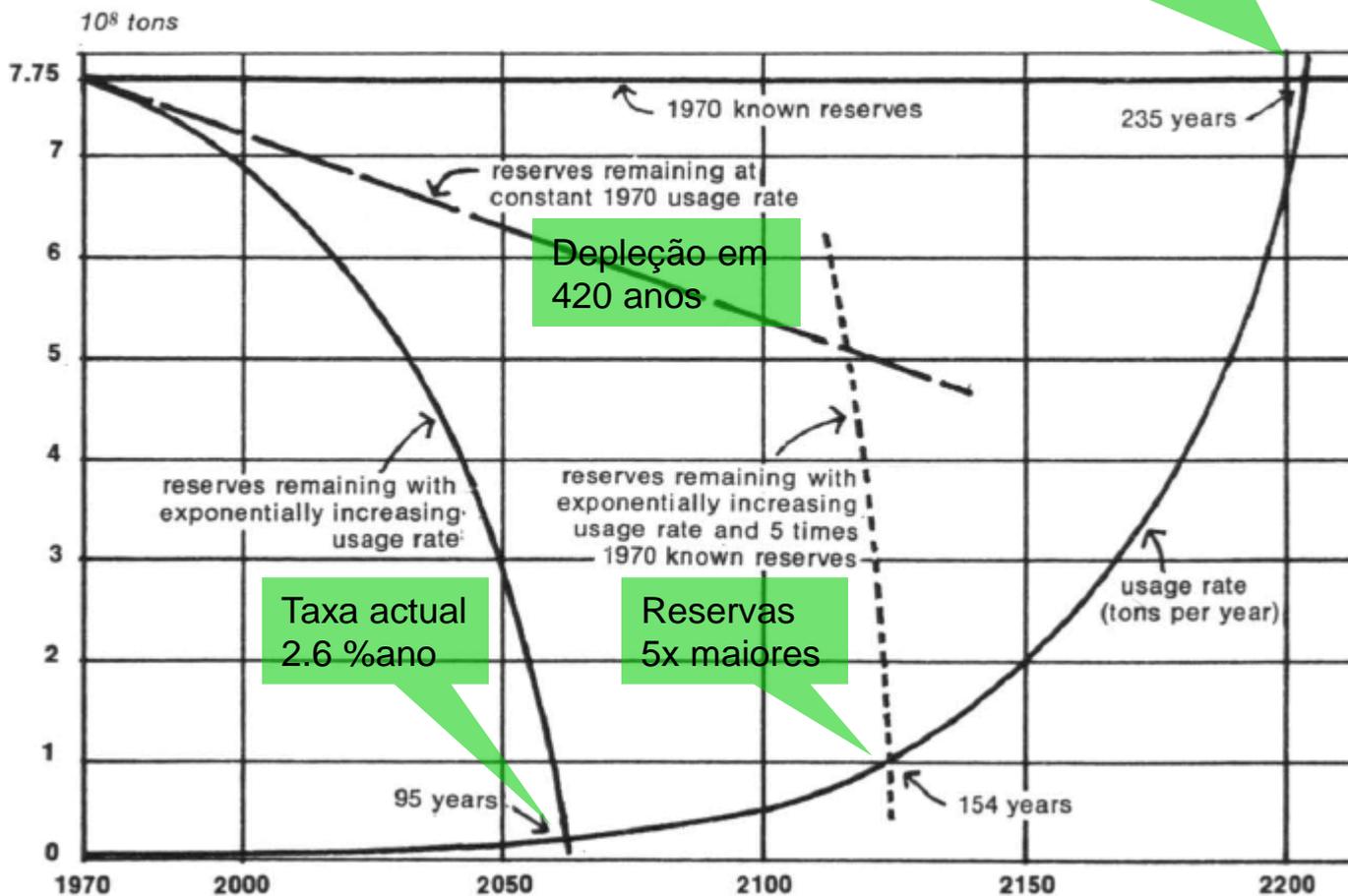


# Limites ao crescimento

Exemplo de outro recurso finito: crómio

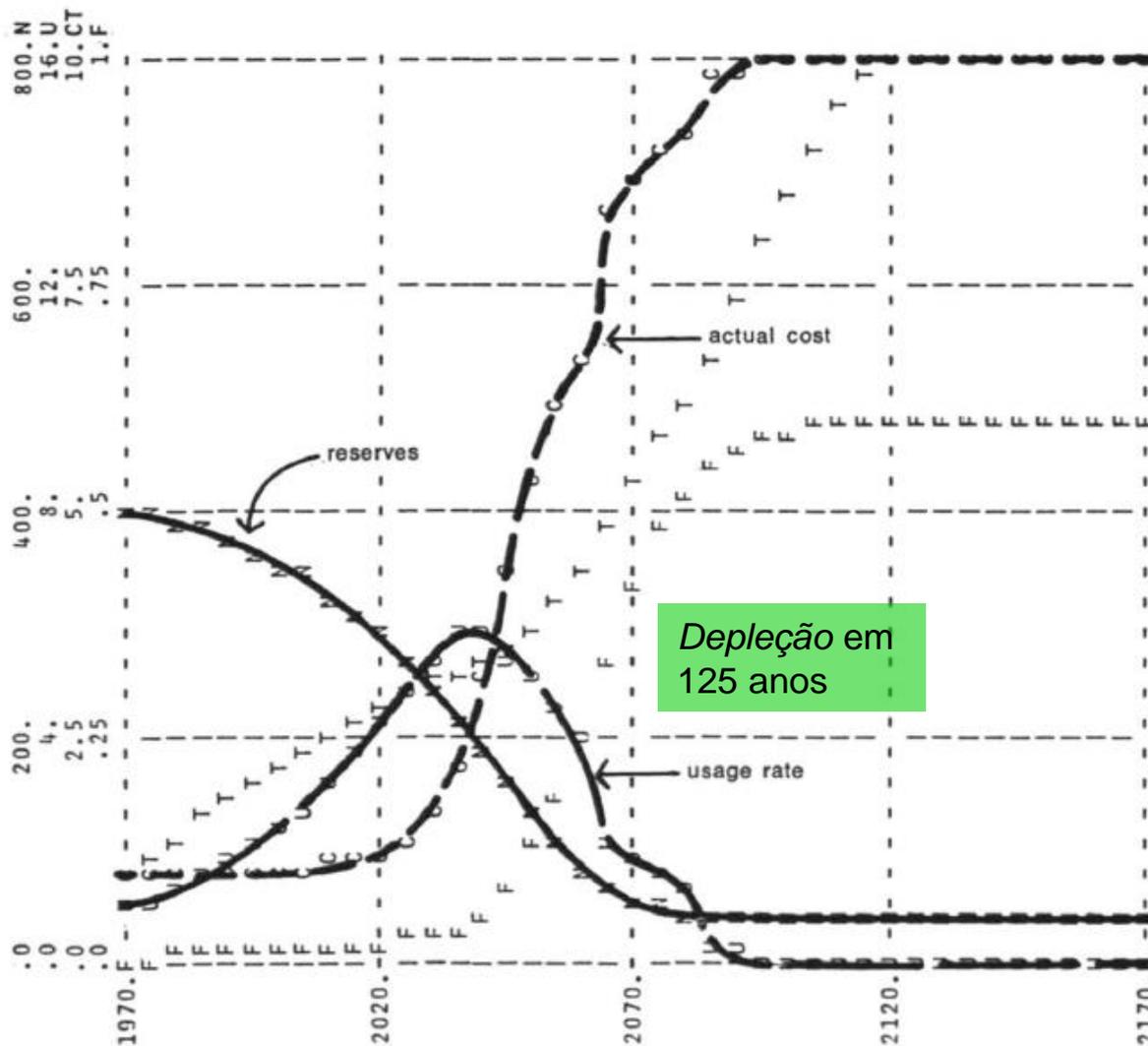
Com 100% de reciclagem, com a taxa actual de crescimento

**Figure 11 CHROMIUM RESERVES**



# Limites ao crescimento

Figure 12 CHROMIUM AVAILABILITY



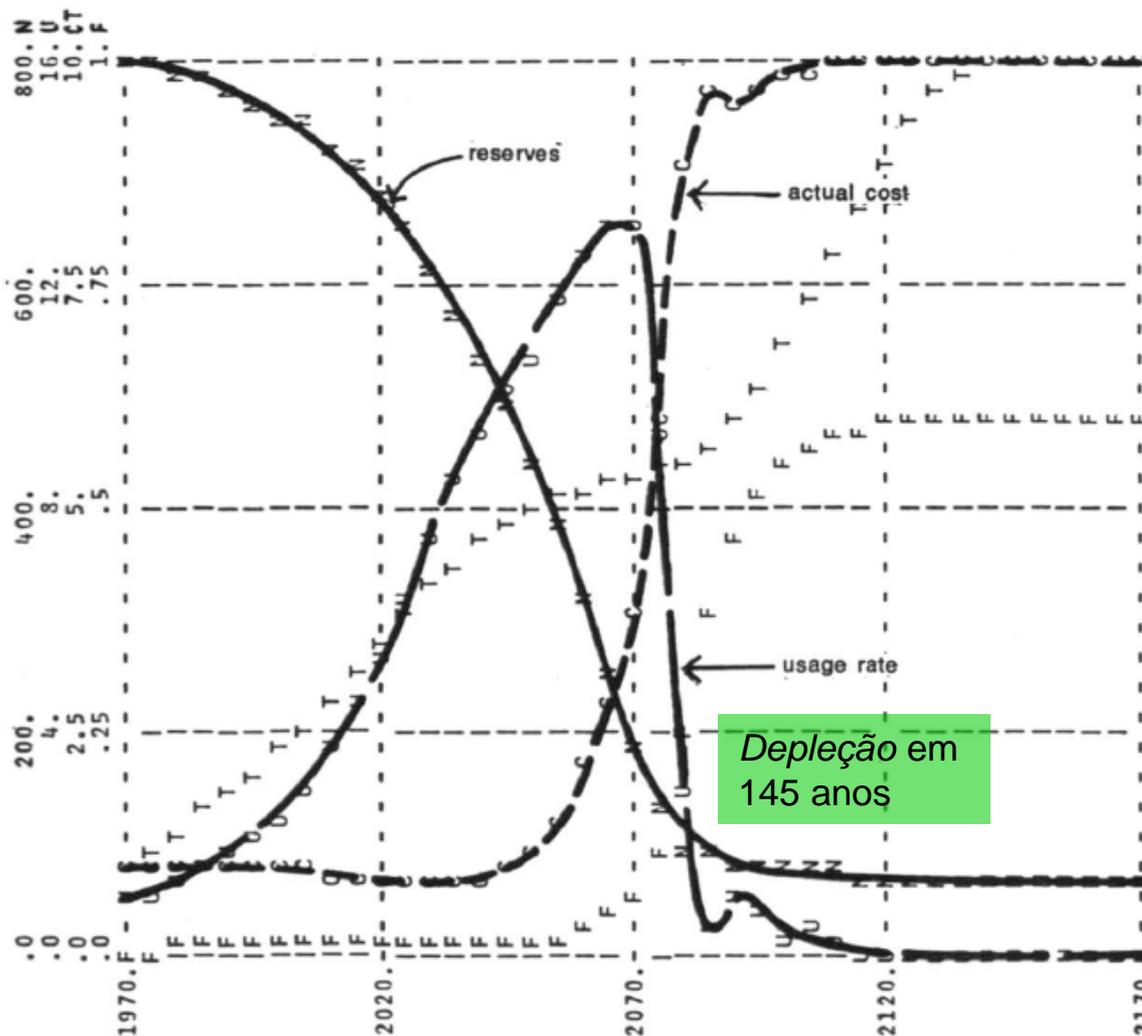
## Resultados do modelo

Crescimento exponencial do consumo diminui com o aproximar do fim das reservas (porque preços aumentam!)

Quando deixa de se usar (por ser demasiado caro!) as reservas ainda não estão esgotadas.

# Limites ao crescimento

Figure 13 CHROMIUM AVAILABILITY WITH DOUBLE THE KNOWN RESERVES



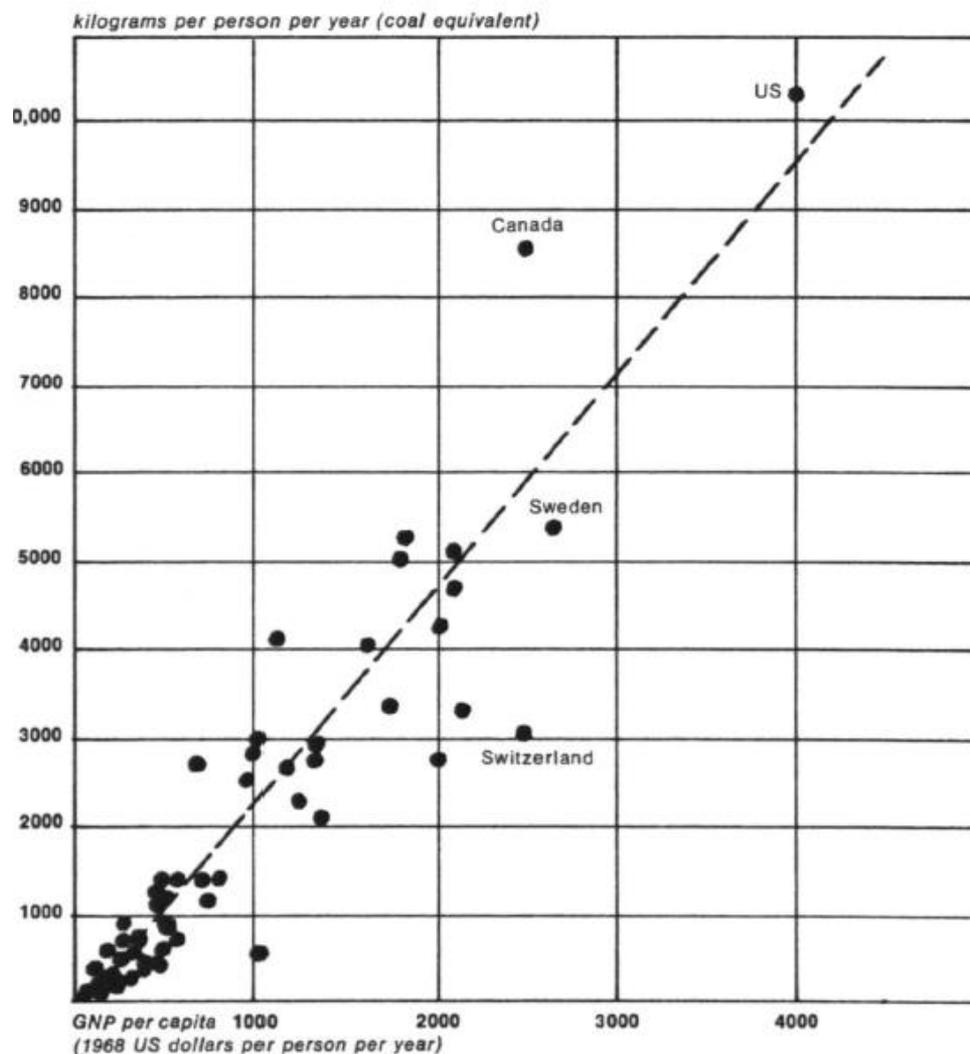
## Resultados do modelo

Duplicando as reservas (de 400 para 800 anos) o crescimento exponencial prolonga-se, e portanto todo o processo de **pico** se acelera.

As fontes não renováveis de energia apresentam este tipo de evolução.

# Limites ao crescimento

Figure 14 ENERGY CONSUMPTION AND GNP PER CAPITA

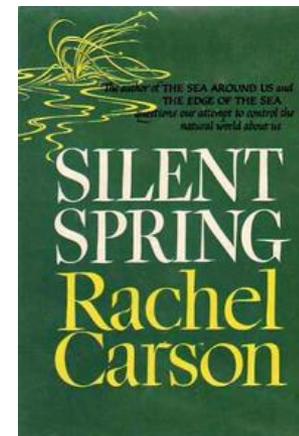
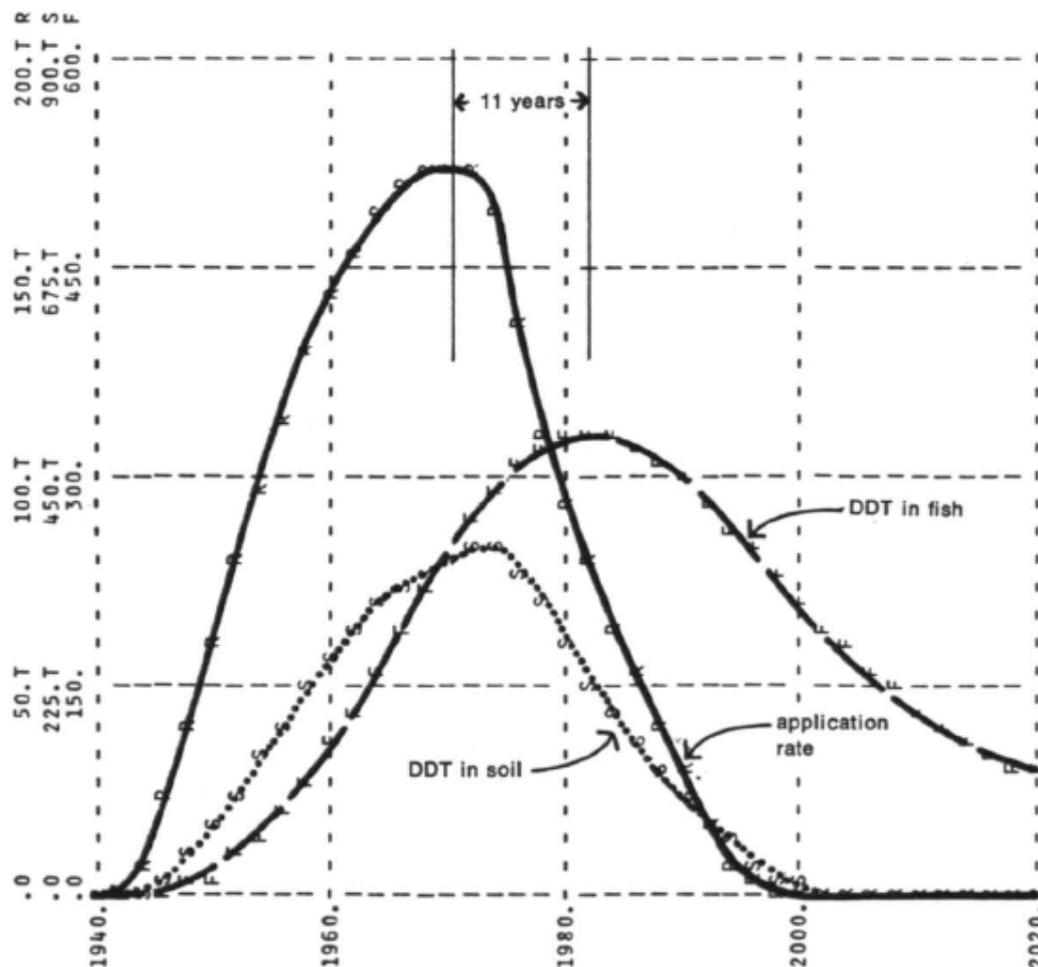


Uma boa correlação linear entre consumo de energia per capita e o PIB per capita

# Limites ao crescimento

A poluição é mais difícil de modelar.

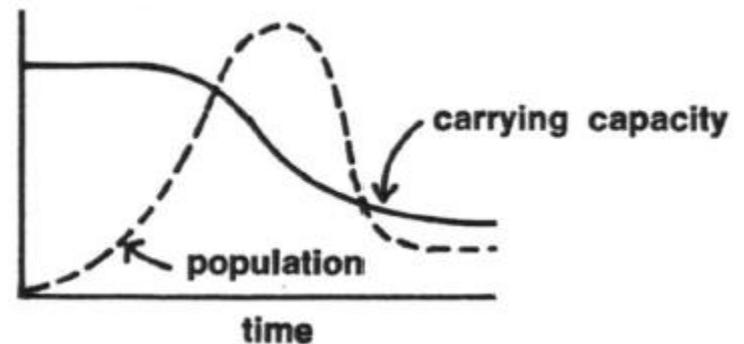
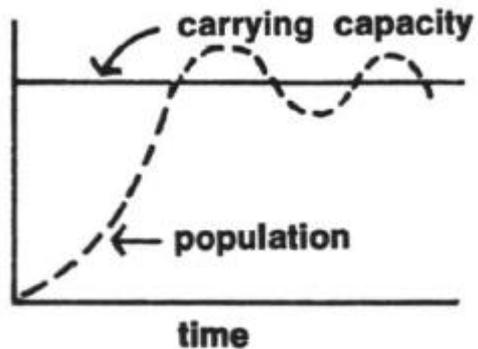
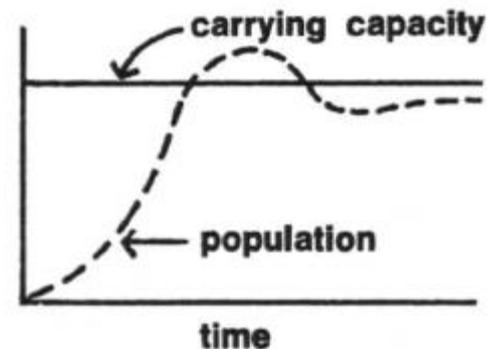
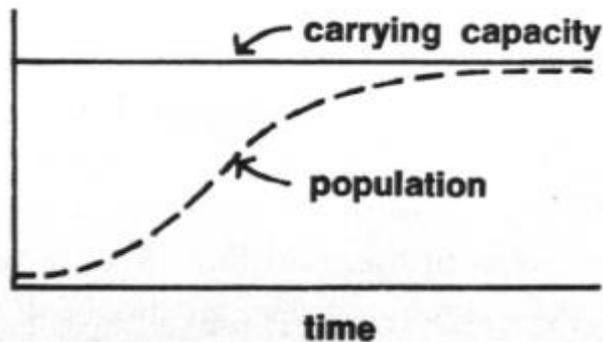
Figure 22 DDT FLOWS IN THE ENVIRONMENT



Como 'modelo' podemos considerar o impacto do uso de DDT, no solo e em peixes, anos depois de ter sido proibido de usar.

# Limites ao crescimento

'Modelos' diferentes para a relação entre a população é a capacidade do planeta de nos acolher...



# Limites ao crescimento

Relações complexas entre variáveis do sistema

Figure 24 FEEDBACK LOOPS OF POPULATION, CAPITAL, AGRICULTURE, AND POLLUTION

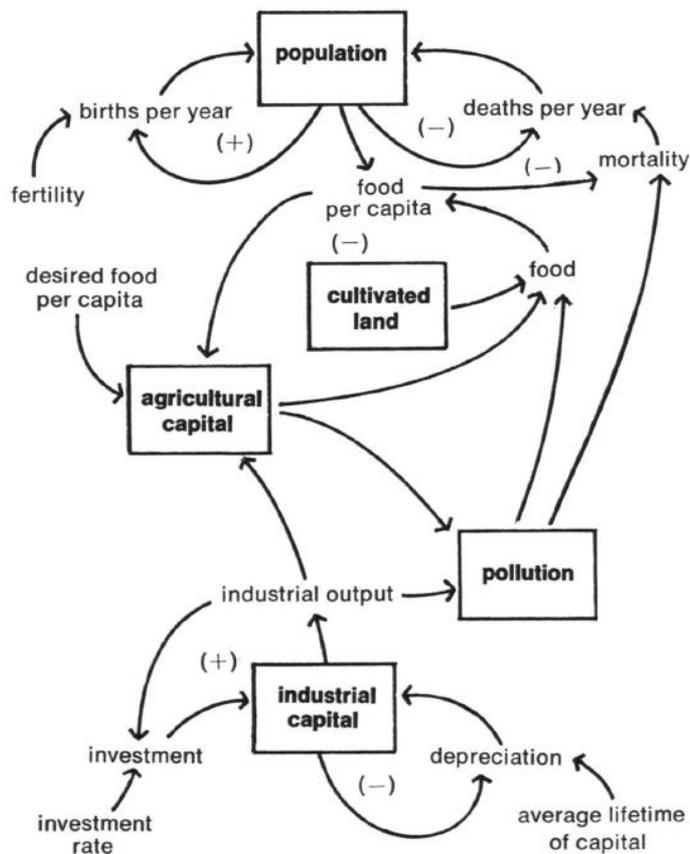
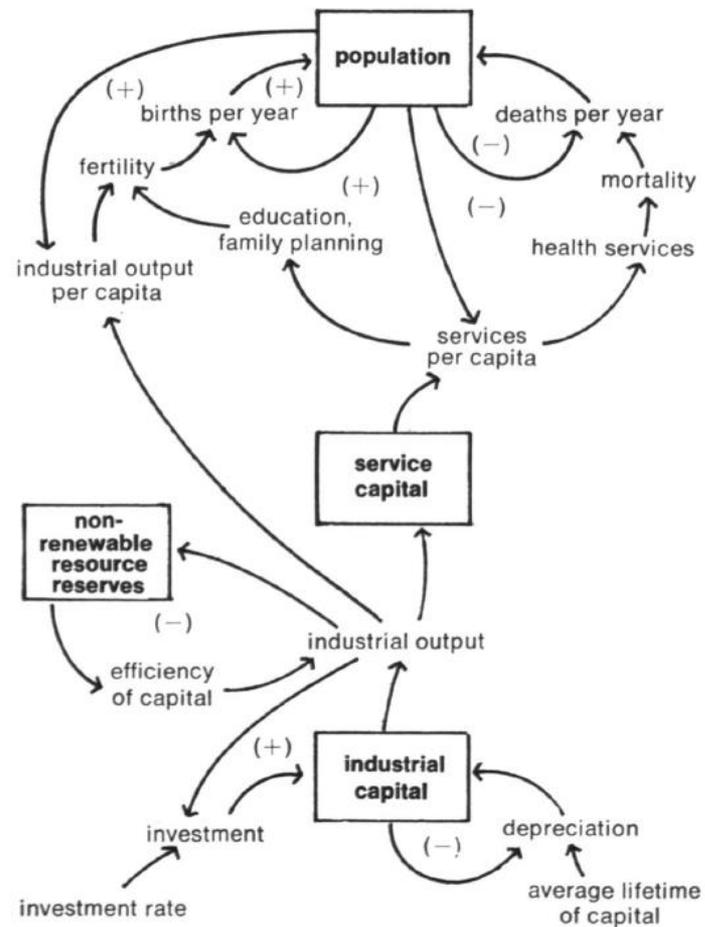
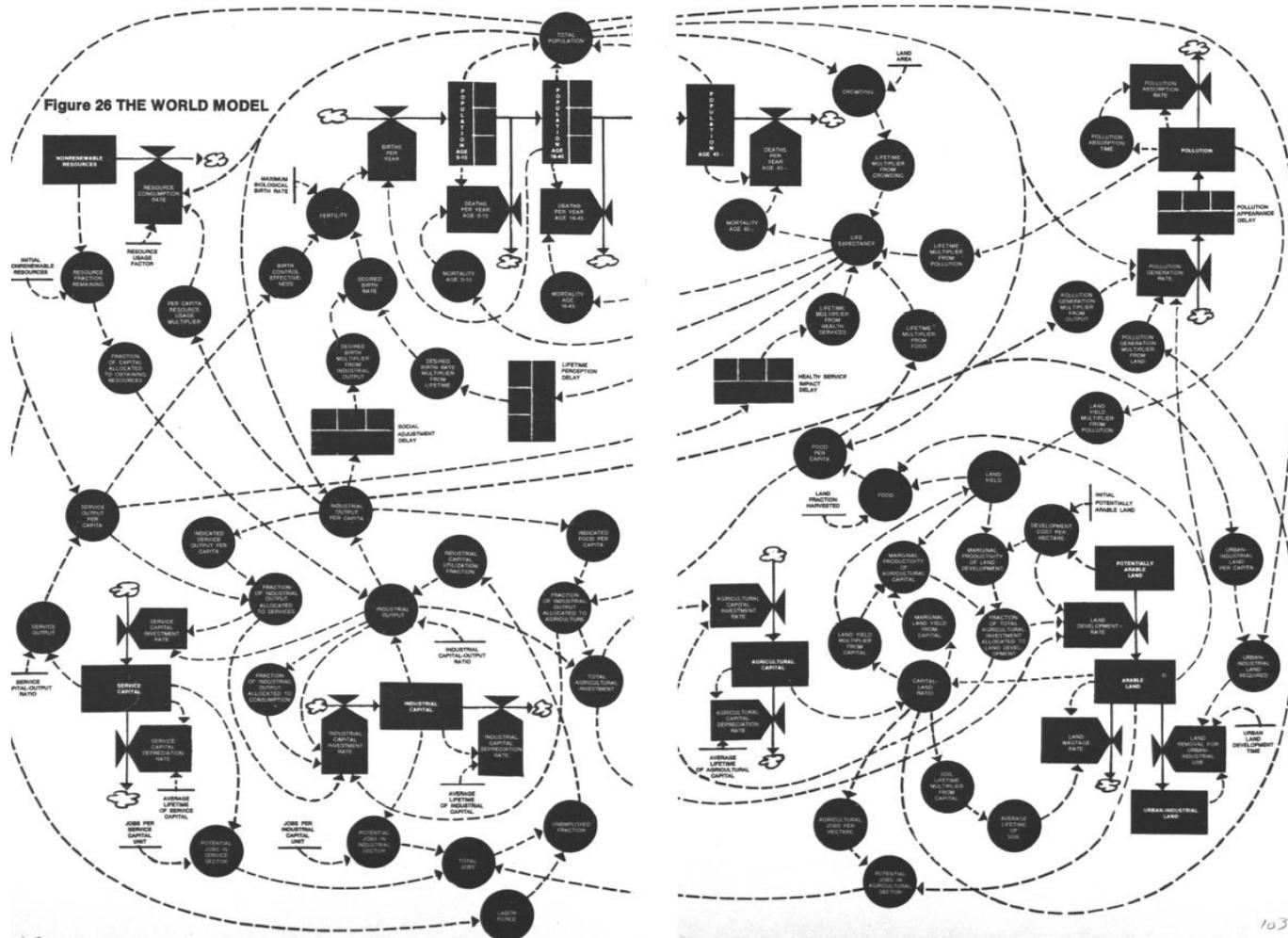


Figure 25 FEEDBACK LOOPS OF POPULATION, CAPITAL, SERVICES, AND RESOURCES



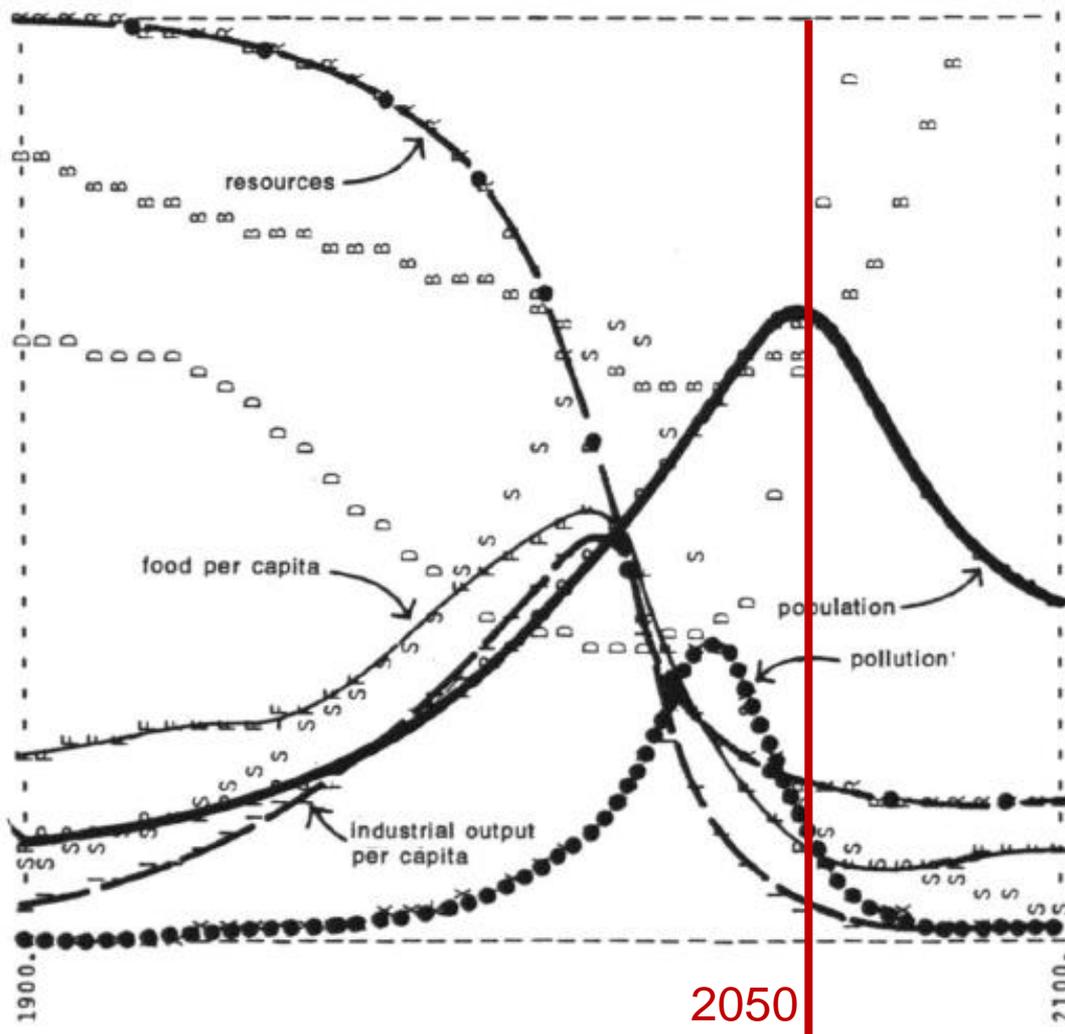
# Limites ao crescimento

Relações complexas entre variáveis do sistema



# Limites ao crescimento

Figure 35 WORLD MODEL STANDARD RUN



## Resultados do modelo

Todas as variáveis mantêm **taxas actuais** (1972).

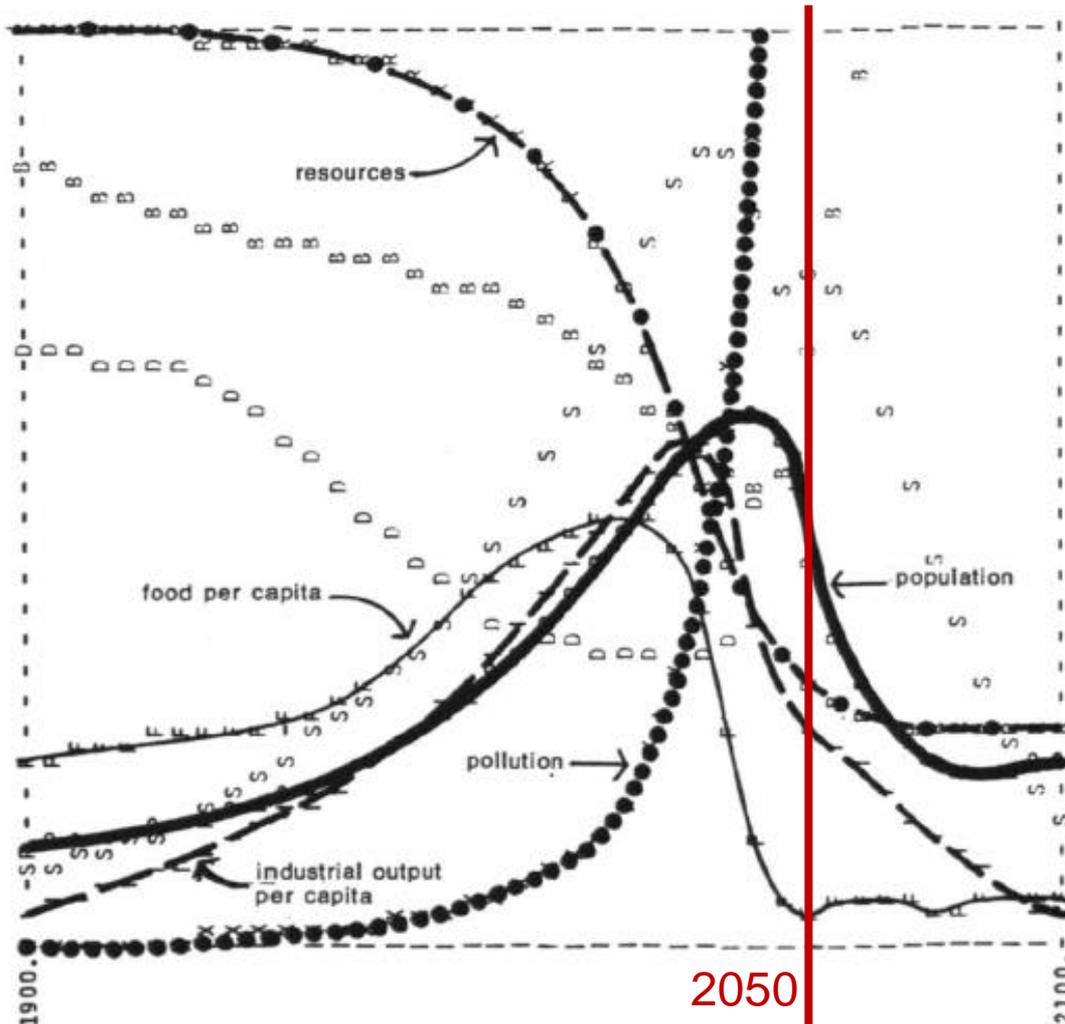
Alimentos, produção industrial, população e poluição aumentam até ao **esgotamento dos recursos**.

Devido a diferentes escalas de tempo seguem-se os vários picos...

Notar que energia = recursos

# Limites ao crescimento

Figure 36 WORLD MODEL WITH NATURAL RESOURCE RESERVES DOUBLED

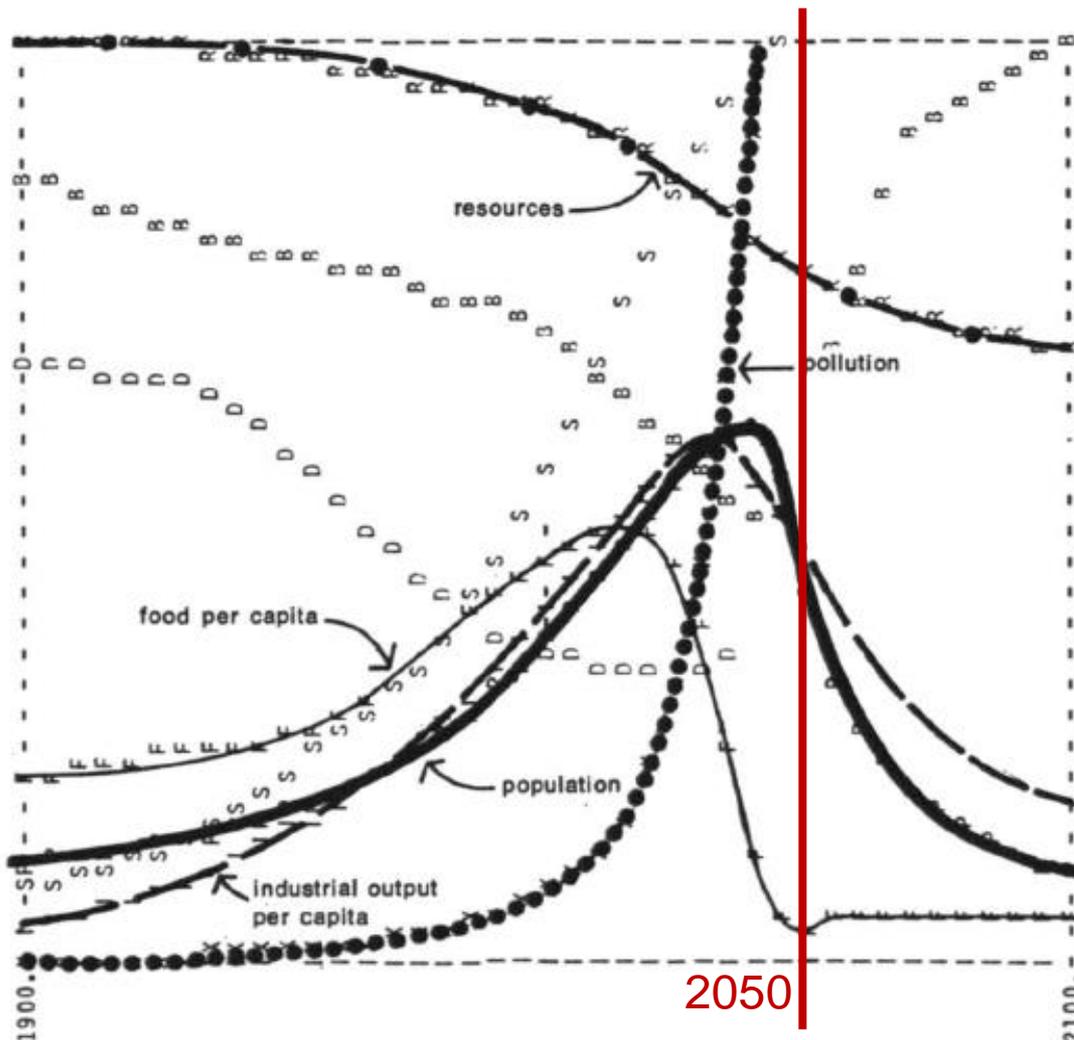


## Resultados do modelo

Com **duplicação** das reservas. A produção industrial prolonga-se o que leva a um aumento insustentável da **poluição**. O aumento da poluição provoca aumento da mortalidade e redução de alimentos.

# Limites ao crescimento

Figure 37 WORLD MODEL WITH "UNLIMITED" RESOURCES



## Resultados do modelo

Com **reservas infinitas** (eles falavam em nuclear mas podia ser energia solar) os outros materiais podem ser reciclados e portanto a sua taxa de depleção é mais lenta.

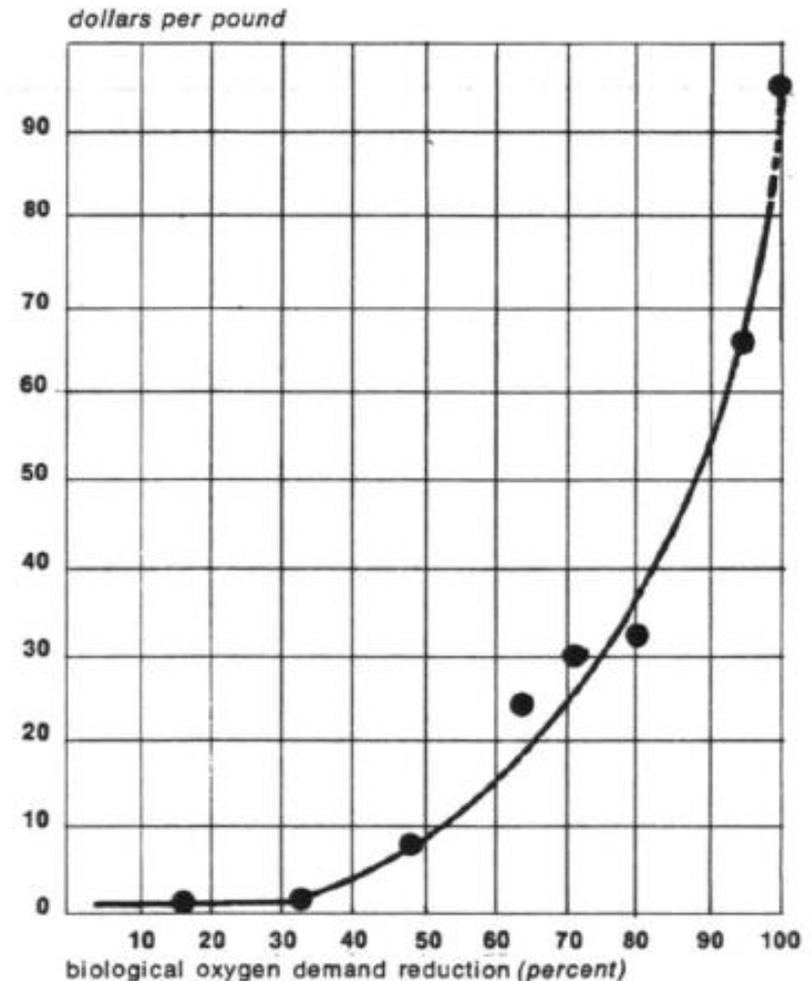
Mas a **poluição** continua insustentável levando ao colapso do sistema.

# Limites ao crescimento

A poluição pode ser controlada embora com custos exponenciais.

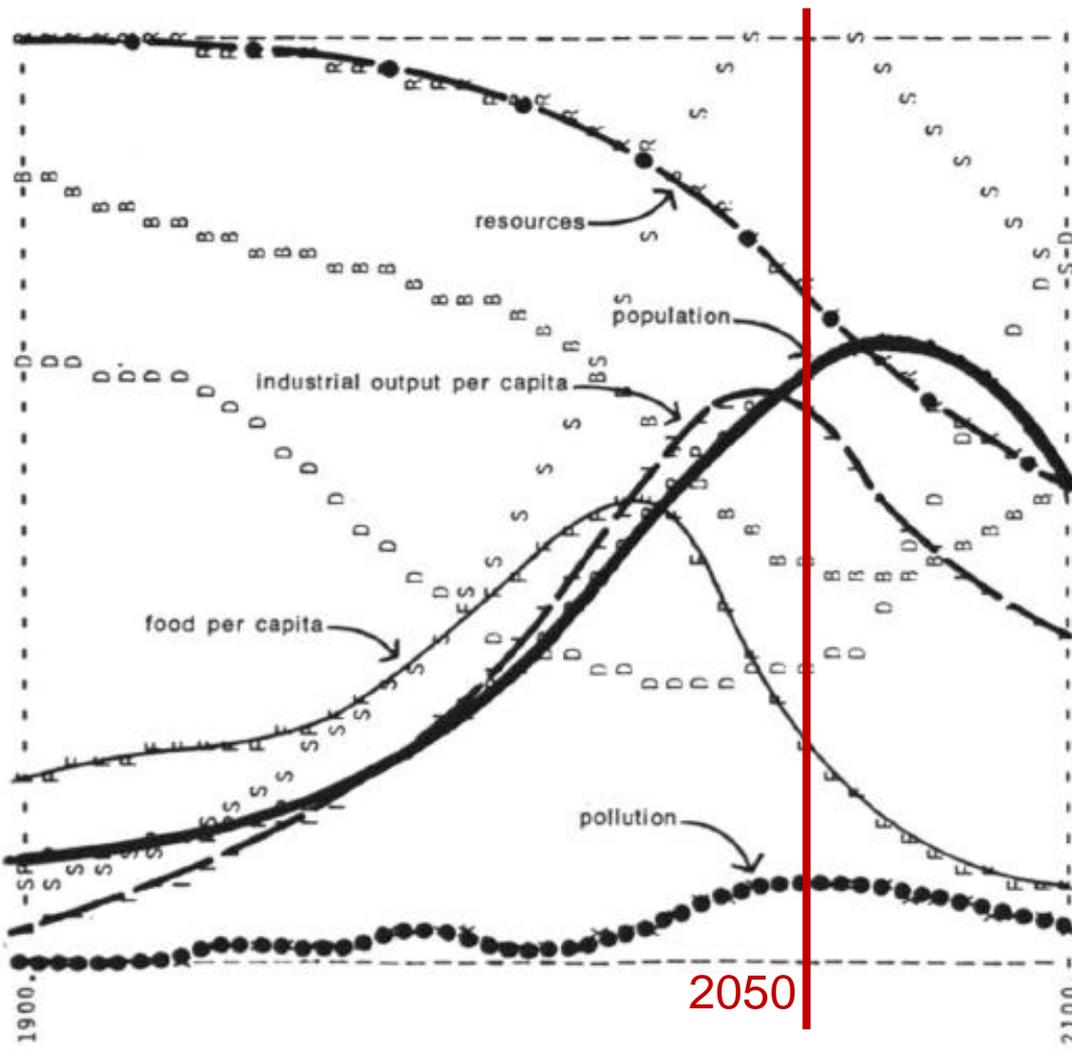
Exemplo para a redução de resíduos orgânicos numa fábrica de produção de açúcar.

**Figure 38 COST OF POLLUTION REDUCTION**



# Limites ao crescimento

Figure 39 WORLD MODEL WITH "UNLIMITED" RESOURCES AND POLLUTION CONTROLS

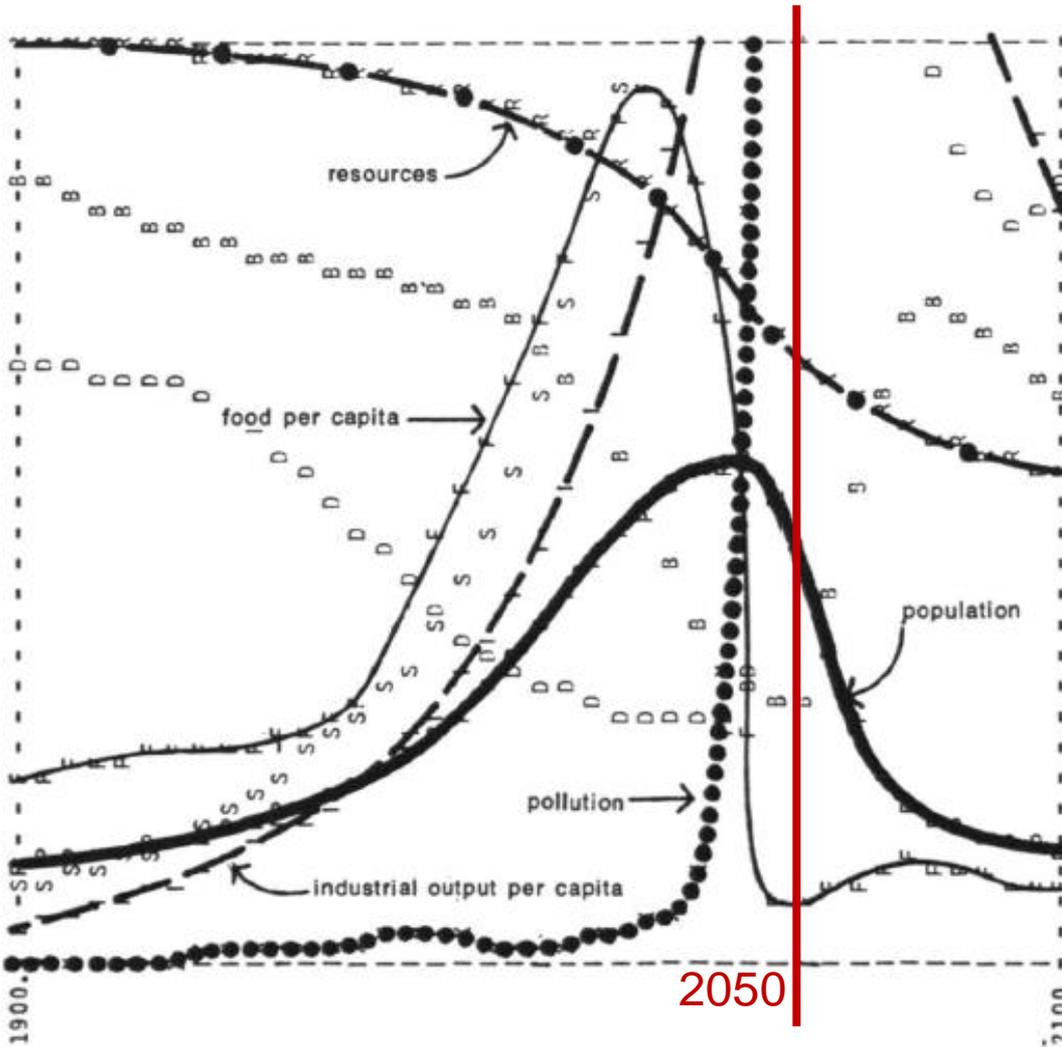


## Resultados do modelo

Com **reservas infinitas** e controlo de poluição (via desenvolvimento **tecnológico**, com taxa de aumento de poluição 25% da actual). Esgotamento da **terra arável**, e falta de alimentos, leva à redução da produção industrial (todo o investimento é para comida) e ao colapso do sistema,

# Limites ao crescimento

Figure 40 WORLD MODEL WITH "UNLIMITED" RESOURCES, POLLUTION CONTROLS, AND INCREASED AGRICULTURAL PRODUCTIVITY



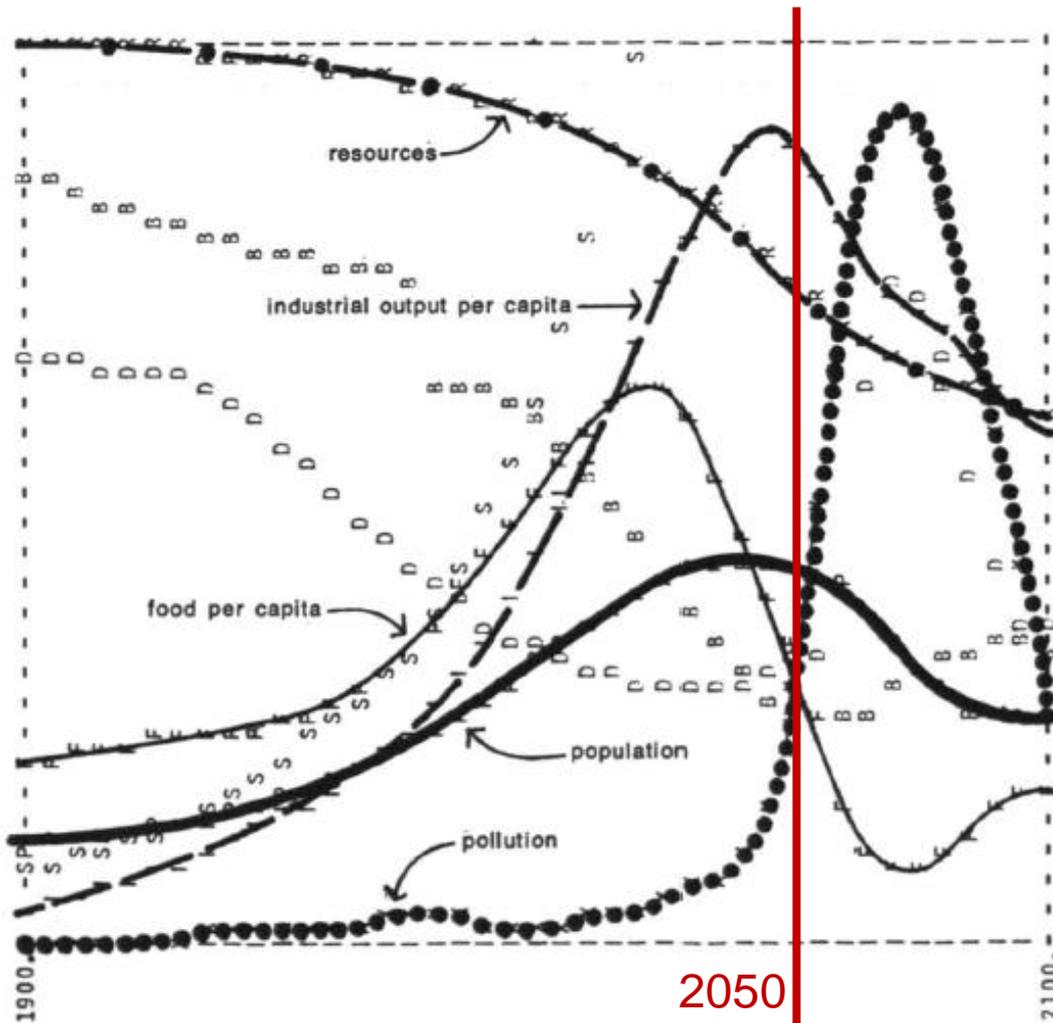
## Resultados do modelo

Com **reservas infinitas**, controlo de **poluição** e aumento **produtividade** alimentar.

A **população** aumenta demasiado rápido levando ao aumento da poluição (apesar de ter uma taxa por unidade de produção mais baixa) que provoca o colapso do sistema.

# Limites ao crescimento

Figure 41 WORLD MODEL WITH "UNLIMITED" RESOURCES, POLLUTION CONTROLS, AND "PERFECT" BIRTH CONTROL

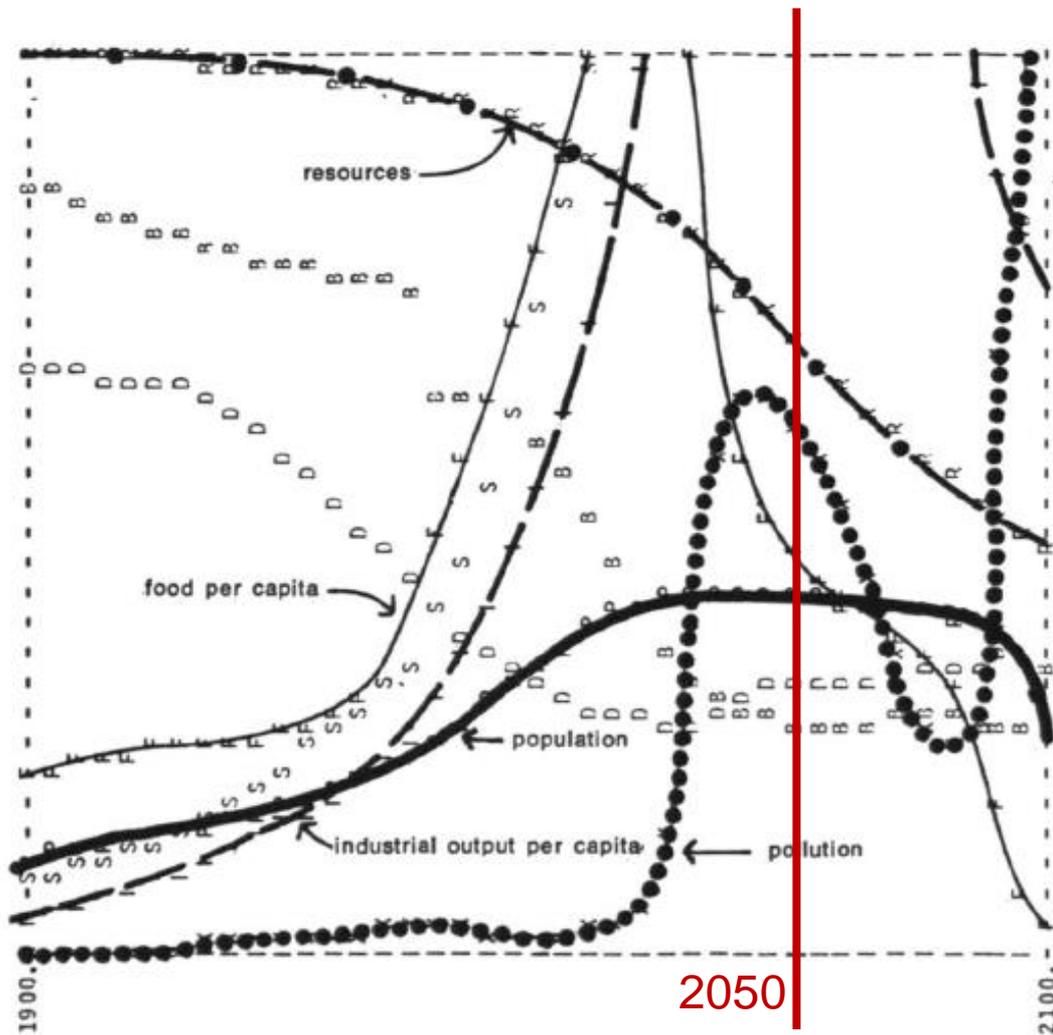


## Resultados do modelo

Com **reservas infinitas**, controlo de **poluição** e maior controlo da **natalidade**, permite adiar a crise alimentar duas décadas...

# Limites ao crescimento

Figure 42 WORLD MODEL WITH "UNLIMITED" RESOURCES, POLLUTION CONTROLS, INCREASED AGRICULTURAL PRODUCTIVITY, AND "PERFECT" BIRTH CONTROL

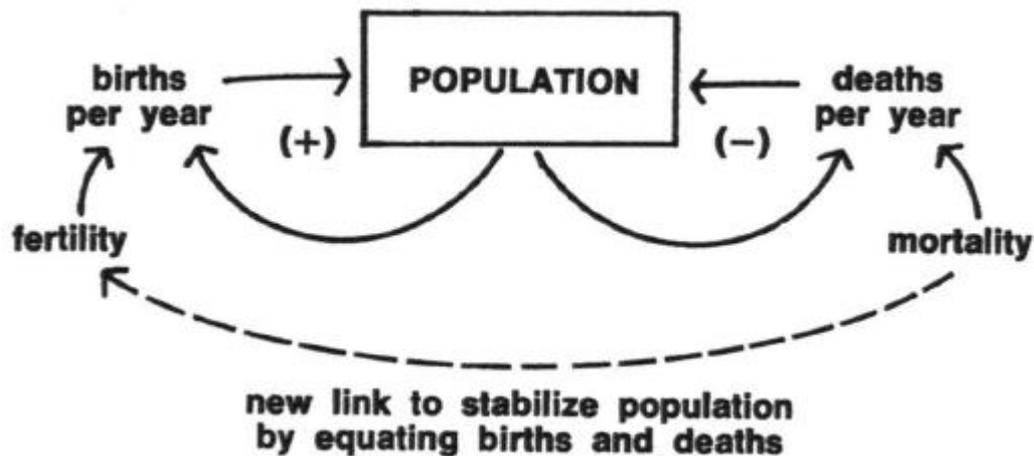


## Resultados do modelo

Com **reservas infinitas**, controlo de **poluição**, maior **produtividade alimentar** e maior controlo da **natalidade**. Quase que se atinge o equilíbrio mas a **redução da produção industrial** e dos recursos disponíveis acaba por levar ao colapso perto de 2100.

# Limites ao crescimento

Introduzindo novos **ciclos de realimentação negativa**



# Limites ao crescimento

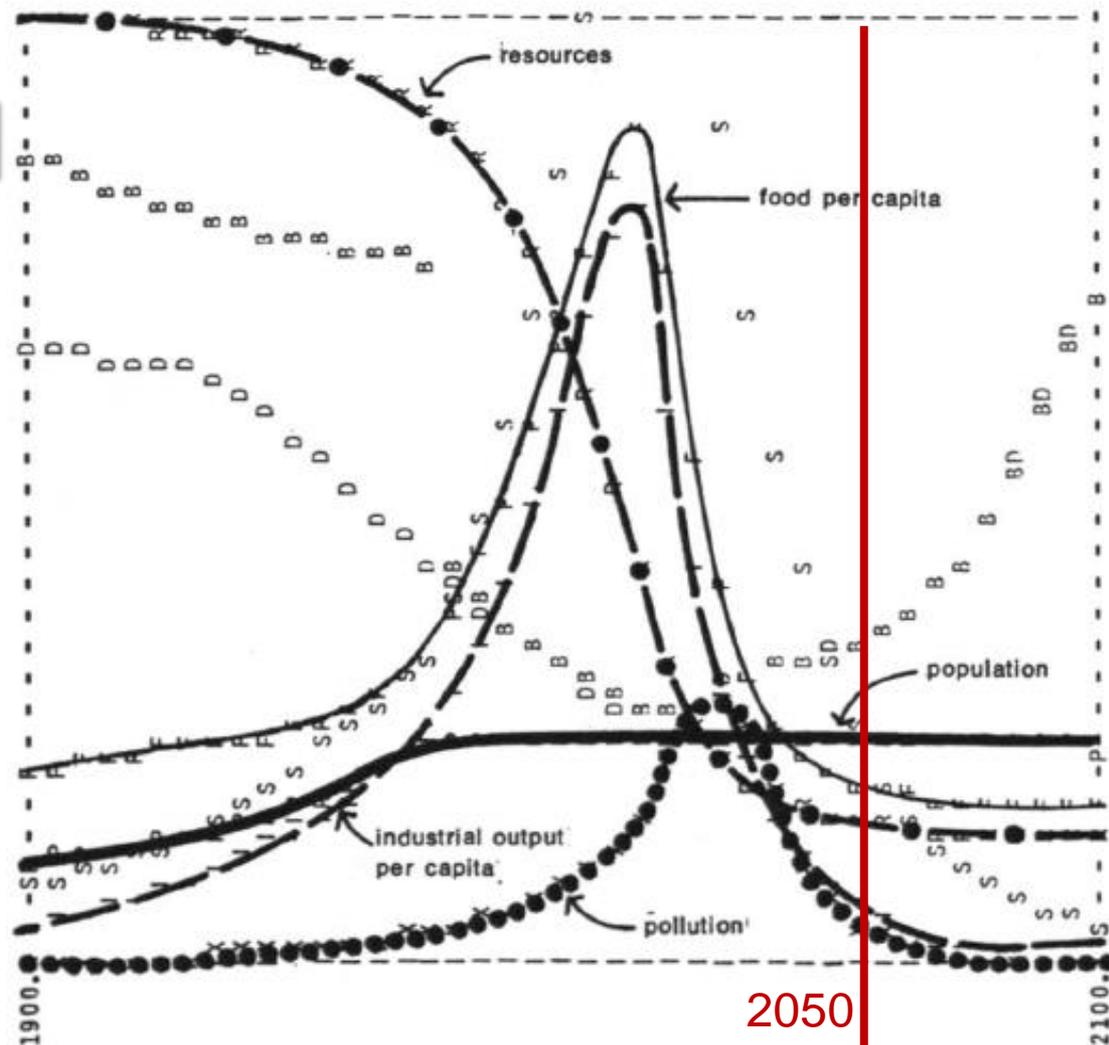
Introduzindo novos **ciclos de realimentação negativa**

Resultados do modelo

Modelo *business as usual* com **população estabilizada**.

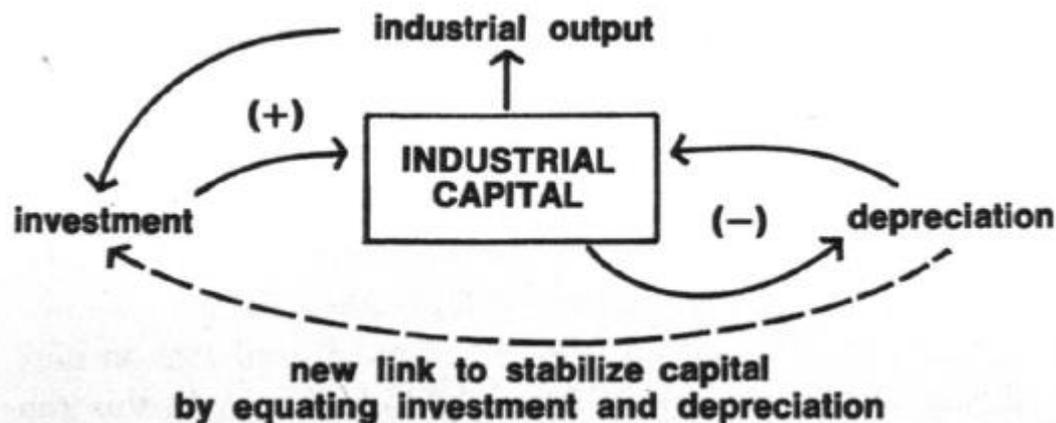
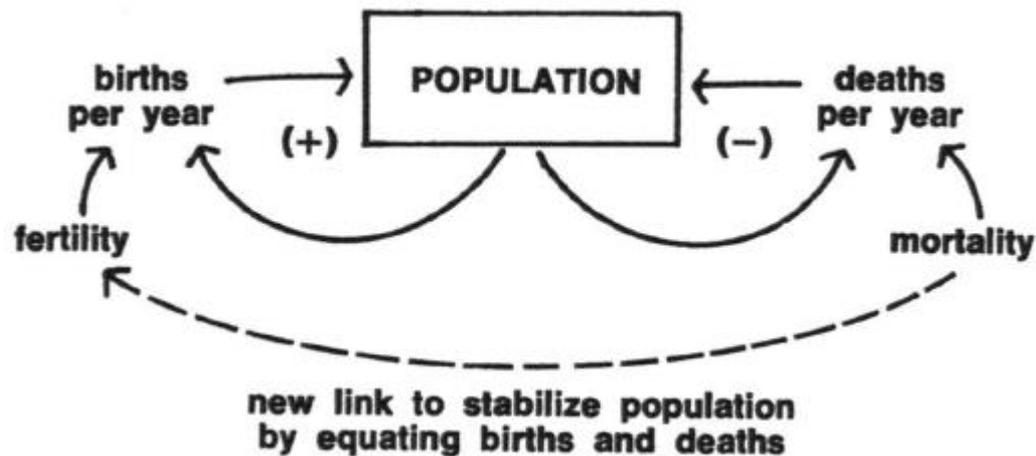
Crescimento exponencial da produção industrial leva ao **esgotamento de recursos** e colapso do sistema.

Figure 44 WORLD MODEL WITH STABILIZED POPULATION



# Limites ao crescimento

Introduzindo novos **ciclos de realimentação negativa**



# Limites ao crescimento

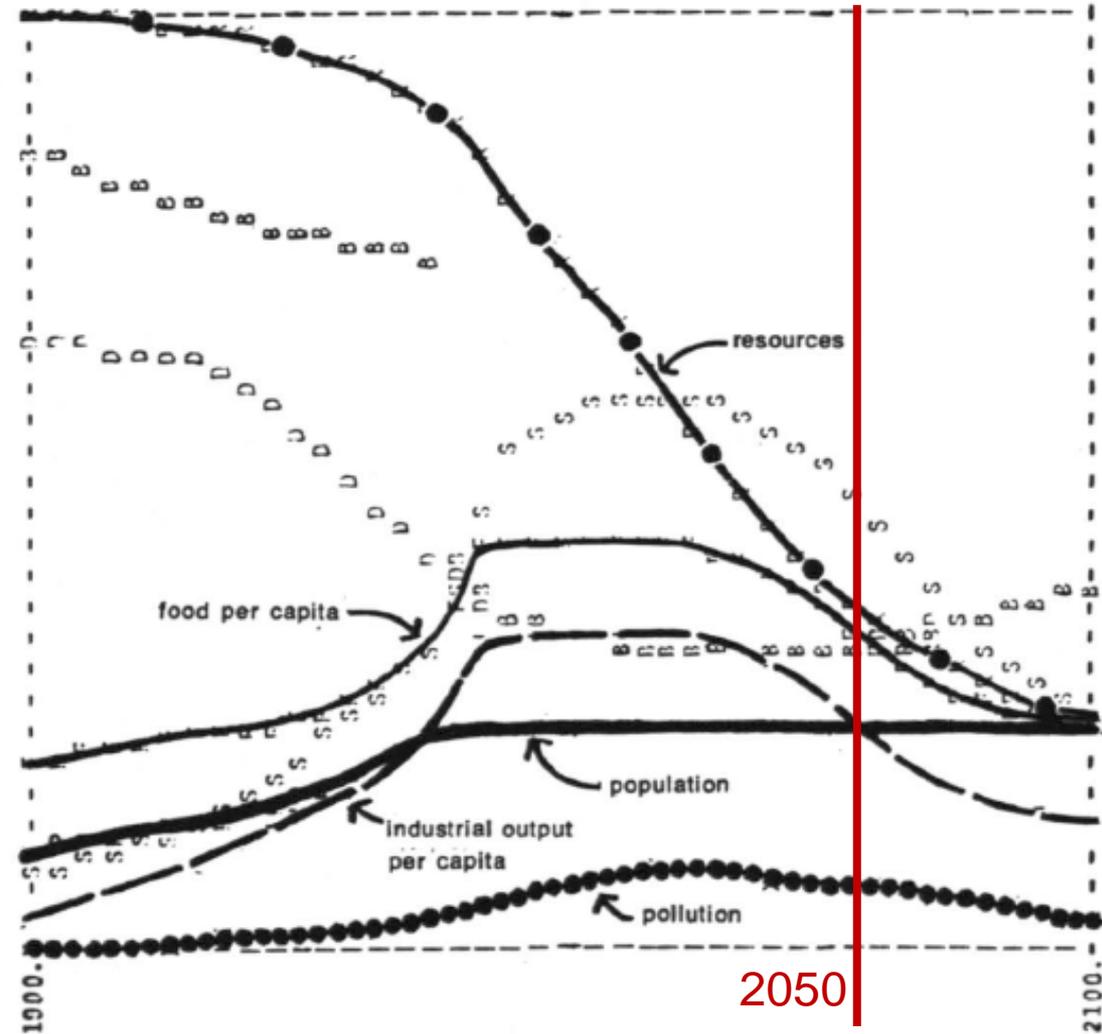
Introduzindo novos **ciclos de realimentação negativa**

Resultados do modelo

Modelo *business as usual* com **população e capital estabilizados**.

Sistema atinge patamar temporário mas **esgotamento de recursos** leva a que mais investimento seja utilizado para a sua extracção, e ao colapso do sistema.

Figure 45 WORLD MODEL WITH STABILIZED POPULATION AND CAPITAL



# Limites ao crescimento

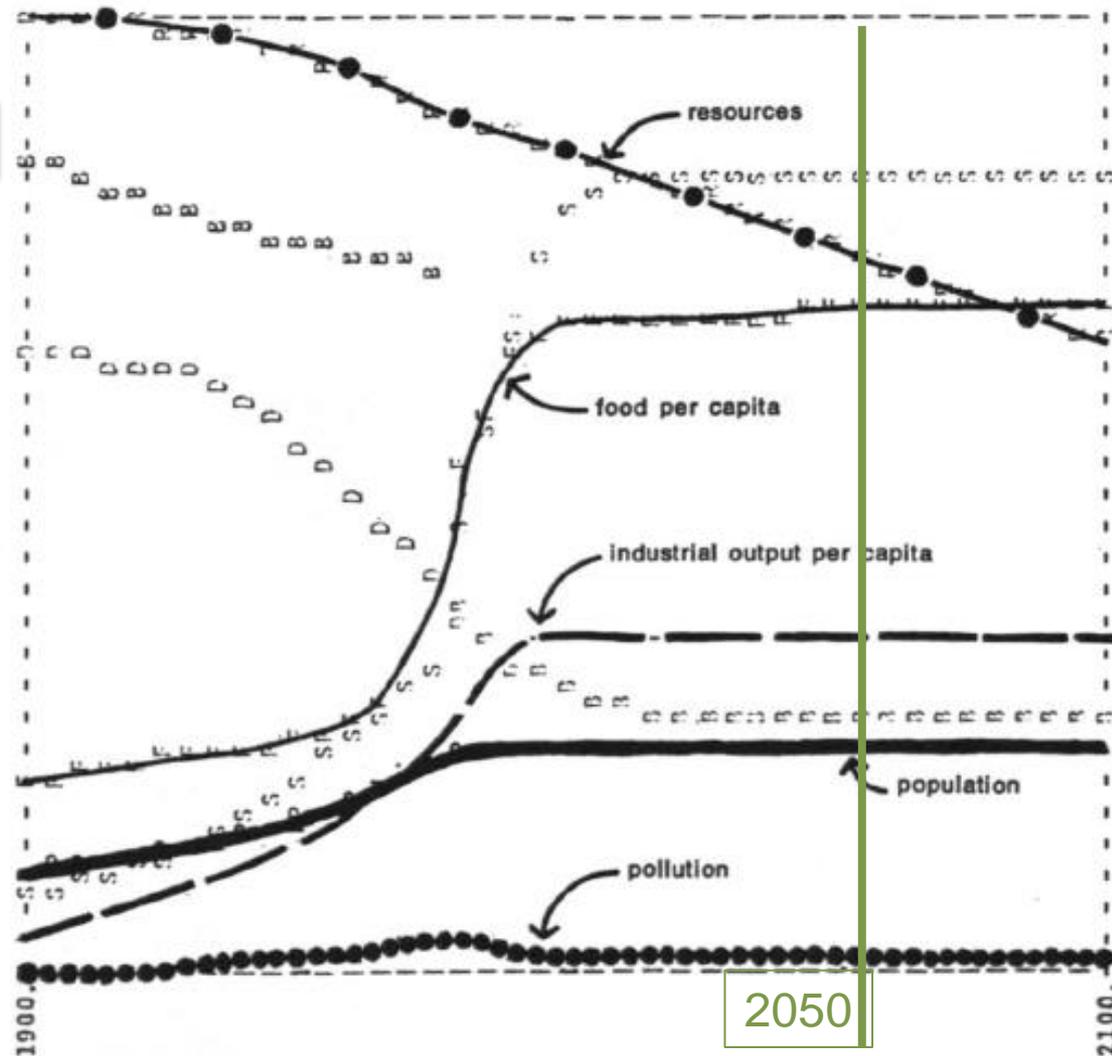
Introduzindo novos **ciclos de realimentação negativa**

Resultados do modelo

Modelo com **população** e **capital estabilizados** e controlo **poluição**, aumento **reciclagem** materiais, recuperação terra **arável**.

Estabilização ocorre com produção industrial 3x acima do nível de 1970.

Figure 46 STABILIZED WORLD MODEL I



# Limites ao crescimento

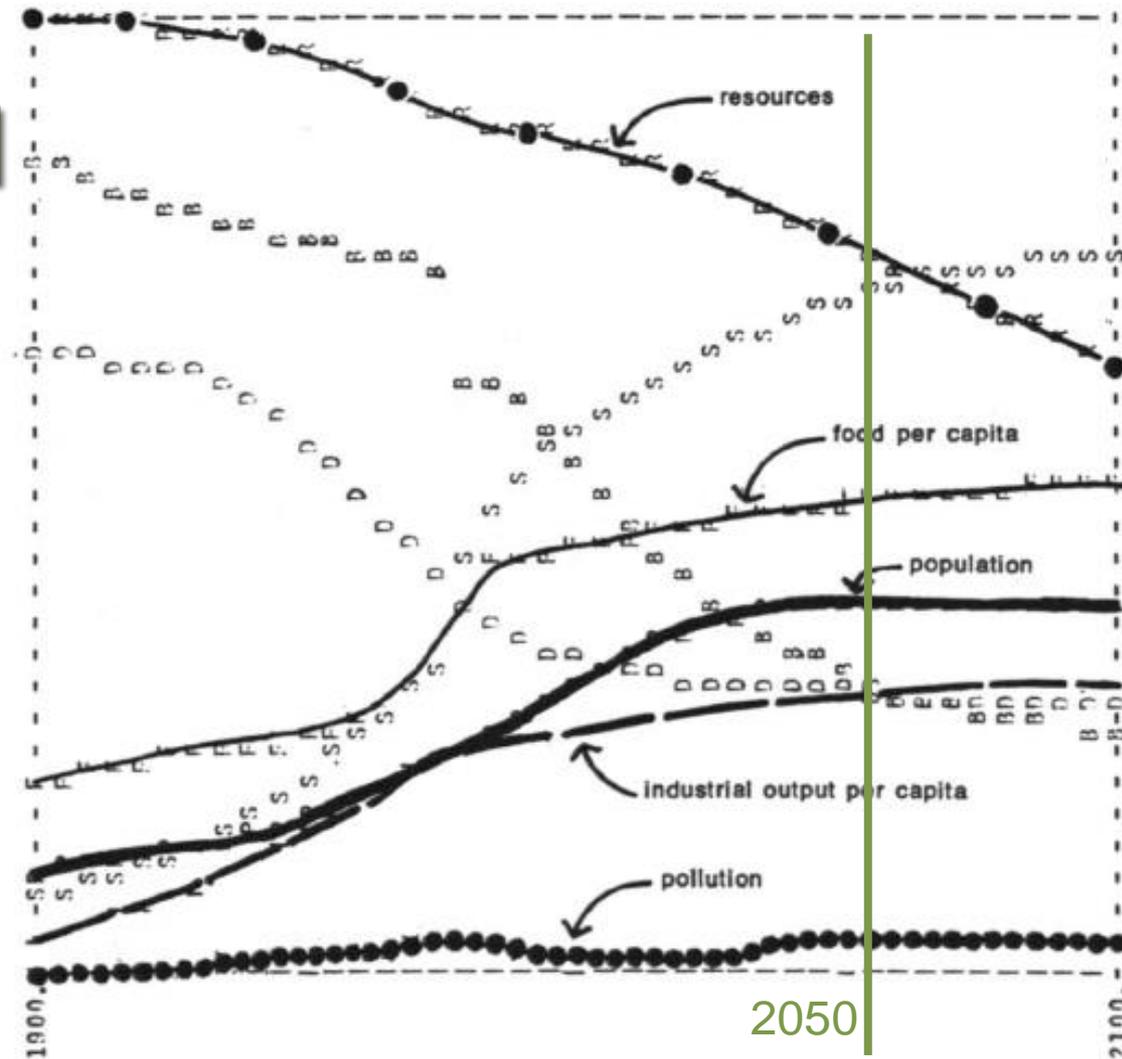
Introduzindo novos **ciclos de realimentação negativa**

Resultados do modelo

Modelo com **população** e **capital** com algum controlo mas não fixo (introduzidos em 1970) e controlo **poluição**, aumento **reciclagem** materiais, recuperação terra **arável**.

Estabilização ocorre mais tarde e a um nível de produção industrial superior.

Figure 47 STABILIZED WORLD MODEL II



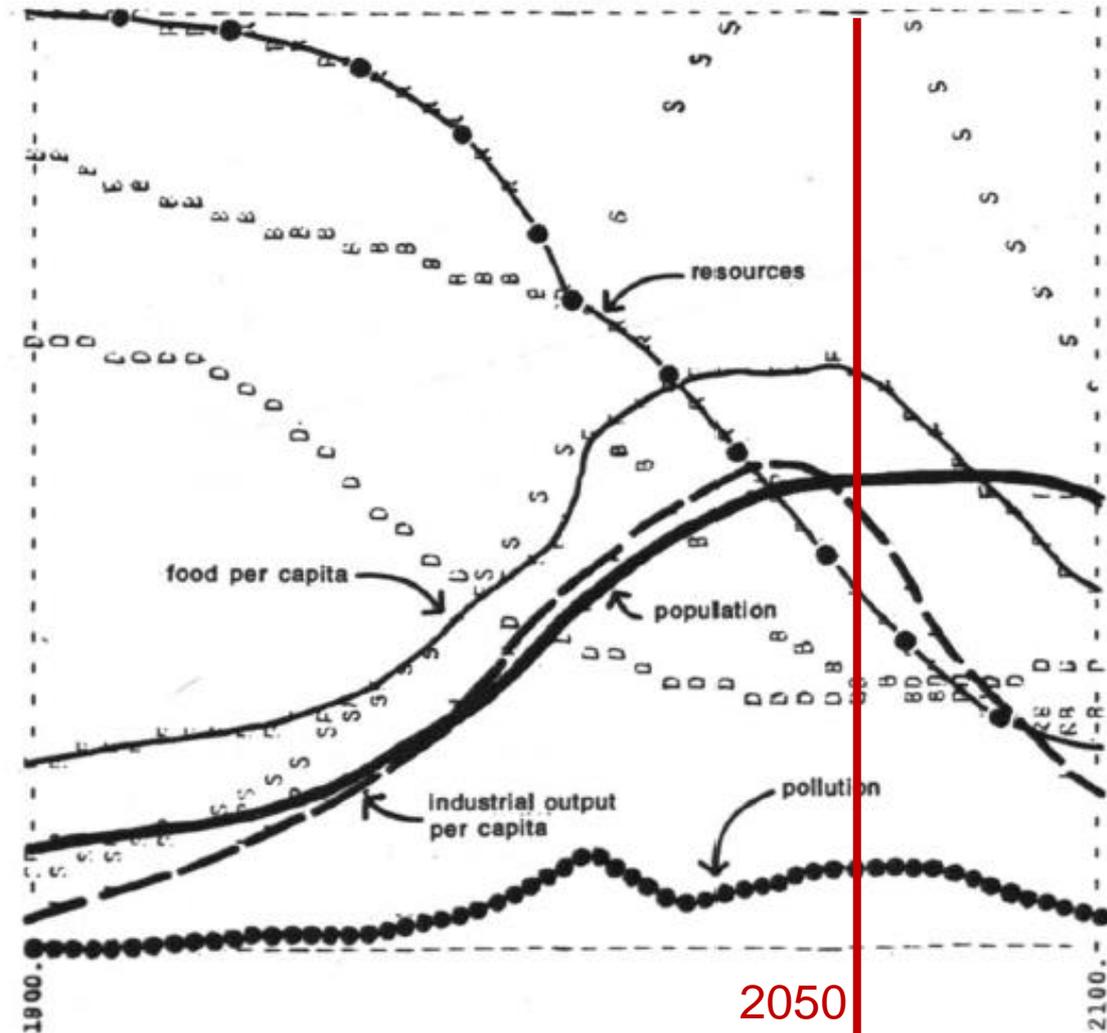
# Limites ao crescimento

Introduzindo novos **ciclos de realimentação negativa**

## Resultados do modelo

Modelo com **população** e **capital** com algum controlo mas não fixo (introduzidos em 2000) e controlo **poluição**, aumento **reciclagem** materiais, recuperação terra **arável**. Estado de equilíbrio já **não é estável**: população e consumo industrial crescem demasiado para criar crise alimentar e de recursos.

Figure 48 WORLD MODEL WITH STABILIZING POLICIES INTRODUCED IN THE YEAR 2000



# Limites ao crescimento

Apesar de todas as suas limitações e simplificações, e lembrando que são cenários e não previsões, os resultados do modelo de Meadows et al sugerem:

- ❑ Um mundo **sustentável**, rico e saudável é possível.
- ❑ Exige controlo de **população** (2 crianças por casal), limitações ao **crescimento económico** desenfreado, soluções tecnológicas para a **reciclagem** de materiais, energias **renováveis**, recuperação de terra **arável** e controlo **poluição**.
- ❑ E as mudanças são **urgentes**.



# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?

116

FOCUS: LIMITS TO GROWTH

## On the Cusp of Global Collapse?

Updated Comparison of *The Limits to Growth* with Historical Data

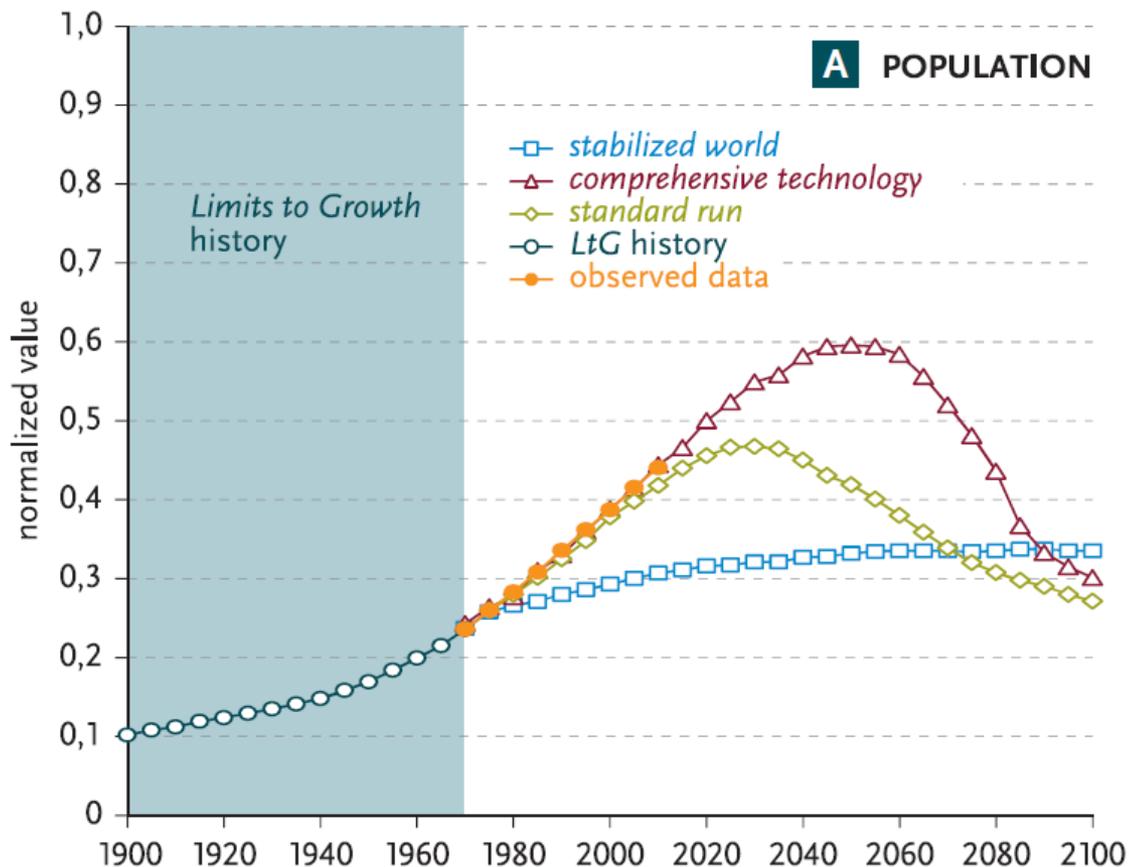
*Global data continues to confirm The Limits to Growth standard run scenario, which forecasts an imminent collapse in living standards and population due to resource constraints. Further, the mechanism underlying the simulated breakdown is consistent with increasing energy and capital costs of peak oil. The diversion of energy and capital away from industrial, agricultural, and service sectors is a greater problem than climate change in the modelled scenario since it leads to global collapse by about 2015.*

Graham M. Turner



# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?

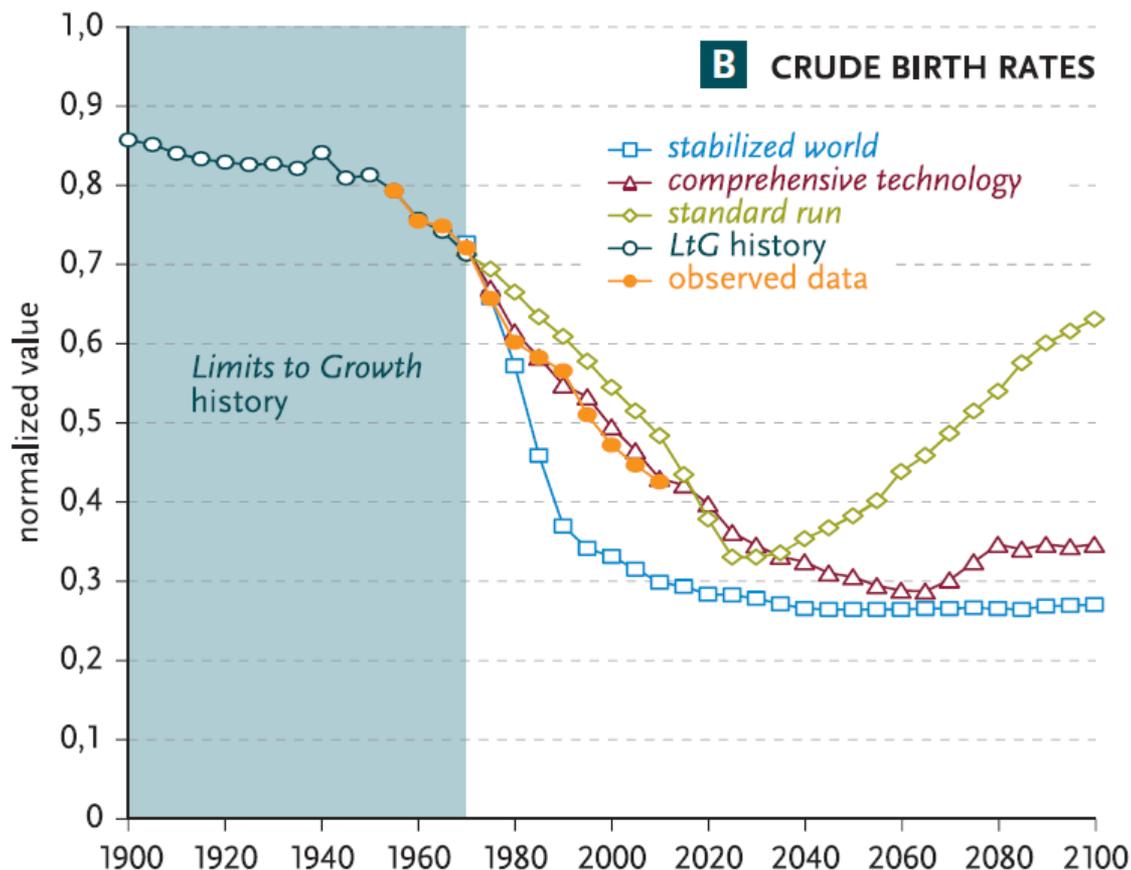


A **população** parece estar descontrolada, claramente acima do exigido

Dados históricos de população comparados com 3 cenários de Meadows et al.

# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?

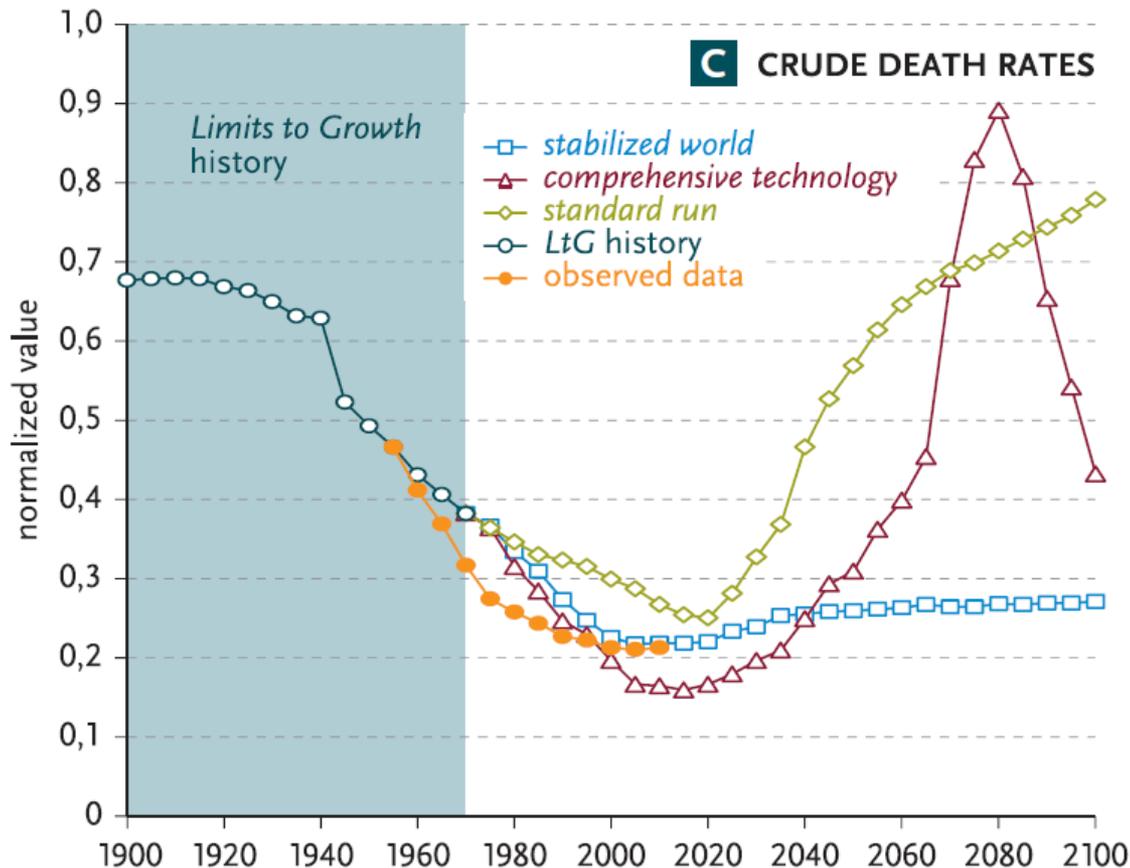


A **população** parece estar descontrolada, claramente acima do exigido, devido ao excesso de **natalidade**.

Dados históricos de população comparados com 3 cenários de Meadows et al.

# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?

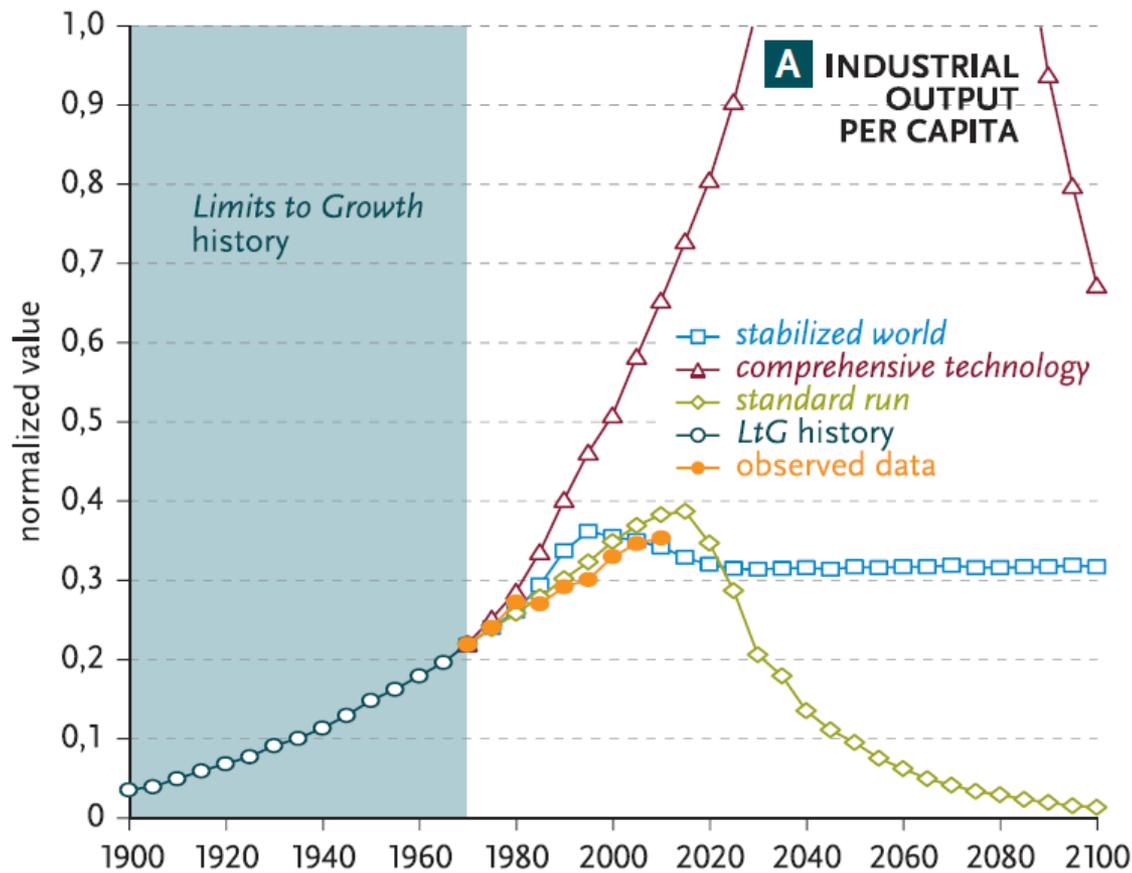


A **população** parece estar descontrolada, claramente acima do exigido, devido ao excesso de **natalidade**. Depois de uma redução muito forte nas últimas décadas, a taxa de **mortalidade** está de acordo com a do modelo sustentável.

Dados históricos de população comparados com 3 cenários de Meadows et al.

# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?

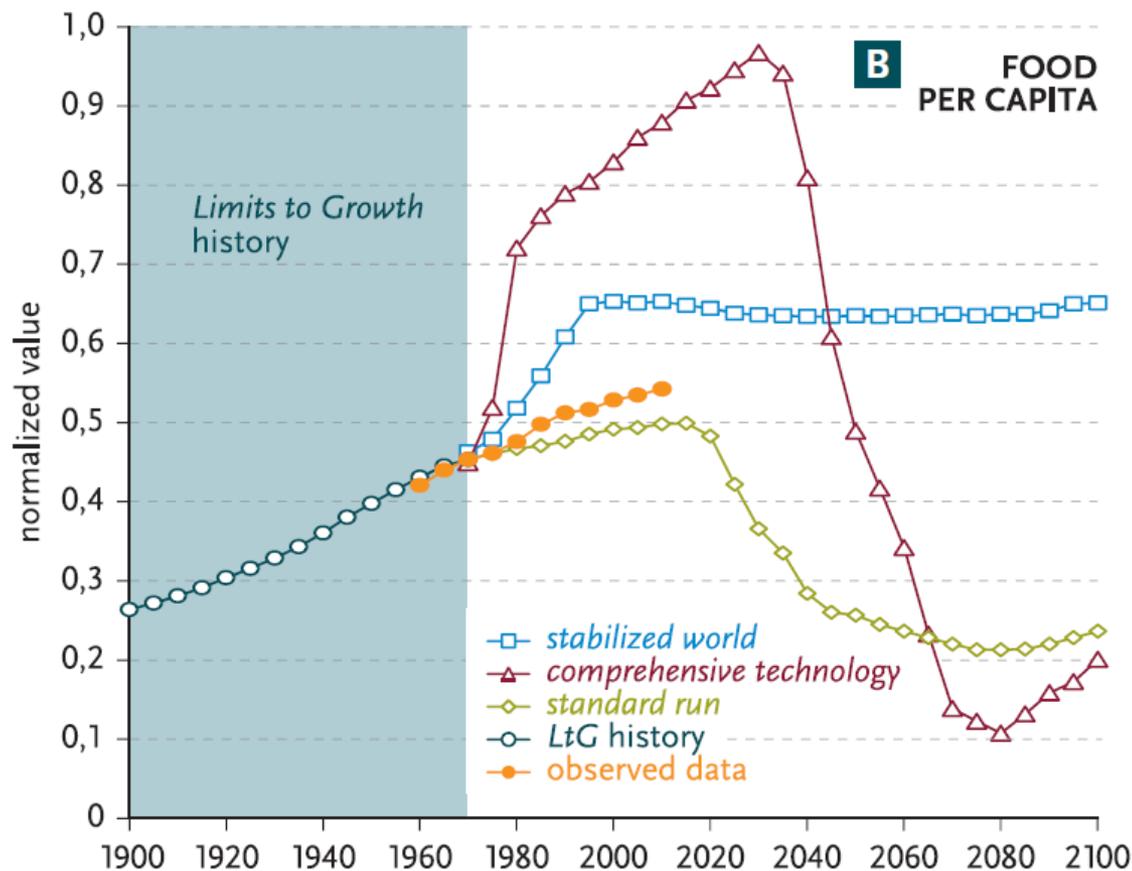


O **crescimento económico** está controlado. Talvez a crise económica seja um processo de realimentação negativa para *proteger* a humanidade.

Dados históricos económicos comparados com 3 cenários de Meadows et al.

# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?



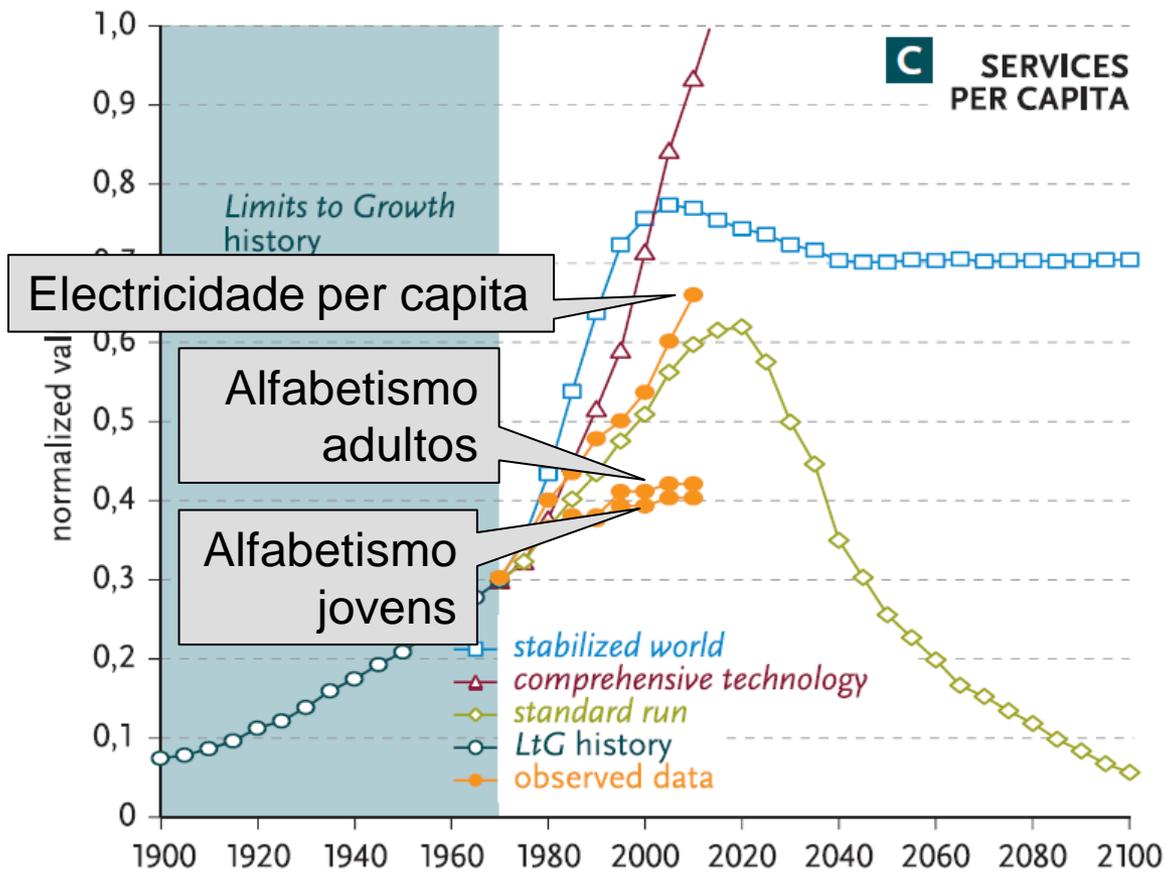
O acesso a comida está um pouco acima do modelo de referência (*green revolution* e OGM) mas abaixo do que poderíamos ter.

**É um problema de assimetrias regionais.**

Dados históricos económicos comparados com 3 cenários de Meadows et al.

# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?

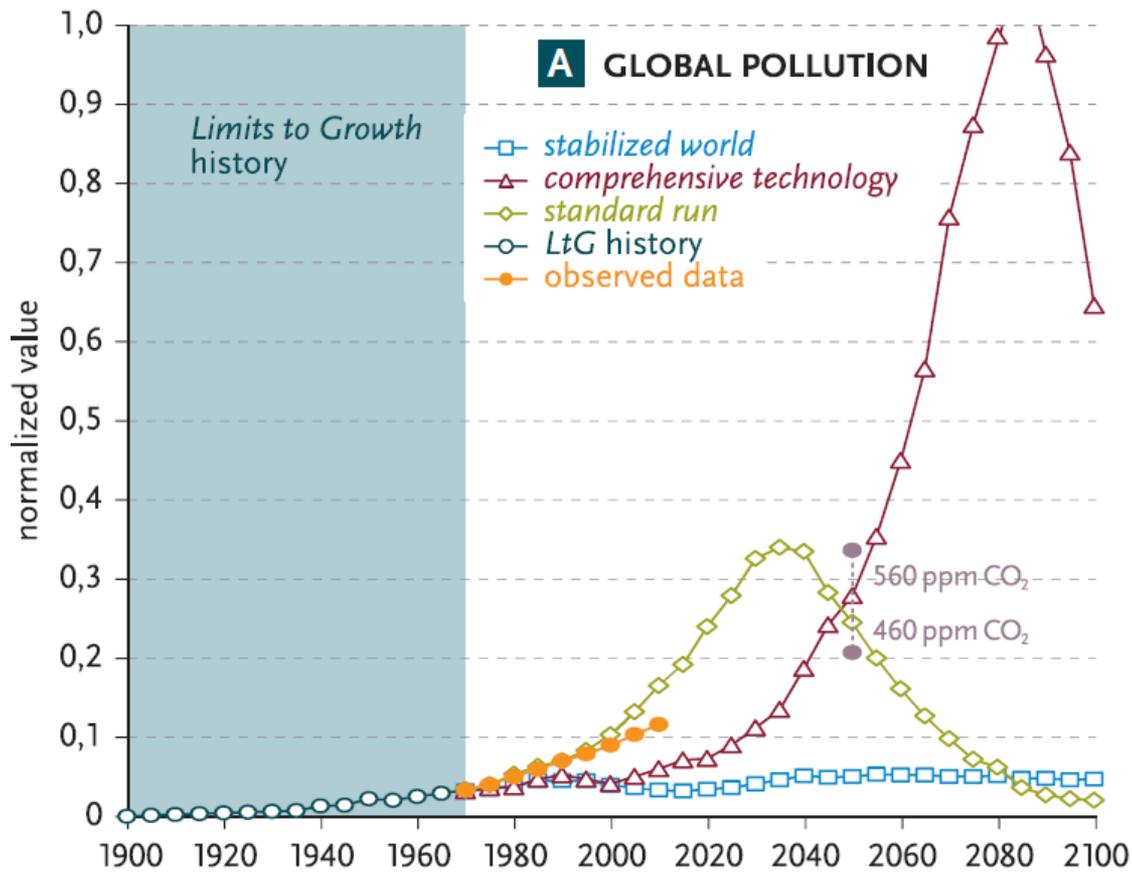


O acesso a serviços (e.g. educação e energia) per capita está abaixo do que precisamos.  
É um problema de assimetrias regionais.

Dados históricos económicos comparados com 3 cenários de Meadows et al.

# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?

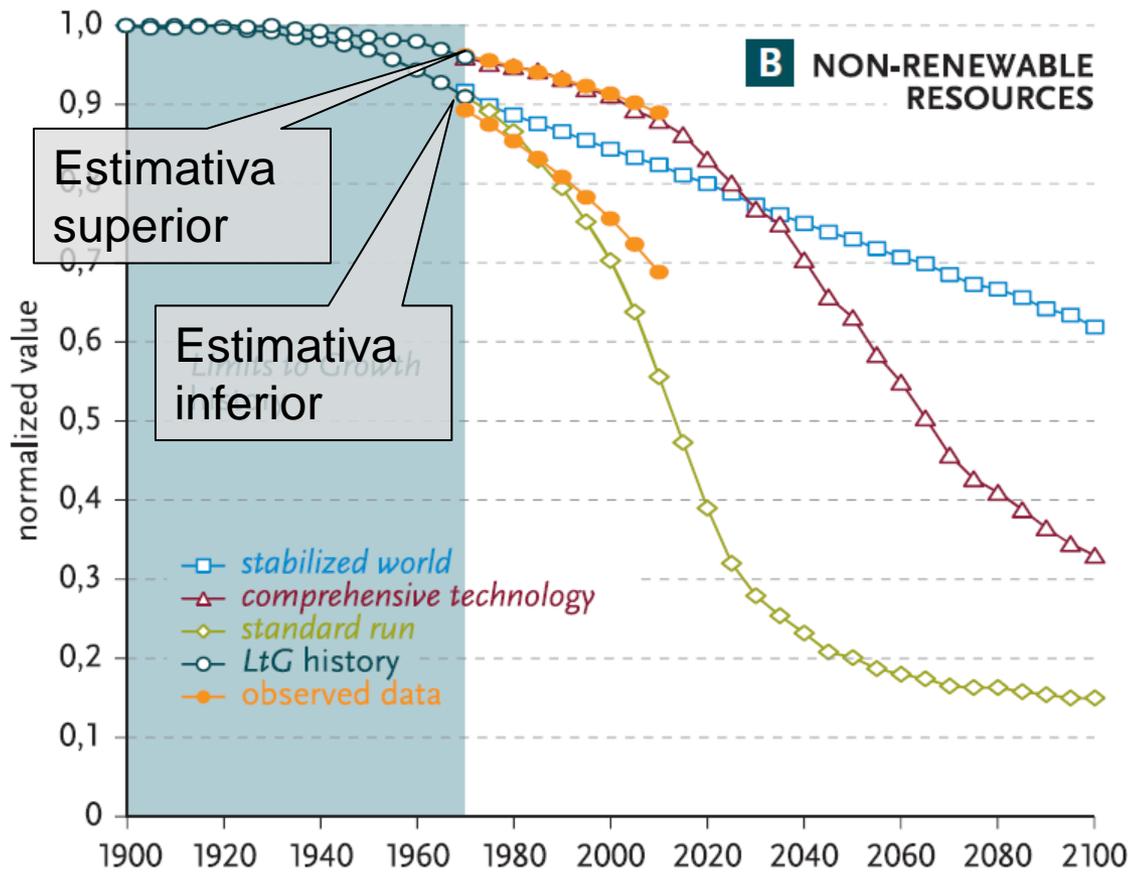


A poluição (incluindo emissão de GHG) está quase a acompanhar o modelo de referência. **É um problema crítico e urgente.**

Dados históricos limites industriais comparados com cenários de Meadows et al.

# Limites ao crescimento

40 anos depois. Isto é verdade?



A taxa de **depleção** de recursos, energéticos e outros materiais, está a acompanhar o de uma sociedade tecnológica, ligeiramente acima do modelo de referência mas ainda assim **insustentável**.

Dados históricos limites industriais comparados com cenários de Meadows et al.

## Bibliografia essencial

### Limits to growth

*<http://www.donellameadows.org/wp-content/userfiles/Limits-to-Growth-digital-scan-version.pdf>*

### The skeptical environmentalist

Na biblioteca do IDL (8.3.30)