

ENERGIA SOLAR

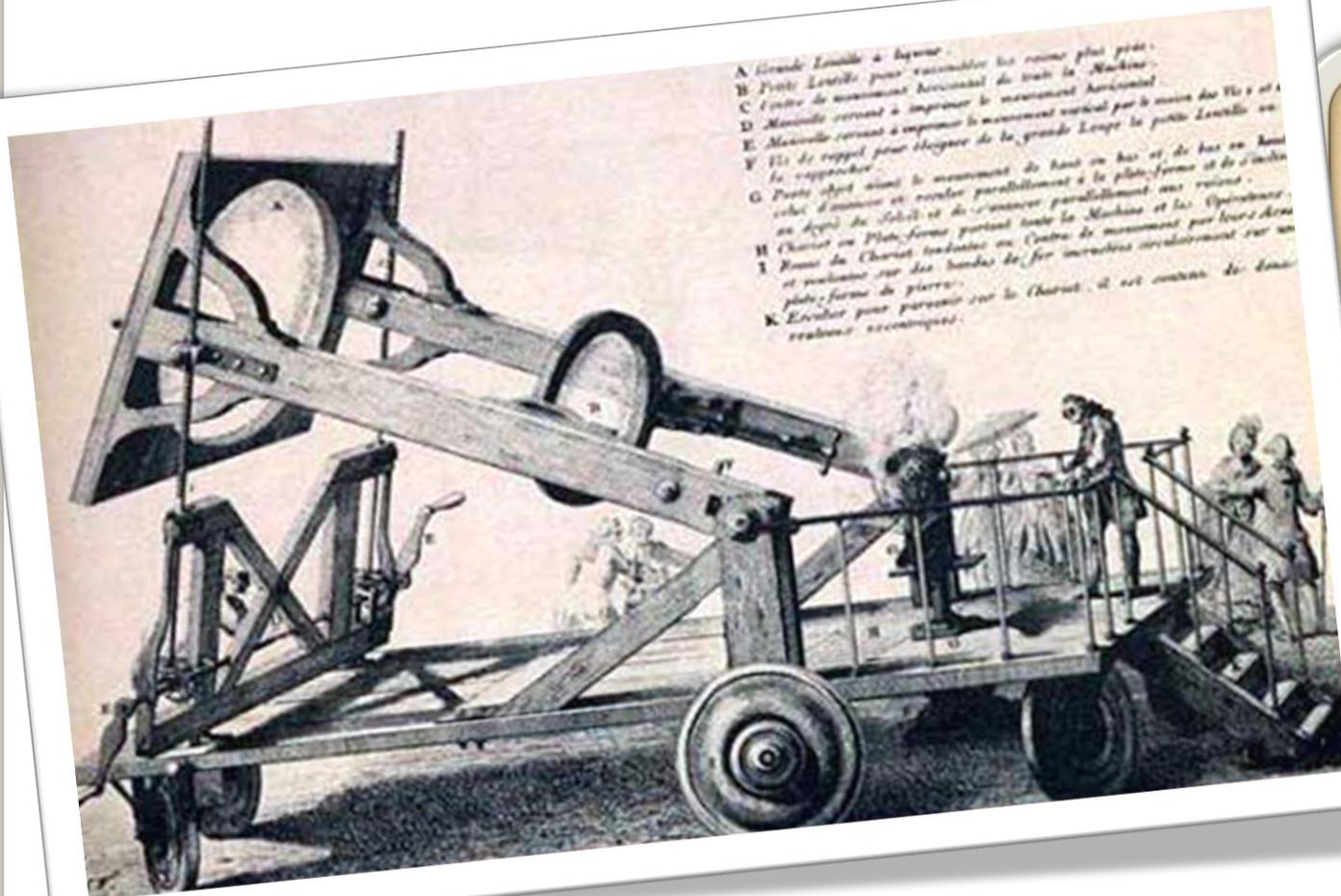
Energias Renováveis

Miguel Centeno Brito



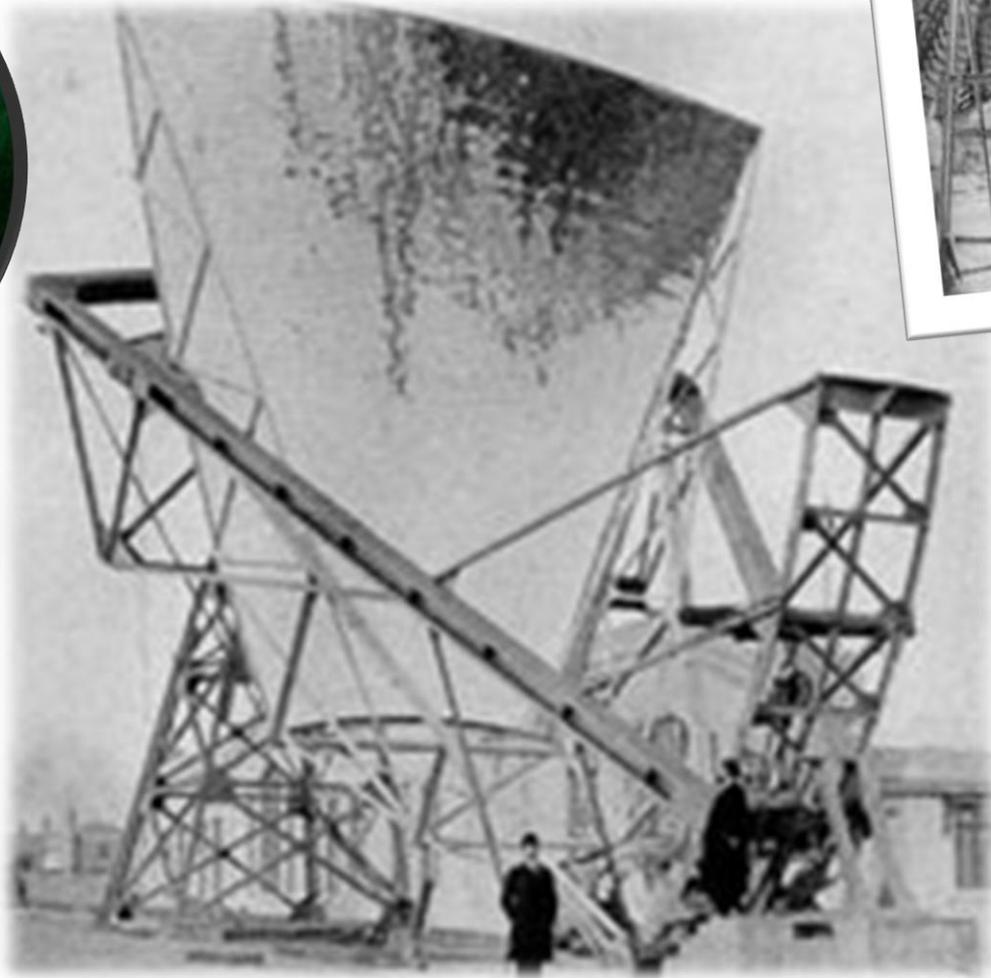
200 AC: Arquimedes sozinho contra a armada de Siracusa

1700 DC: Lavoisier constrói um **forno solar** capaz de atingir 1700°C para demonstrar que o diamante é apenas outra forma cristalográfica do carbono



Pirelióforo Padre Gomes Himalya (1868-1933)

Grand Prix Exposição de St Louis, 1904



APLICAÇÕES ENERGIA SOLAR

Radiação solar = energia electromagnética

Utilização **directa** da energia solar sem transformação
e.g. iluminação de espaços interiores edifícios.

Aproveitamento da energia solar sob outras formas de energia:

- térmica, sob a forma de **calor**
- fotovoltaica, sob a forma de **electricidade**

APLICAÇÕES ENERGIA SOLAR

Radiação solar = energia electromagnética

Utilização **directa** da energia solar sem transformação
e.g. iluminação de espaços interiores



1 garrafa ~ 1 lâmpada de 40 a 60 W

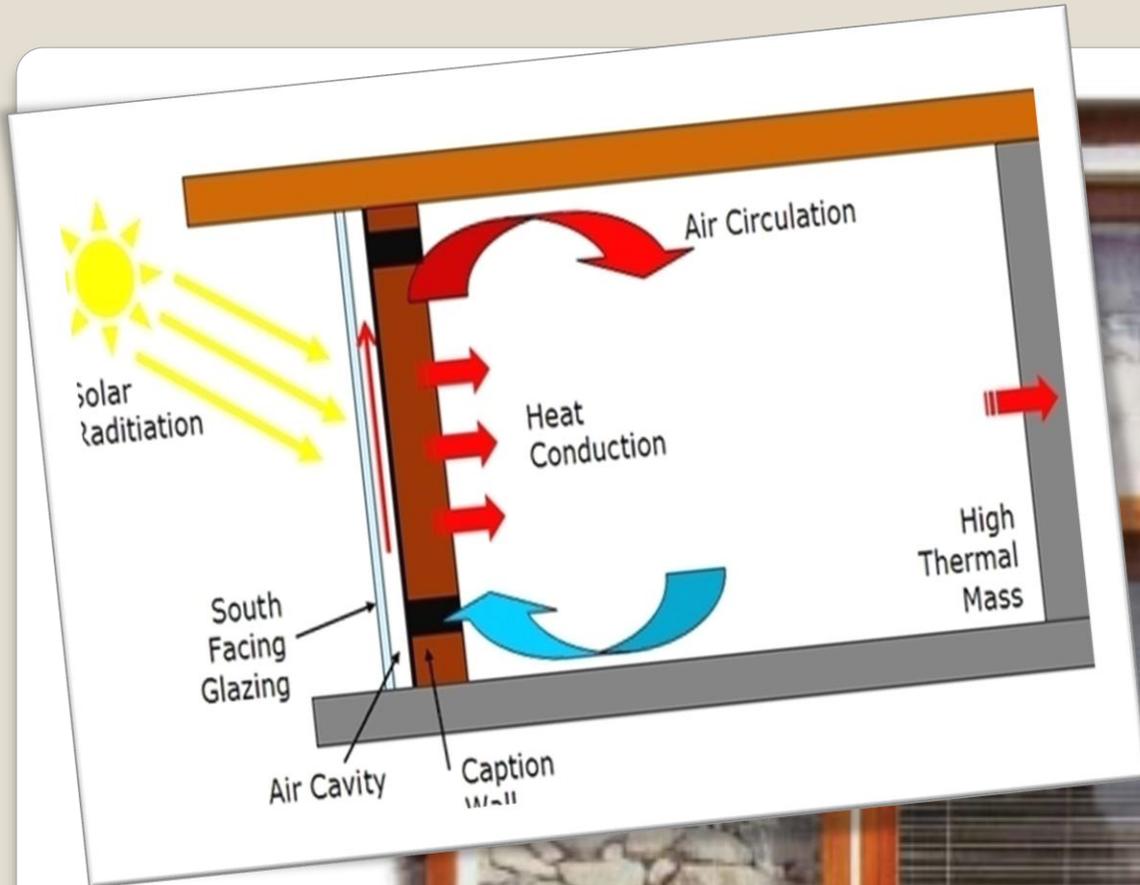


APLICAÇÕES ENERGIA SOLAR

Radiação solar = energia electromagnética

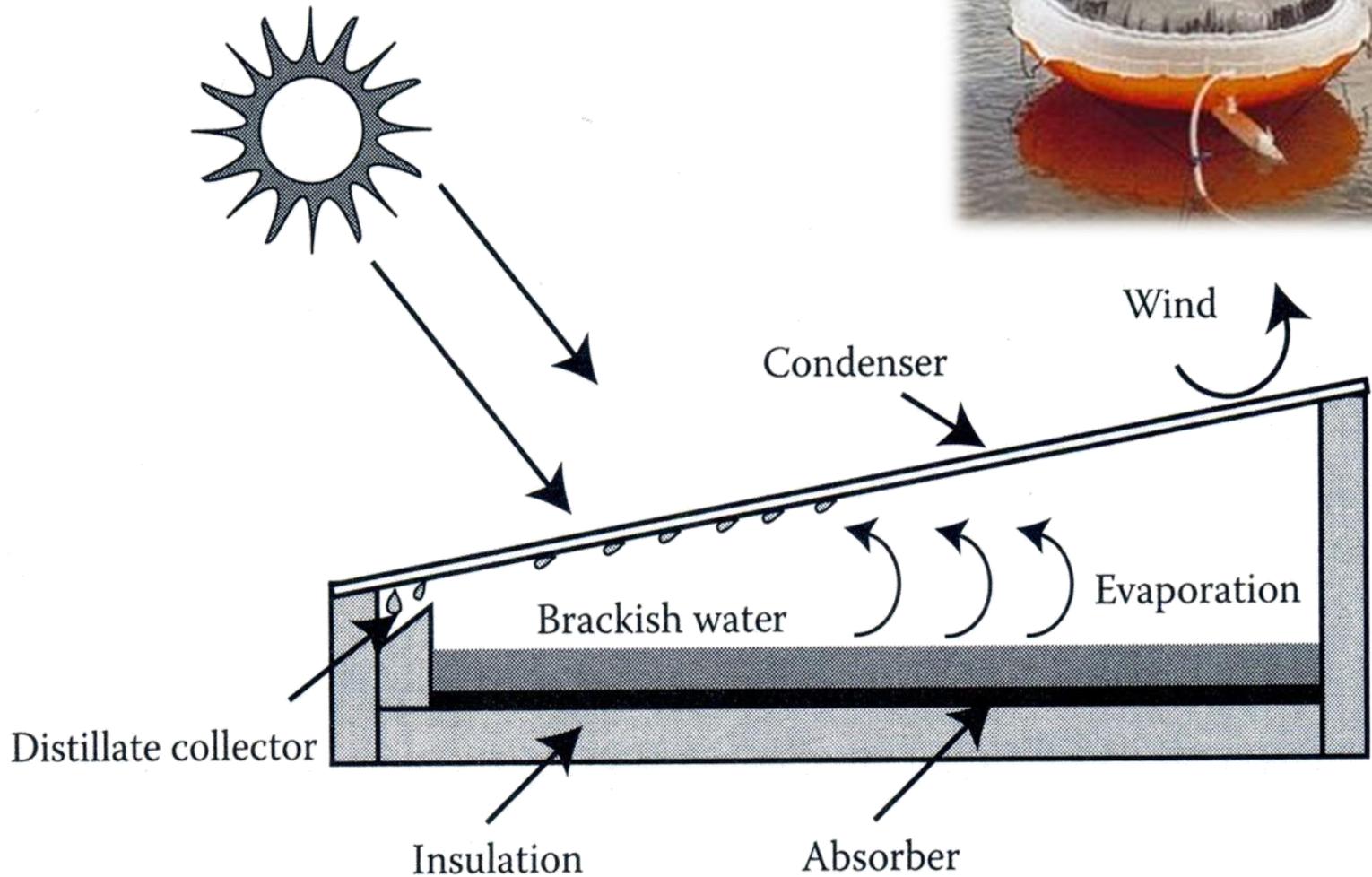
Utilização **directa** da energia solar sem transformação
e.g. iluminação de espaços interiores edifícios

Energia solar **passiva** (calor):
Planeamento e construção dos edifícios para aproveitamento da energia solar
e.g. fachadas a sul (hemisfério norte)
 palas horizontais nas janelas
 árvores de folha caduca para sombreamento



Dessalinização

Destilador solar





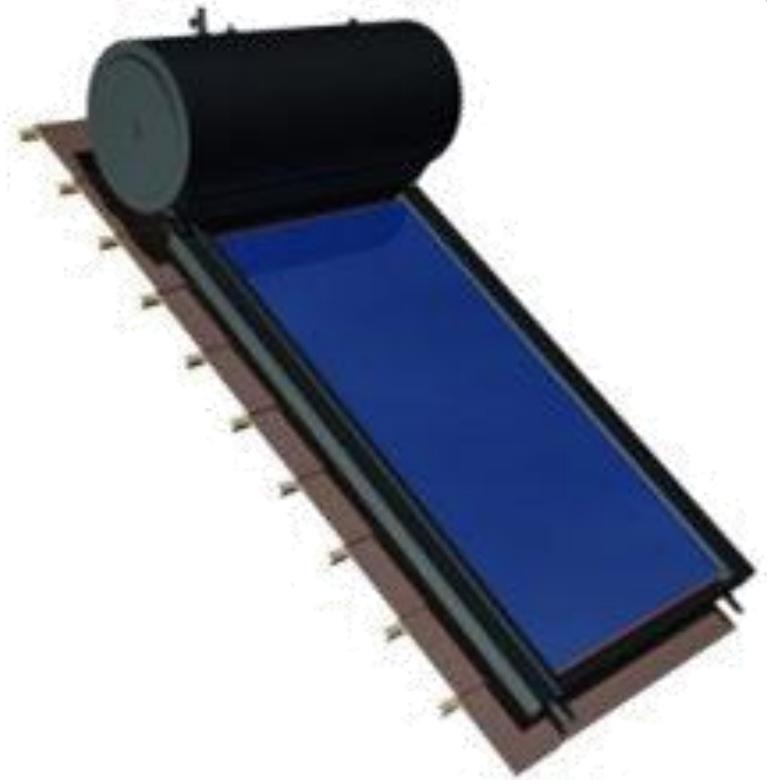
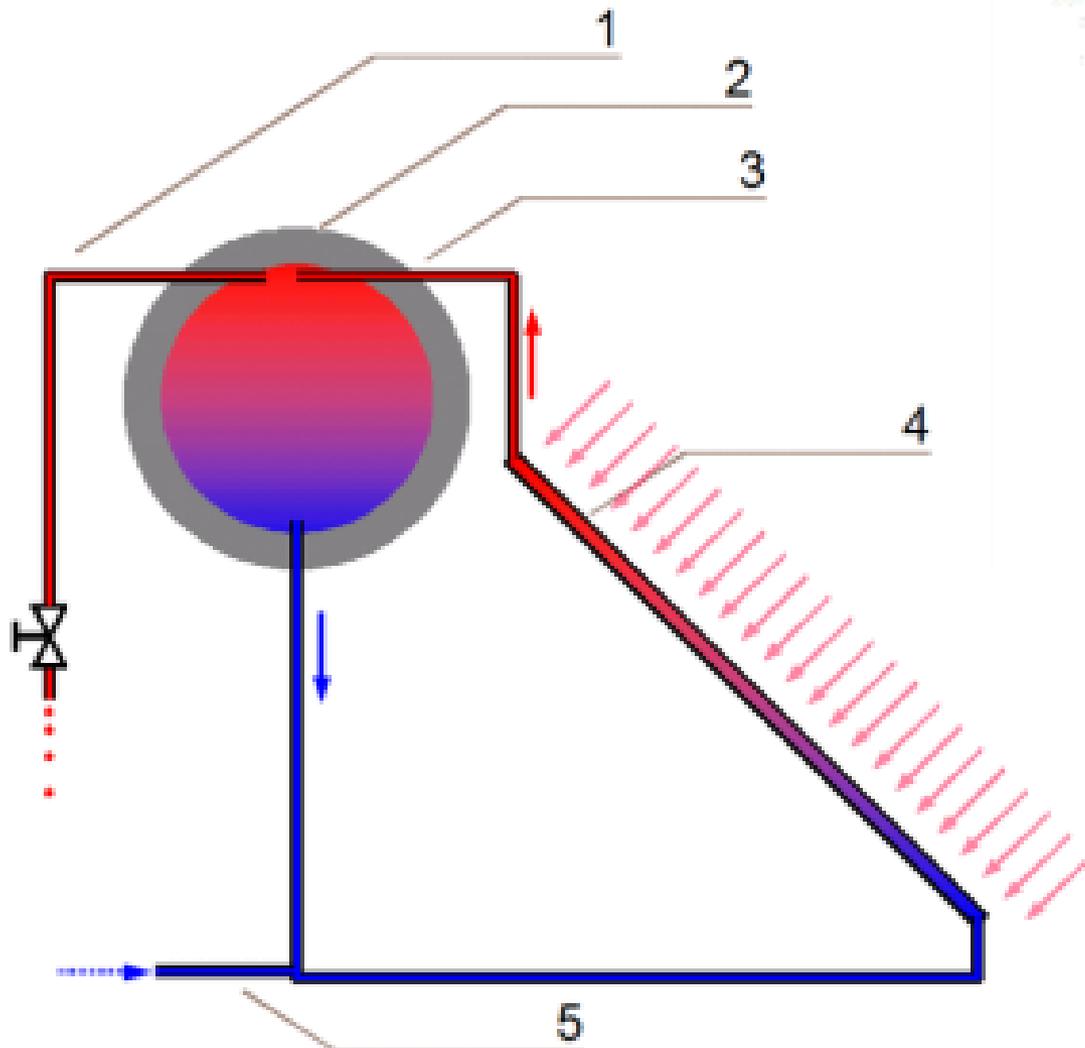
N: 1

2

Secador solar

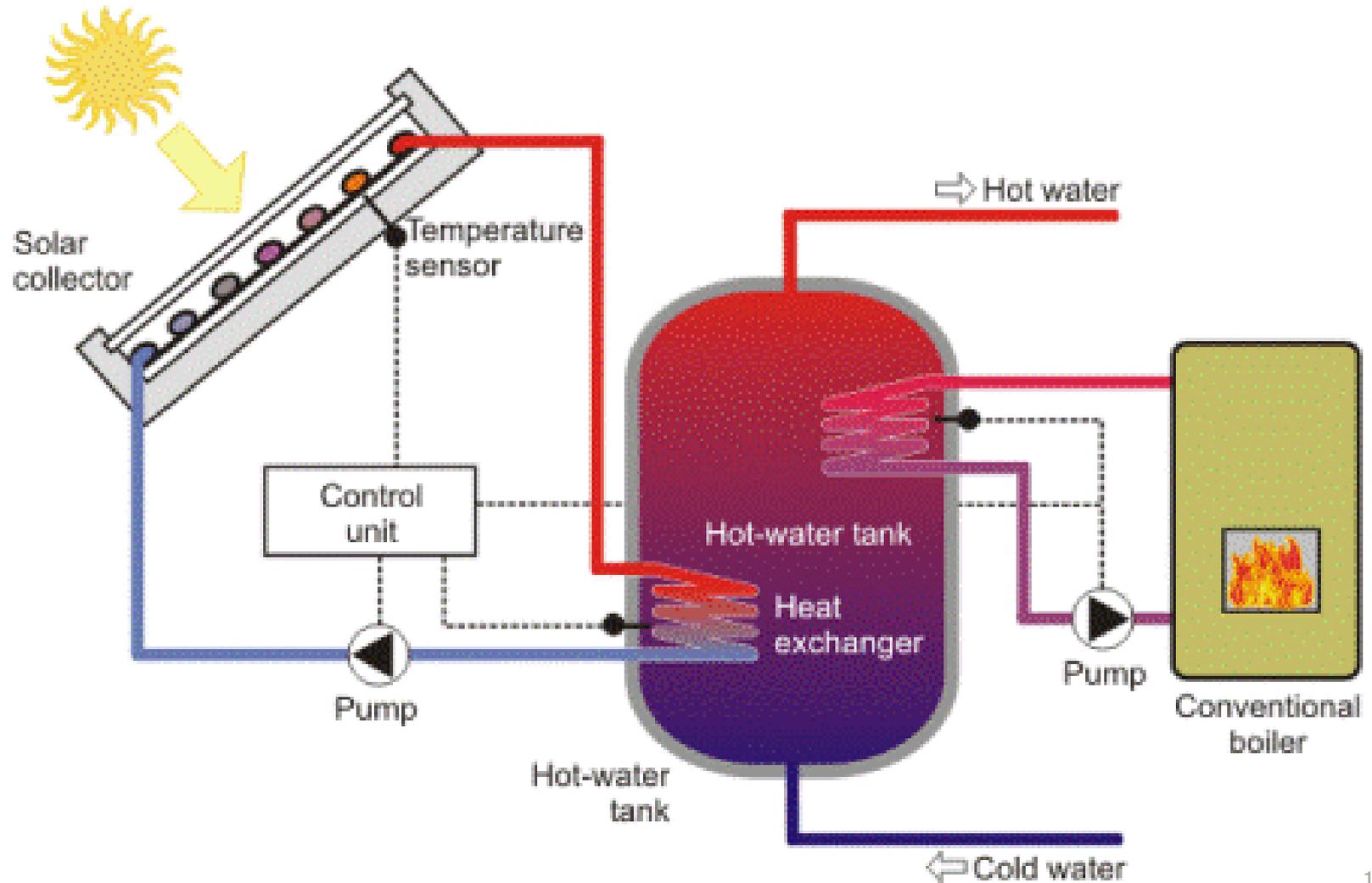
Produção de água quente solar

Painel solar térmico com termosifão



Produção de água quente solar

Painel solar térmico com bomba de circulação



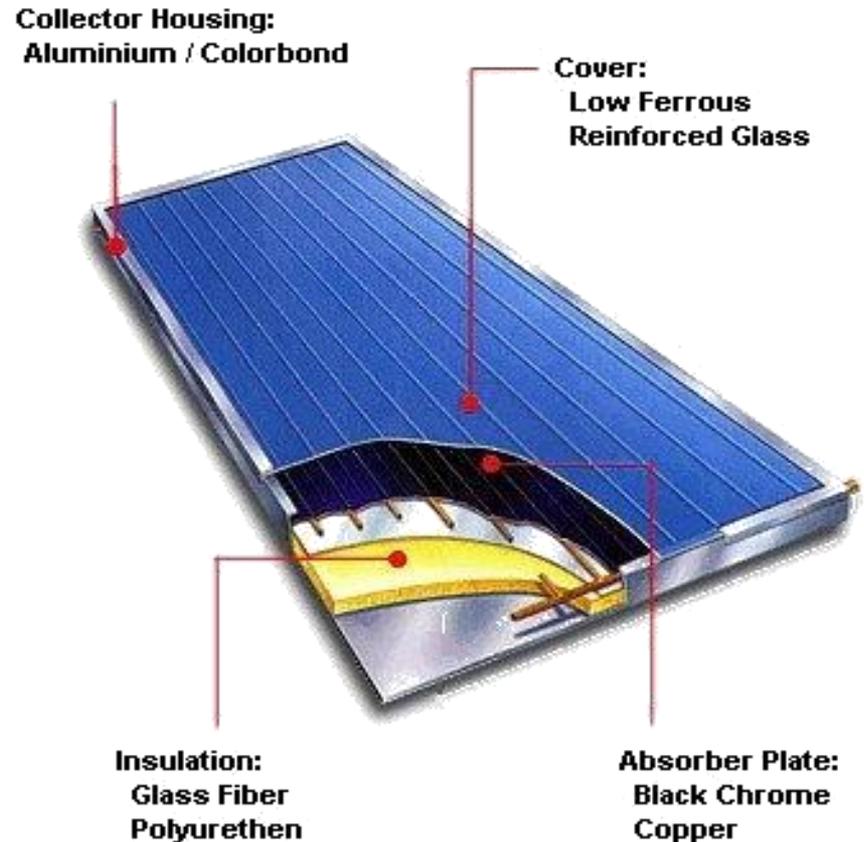
Produção de água quente solar

Painel solar térmico

$$Q = mC(T_o - T_i)$$

$$[J] = [kg] \left[\frac{J}{kg K} \right] [K]$$

Para aquecermos uma dada massa de um fluido (e.g. água), com uma dada **capacidade térmica** C , de uma temperatura T_i para uma temperatura T_o precisamos da energia Q .



Produção de água quente solar

Painel solar térmico

Eficiência do painel solar:

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \frac{T_{abs} - T_{amb}}{I}$$

Fracção da radiação incidente absorvida

τ transmissividade do vidro
 α absorção do colector
 F_R coeficiente empírico

Perdas calor por radiação e convecção

U_L coeficiente transferência calor
 T_{abs} temperatura absorvedor
 T_{amb} temperatura exterior
 F_R coeficiente empírico

Produção de água quente solar

Painel solar térmico

Eficiência do painel solar:

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \frac{T_{in} - T_{amb}}{I}$$

Fracção da radiação incidente absorvida

τ transmissividade do vidro
 α absorção do colector
 F_R coeficiente empírico

Perdas calor por radiação e convecção

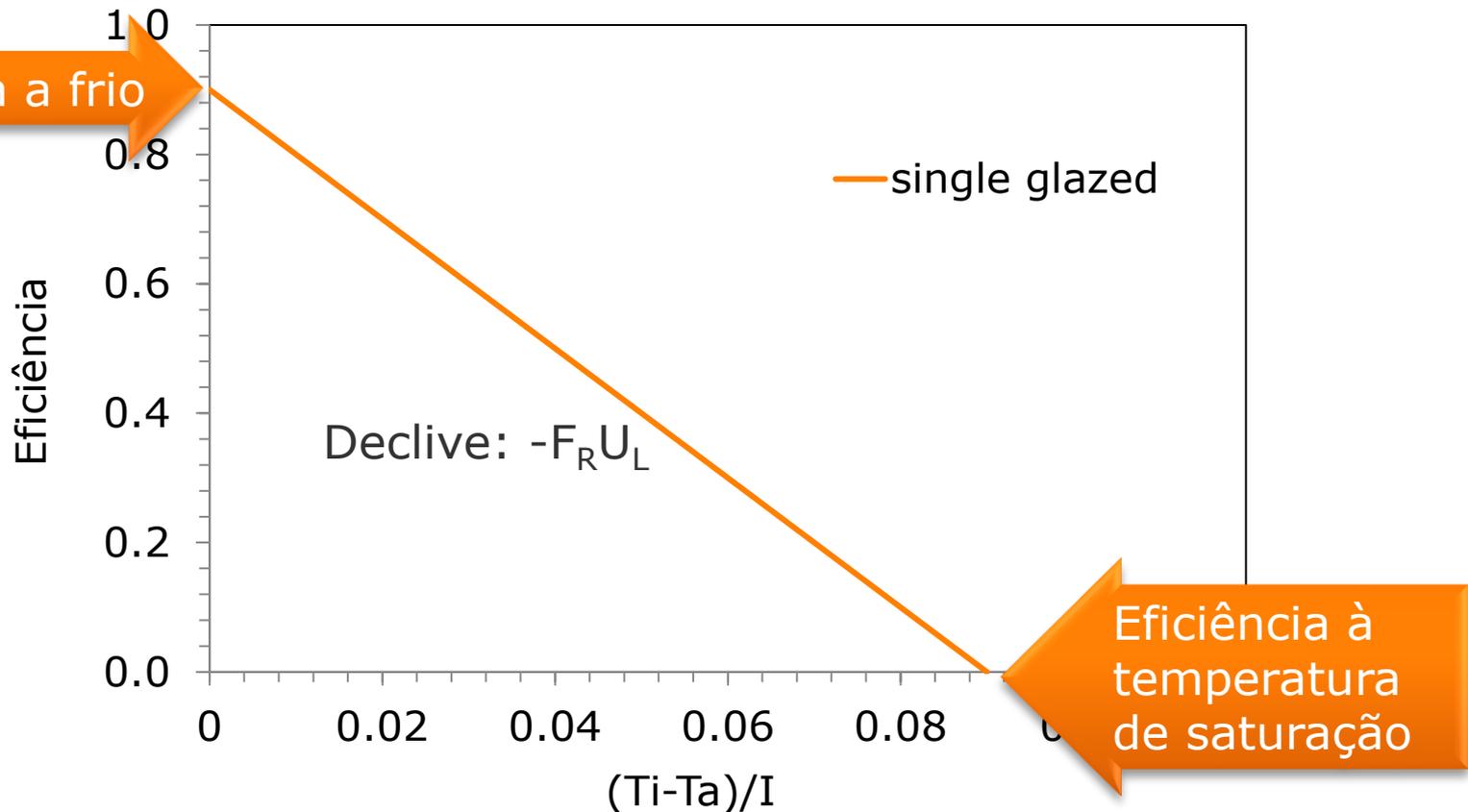
" U_L " coeficiente transferência calor
 T_{in} temperatura fluido à entrada
 T_{amb} temperatura exterior
 F_R coeficiente empírico

Produção de água quente solar

Painel solar térmico

Eficiência do painel solar:

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \frac{T_{in} - T_{amb}}{I}$$

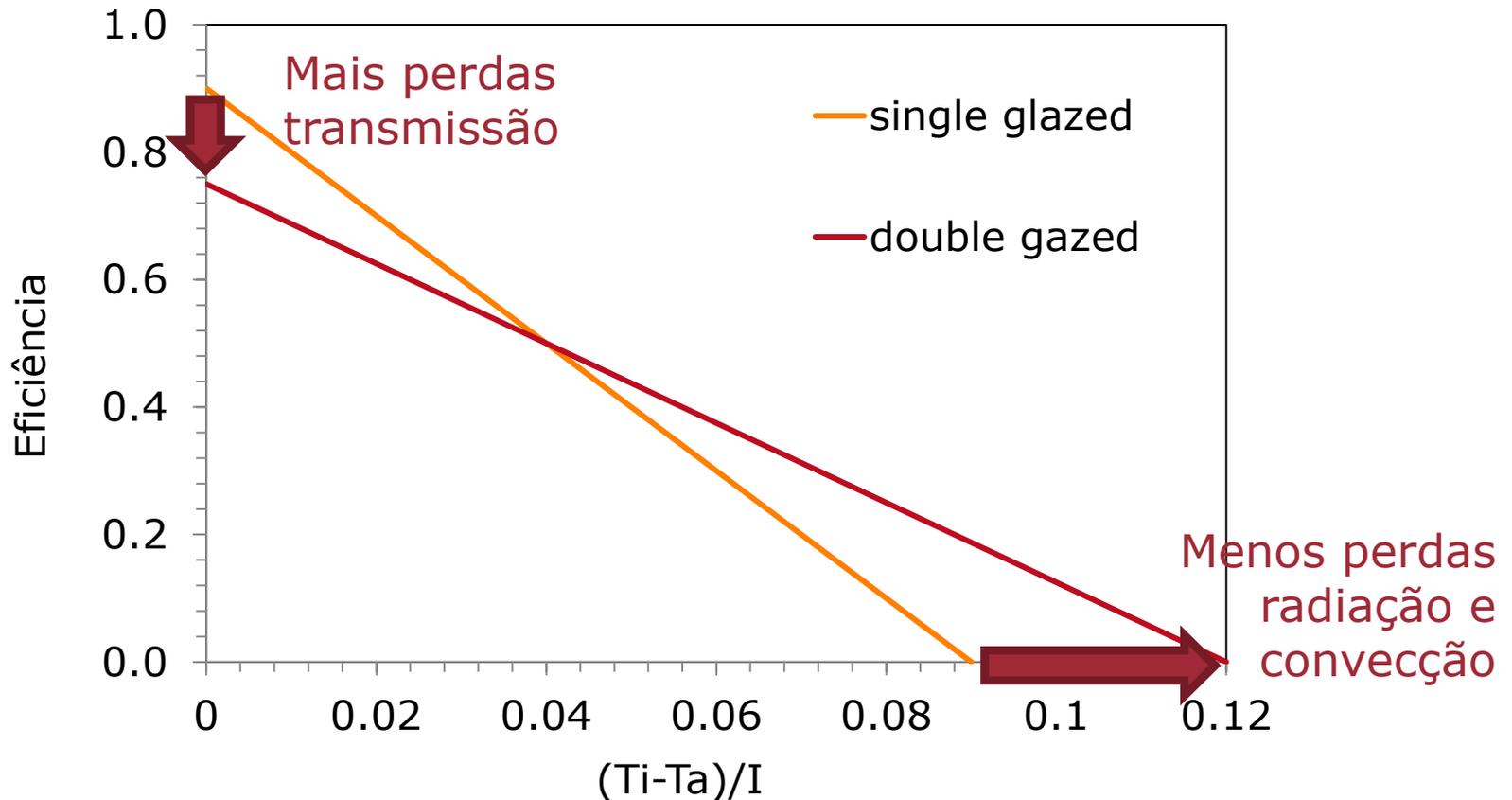


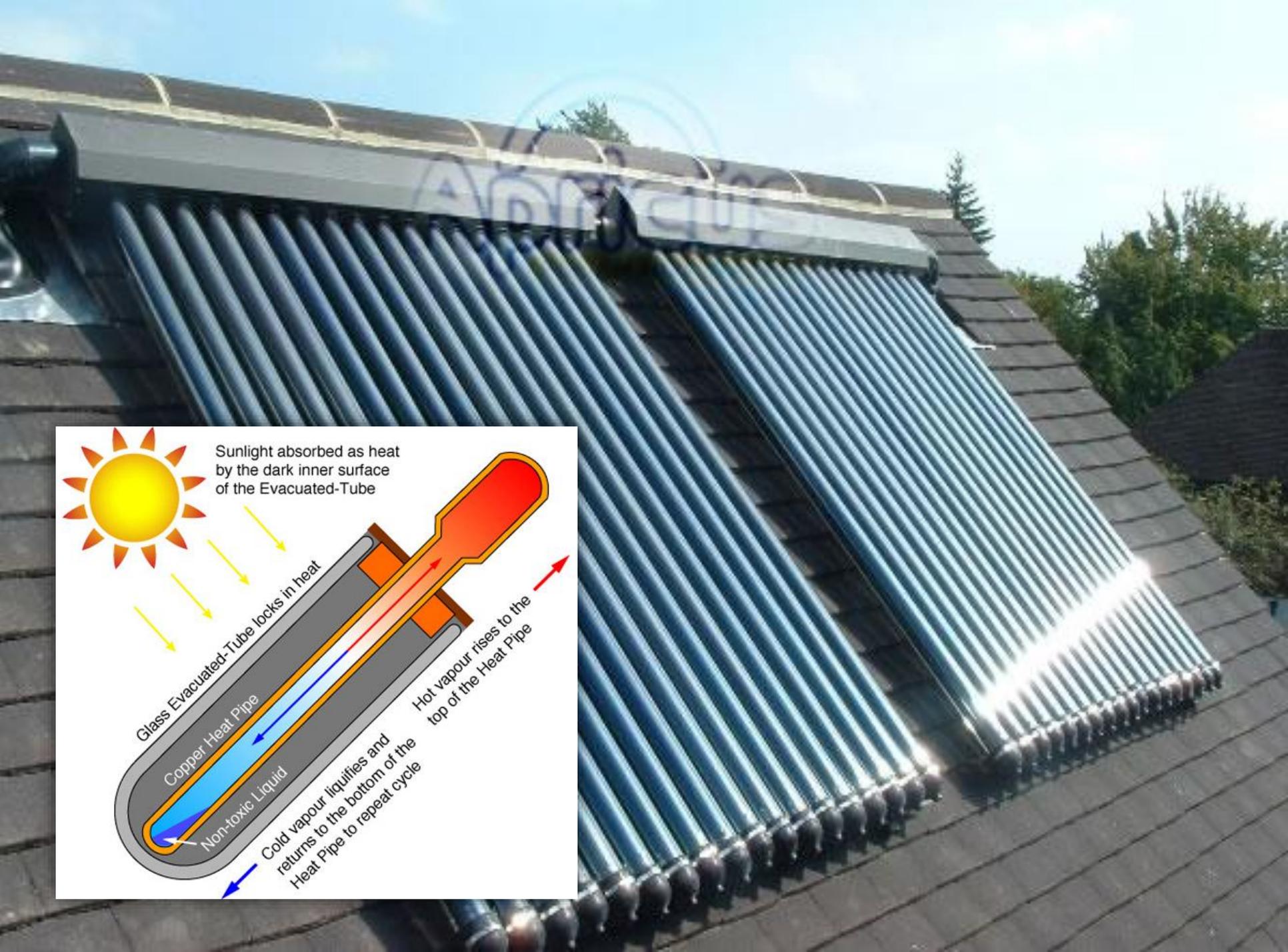
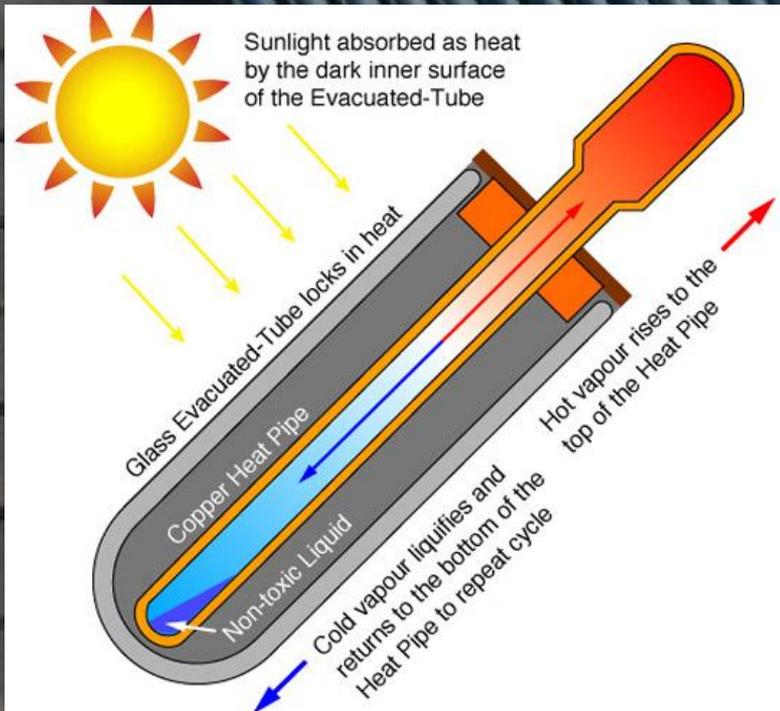
Produção de água quente solar

Painel solar térmico

Eficiência do painel solar:

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \frac{T_{in} - T_{amb}}{I}$$



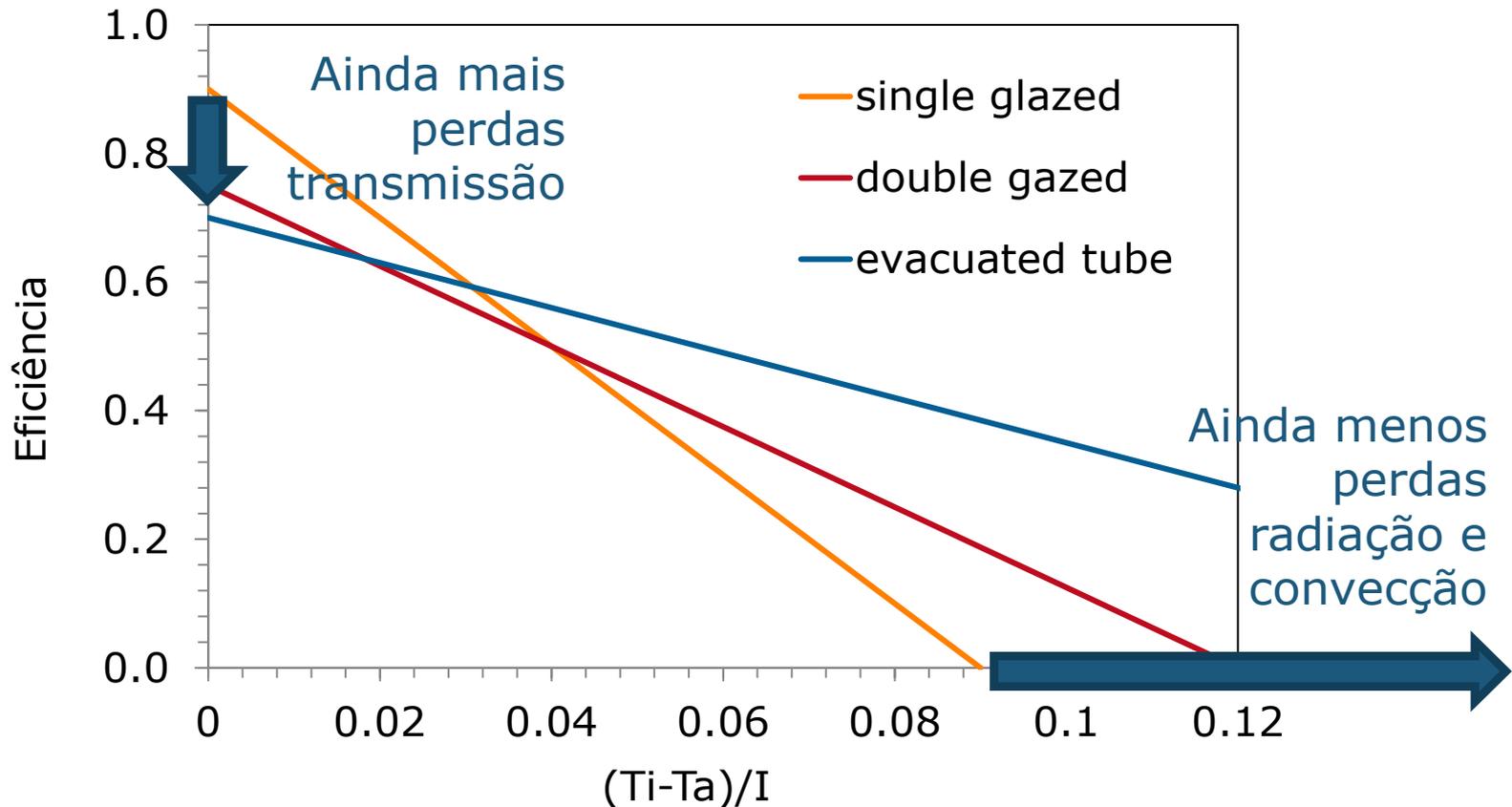


Produção de água quente solar

Painel solar térmico

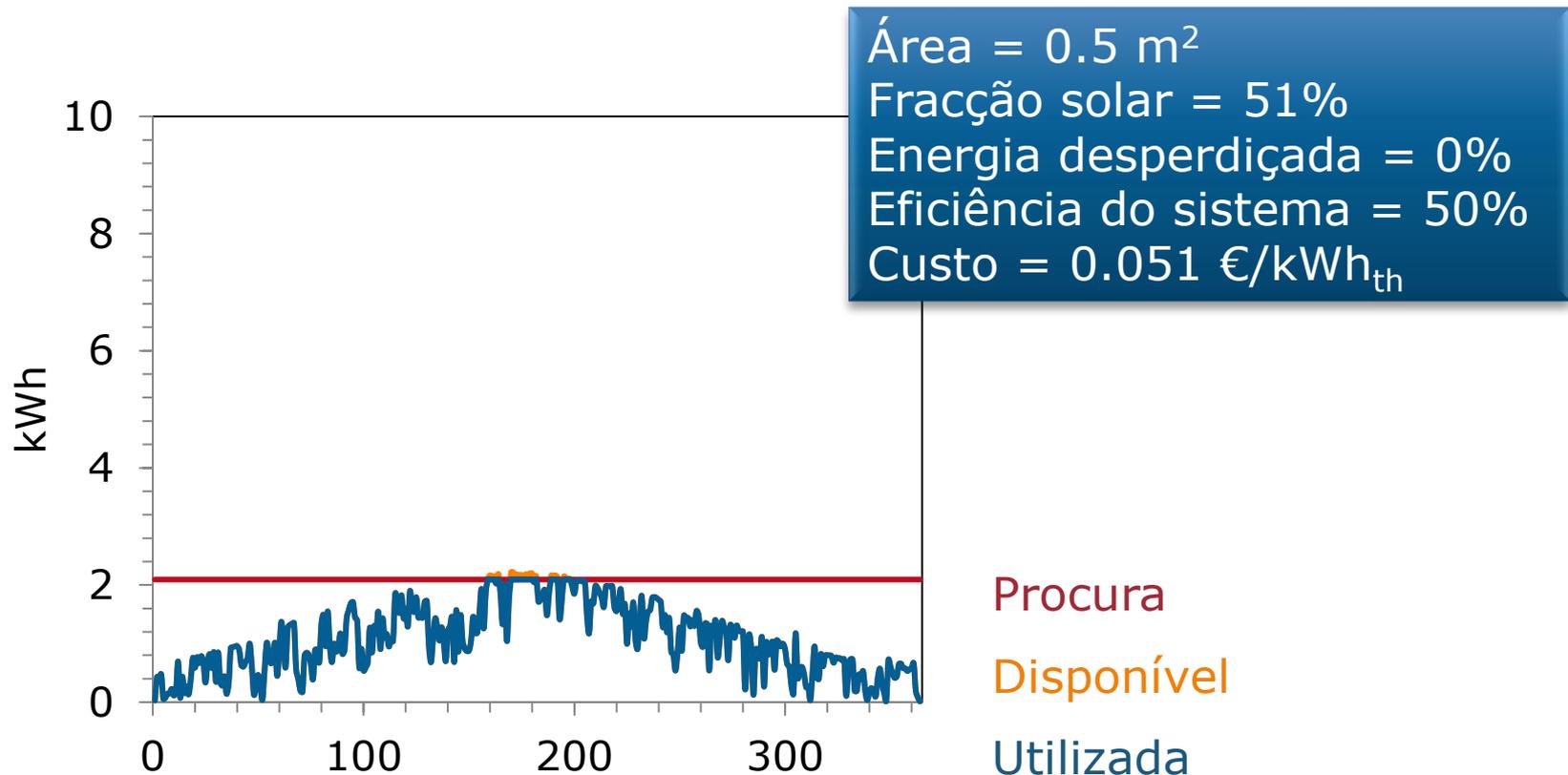
Eficiência do painel solar:

$$\eta = F_R \tau \alpha - F_R U_L \frac{T_{in} - T_{amb}}{I}$$



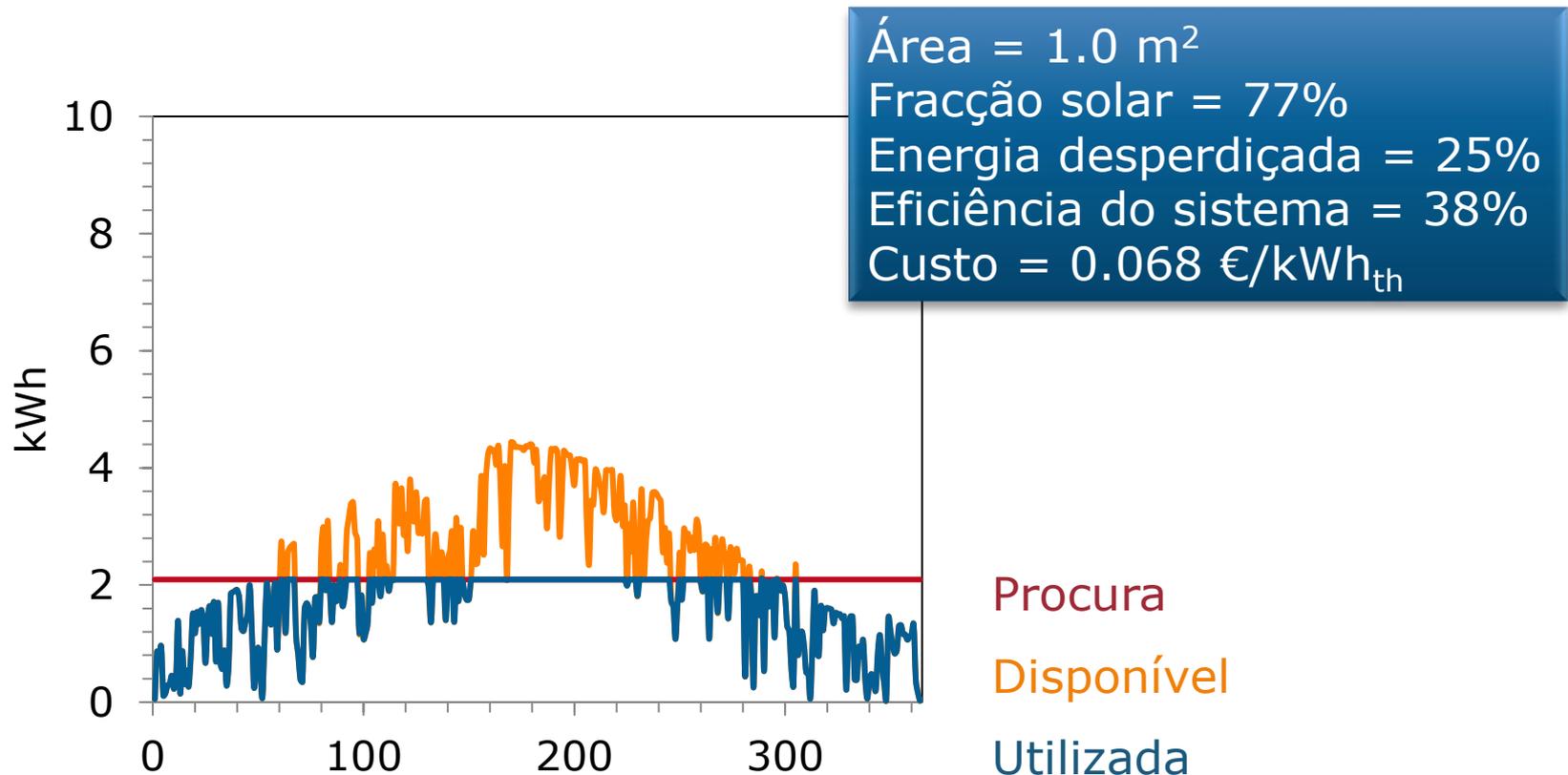
A eficiência depende da procura!

Considere-se uma dada exposição solar, uma eficiência de conversão média de 50% e uma procura típica (60 litros/dia @ 45°C)



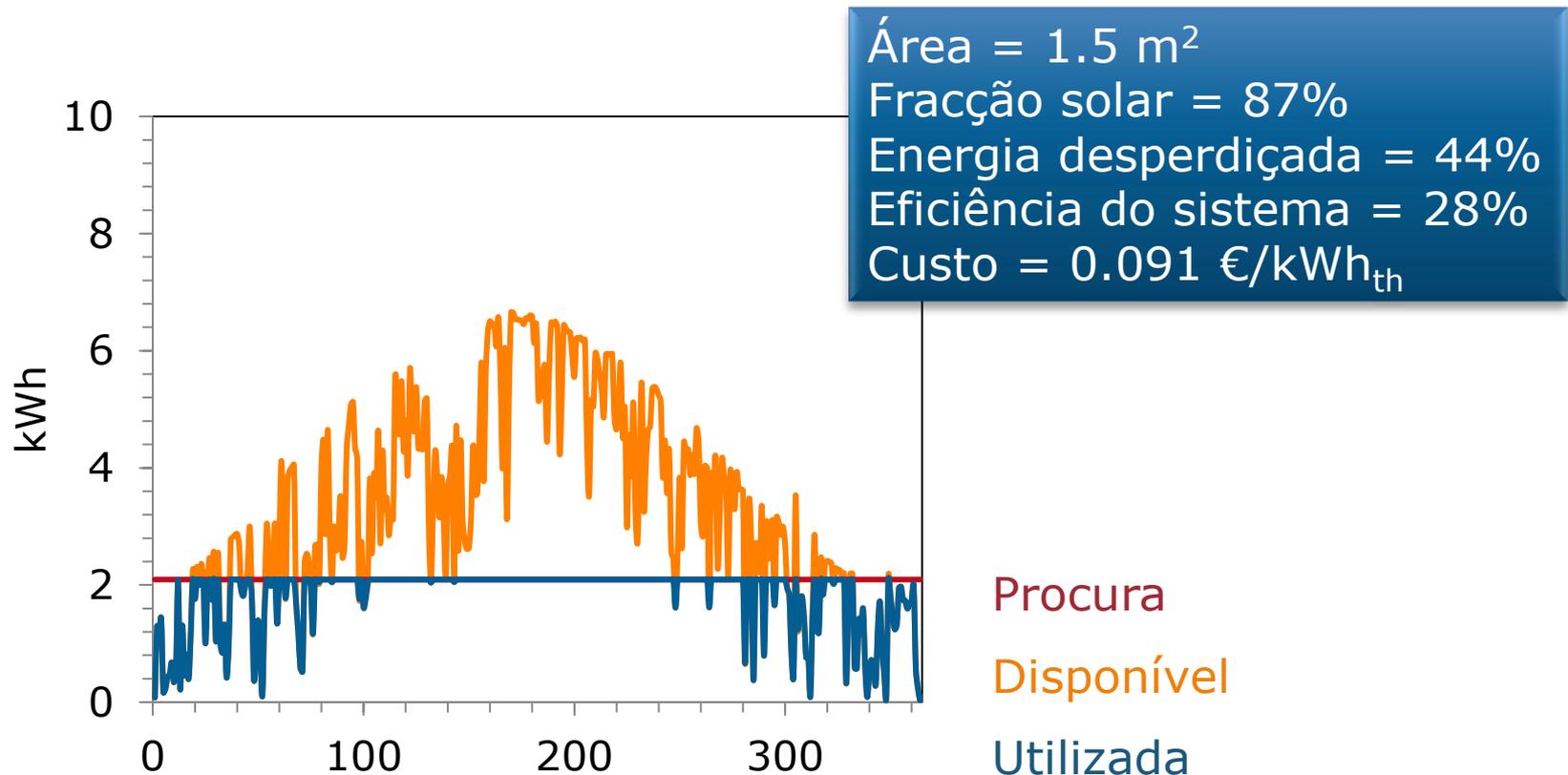
A eficiência depende da procura!

Considere-se uma dada exposição solar, uma eficiência de conversão média de 50% e uma procura típica (60 litros/dia @ 45°C)



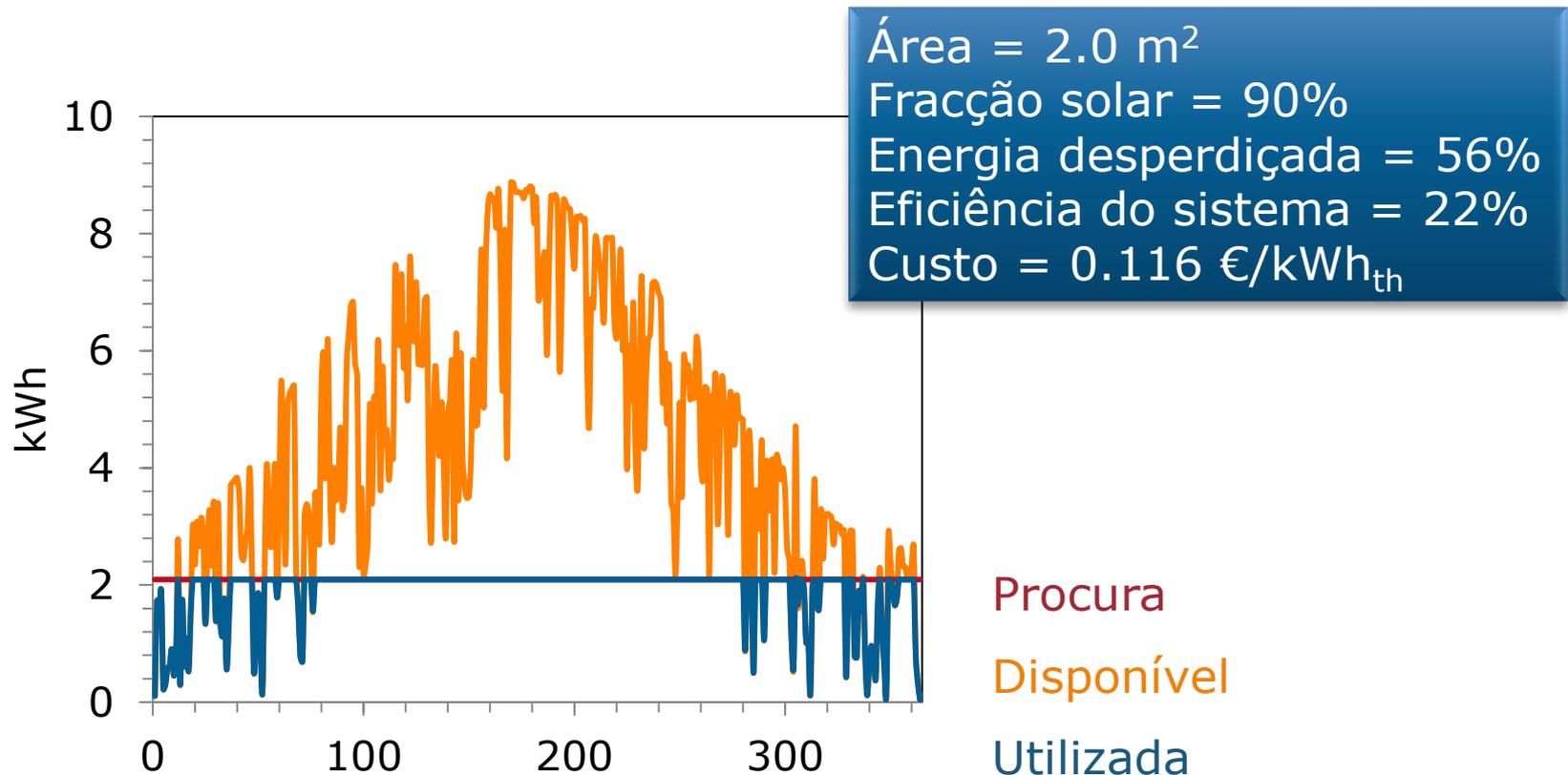
A eficiência depende da procura!

Considere-se uma dada exposição solar, uma eficiência de conversão média de 50% e uma procura típica (60 litros/dia @ 45°C)



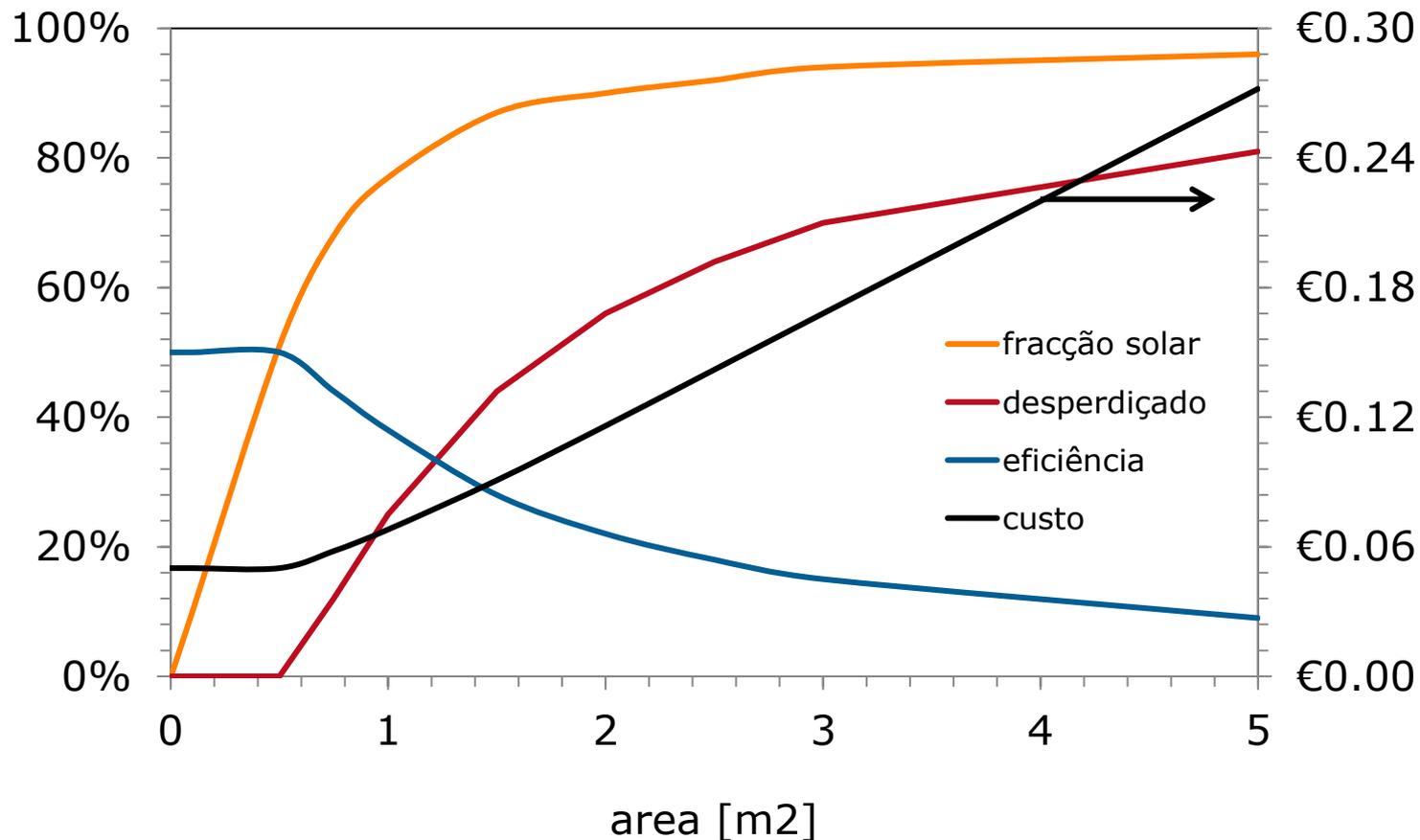
A eficiência depende da procura!

Considere-se uma dada exposição solar, uma eficiência de conversão média de 50% e uma procura típica (60 litros/dia @ 45°C)



A eficiência depende da procura!

Quanto maior o sistema maior a **fracção solar** mas
... mais energia se desperdiça
... menor a eficiência global
... maior o custo da energia utilizada





SOLAR HEATING & COOLING PROGRAMME
INTERNATIONAL ENERGY AGENCY

Energia solar térmica cresce, mas “devagar”.

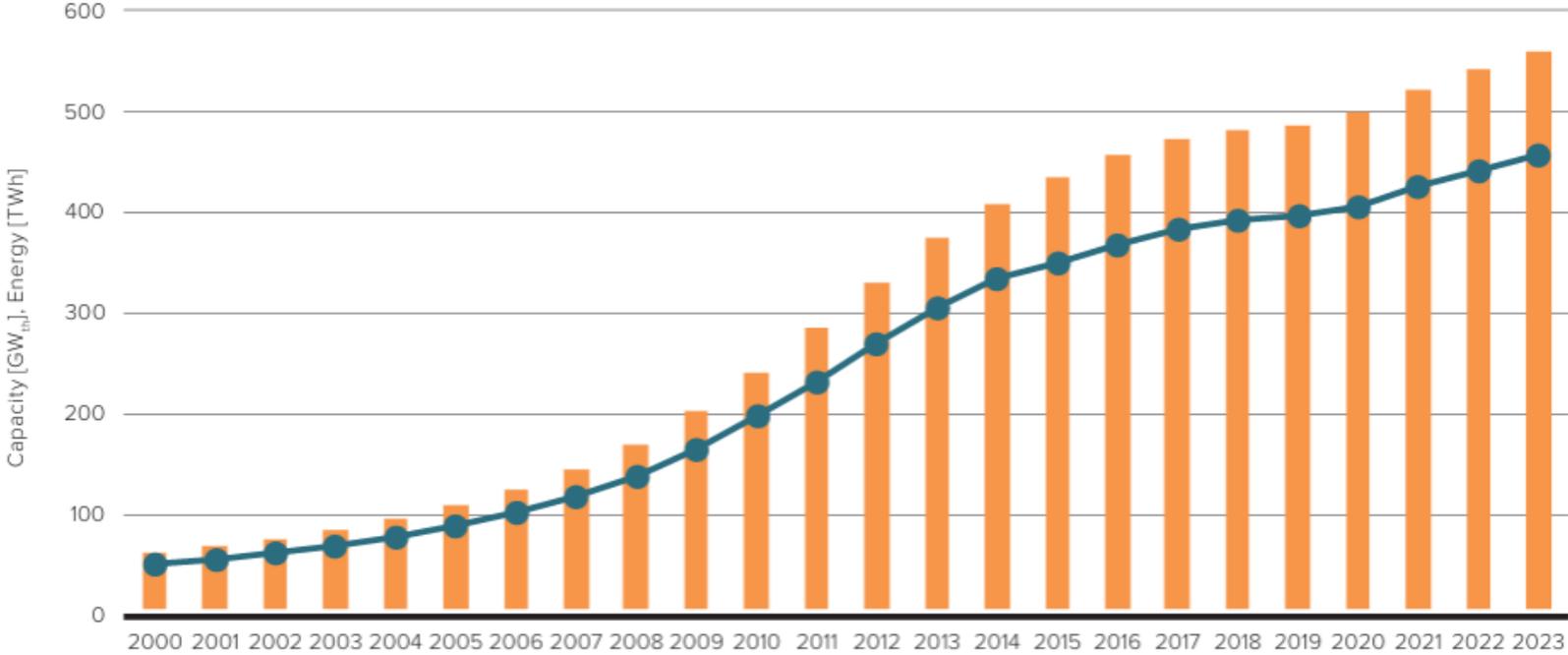


Figure 2: Global solar thermal capacity in operation and annual energy 2000-2023

- Global solar thermal capacity in operation [GW_{th}]
- Global solar thermal energy yield [TWh]

Pico de 2012 reflete competitividade do solar fotovoltaico!

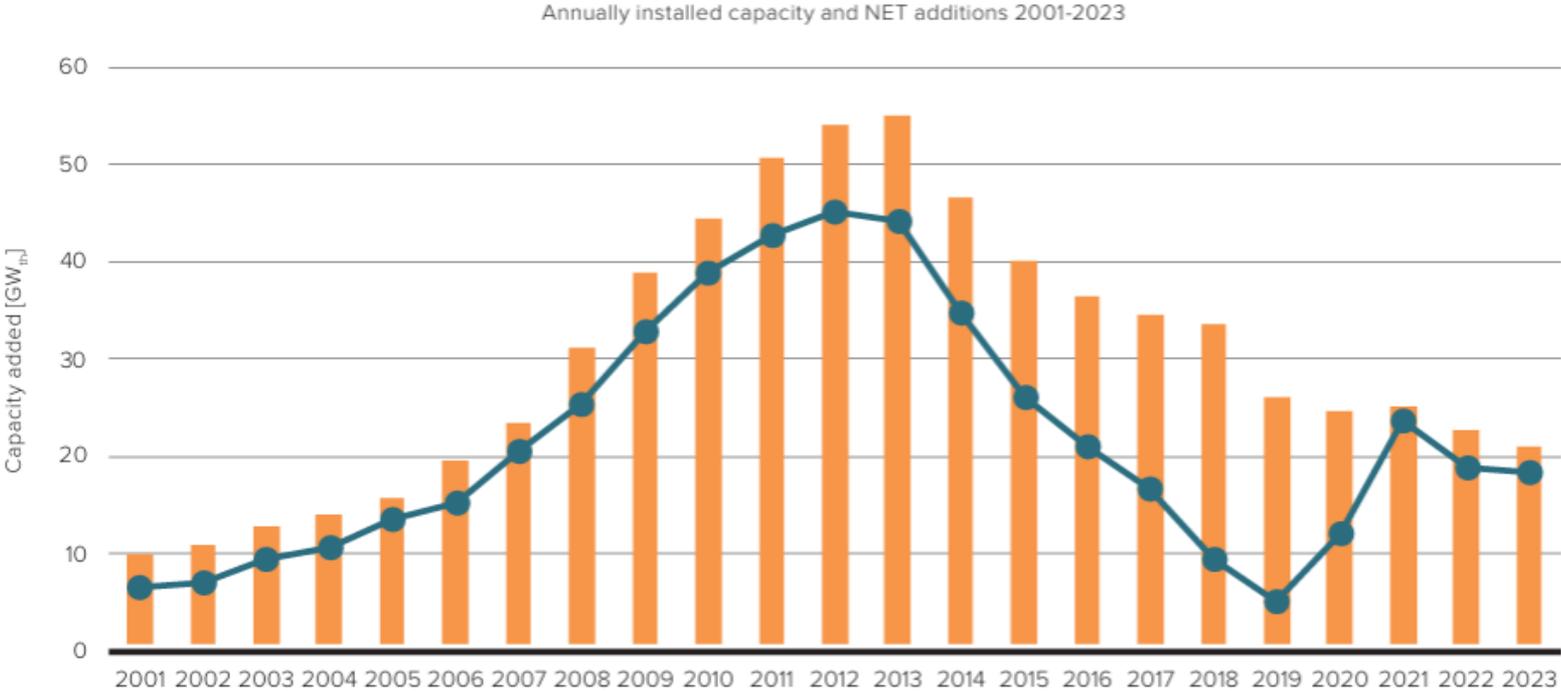


Figure 3: Annual installed collector capacity and net additions

- Annually installed capacity of water collectors [GW_{th}]
- Water collectors NET additions [GW_{th}]

$\frac{3}{4}$ dos sistemas
solares térmicos
instalados no mundo
estão na China.

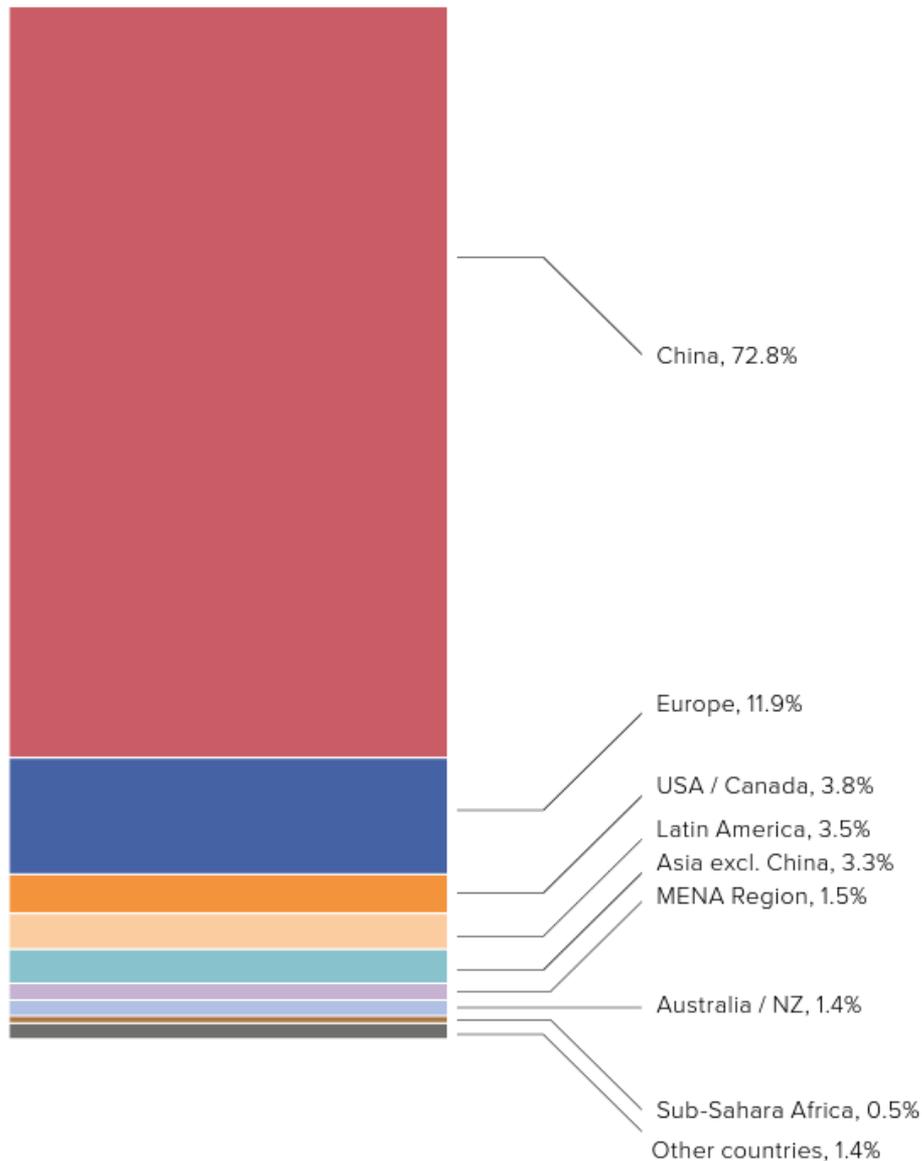


Figure 18: Share of the total installed capacity in operation (glazed and unglazed water and air collectors) by economic region in 2020

Sistemas com circulação estão a tornar-se dominantes (na China)

Distribution by type of system for installed glazed water collector capacity from 2006 to 2021 in China

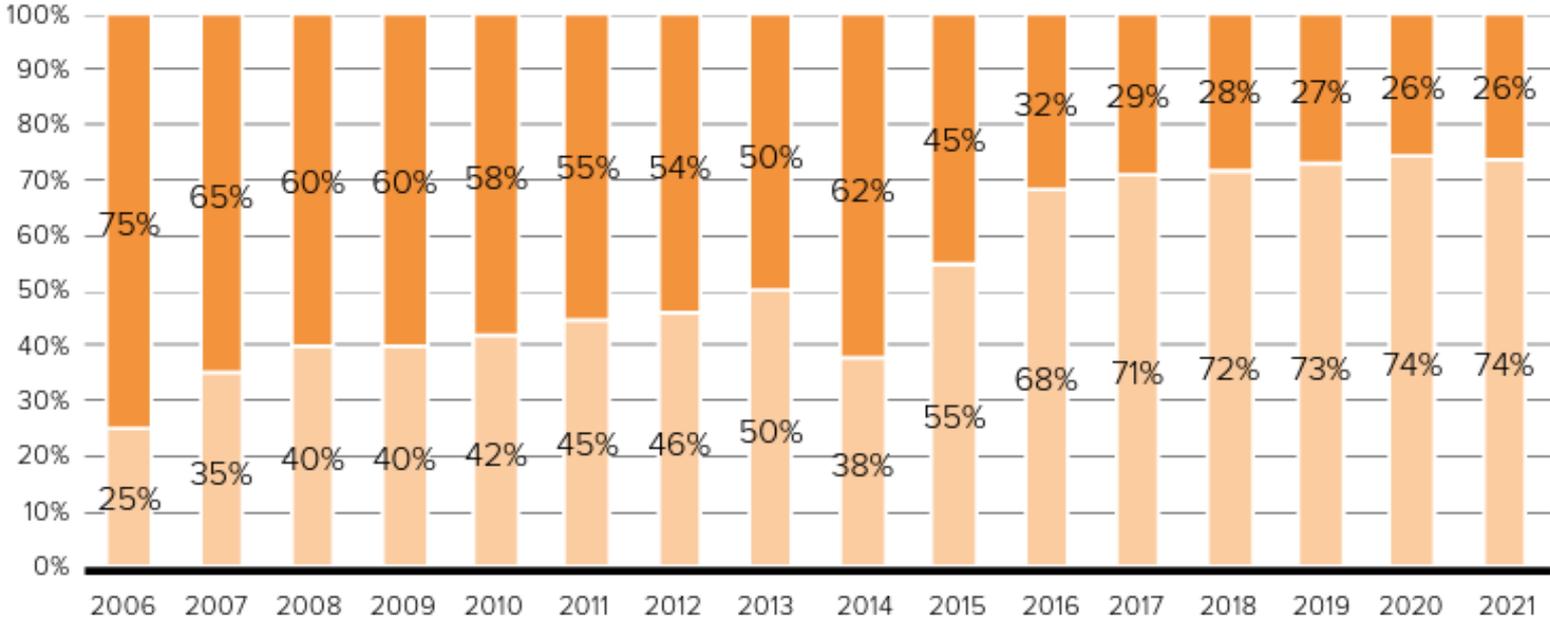


Figure 5: Distribution by type of system for installed glazed water collector capacity from 2006 to 2021 in China

- Light orange square: Pumped solar heating systems
- Dark orange square: Thermosiphon solar heating systems

Outras aplicações: 'aquecimento urbano'

"Europa" quer dizer quase exclusivamente DINAMARCA e ALEMANHA

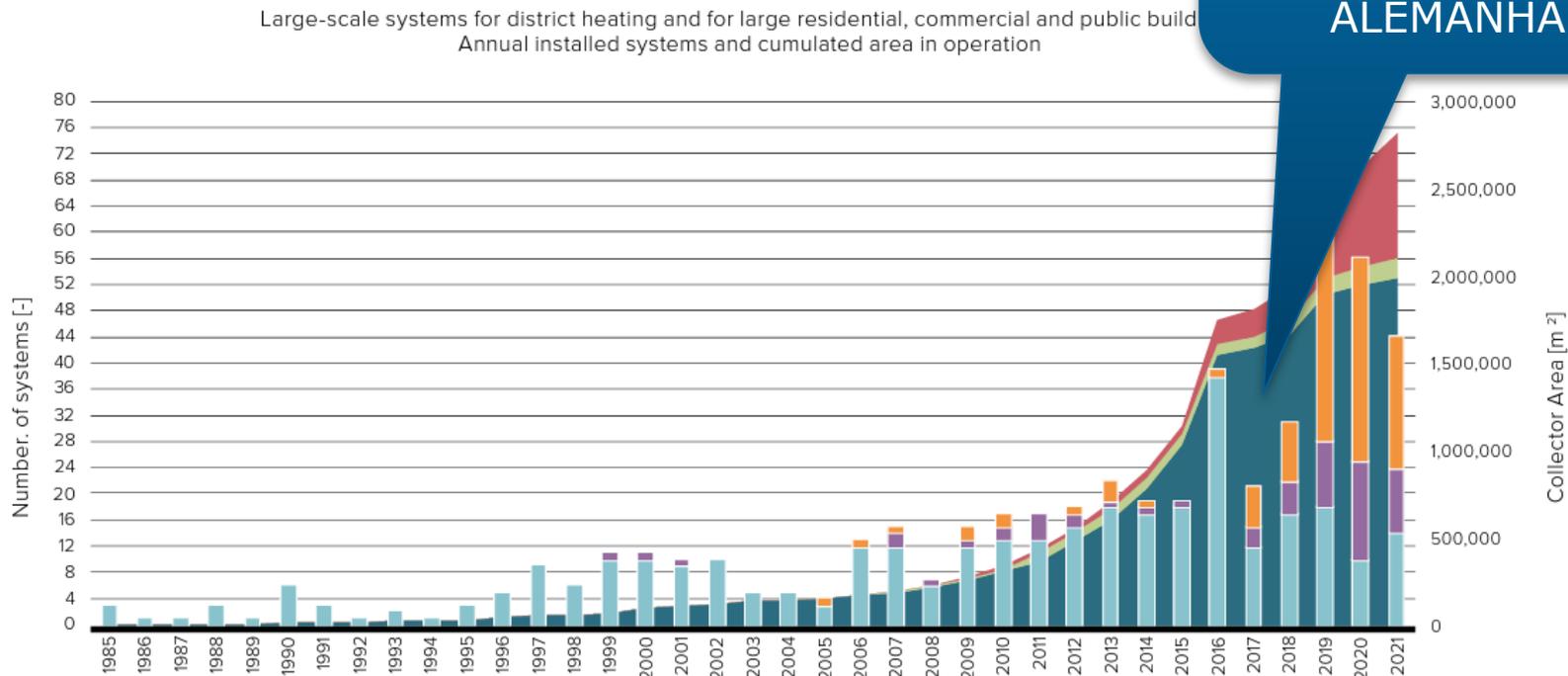


Figure 8: Large-scale systems for solar district heating and large residential, commercial and public buildings worldwide – annual achievements and cumulated area in operation in 2021

(Data sources: Daniel Trier - PlanEnergi, DK, Jan-Olof Dalenbäck - Chalmers University of Technology, SE, Sabine Putz - IEA SHC Task 55, AT, Bärbel Epp - solrico.com/, DE, AEE INTEC, AT, Janusz Starościk - SPIUG, PL, Zheng Ruicheng, China Academy of Building Research, CHN).

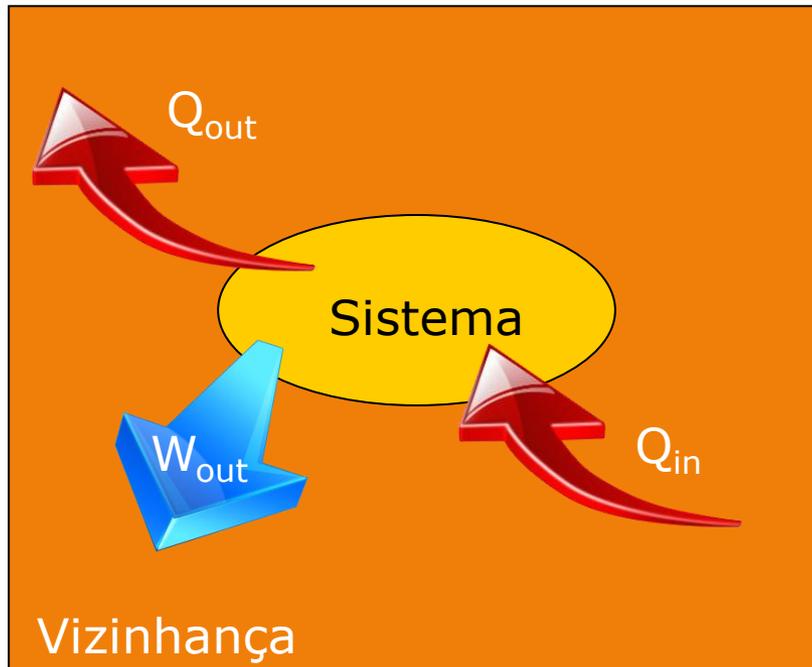
- Cumulated collector area in operation in Europe [m²]
- Cumulated collector area in operation in China [m²]
- Cumulated collector area in operation "Other countries" [m²]
- Number of systems installed in Europe [-]
- Number of systems installed in "Other countries" [m²]
- Number of systems installed in China [-]

Produção
electricidade
por via térmica
a partir de
radiação solar

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Como calculo o rendimento de uma máquina deste tipo?

O rendimento é sempre calculado da mesma maneira:



$$\eta = \frac{\text{o que obtenho}}{\text{o que pago}}$$

$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_{in}}$$

Produção de electricidade com uma máquina térmica

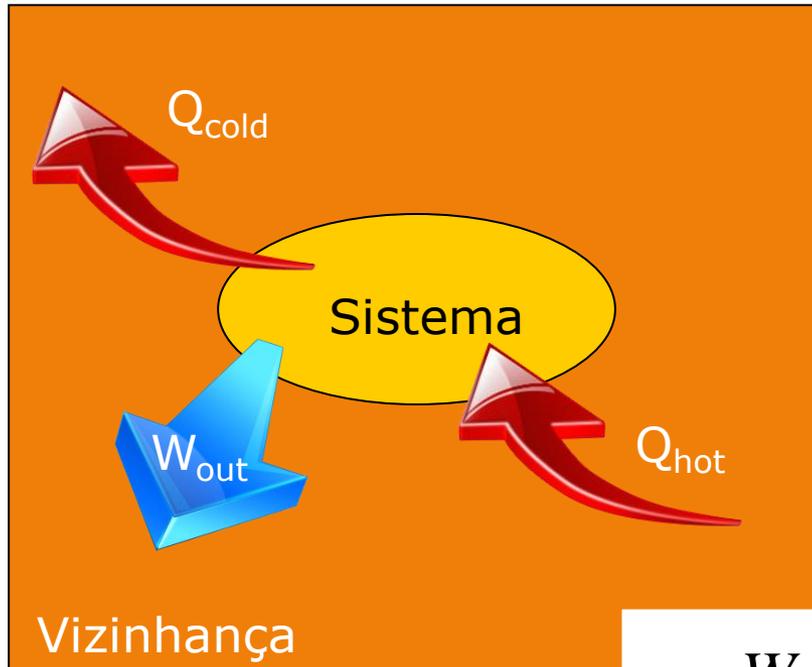
Como calculo o rendimento de uma máquina deste tipo?

$$Q_{hot} = W_{out} + Q_{cold}$$

$$\frac{Q_{hot}}{T_{hot}} \leq \frac{Q_{cold}}{T_{cold}}$$

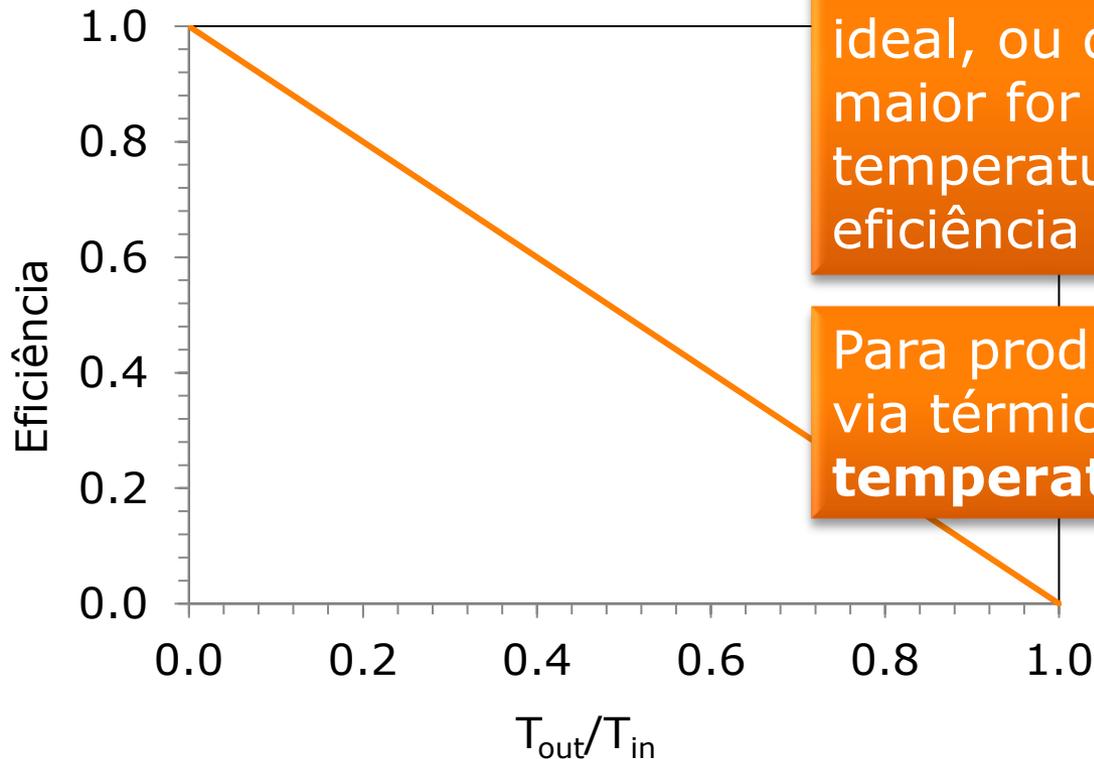
$$W_{out} = Q_{hot} - Q_{cold}$$

$$\frac{T_{cold}}{T_{hot}} \leq \frac{Q_{cold}}{Q_{hot}}$$



$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_{hot}} = \frac{Q_{hot} - Q_{cold}}{Q_{hot}} = 1 - \frac{Q_{cold}}{Q_{hot}} \leq 1 - \frac{T_{cold}}{T_{hot}}$$

Produção de electricidade com uma máquina térmica



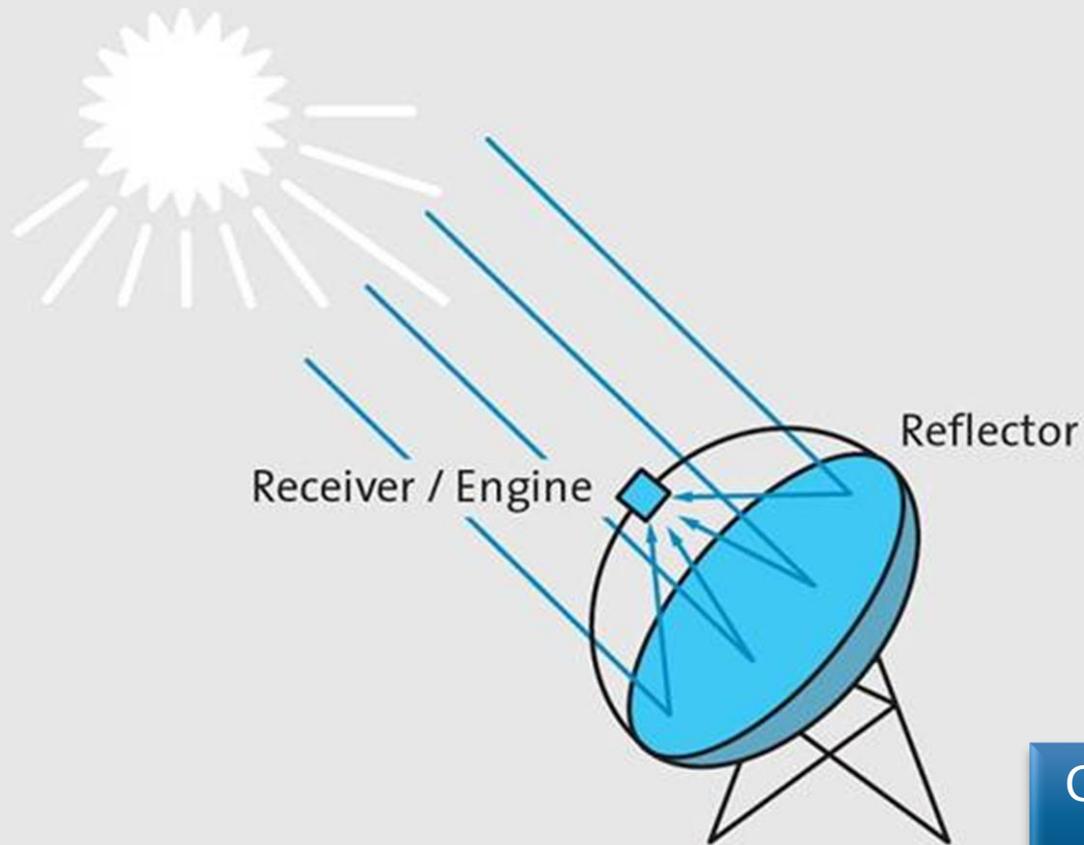
Para uma máquina térmica ideal, ou de Carnot, quanto maior for a diferença de temperatura maior será a eficiência

Para produzir electricidade por via térmica precisamos de **temperaturas elevadas.**

$$\eta = \frac{W_{out}}{Q_{hot}} = \frac{Q_{hot} - Q_{cold}}{Q_{hot}} = 1 - \frac{Q_{cold}}{Q_{hot}} \leq 1 - \frac{T_{cold}}{T_{hot}}$$

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Concentradores
parabólicos
pontuais

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Diâmetro: 8.5m ($\sim 57\text{m}^2$)

Distância focal: 4.5m

Factor de concentração: 2500

Temperatura do fluido (hélio): 650°C

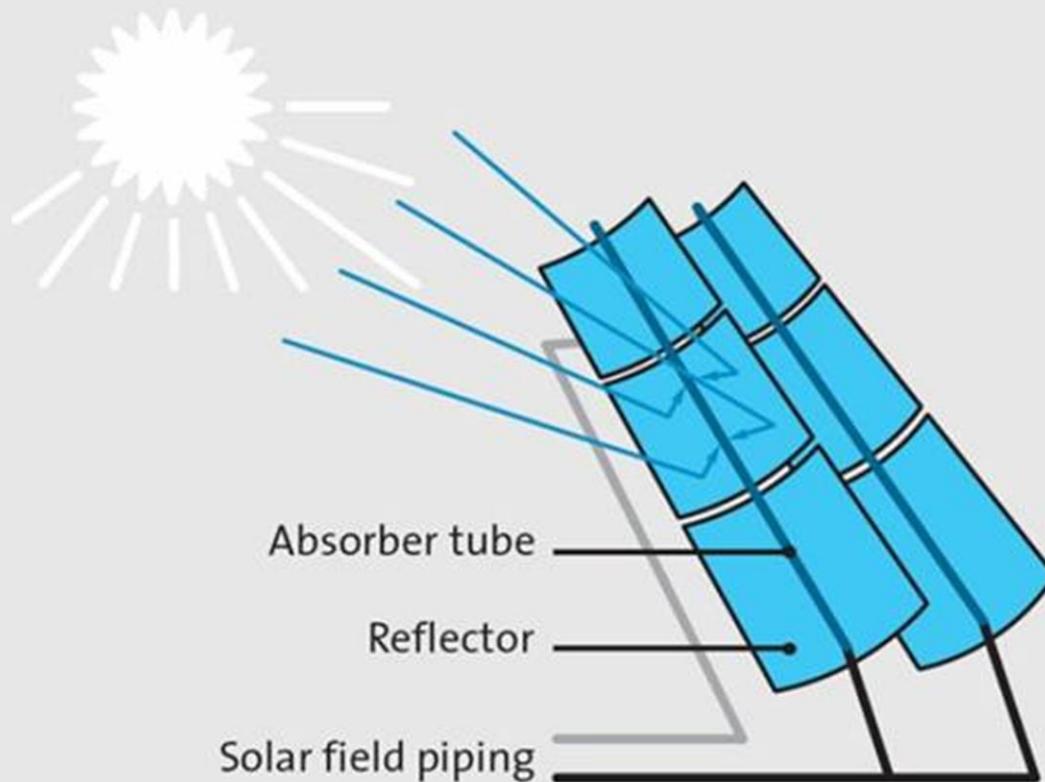
Pressão: 20-150bar

Potência eléctrica: 8.4kW

Concentradores
parabólicos
pontuais

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Concentradores
parabólicos
lineares

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Concentradores
parabólicos
lineares

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Área ocupada: 1,62 km²

760 linhas de reflectores

184 000 espelhos

Temperatura do fluido: 400°C,

Máquina vapor, ciclo Rankine

Recurso solar: 2606 kWh/(m²ano)

Superfície colectora: 357200m²

Produção eléctrica: 134000MWh/ano

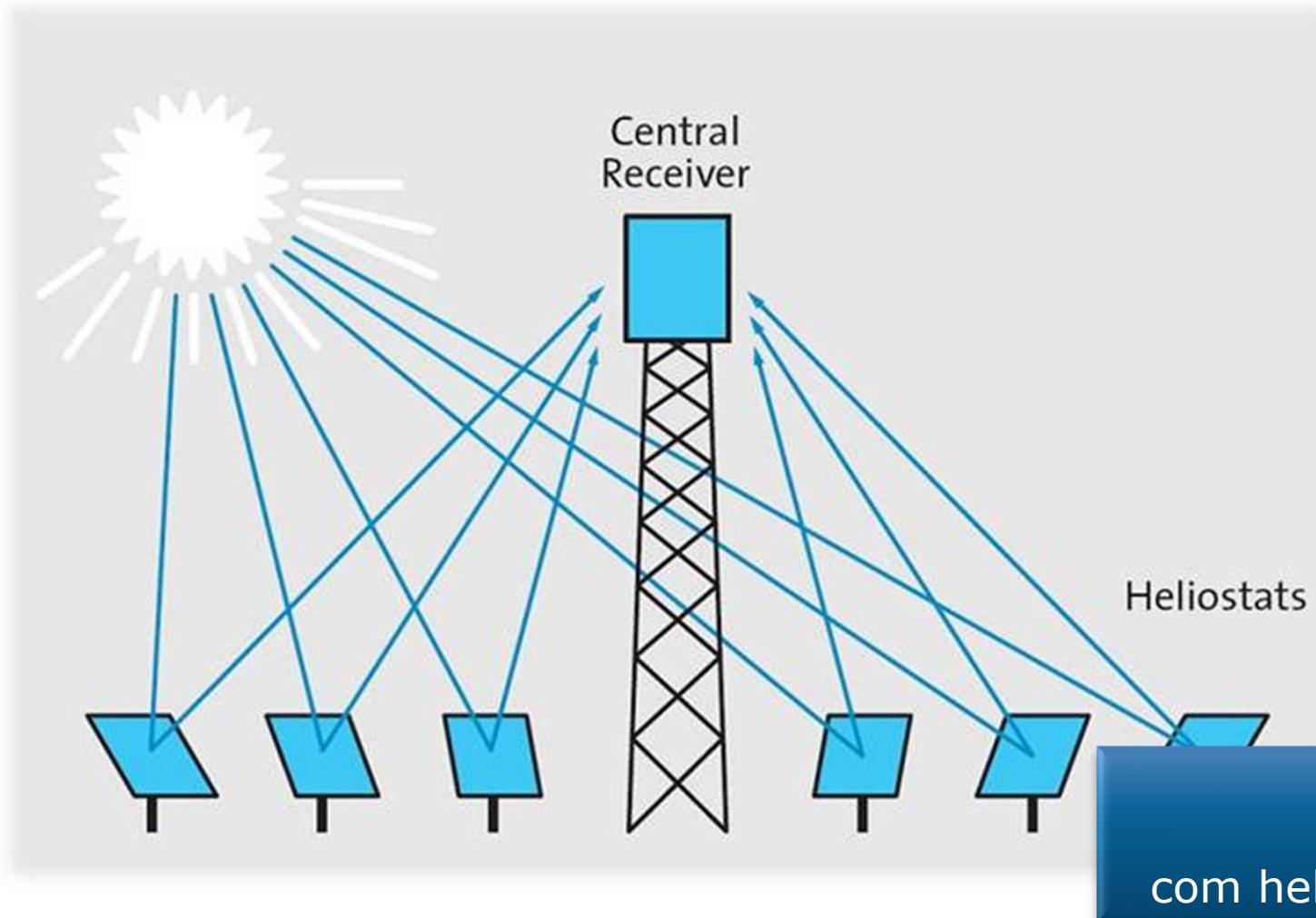
Tempo armazenagem: 0.5h

Custo: 266 M US\$

Concentradores
parabólicos
lineares

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar

Área ocupada: 60 hectares

624 superfícies reflectoras com 120 m²

Superfície reflectora total: 75 000 m²

Temperatura do fluido: 250°C,

Máquina vapor, ciclo Rankine

Eficiência solar-eléctrica: 17%

Capacidade armazenamento: 1h

Produção eléctrica: 24.3GWh/ano

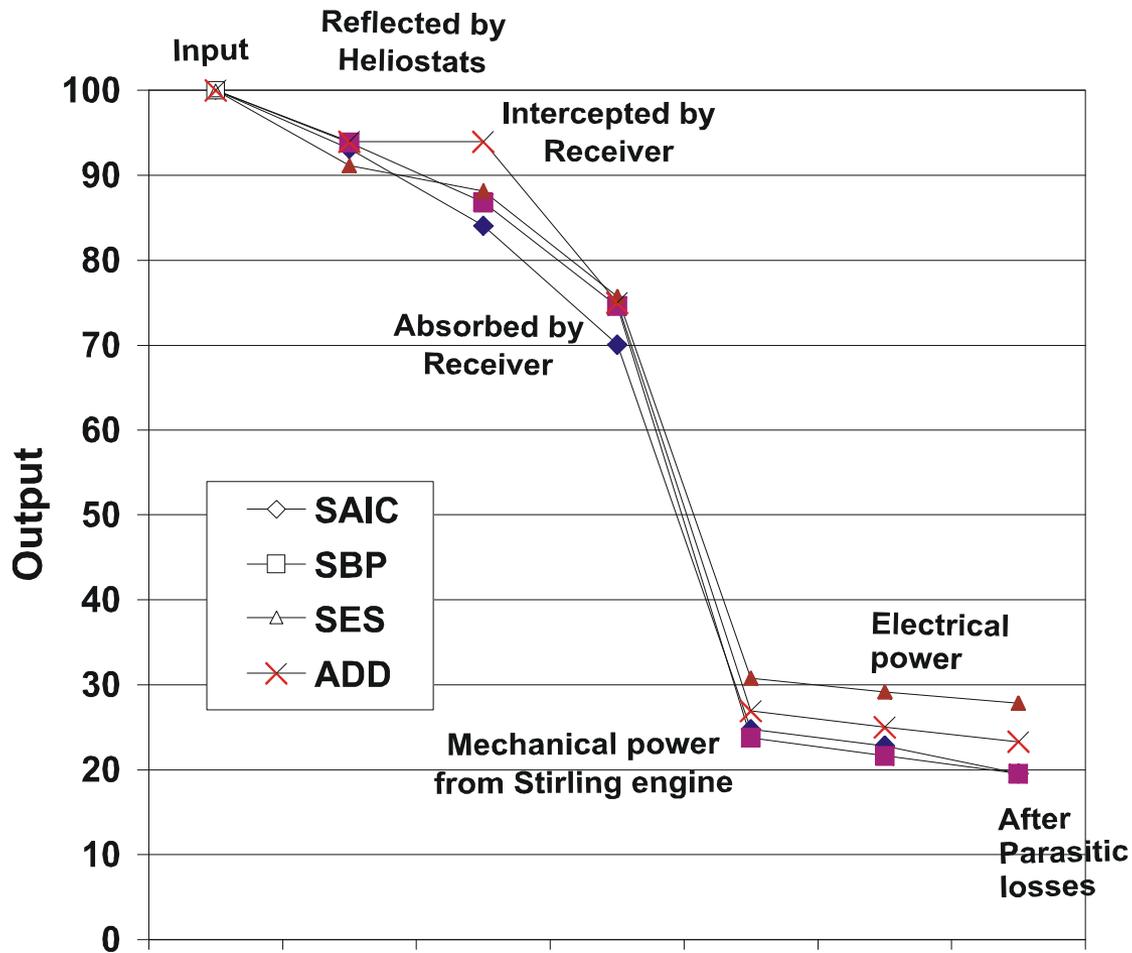
Custo: 35 M€



Torres
solares
Com heliostato

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar

Vantagens importantes:

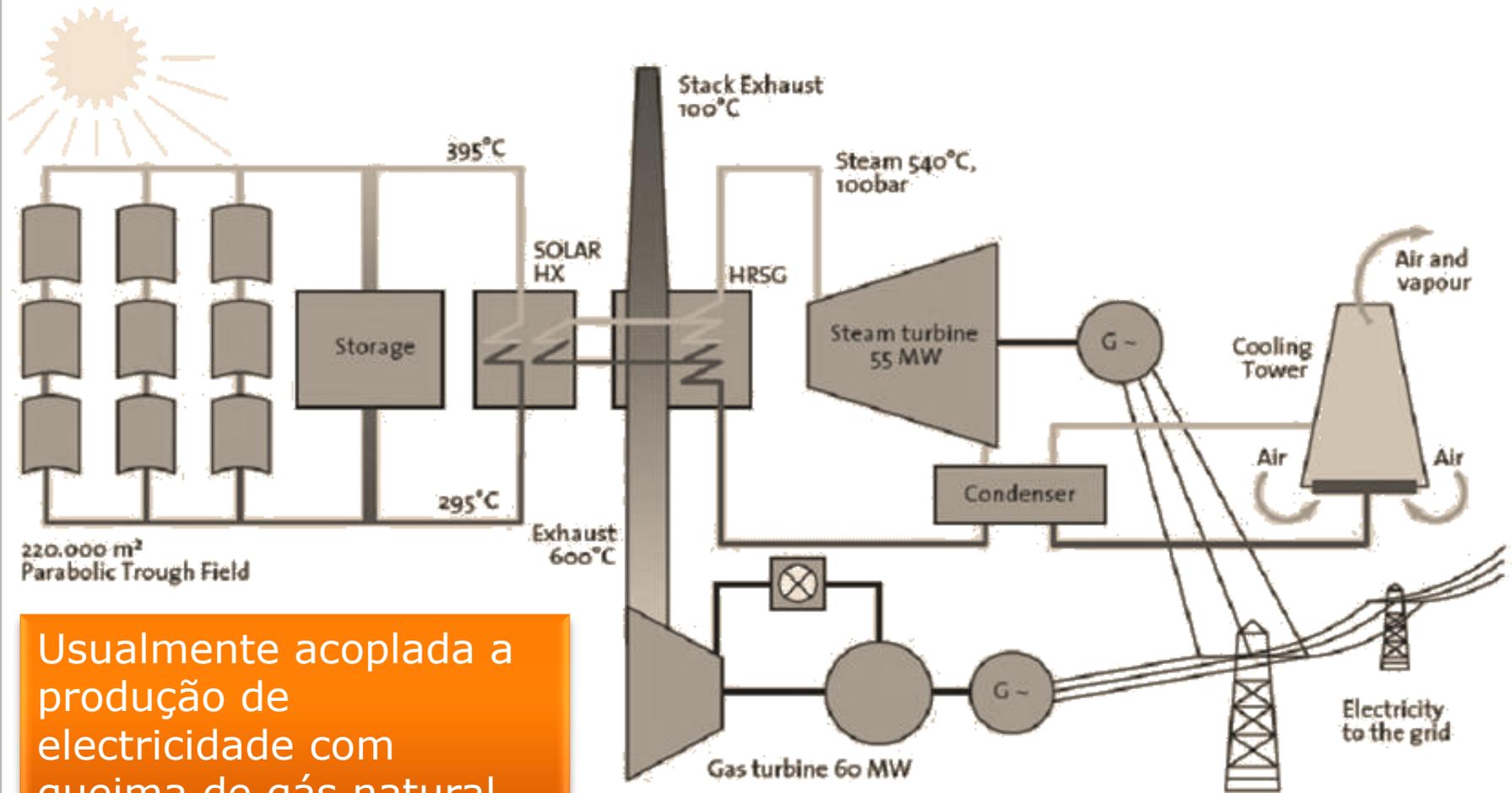
- Armazenamento de energia

Desvantagens relevantes:

- Só se aproveita a componente directa da radiação
- Seguimento solar

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Usualmente acoplada a produção de electricidade com queima de gás natural

Tipo de colector	Temperatura °C	concentração	η
Colector plano (AQS)	30 - 80	1	30%
Colector tubos de vazio (AQS)	50 - 200	1	30%
Concentrador parabólico linear	60 - 250	15 - 45	14%
Concentrador parabólico pontual	100 - 500	100 - 1000	15%
Torre	150 - 2000	100 - 1500	17%

η = energia útil final/energia incidente

Considera-se a área colectora e não a área de implementação;
a diferença é um factor x10