

ENERGIA SOLAR

Energias Renováveis

Miguel Centeno Brito



"Adoração de Aten", painel de baixo relevo em calcário encontrado em escavações do túmulo do faraó Akhenaton, em 1891, hoje exposto no Museu de Arqueologia do Cairo.

No painel, o faraó Akhenaton, da XVIII dinastia (1370 AC), e a sua rainha Nefertiti adoram o deus Aten, representado por um disco luminoso cujos raios solares iluminam as mãos do faraó.



Templo dedicado a Quetzalcoatl, em Chichén Itzá, cidade Maia na Península de Yucatan, dos finais do século X.

Nos equinócios, ao pôr-do-sol, o sol ilumina a pirâmide de forma gradual, criando a imagem de uma serpente que desce a escadaria principal até ao chão.



Templo de Konarak dedicado a Surya, deus-sol, construído em 1278 DC, hoje quase em ruínas, em Orissa, Índia.

O templo foi concebido como uma carruagem puxada por seis cavalos através dos céus. A carruagem está assente em 24 rodas, cada uma com mais de três metros de diâmetro e cujos raios funcionam como relógios solares, indicando com precisão a hora local.



"New Light on Rome 2000", instalação de Peter Erskine, com prismas, espelhos e radiação solar no Mercado de Trajano, na Casa Real de Rodes, na Porta di San Sebastiano, e no Criptoportico de Nero. Os arcos romanos transformam-se em arco-íris.

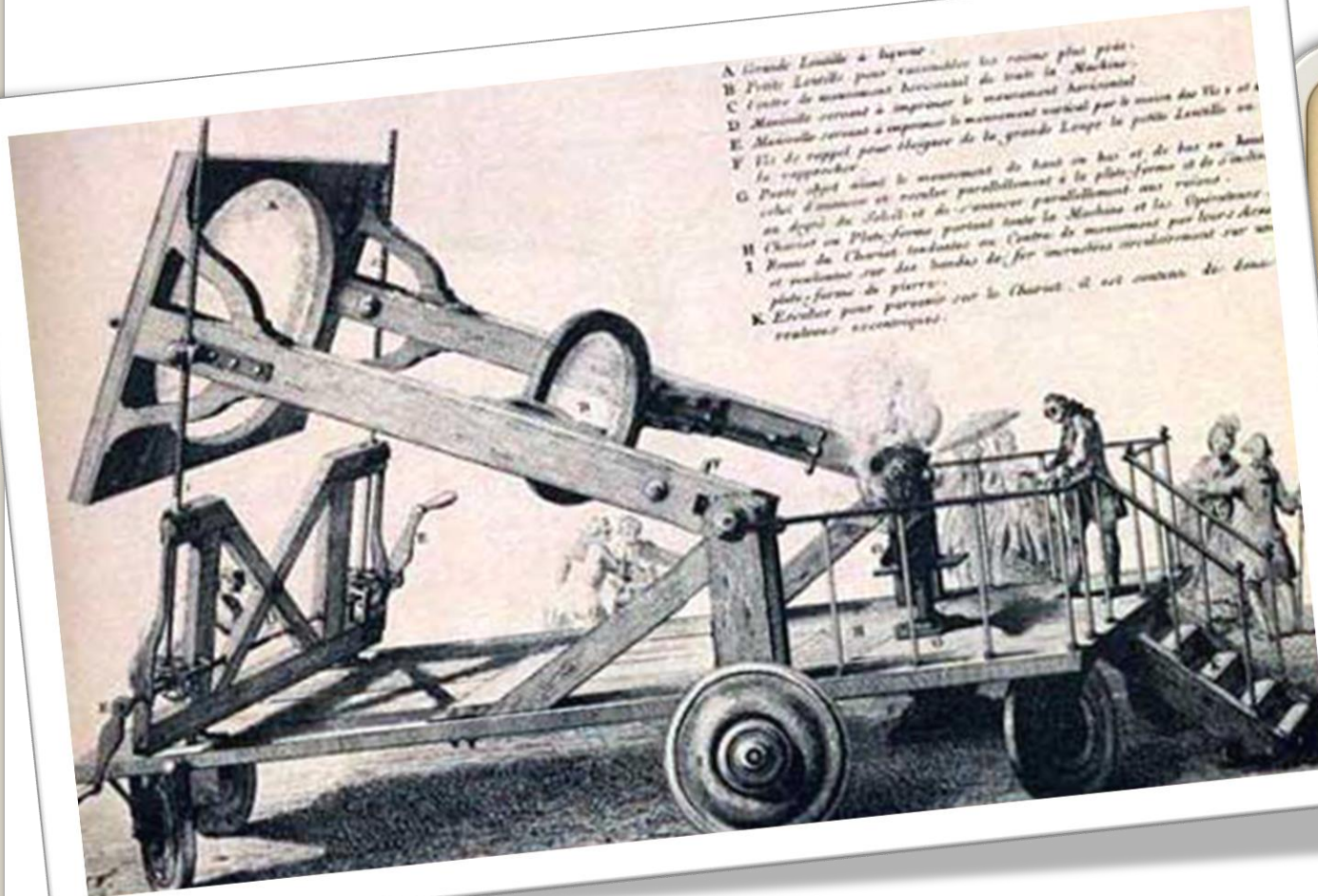


200 AC: Arquimedes sozinho contra a armada de Siracusa

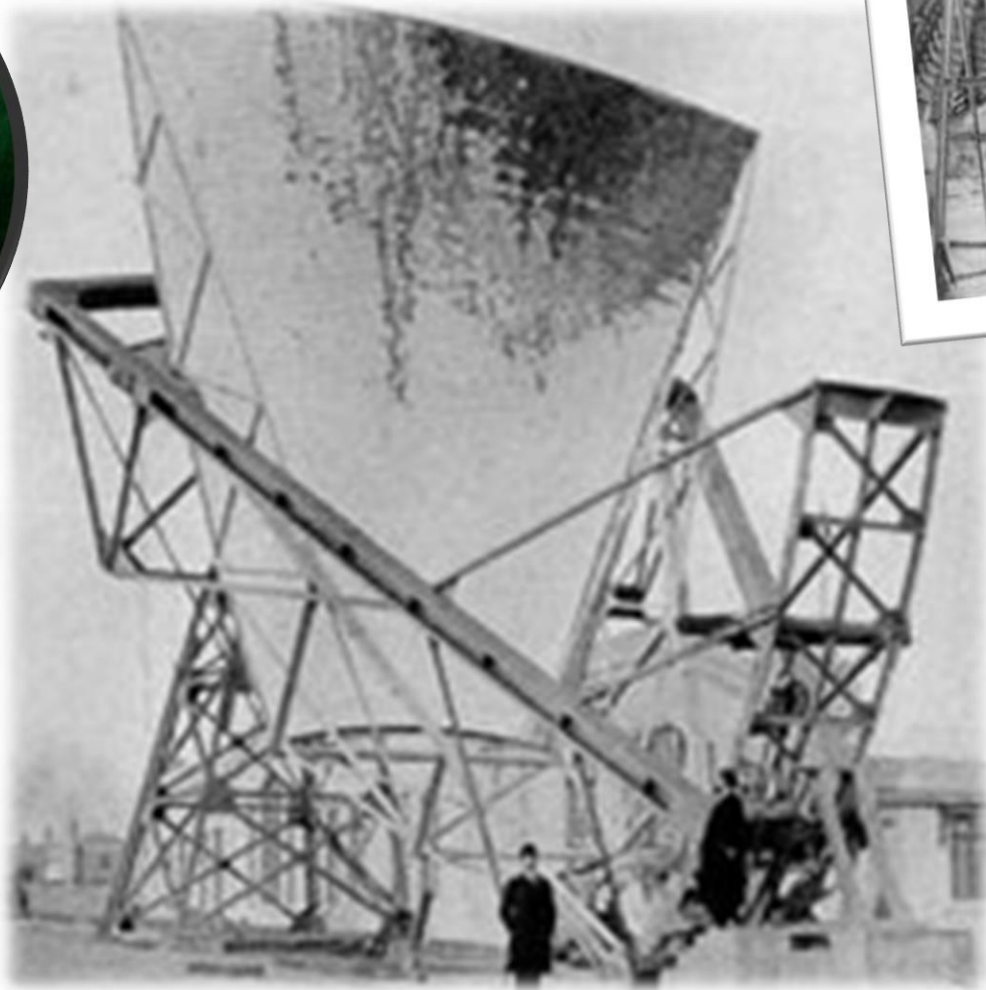


Código Justiniano define "Direitos de Sol" para garantir que os edifícios não podiam ser privados de radiação nas fachadas orientadas a Sul.

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

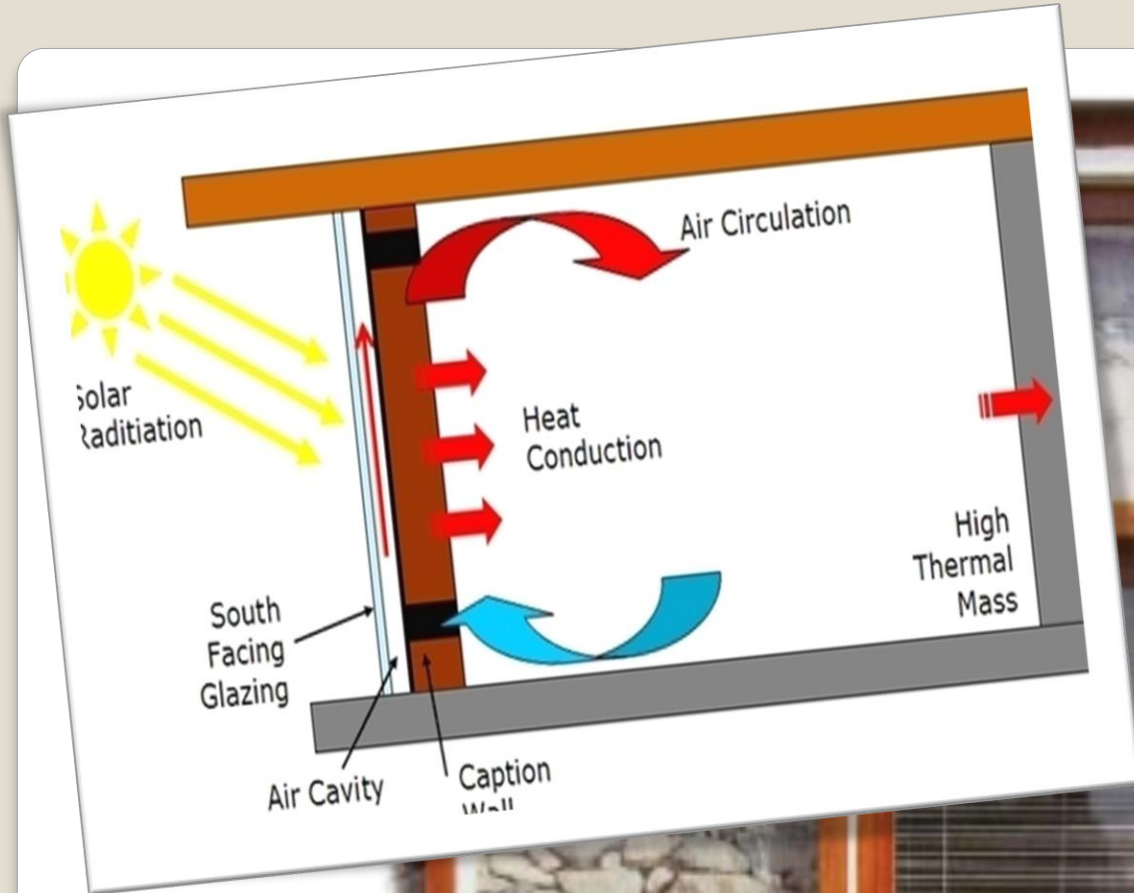


APLICAÇÕES ENERGIA SOLAR

Radiação solar = energia electromagnética

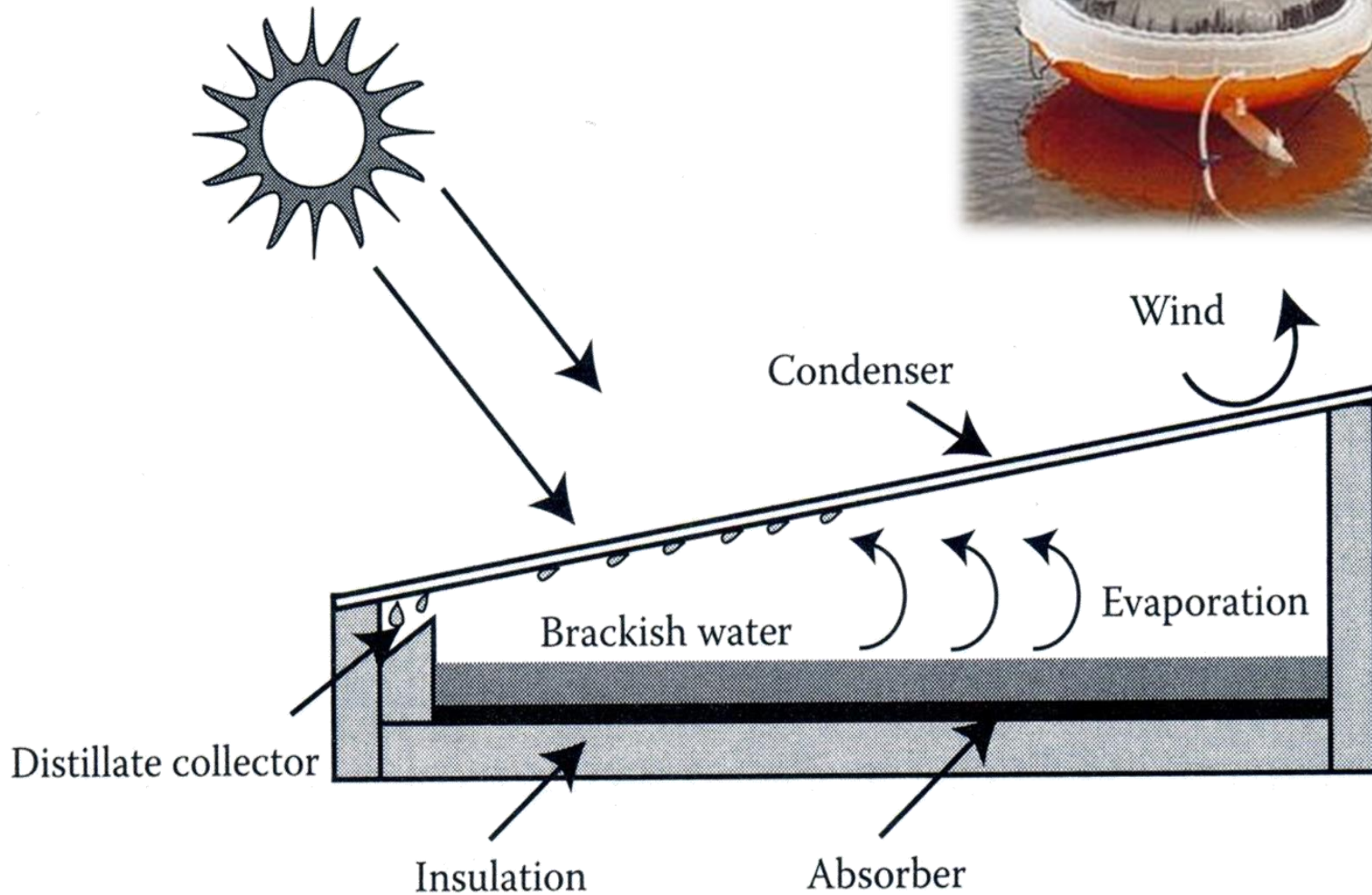
Utilização **directa** da energia solar sem transformação
e.g. iluminação de espaços interiores edifícios

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





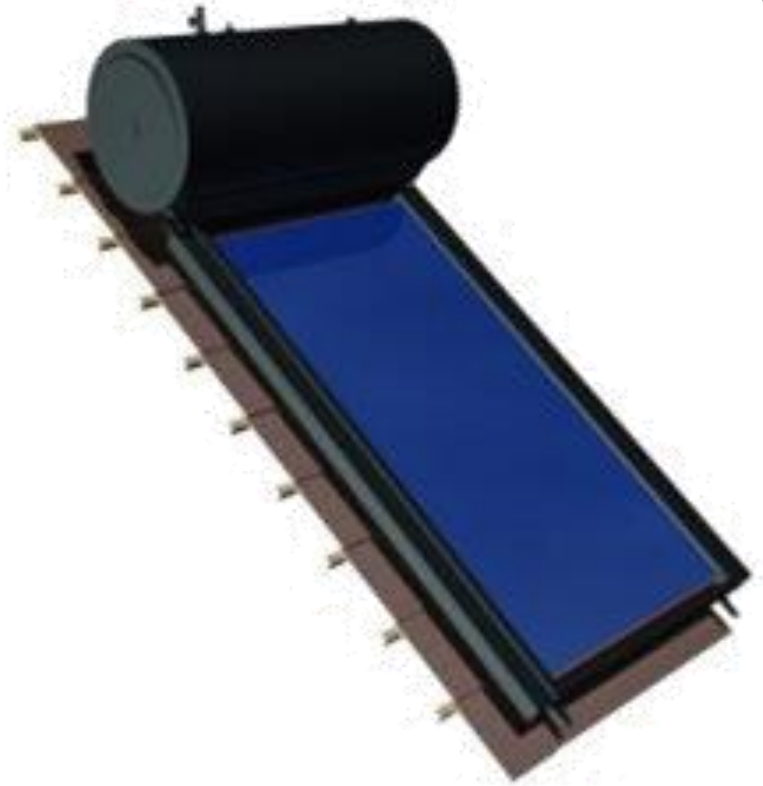
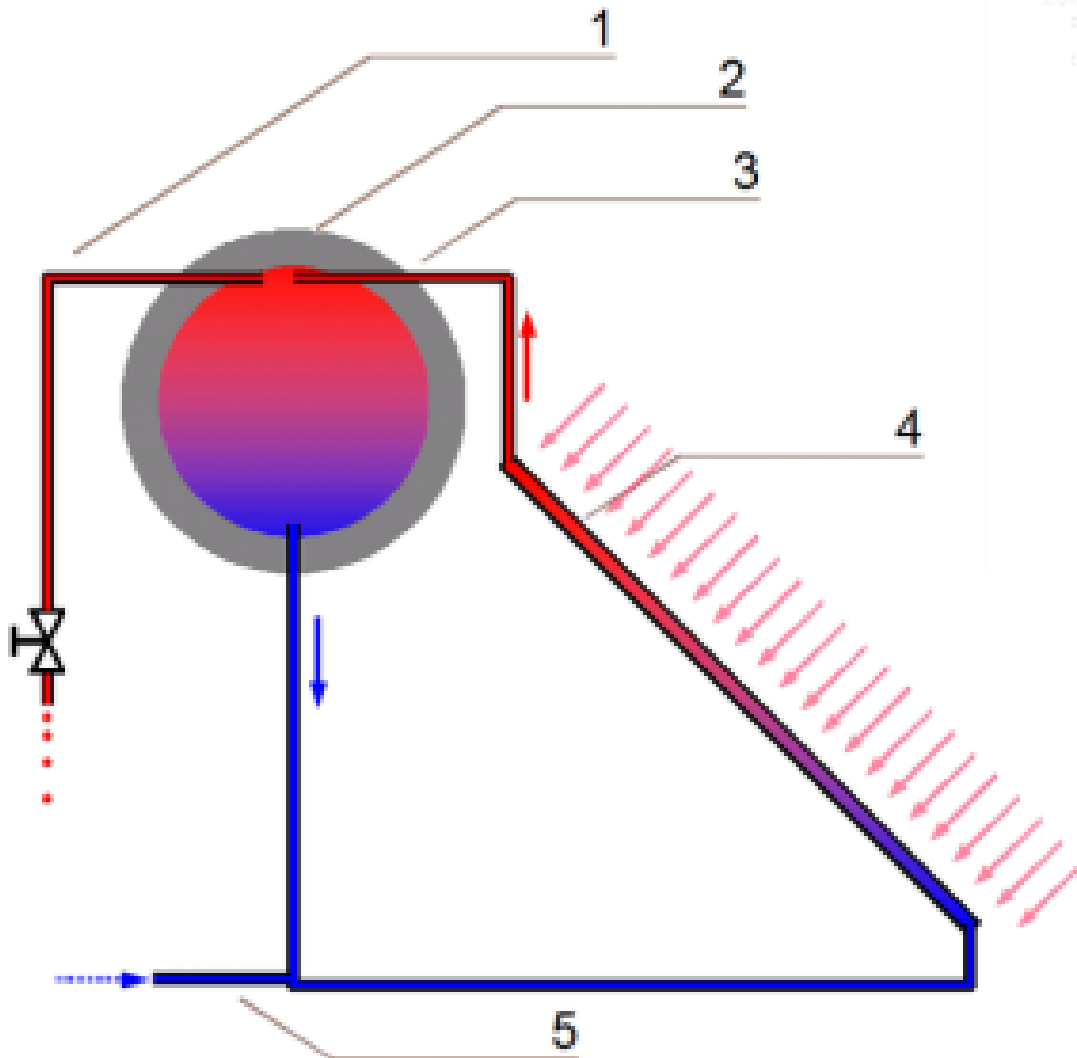
N: 1

1

Secador solar³

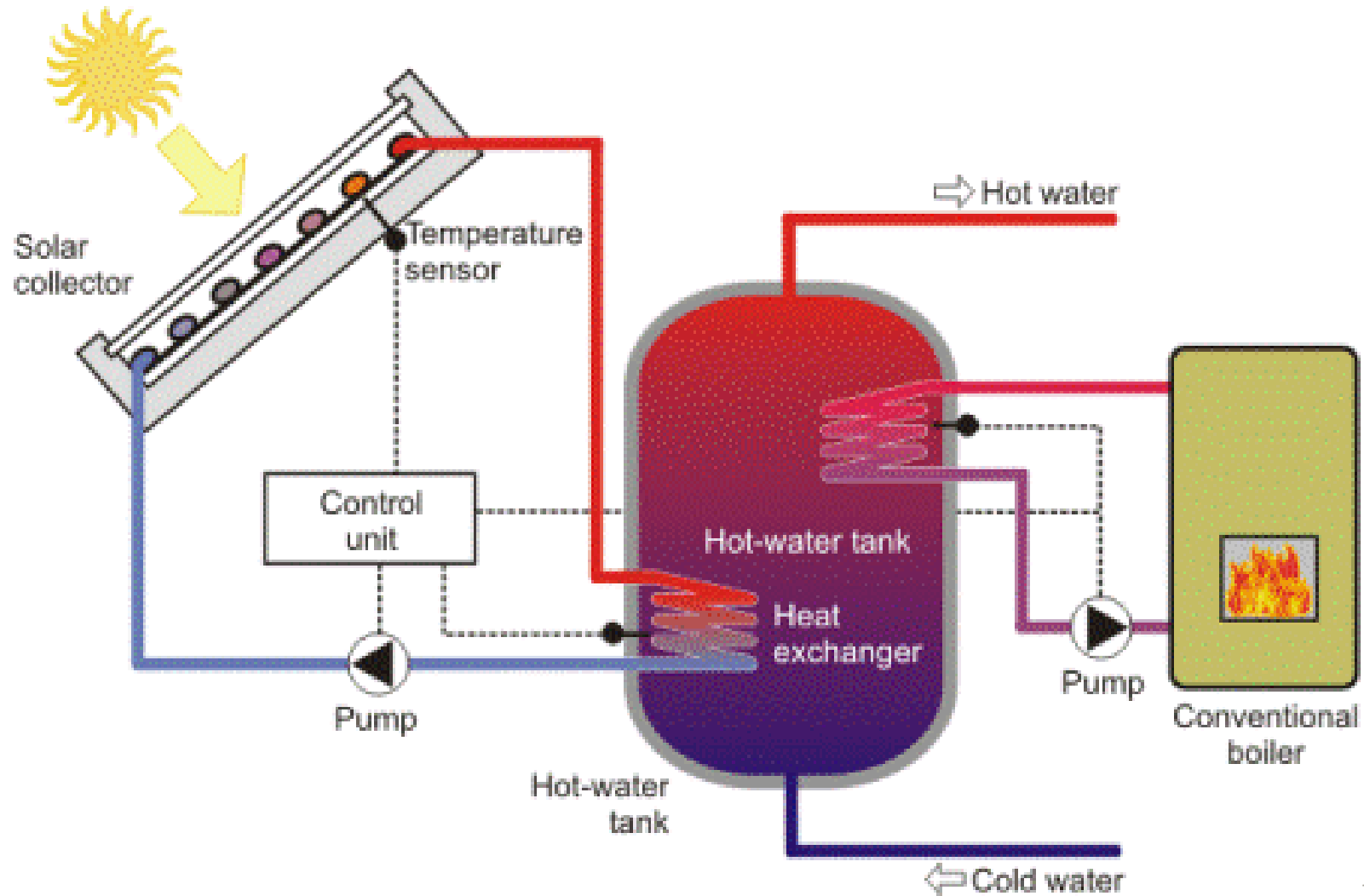
Produção de água quente solar

Painel solar térmico com termosifão



Produção de água quente solar

Painel solar térmico com bomba de circulação



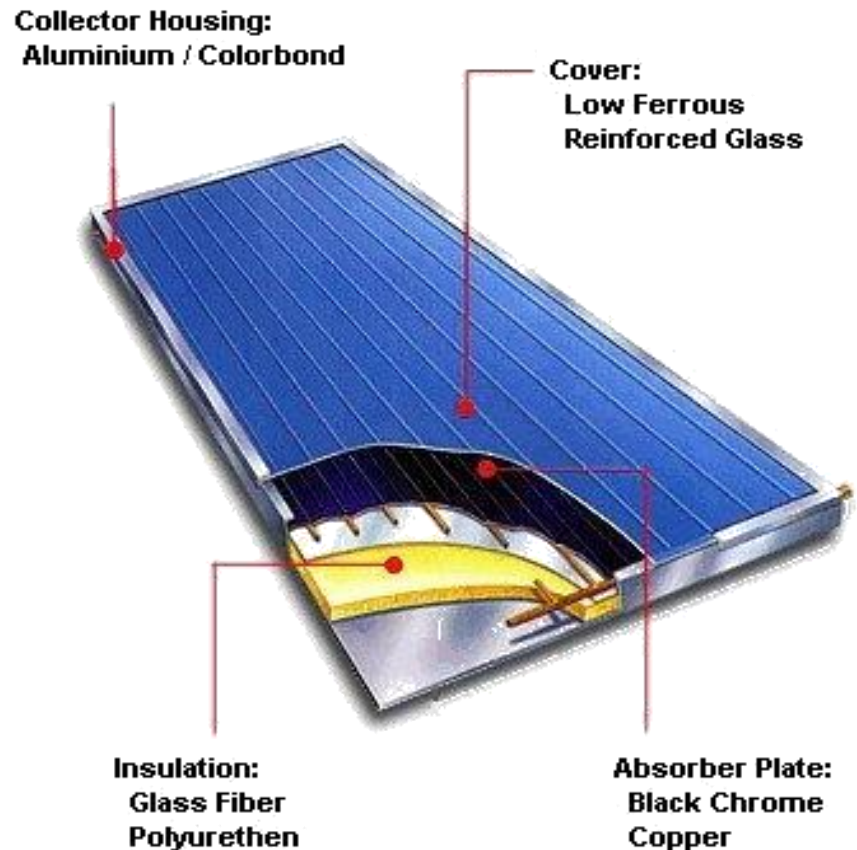
Produção de água quente solar

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 absorsor
 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

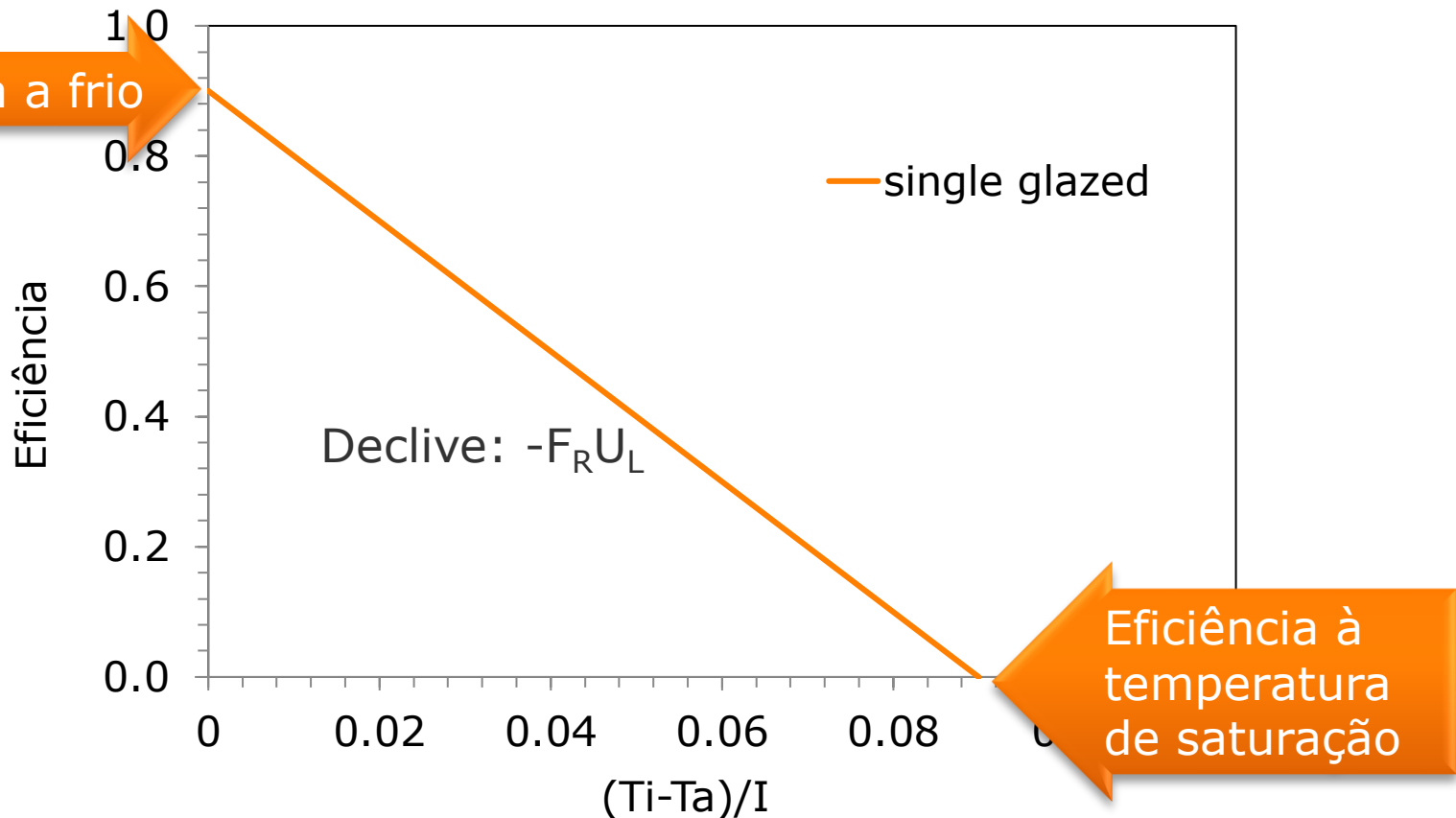
" U_L " coeficiente transferência calor
 T_{in} temperatura fluido à entrada
 T_{amb} temperatura exterior
 F_R coeficiente empírico

Produção de água quente solar

Painel solar térmico

Eficiência do painel solar:

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

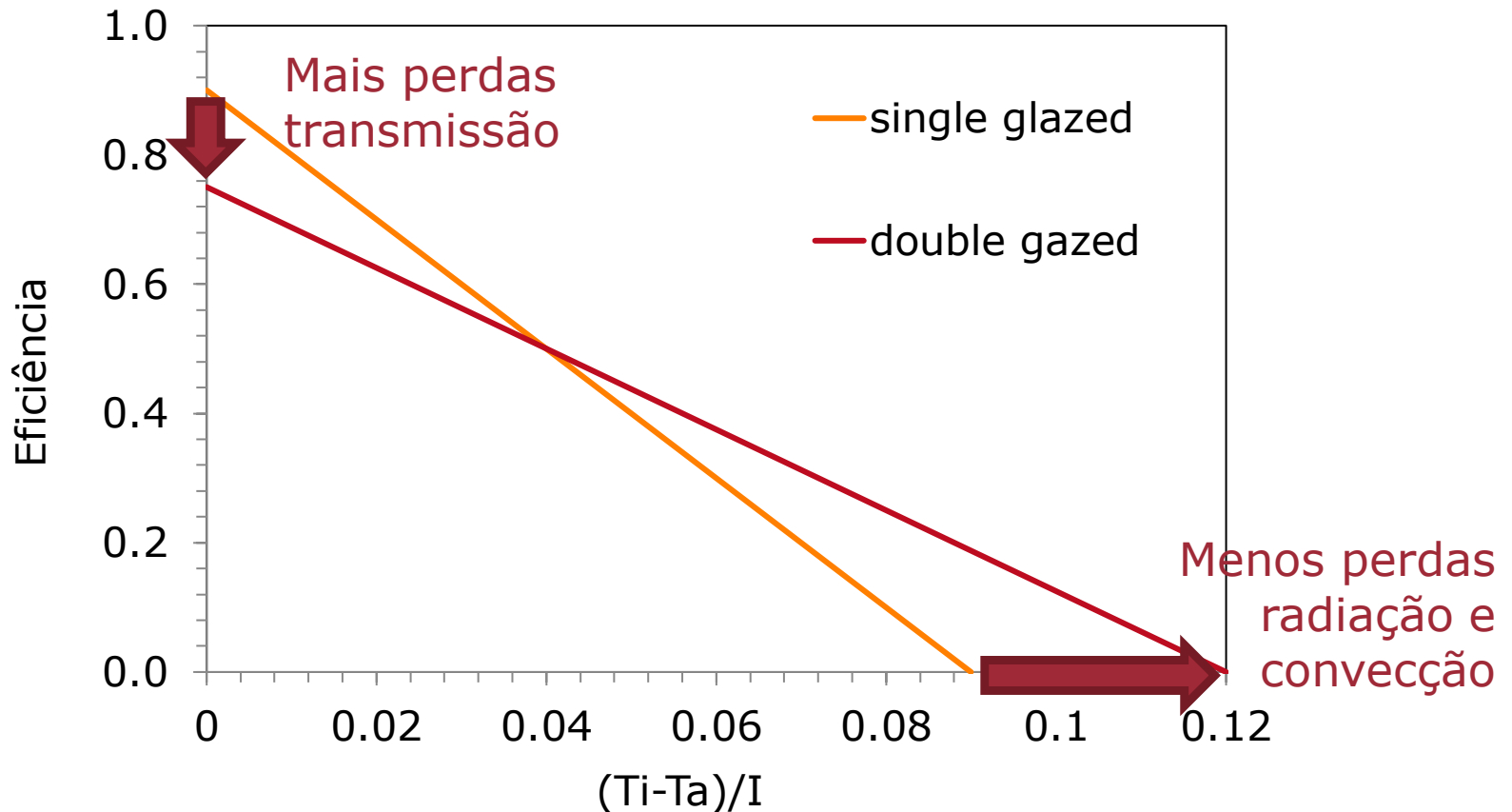


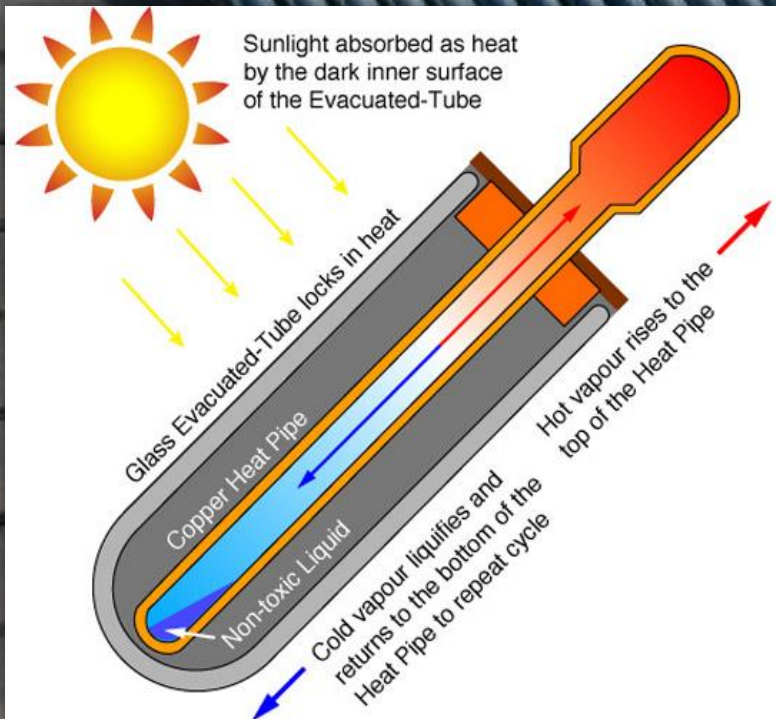
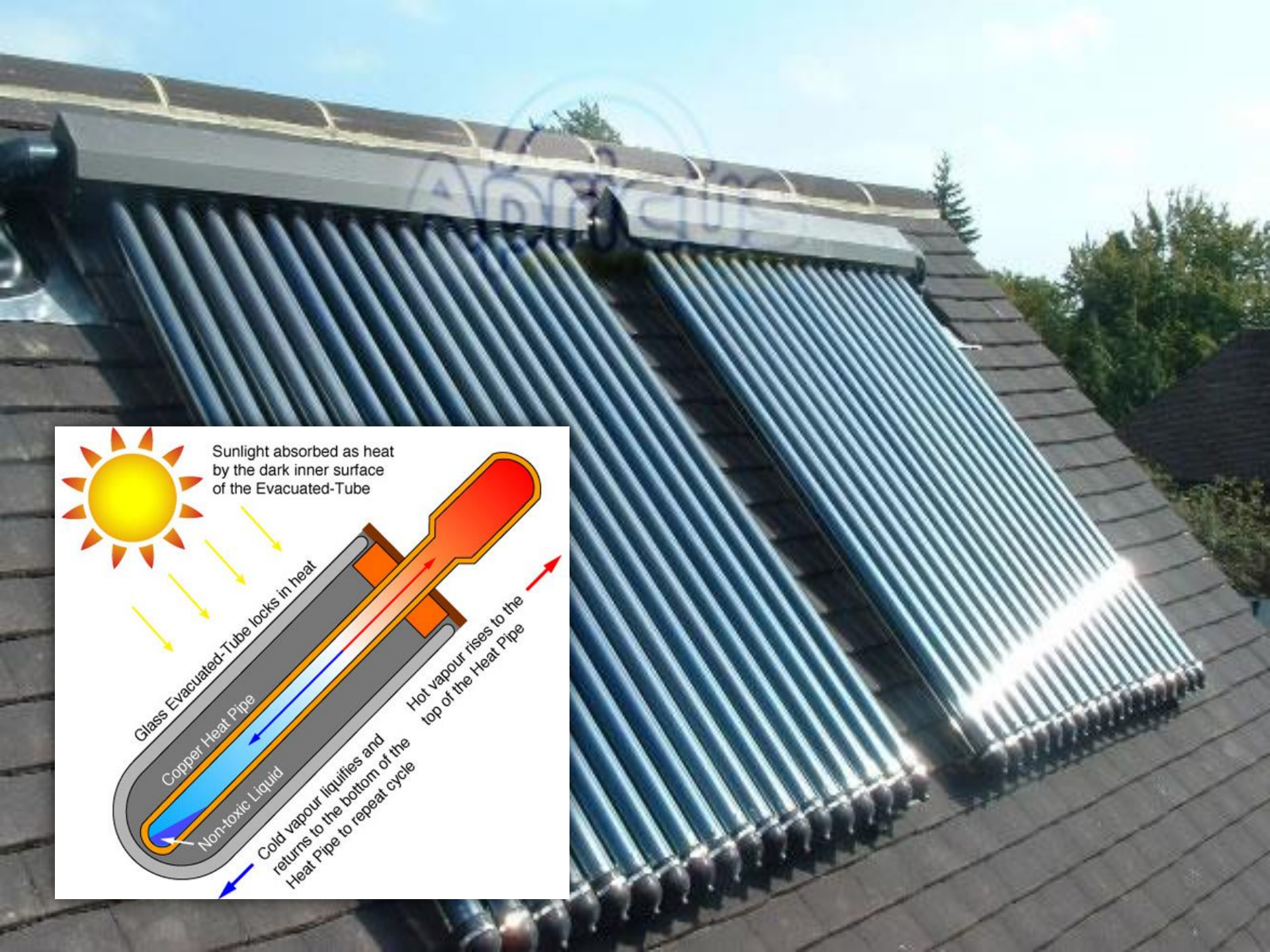
Produção de água quente solar

Painel solar térmico

Eficiência do painel solar:

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



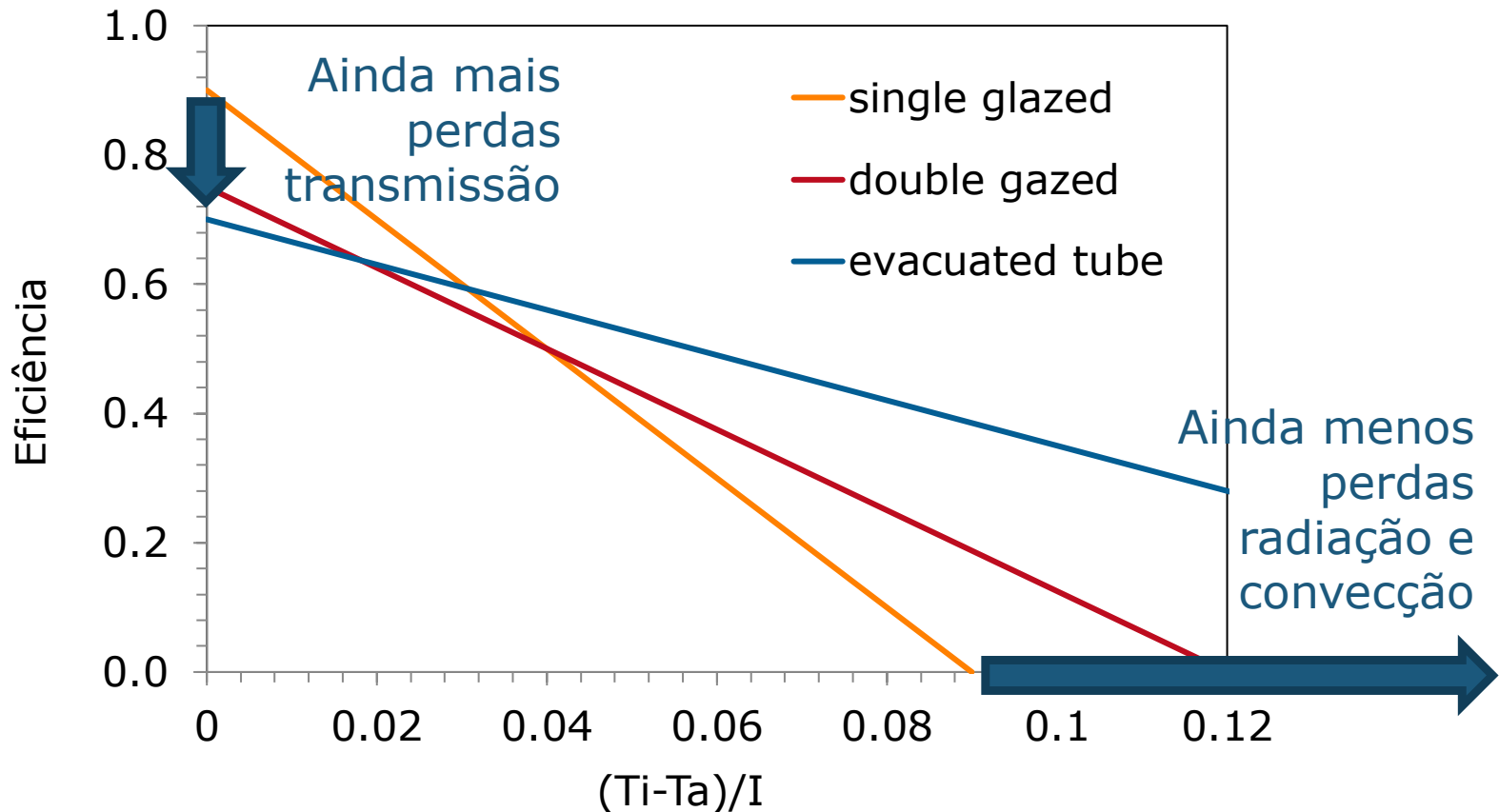


Produção de água quente solar

Painel solar térmico

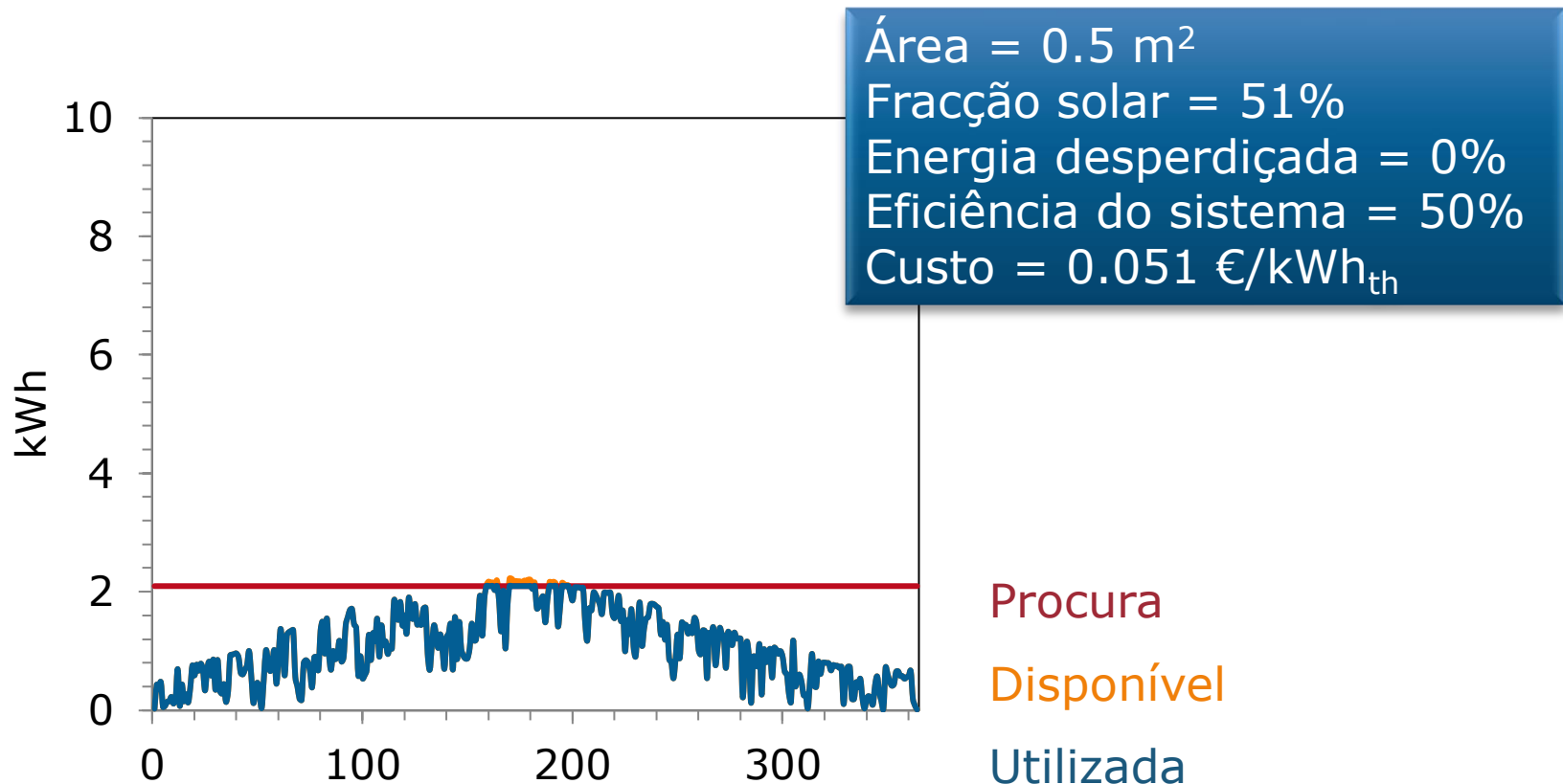
Eficiência do painel solar:

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



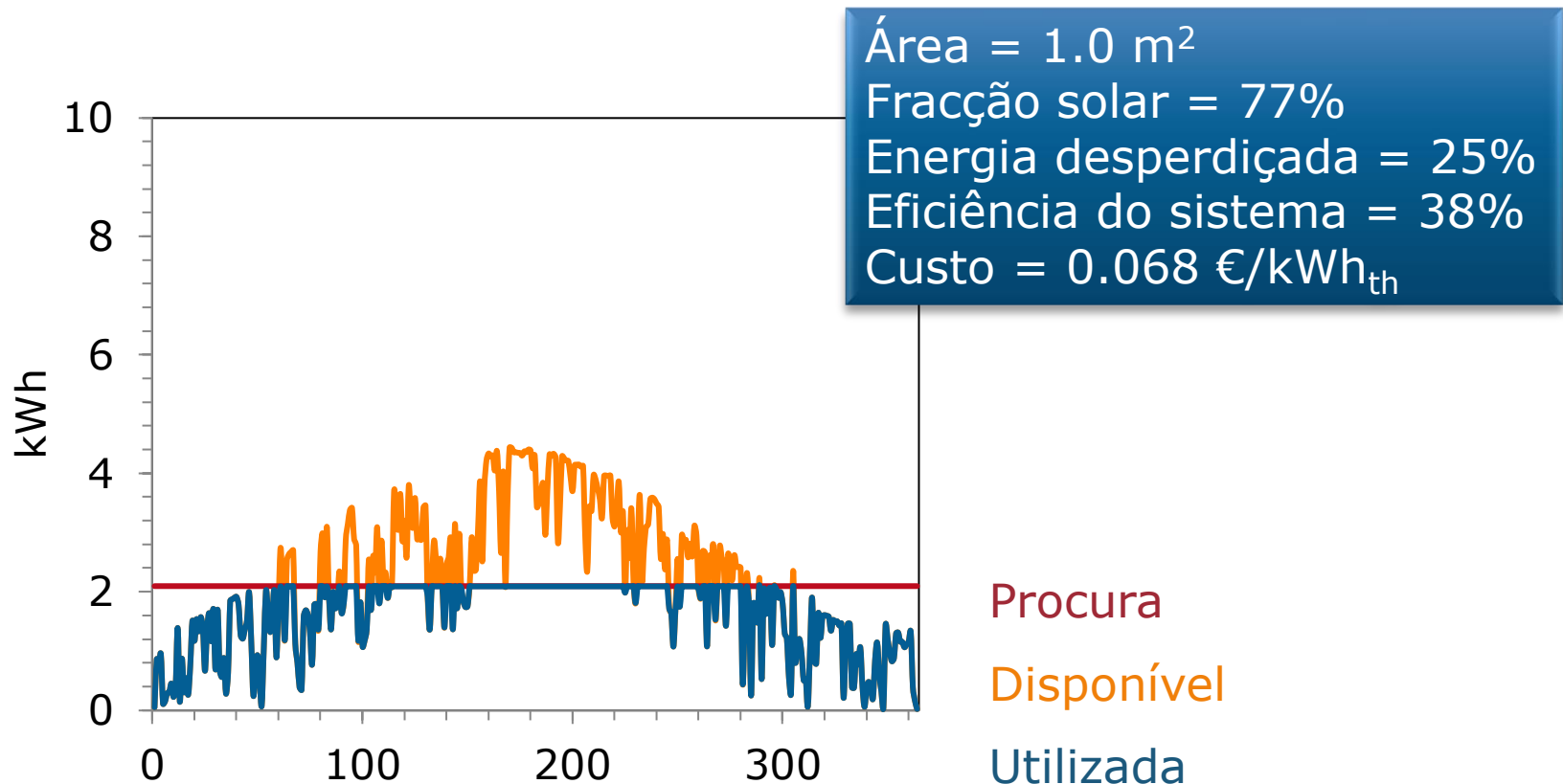
A eficiência depende da procura!

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



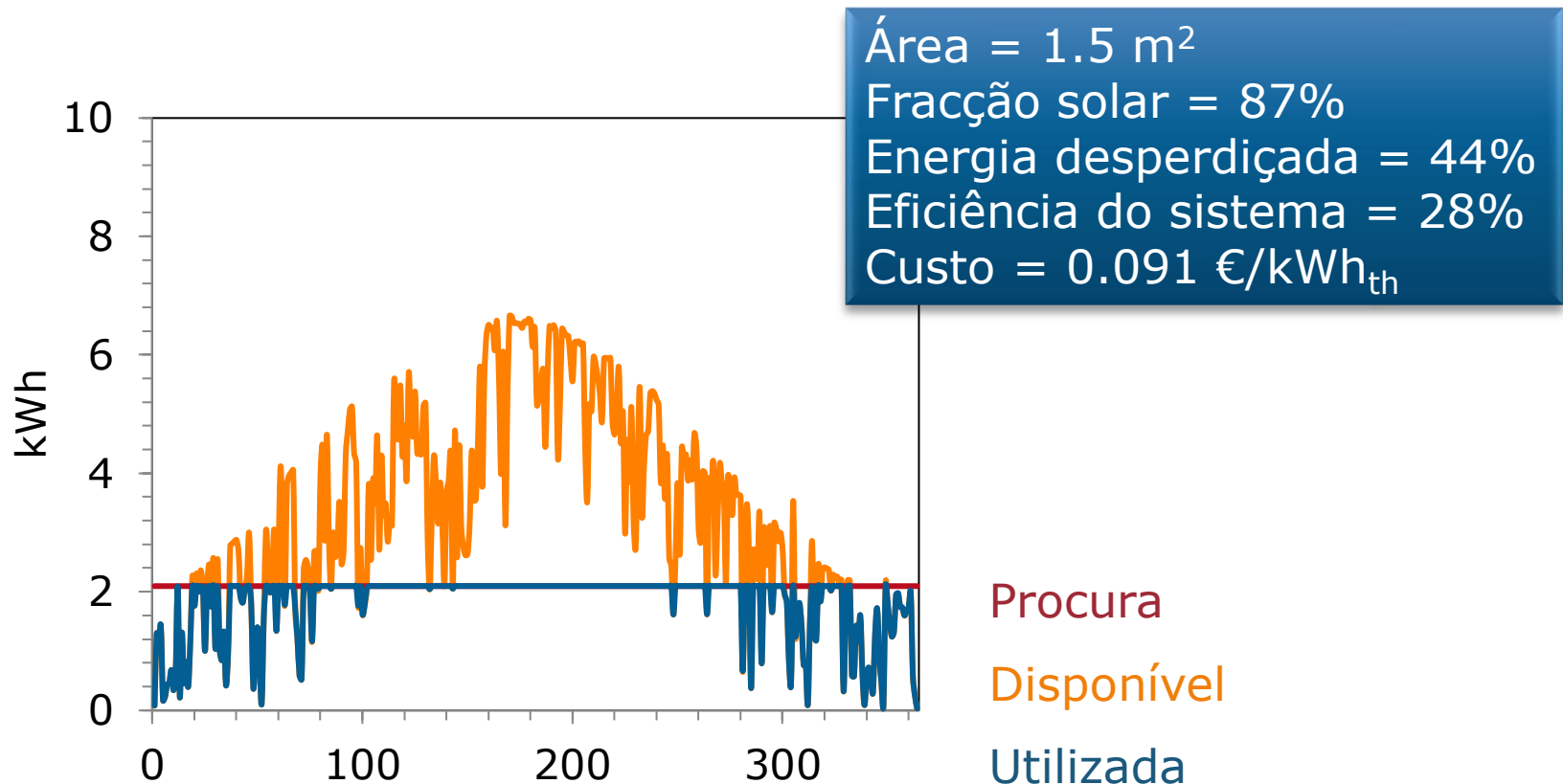
A eficiência depende da procura!

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



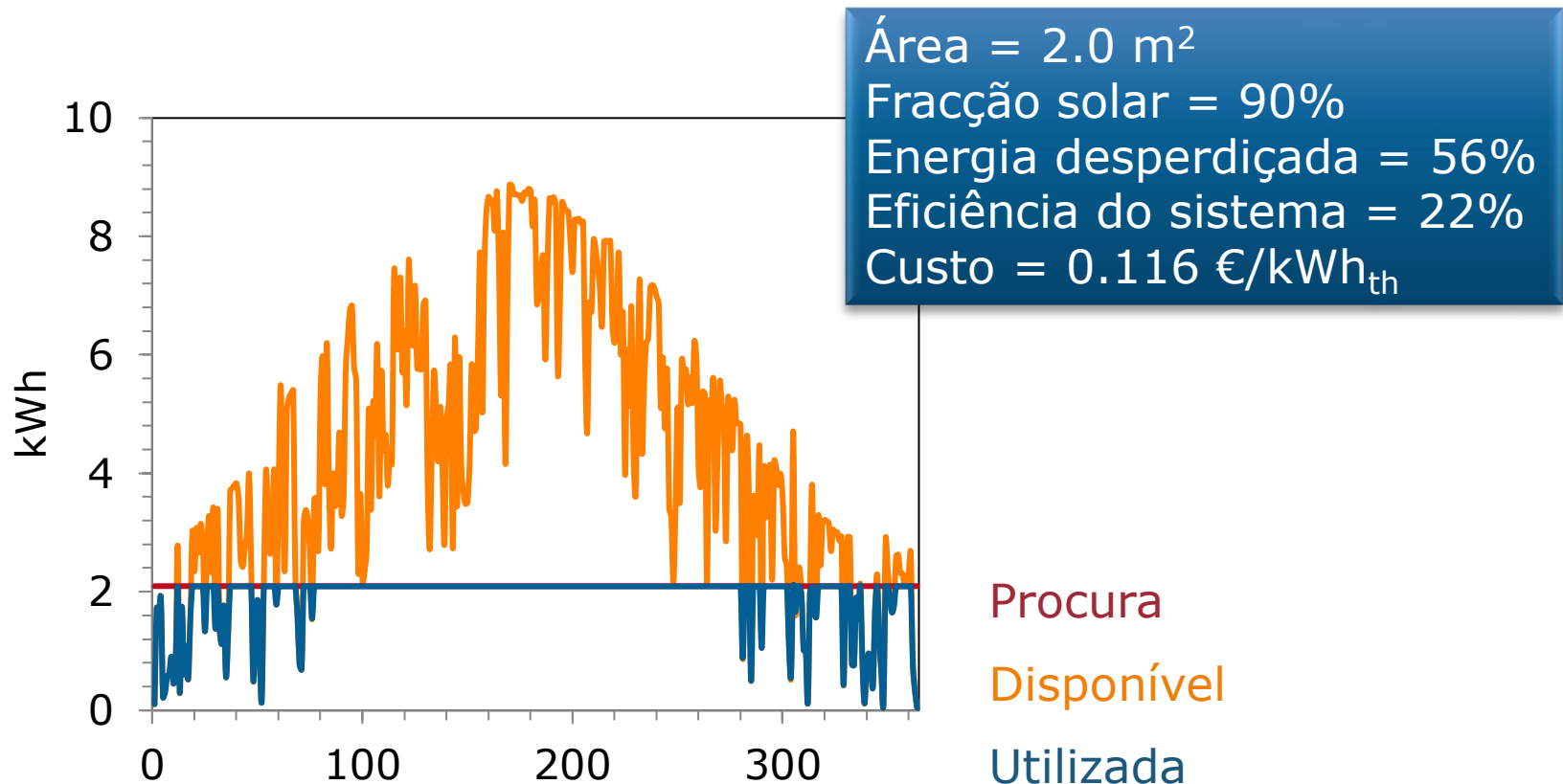
A eficiência depende da procura!

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



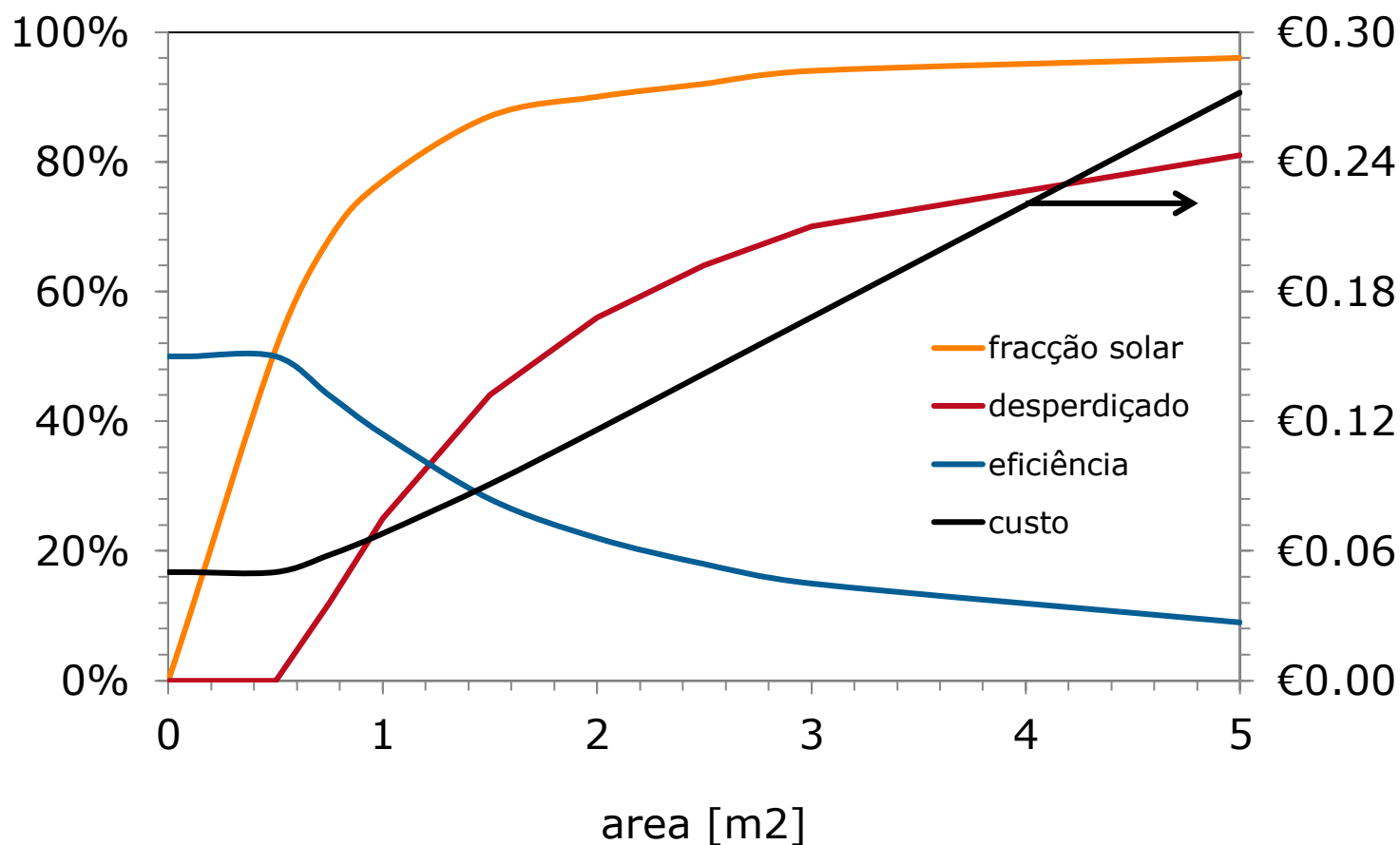
A eficiência depende da procura!

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

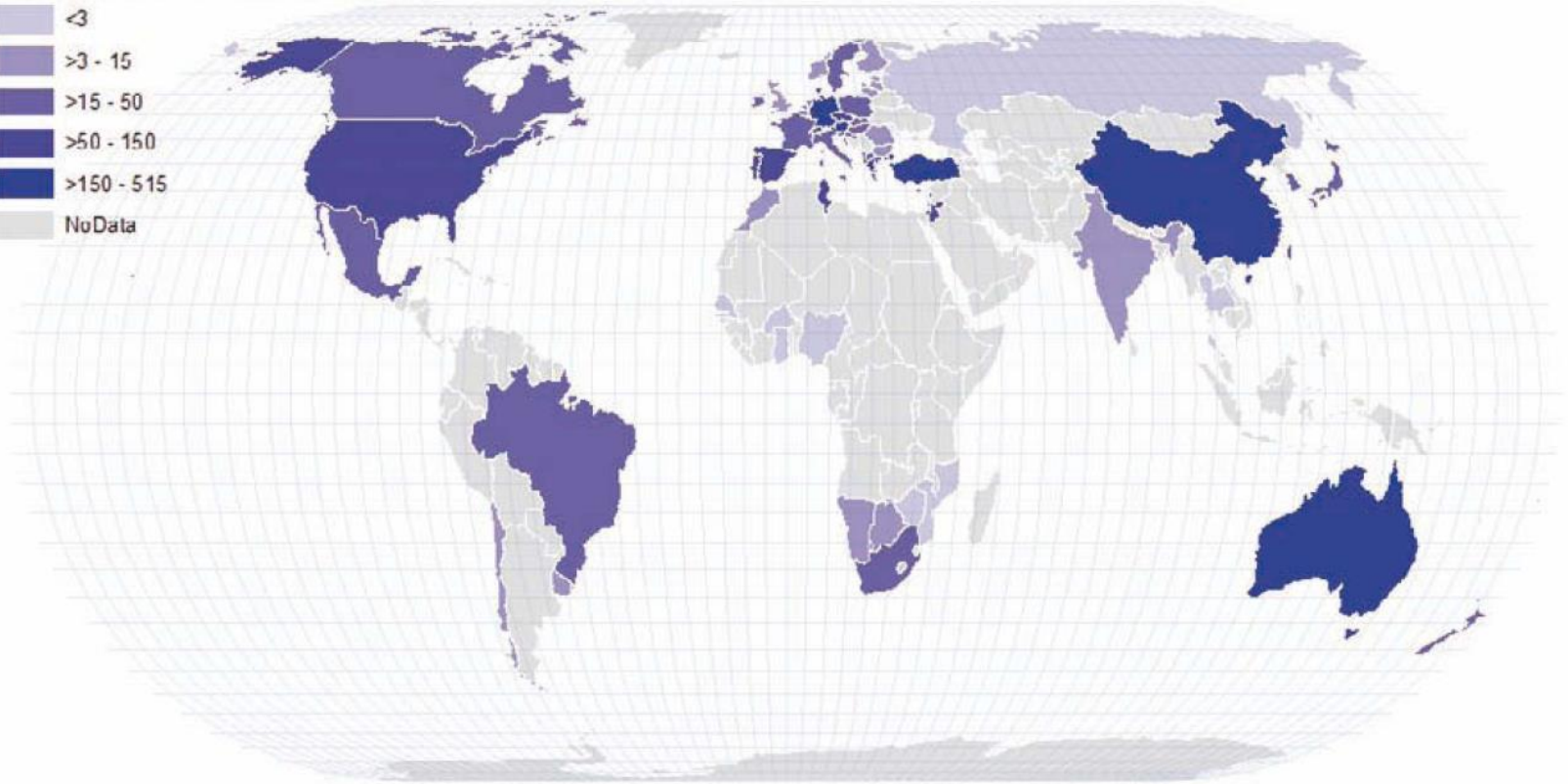
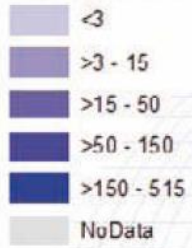


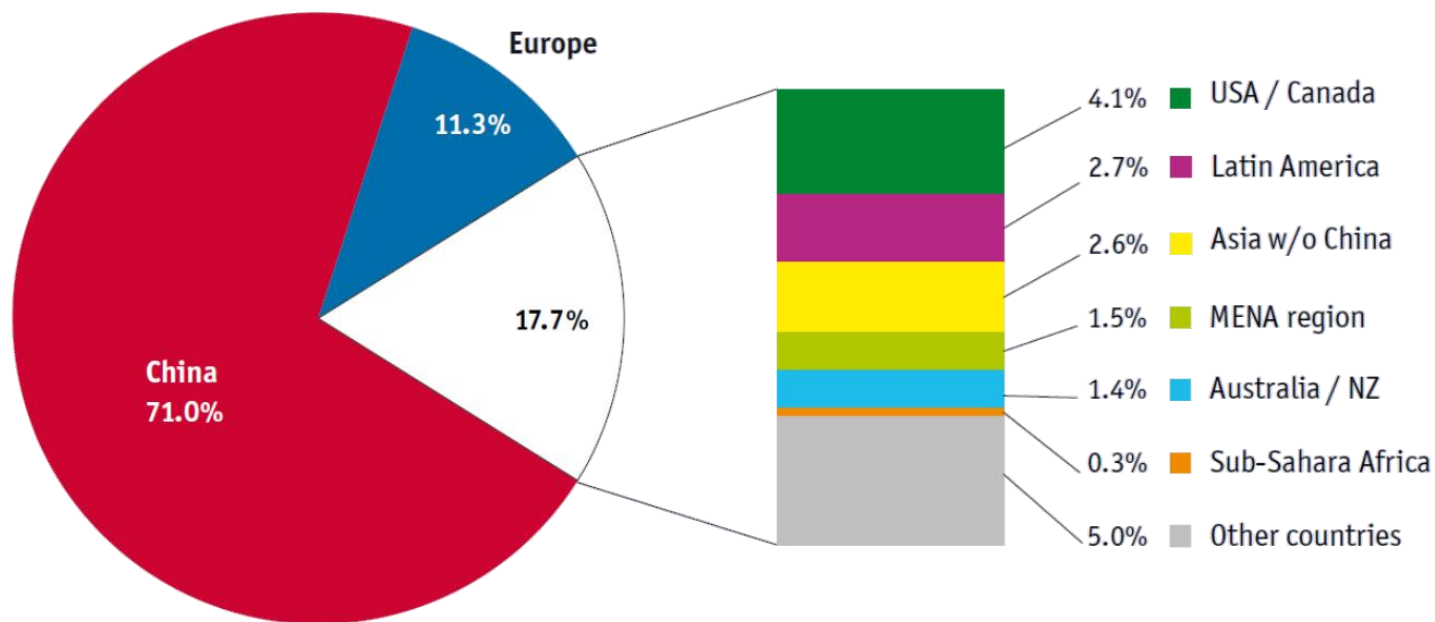
A eficiência depende da procura!

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



Cumulated installed capacity in kW per 1,000 inhabitants (2016)





Sub-Sahara Africa:

Botswana, Burkina Faso, Ghana, Lesotho, Mauritius, Mozambique, Namibia, Senegal, South Africa, Zimbabwe

Asia w/o China:

India, Japan, South Korea, Taiwan, Thailand

Latin America:

Barbados, Brazil, Chile, Mexico, Uruguay

Europe:

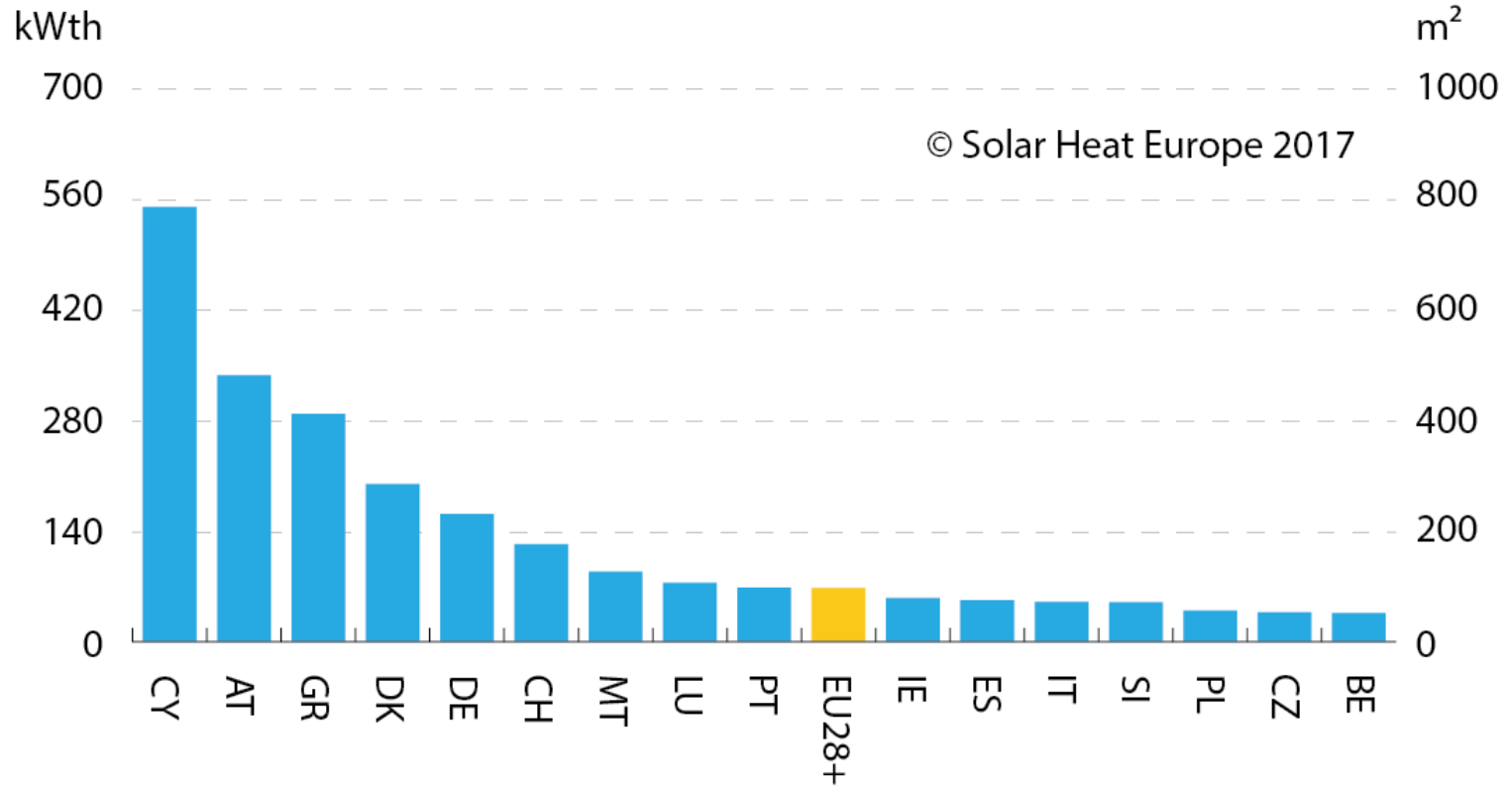
EU 28, Albania, Macedonia, Norway, Russia, Switzerland, Turkey

MENA countries:

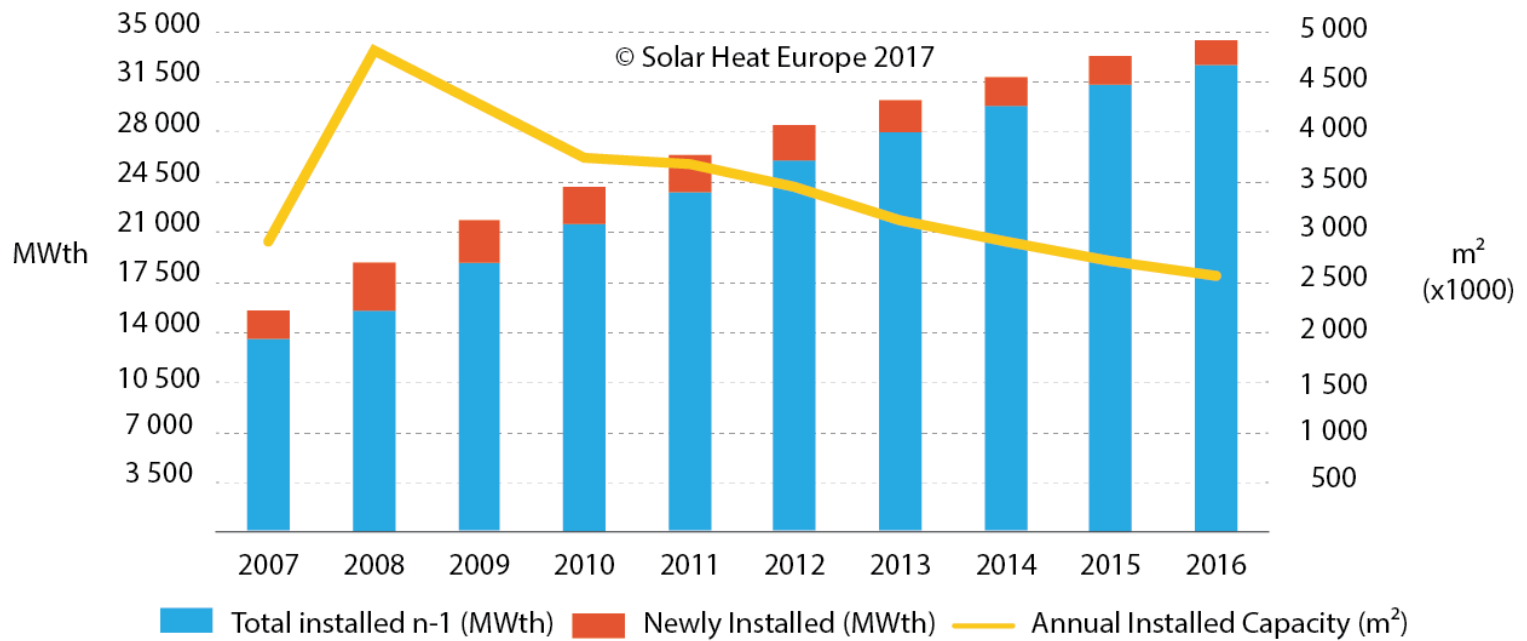
Israel, Jordan, Lebanon, Morocco, Palestinian Territories, Tunisia

Share of the total installed capacity in operation (glazed and unglazed water and air collectors) by economic region in 2016

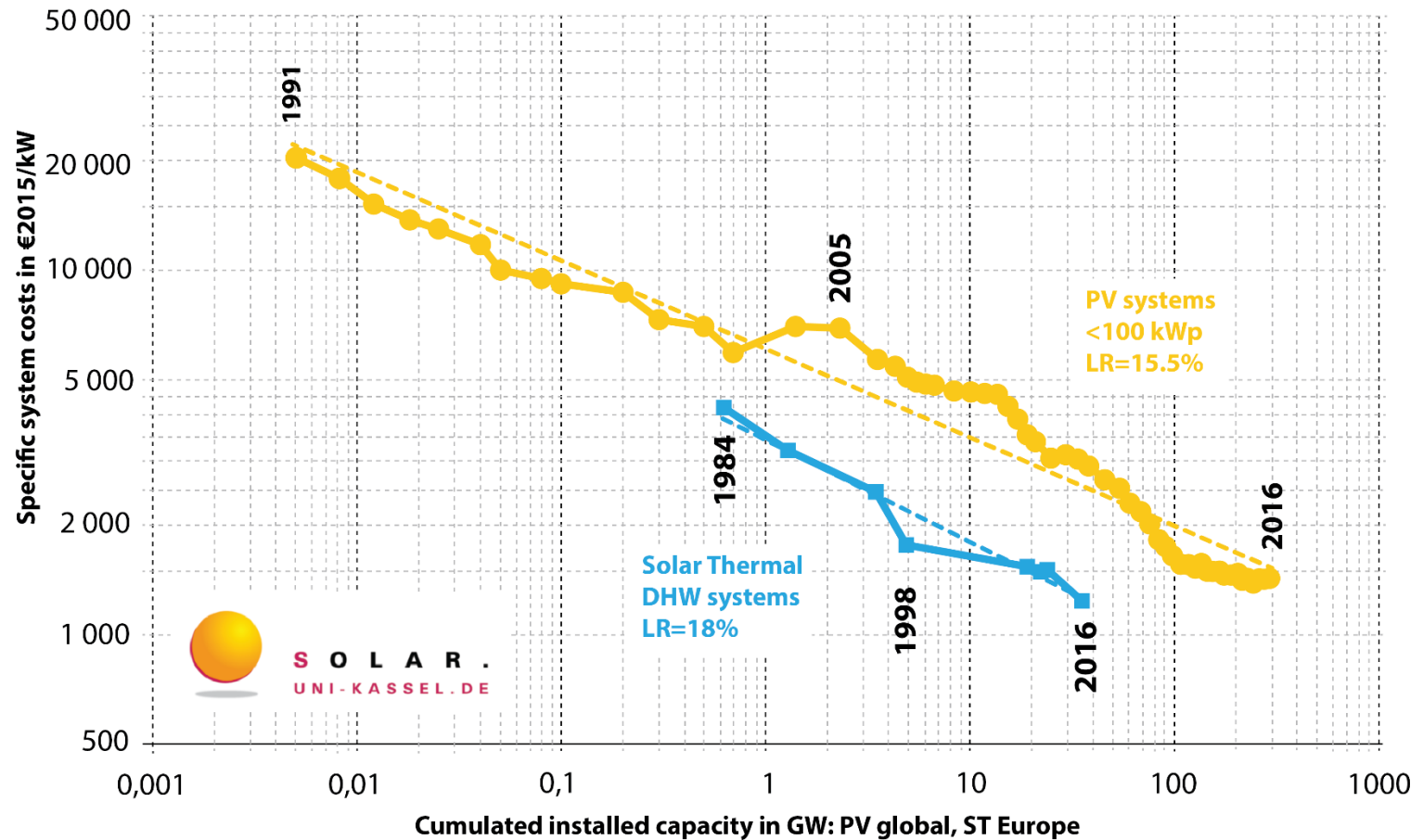
Solar Thermal Capacity in Operation (per 1000 Capita)



Solar Thermal Market in EU28 and Switzerland Total and Newly Installed Capacity (glazed collectors)

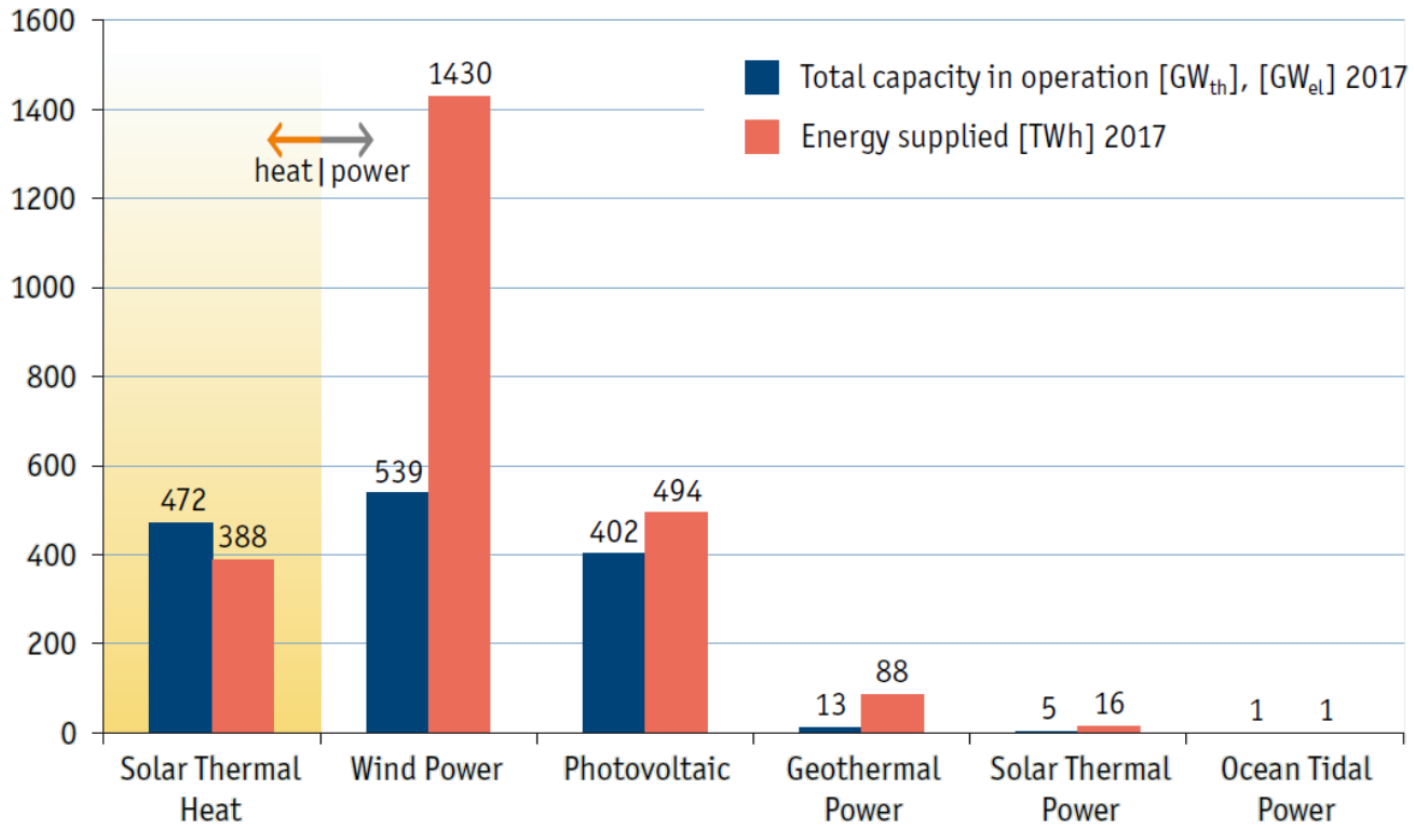


Learning curves of PV and solar thermal systems in Germany



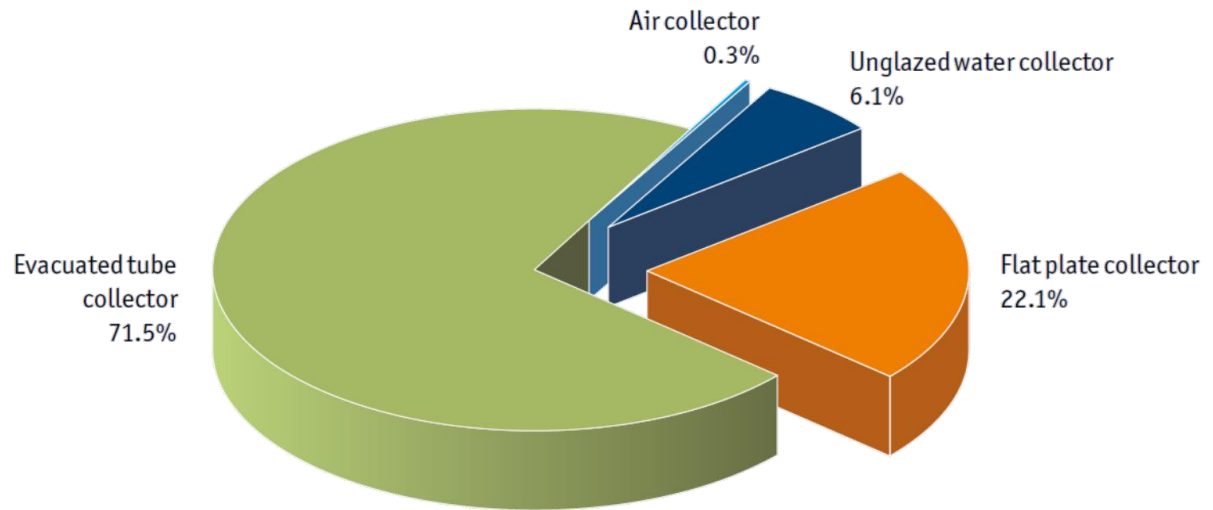
The turnkey system costs without subsidies and VAT show similar learning rates for PV and Solar Thermal. The stronger market development of PV lead, however, to larger absolute price reductions. Credits: University of Kassel 2017

Global capacity in operation [GW_{el}], [GW_{th}], and energy supplied [TWh_{el}], [TWh_{th}], 2017



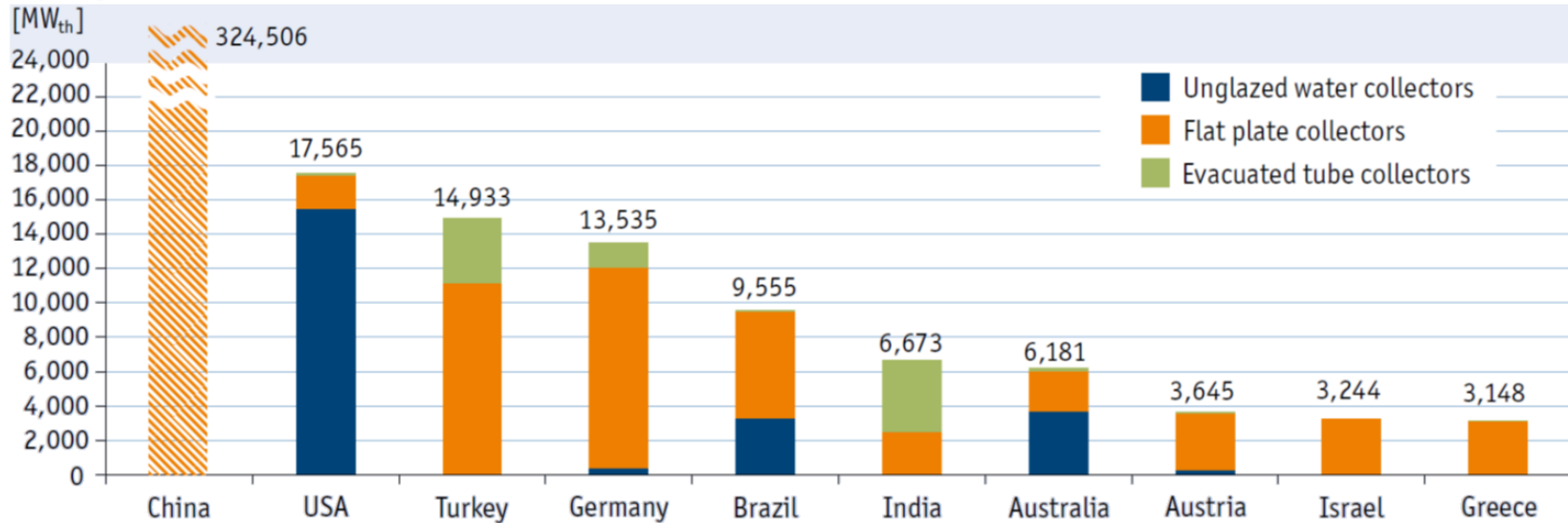
Global capacity in operation [GW_{el}], [GW_{th}] 2017 and annual energy yields [TWh_{el}], [TWh_{th}].

(Sources: AEE INTEC, Global Wind Energy Council (GWEC), SolarPower Europe, REN21 – Global Status Report 2018)

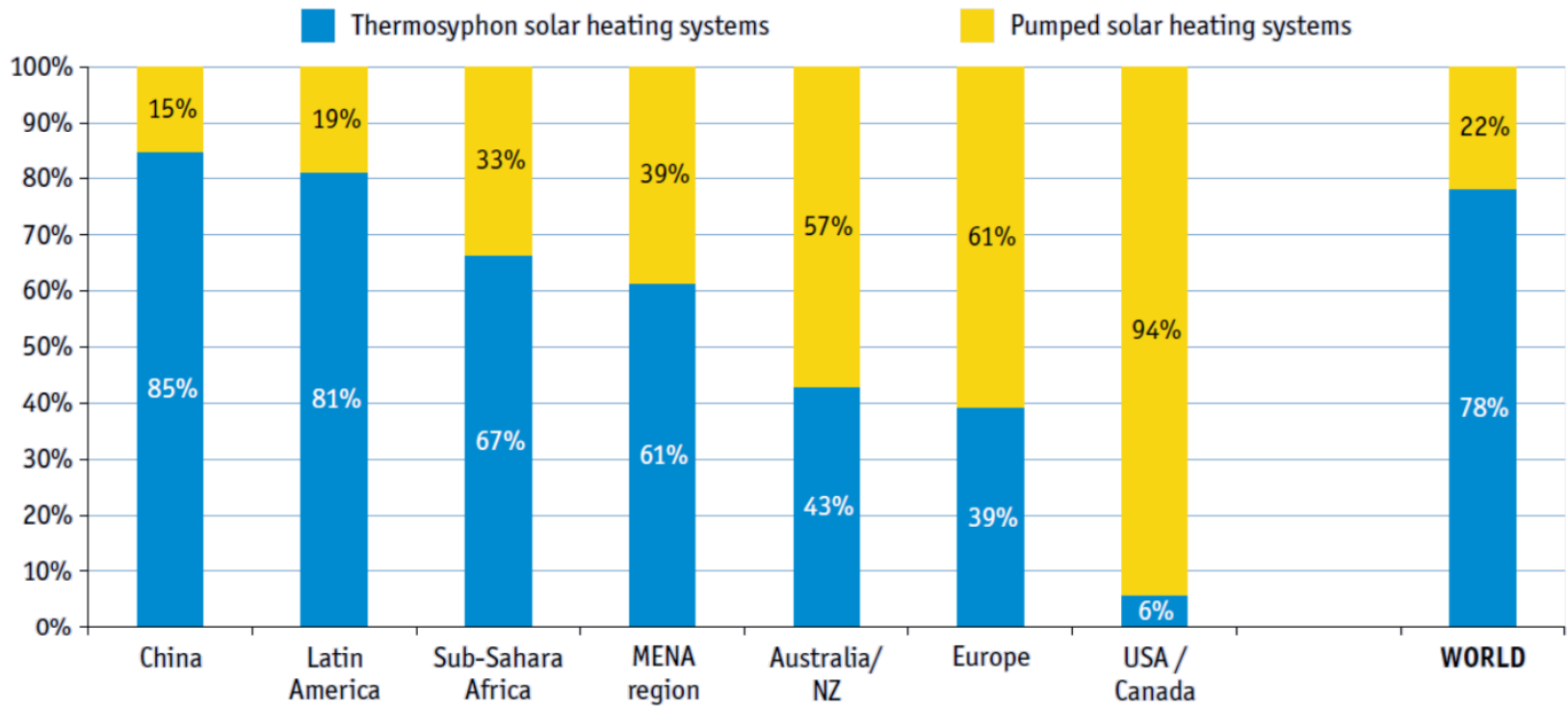


Distribution of the total installed capacity in operation by collector type in 2016 - WORLD

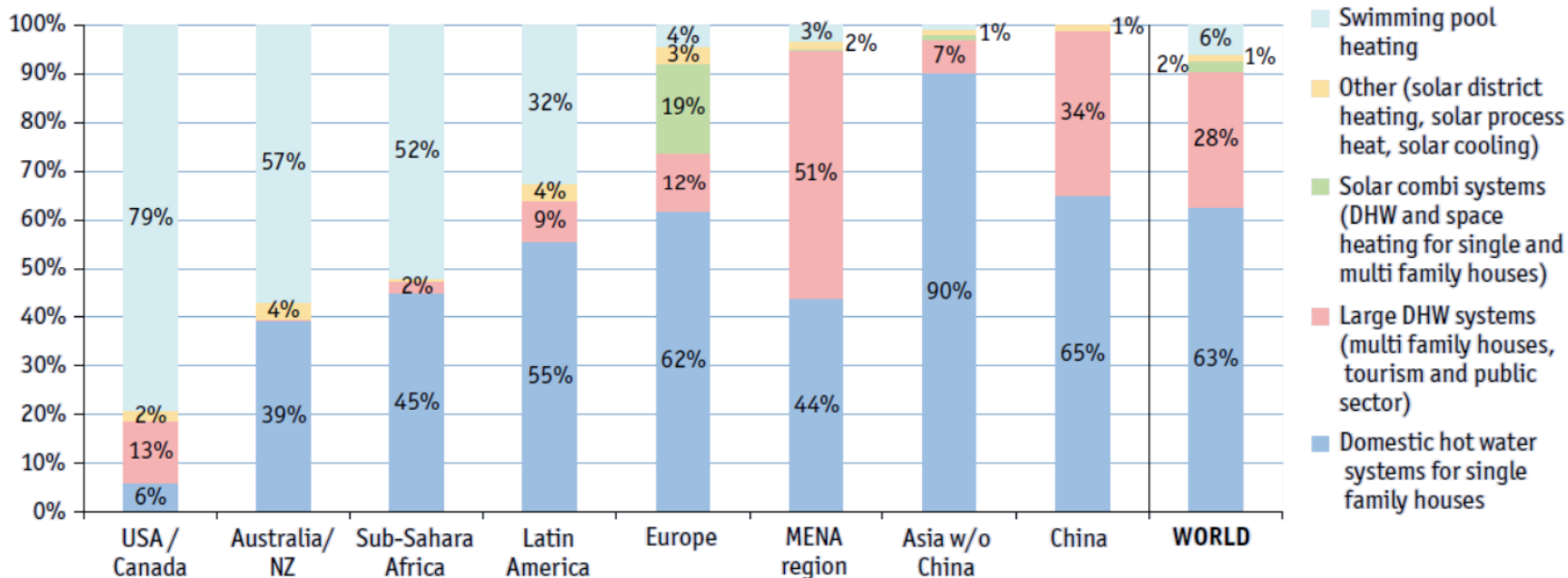
Capacity



Top 10 countries of cumulated water collector installations (absolute figures in MW_{th}) 2016



Distribution by type of system for the total installed glazed water collector capacity in operation by the end of 2016



Sub-Sahara Africa:

Asia w/o China:

Latin America:

Europe:

MENA countries:

Botswana, Burkina Faso, Ghana, Lesotho, Mauritius, Mozambique, Namibia, Senegal, South Africa, Zimbabwe

India, Japan, South Korea, Taiwan, Thailand

Barbados, Brazil, Chile, Mexico, Uruguay

EU 28, Albania, Macedonia, Norway, Russia, Switzerland, Turkey

Israel, Jordan, Lebanon, Morocco, Palestine, Tunisia

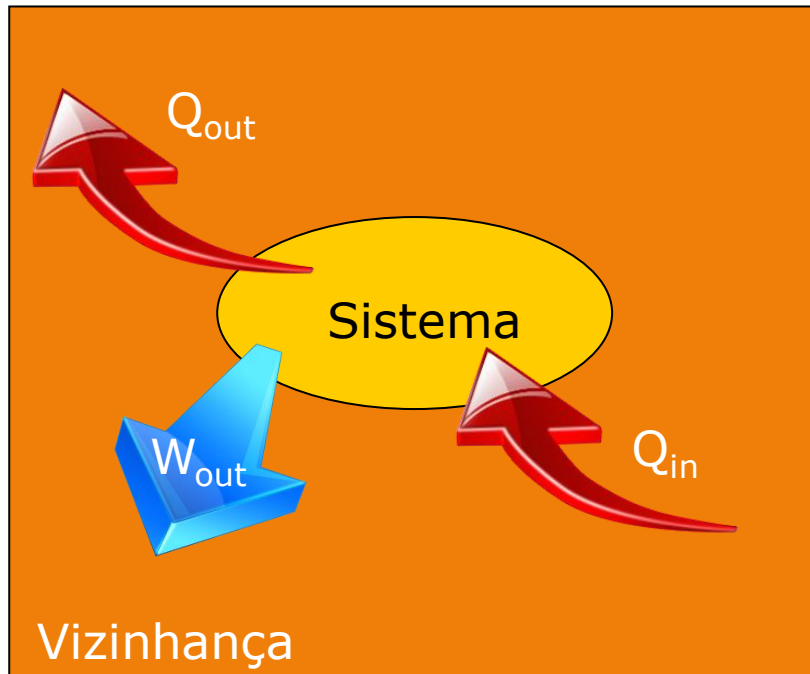
Distribution of solar thermal systems by application for the total installed water collector capacity by economic region in operation by the end of 2016

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

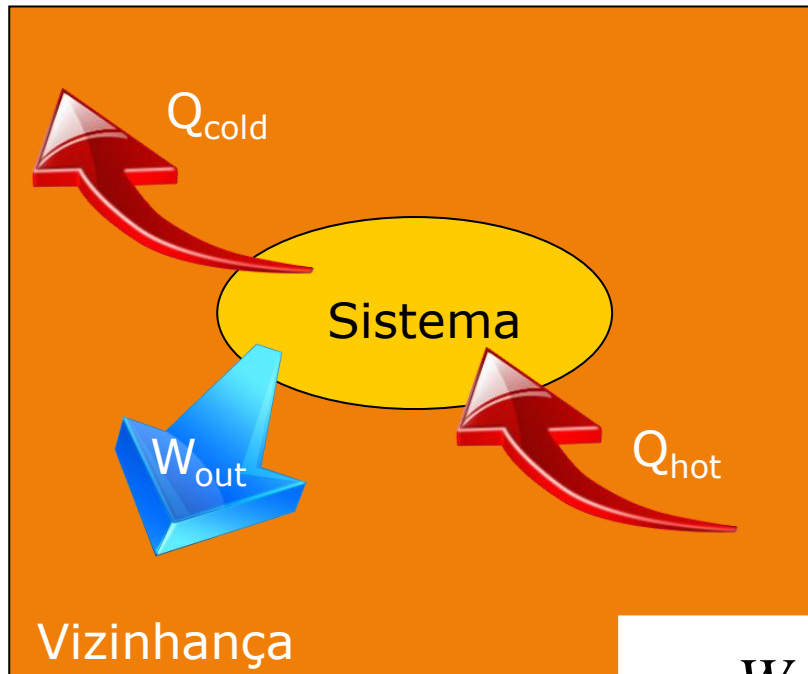
Como calculo o rendimento de uma máquina deste tipo?

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

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

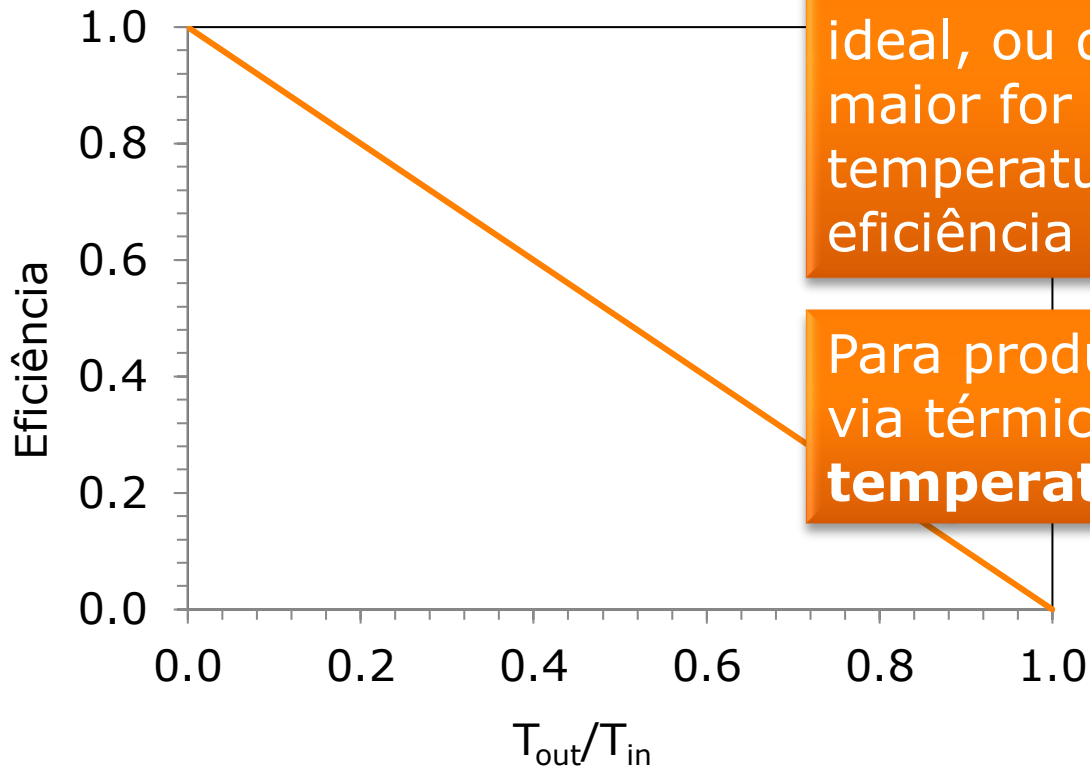
$$W_{out} = Q_{hot} - Q_{cold}$$

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



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

Produção de electricidade com uma máquina térmica



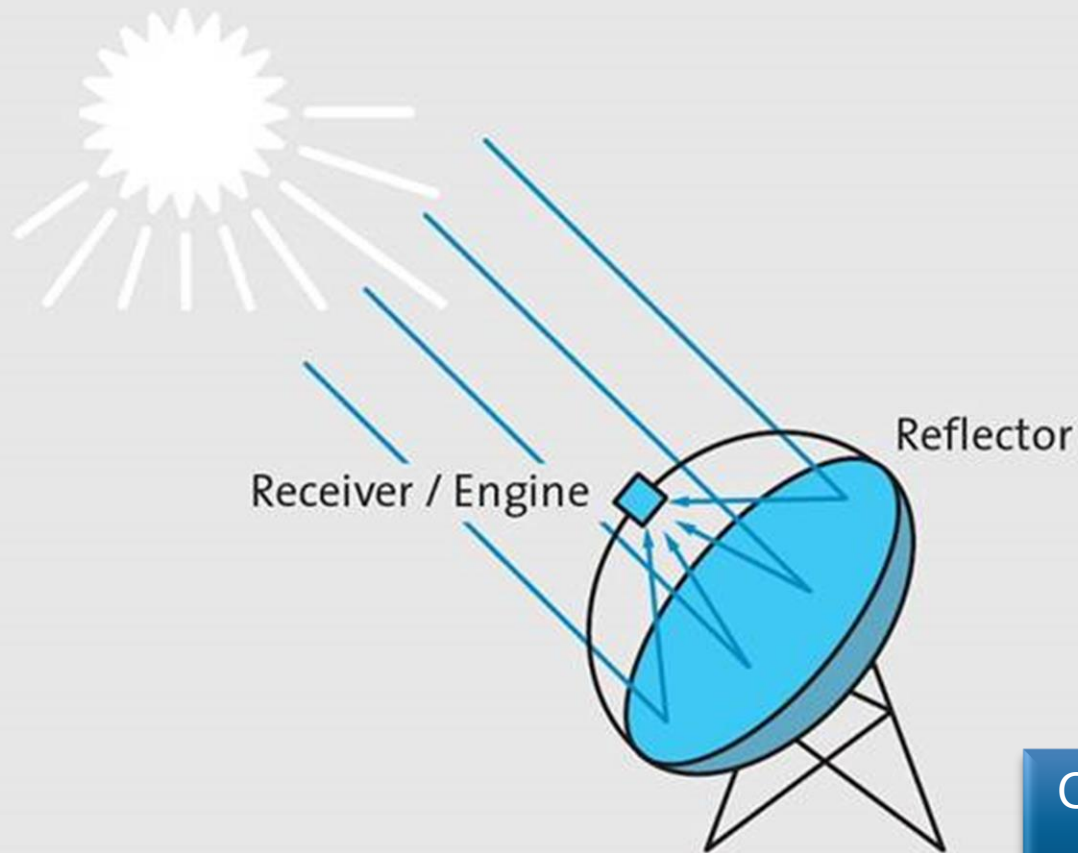
Para uma máquina térmica ideal, ou de Carnot, quanto maior for a diferença de temperatura maior será a eficiência

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

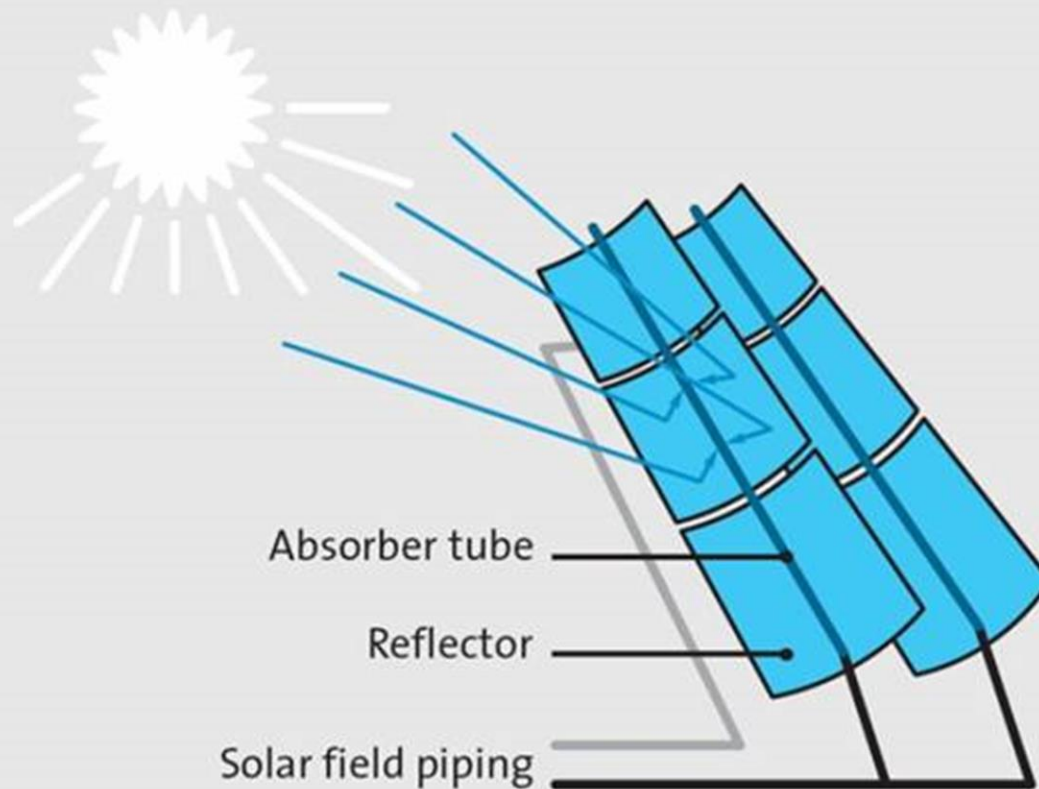
Pressão: 20-150bar

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

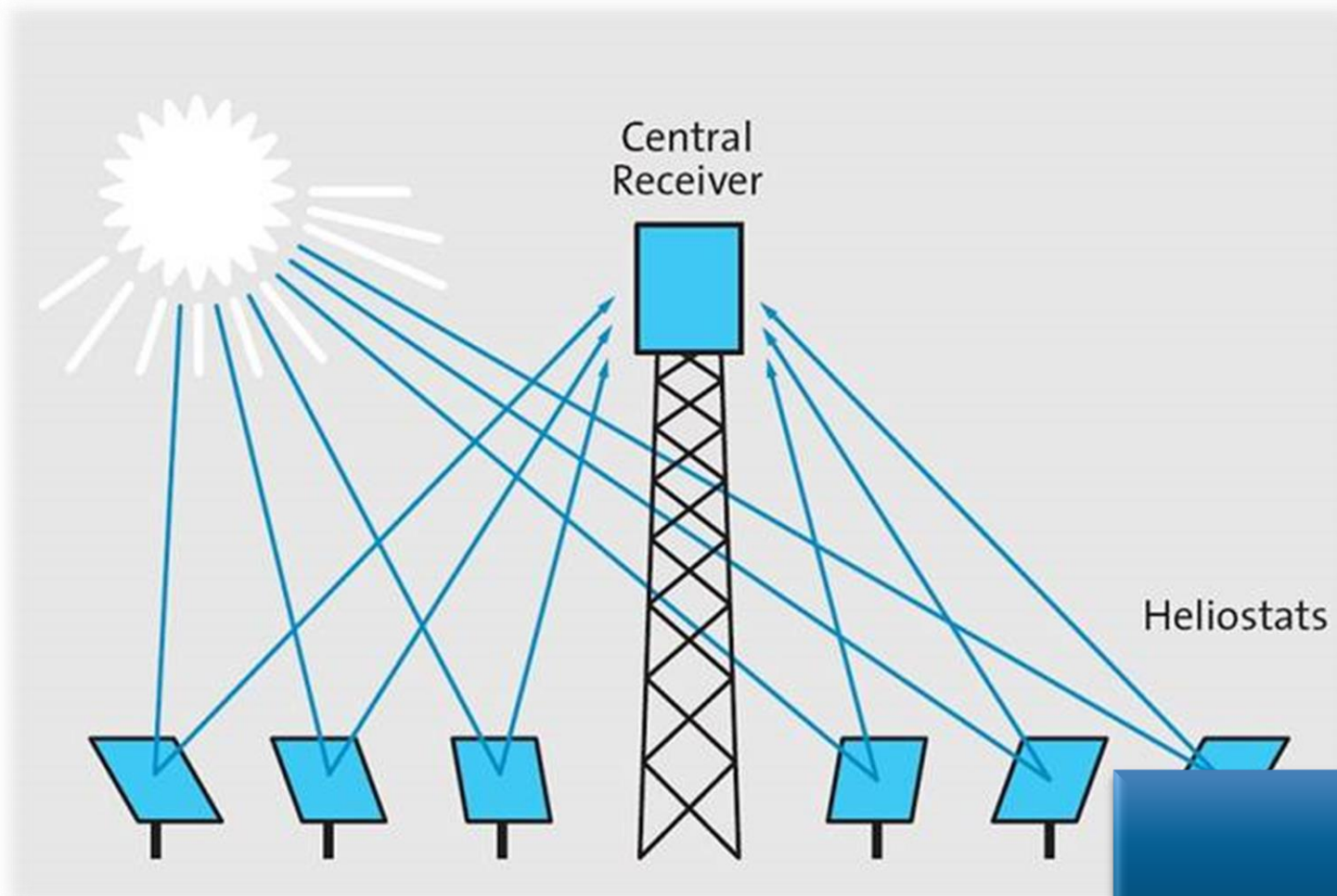
Tempo armazenagem: 0.5h

Custo: 266 M US\$

Concentradores
parabólicos
lineares

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



Torres
solares
com heliostato

Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar

Área ocupada: 60 hectares

624 superfícies reflectoras com 120 m^2

Superfície reflectora total: $75\,000 \text{ m}^2$

Temperatura do fluido: 250°C ,

Máquina vapor, ciclo Rankine

Eficiência solar-eléctrica: 17%

Capacidade armazenamento: 1h

Produção eléctrica: 24.3 GWh/ano

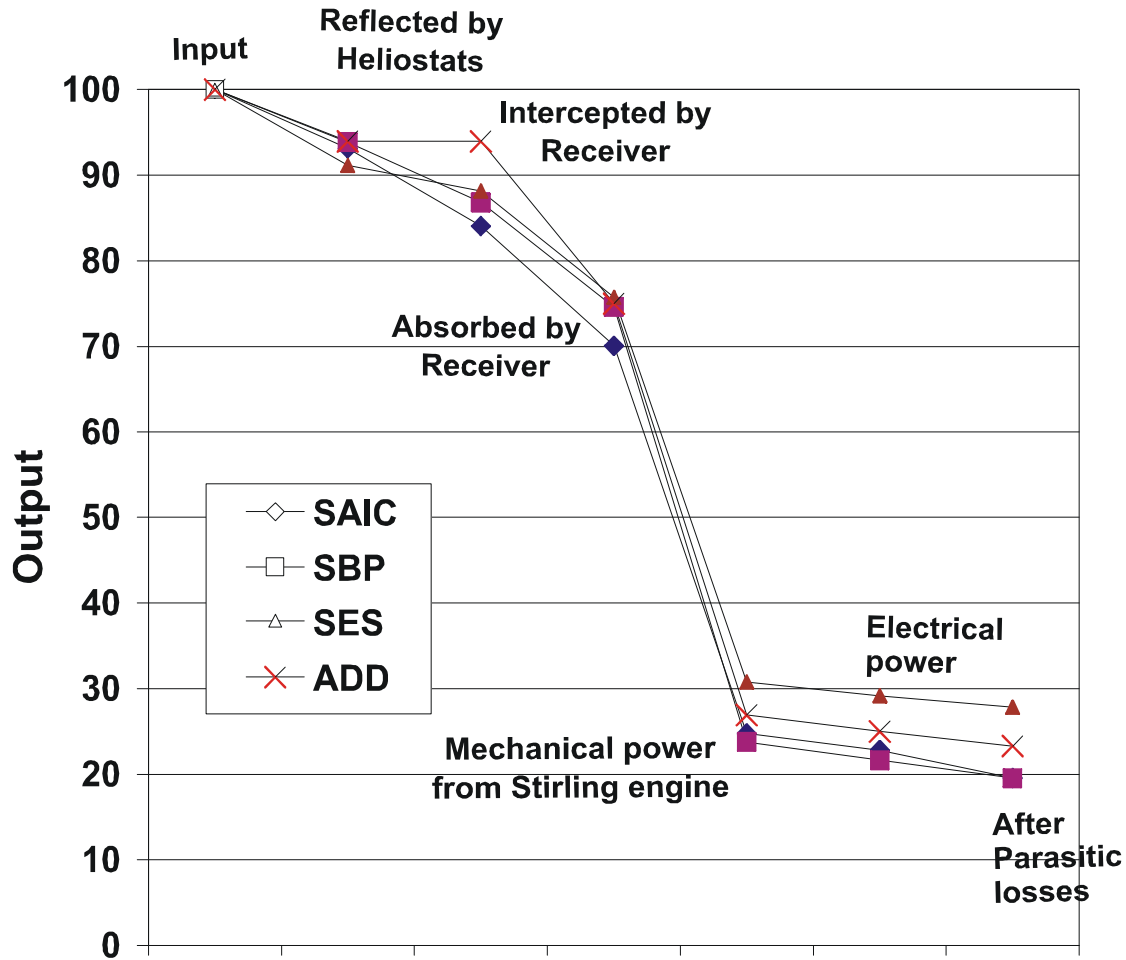
Custo: 35 M€



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:

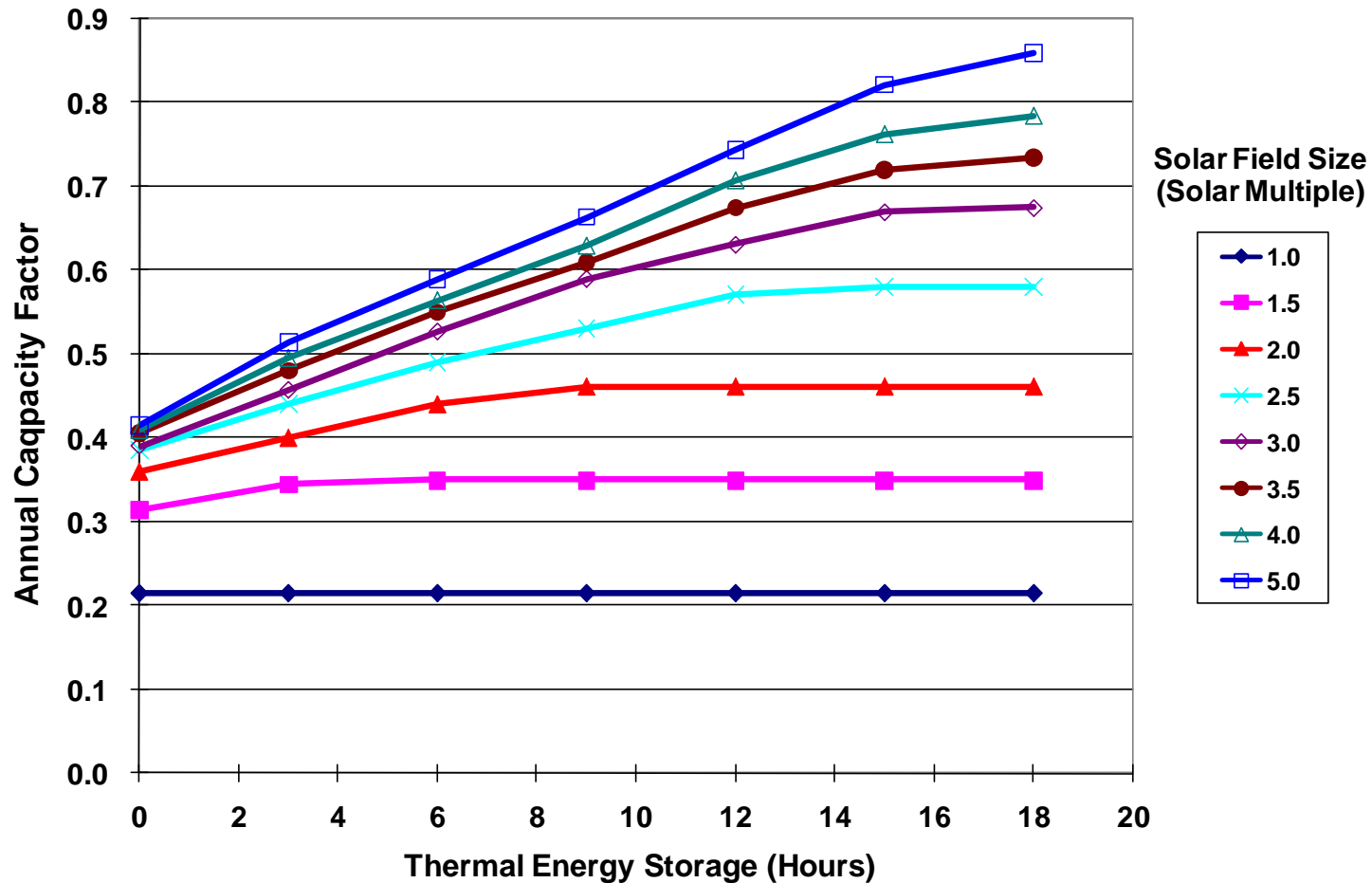
- Armazenamento de energia

Desvantagens relevantes:

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

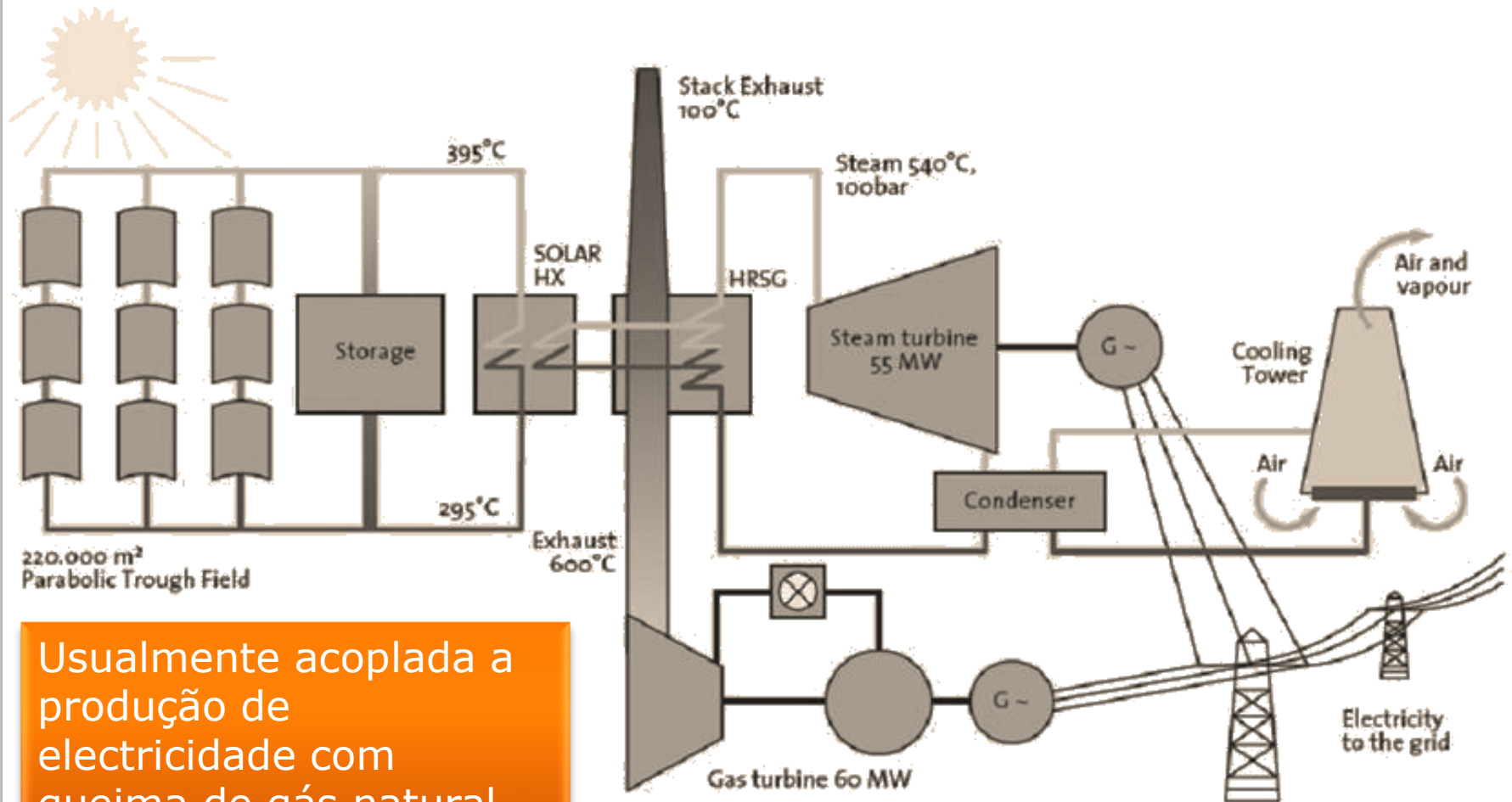
Produção de electricidade com uma máquina térmica

Com concentração de radiação solar



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