

Recurso solar: uma métrica da sustentabilidade

Jorge Maia Alves



A warning that two thirds of the world's population will be living with water stress by 2025 headlined a business sustainability webinar run this morning by Balfour Beatty Utility Solutions.

"Water is going to be an enormous issue going forward," said Nottingham University Business School's Simon Wright, responding to ...



• Água puríssima •

Alcântara

2030



• Água puríssima •

Guincho

2030



**O facto de um
dado recurso ser
finito não implica
que a sua
utilização seja
limitada!**



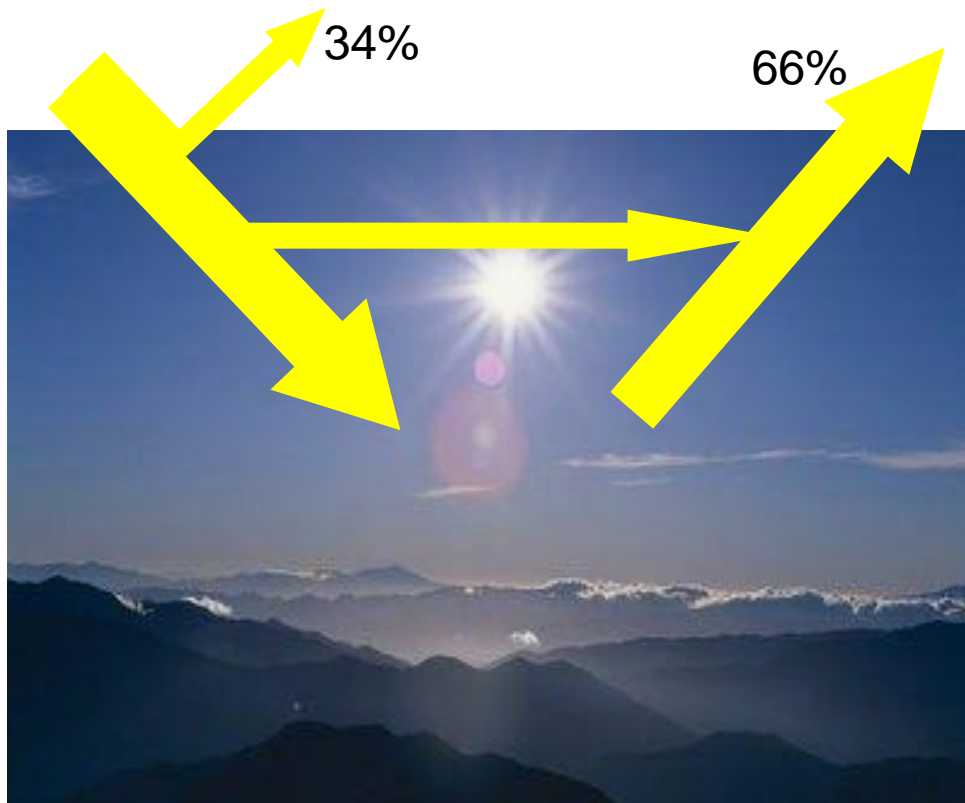
**Implica apenas a
utilização de
energia num
processo
qualquer de
reciclagem.**



A Terra é um sistema termodinâmico quase fechado: as únicas trocas relevantes com o exterior são de energia!

Estas trocas de energia com o exterior são de dois tipos apenas:

Fonte	Fluxo de energia
Radiação solar	$\sim 2 \times 10^5$ TW
Marés	~ 2 TW



Quanta energia “entra” por unidade de tempo no nosso planeta vinda do sol?

No topo da atmosfera incide cerca de 1.4kWm^{-2} !

34% dessa energia é reflectida para o espaço.

Os restantes 66% “entram” no sistema Terra / Atmosfera e são posteriormente reenviados para o espaço.

Fluxo renovável de energia: $\sim 2 \times 10^5 \text{ TW} = 5 \times 10^{24} \text{ J ano}^{-1}$



É este o nosso “salário energético” global...

Foi com esta energia que o nosso planeta sempre contou para sustentar a vida!

De facto, com essa energia o nosso planeta fez mesmo uma espécie de conta-poupança ...

... a que chamamos combustíveis fósseis!

C

P

U

G

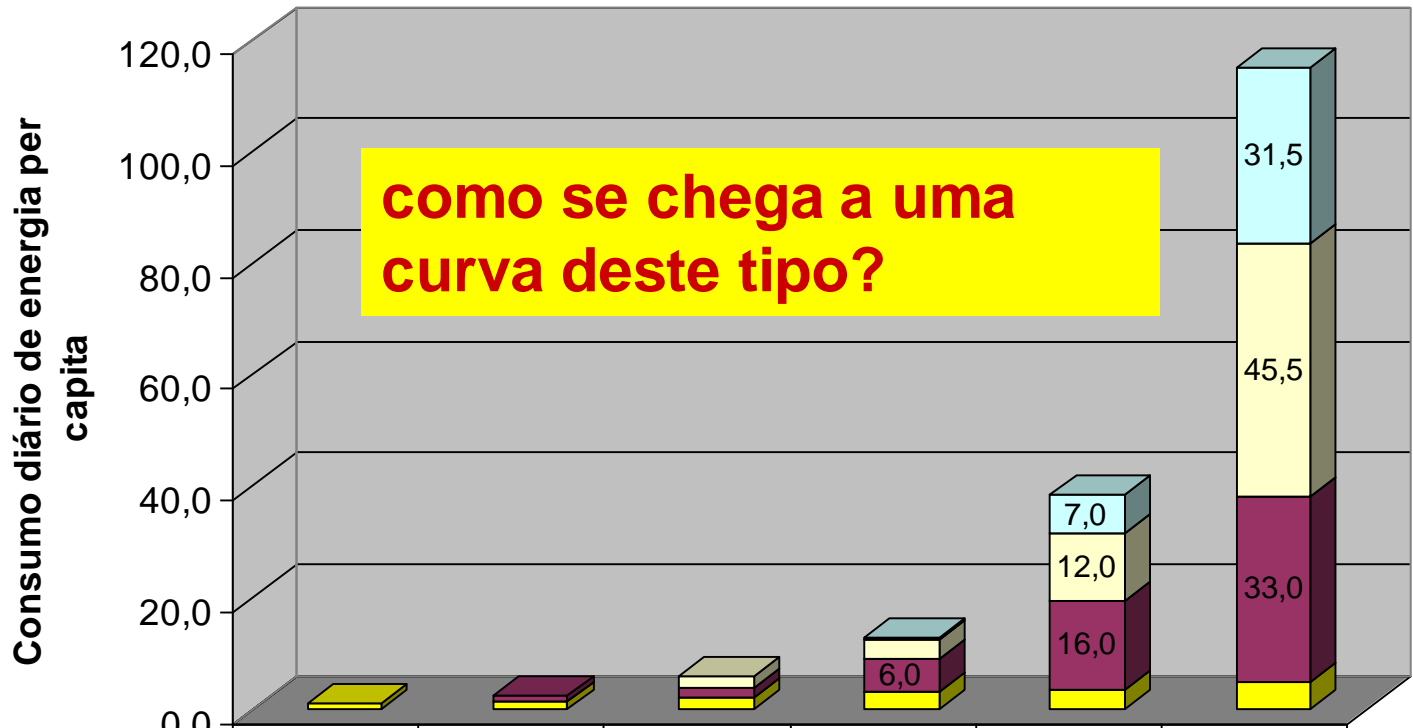
Energia solar que atinge a terra anualmente

Para não termos problemas energéticos hoje, bastaria sermos já capazes de aproveitar menos de 0,1% da energia limpa que recebemos diariamente do sol!

fotossíntese ~ 0,3%

De facto hoje já sabemos como fazê-lo!

E como têm estado as nossas "despesas"?



	Primitivo	Caçador	Agricultor primitivo	Agricultor avançado	Industrial	Tecnológico
Transportes				0,5	7,0	31,5
Indústria e Agricultura			2,0	3,5	12,0	45,5
Casa e comércio		1,0	2,0	6,0	16,0	33,0
Alimentação	1,0	1,5	2,0	3,0	3,5	5,0

Vejam os dois exemplos:

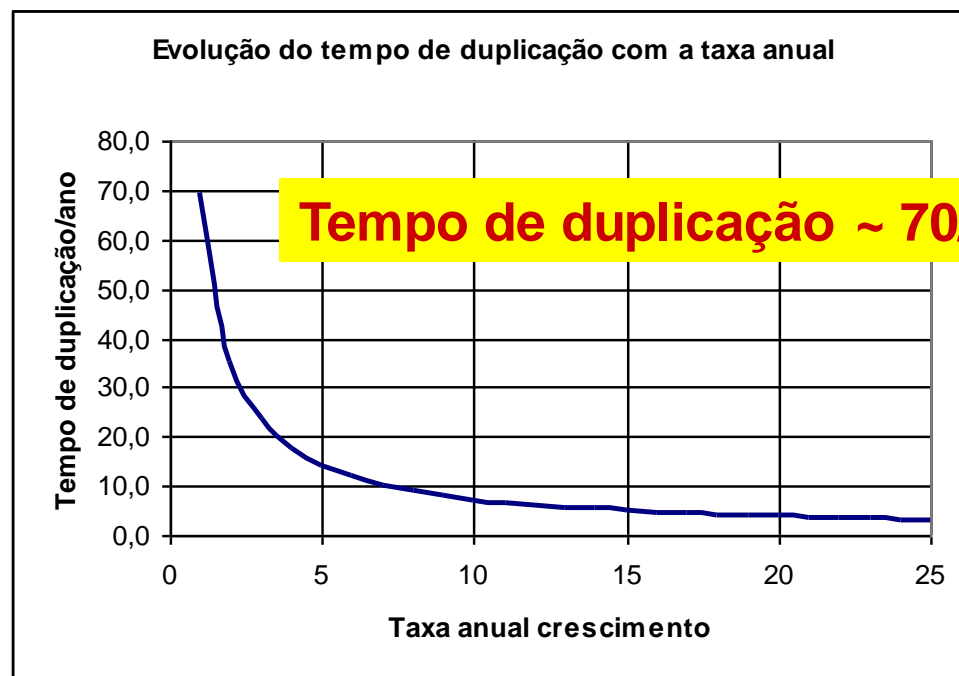


durante algum tempo parece que não se passa nada...

e a partir de certa altura parece completamente incontrolável!

Se uma grandeza aumentar a uma taxa anual fixa t , quanto tempo demora a duplicação do seu valor?

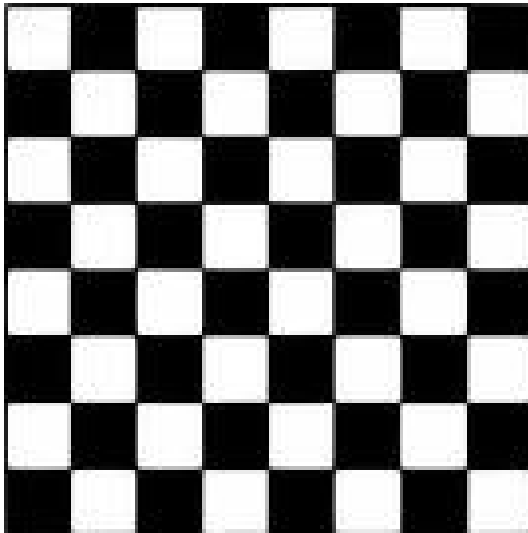
Taxa	Tempo de duplicação/anos
1	69,7
2	35,0
3	23,4
4	17,7
5	14,2
6	11,9
7	10,2
8	9,0
9	8,0
10	7,3



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

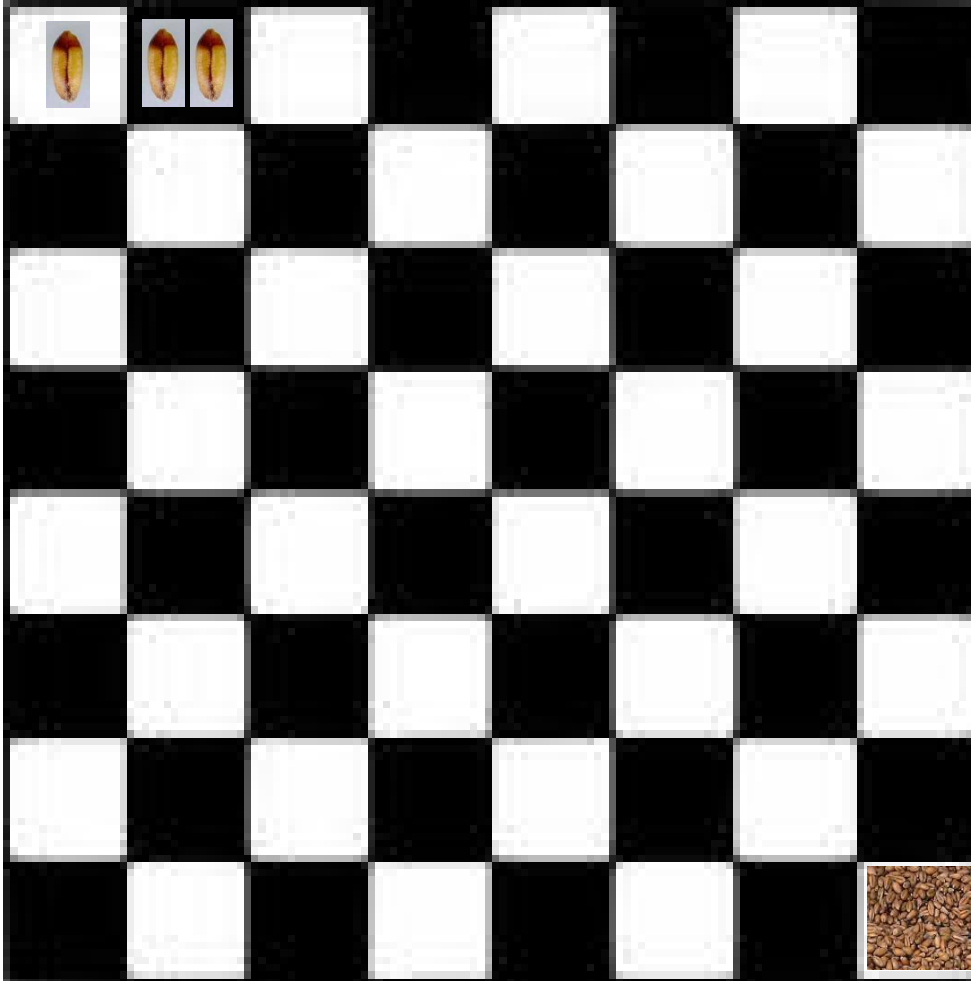
Ainda pior do que parece à primeira vista:

Duplicar não significa aumentar sempre o mesmo em termos absolutos: significa aumentar cada vez mais!



a este propósito é interessante lembrar a lenda sobre grãos de trigo associada à criação do jogo de xadrez...

Ainda pior do que parece à primeira vista:



um grão na primeira casa, dois na segunda, e assim sucessivamente

Os grãos que estiverem na última casa serão a minha recompensa...

Quantos grãos vão estar na última casa?

Casa	Nº de grãos
1	$1=2^0$
2	$2=2^1$
3	$4=2^2$
4	$8=2^3$
(...)	(...)
64	2^{63}

quanto trigo é 2^{63} grãos?

Como 1 grão tem em média 30mg, estamos a falar de qualquer coisa como:

$2^{63} \times 3 \times 10^{-8}$ toneladas =

$2,8 \times 10^{11}$ toneladas

Cerca de 360 vezes a produção mundial anual actualmente (~ 770 milhões de toneladas em 2021/22)

É importante lembrar que:

Casa	Nº de grãos
1	$1=2^0$
2	$2=2^1$
3	$4=2^2$
4	$8=2^3$
(...)	(...)
64	2^{63}

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

Um outro exemplo interessante (Albert Bartlett, Arithmetic, Population and Energy):

Todos sabemos que as bactérias se reproduzem por duplicação: uma bactéria divide-se em duas, que se dividem em quatro...



suponhamos que coloco uma bactéria dentro de uma garrafa vazia às 11:00 da manhã, que elas se reproduzem uma vez por minuto...

Um outro exemplo interessante (Albert Bartlett, Arithmetic, Population and Energy):

Todos sabemos que as bactérias se reproduzem por duplicação: uma bactéria divide-se em duas, que se dividem em quatro...



... e que verifico que, 1h depois, às 12:00, as bactérias se reproduziram de maneira a ocupar todo o volume da garrafa...

Um outro exemplo interessante (Albert Bartlett, Arithmetic, Population and Energy):

Todos sabemos que as bactérias se reproduzem por duplicação: uma bactéria divide-se em duas, que se dividem em quatro...



A que horas estava metade do volume da garrafa totalmente ocupado?

... às 11:59!

Um outro exemplo interessante (Albert Bartlett, Arithmetic, Population and Energy):

Todos sabemos que as bactérias se reproduzem por duplicação: uma bactéria divide-se em duas, que se dividem em quatro...



Se eu fosse uma das bactérias da garrafa, a que horas iria ficar desconfiado de que poderia vir a haver um problema de espaço?

às 11:55 o espaço da garrafa está apenas 3% ocupado!

Um outro exemplo interessante (Albert Bartlett, Arithmetic, Population and Energy):

Como sabem as bactérias reproduzem-se por duplicação: uma bactéria divide-se em duas, que se dividem em quatro...



Suponhamos agora que, dois minutos antes das 12:00, um grupo expedicionário de bactérias localiza 3 novas garrafas!

a colónia ganhou mais dois minutos de vida!



Que horas são?

11:47

Que horas são?



Excuse me sir. I am prepared to make you a rather attractive offer for your square!

Que energia usamos?

Taxa metabólica basal ~ 80kCal/hora

Taxa metabólica activ. lig. ~ 130kCal/hora

Taxa metabólica esforço ~ 1500kCal/hora

Preciso ~ 3500kCal/dia ~ 4kWh/dia

Recurso solar:

$$\sim 2 \times 10^5 \text{ TW} = 4.1 \times 10^{15} \text{ kWh/dia}$$

Como procuro uma solução sustentável vou admitir que posso usar 10% deste recurso:

$$\sim 4.1 \times 10^{14} \text{ kWh/dia}$$

Recurso: $\sim 4.1 \times 10^{14}$ kWh/dia

Eficiência global da fotossíntese: $\sim 0.3\%$

Eficiência na produção de carne: $\sim 7.5\%$

**Energia química disponível para
alimentação:**

após fotossíntese $\sim 1.2 \times 10^{12}$ kWh/dia

após prod. de carne $\sim 9.2 \times 10^{10}$ kWh/dia

Valor médio $\sim 6.5 \times 10^{11}$ kWh/dia

Limite população:

$\sim 1.7 \times 10^{11}$ pessoas

População actual:

$\sim 7.3 \times 10^9$ pessoas

**Que
horas
são?**

11:56

**Se quisermos
poder “gastar”
10 vezes a
energia mínima
necessária para
sobreviver...**

**Que
horas
são?**

11:58

Que futuro?

**ENERGIAS
RENOVÁVEIS**

**USO EFICIENTE
DA ENERGIA**

dando como
seguro o fim
da explosão
demográfica!

**ORDENAMENTO DO
TERRITÓRIO**



Recurso solar: uma métrica da sustentabilidade

Jorge Maia Alves