



# Sistemas de concentração solar em aplicações agro industriais

**João Farinha Mendes**

**João Pereira Cardoso**

[farinha.mendes@lneg.pt](mailto:farinha.mendes@lneg.pt)

**Unidade de Energia Solar**



GOVERNO DE  
PORTUGAL

MINISTÉRIO DA ECONOMIA  
E DO EMPREGO

**SOLAR**<sup>10</sup>  
**23,000** TW-yr per year

World energy use  
**16** TW-yr per year



TIDES<sup>1</sup>  
 0.3 per year

0.3 – 2 per year  
 Geothermal<sup>1,7</sup>

3 – 4 per year  
 HYDRO<sup>1,6</sup>

2 – 6 per year  
 Biomass<sup>1,5</sup>

3 – 11 per year  
 OTEC<sup>1,4</sup>

25-70 per year  
 WIND<sup>1,2</sup>  
 Waves<sup>1,3</sup>  
 0.2-2

900  
 Total reserve  
 COAL<sup>1,8</sup>

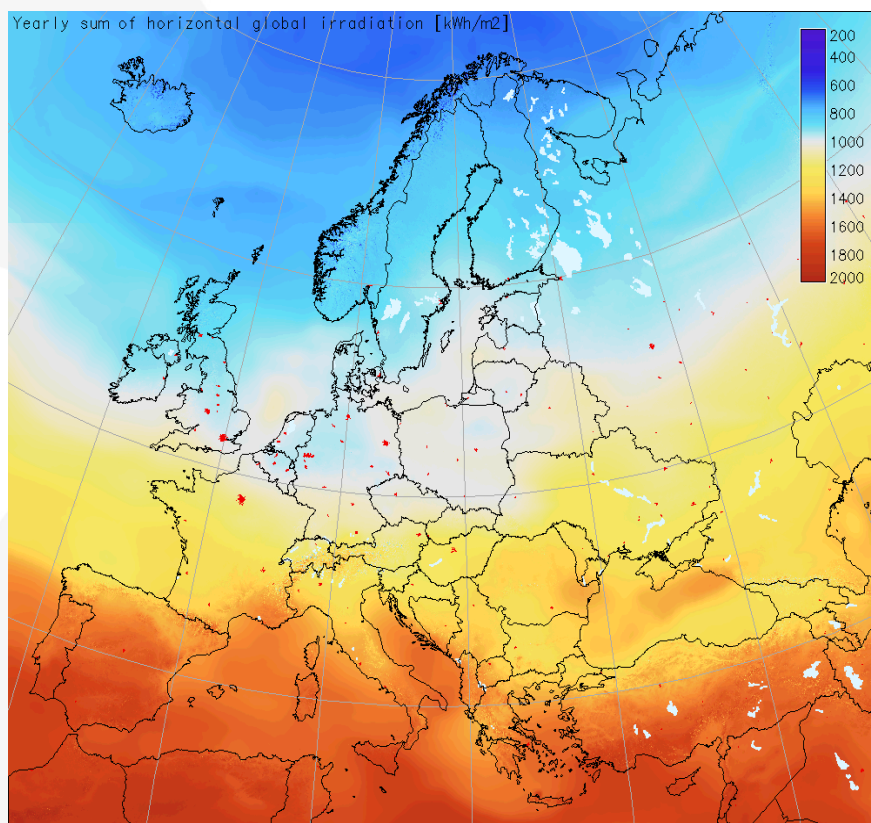
90-300  
 Total  
 Uranium<sup>1,9</sup>

240  
 total  
 Petroleum<sup>1,8</sup>

215  
 total  
 Natural Gas<sup>1,8</sup>

1. S. Heckerath, Renewables.com, adapted from Christopher Swan (1986): Sun Cell, Sierra Club Press
2. C. Archer & M. Jacobson, Evaluation of Global Wind Power – Stanford University, Stanford, CA
3. World Energy Council
4. G. Nihous, An Order-of-Magnitude Estimate of Ocean Thermal Energy Conversion Resources, Journal of Energy Resources Technology – December 2005 – Volume 127, Issue 4, pp. 328-333
5. R. Whittaker (1975). The Biosphere and Man – in Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag, 305-328. ISBN 0-3870-7083-4.
6. Environmental Resources Group, LLC <http://www.erg.com/np/hydro-power-global.php>
7. MIT/INEL The Future of Geothermal Energy– Impact of Enhanced Geothermal Systems [EGS] on the U.S. in the 21st Century [http://www1.eere.energy.gov/geothermal/egs\\_technology.html](http://www1.eere.energy.gov/geothermal/egs_technology.html)
8. BP Statistical Review of World Energy 2007
9. <http://www.wise-uranium.org/stk.html?src=stk003e>
10. Solar energy received by emerged continents only, assuming 65% losses by atmosphere and clouds

# Portugal dispõe de recurso solar excelente com uma muito boa componente de Radiação Solar Directa (DNI)



## Elevado factor solar anual

- PV (Microgeração): 1550 h/ano
- PV (Centrais) : 2050 h/ano
- CSP (c/armazenamento): 3300 h/ano
- CSP (s/armazenamento): 2850 h/ano

# Competências desenvolvidas desde o início dos anos 80 no desenvolvimento de tecnologias de conversão térmica da radiação solar a baixa, média e alta temperatura

100°C

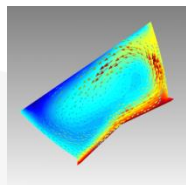
400°C

>1000°C

secagem solar

aquecimento de água

cozinhas solares



arrefecimento solar

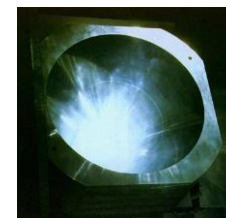
produção de vapor industrial

power (Organic Rankine)

power (Steam Rankine)

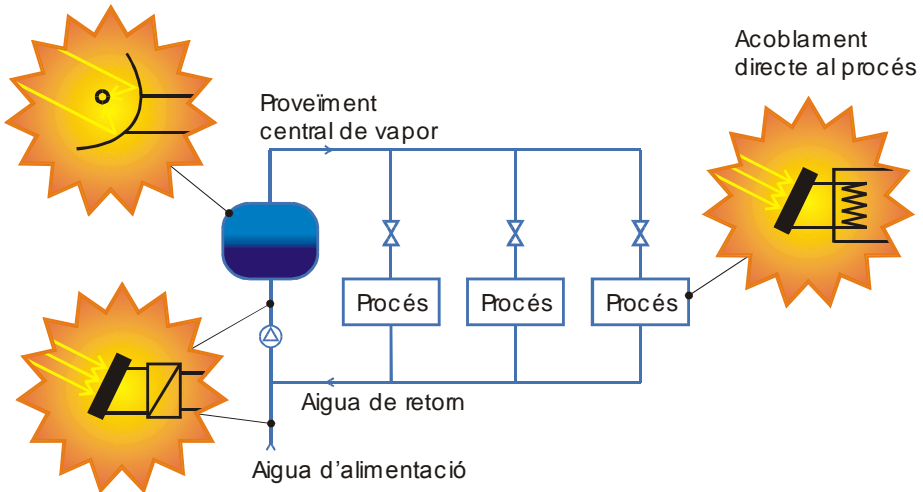
materiais' fusão/sublimação

produção de hidrogénio

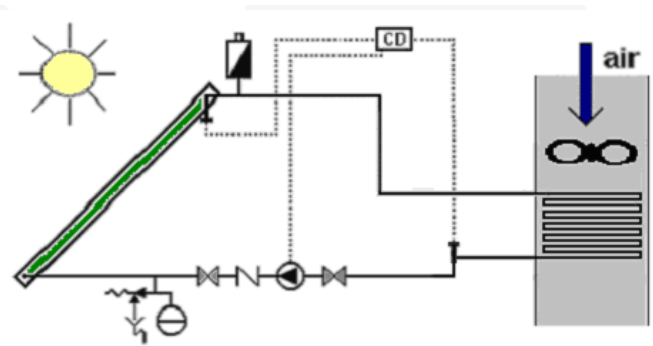


# Energia Solar na Indústria

Generació de vapor



Preescalfament de l'aigua d'alimentació



The Potential of Solar Heat in Industrial Processes  
 O Potencial da Energia Solar no Color-de-Processo Industrial

**ENERGIA SOLAR em PROCESSOS INDUSTRIAIS**

A actual tecnologia dos colectores solares já permite a obtenção de calor a temperaturas entre 80°C e 250°C com um excelente rendimento.





Em muitos processos industriais é necessário calor a estas temperaturas: produção de vapor, lavagem, secagem, destilação, pasteurização, etc..

A grande dimensão das instalações industriais permite a aplicação de sistemas de baixo custo com uma boa rentabilidade económica.

Os campos de colectores solares podem ser integrados nas coberturas das naves industriais, ou instalados em terreno anexo disponível.

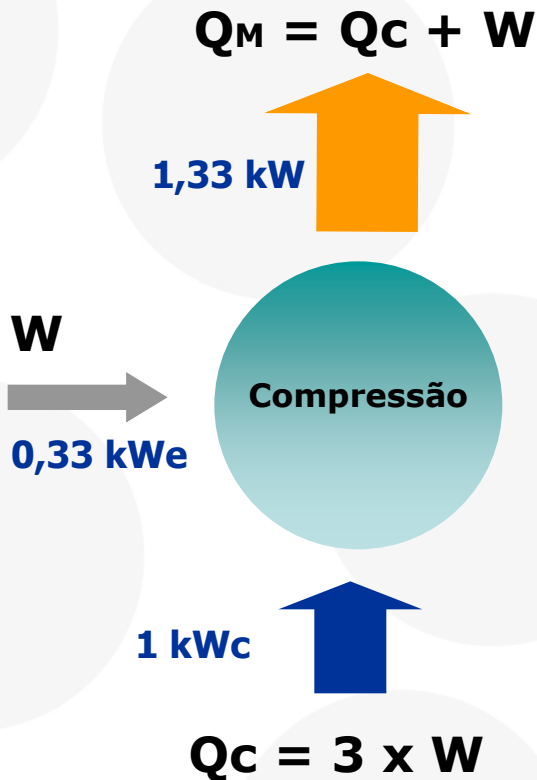
EUROPEAN COMMISSION  
DIRECTORATE GENERAL  
ENERGY AND TRANSPORT  
Energy technology

# Tecnologias de Frio com Energia Solar

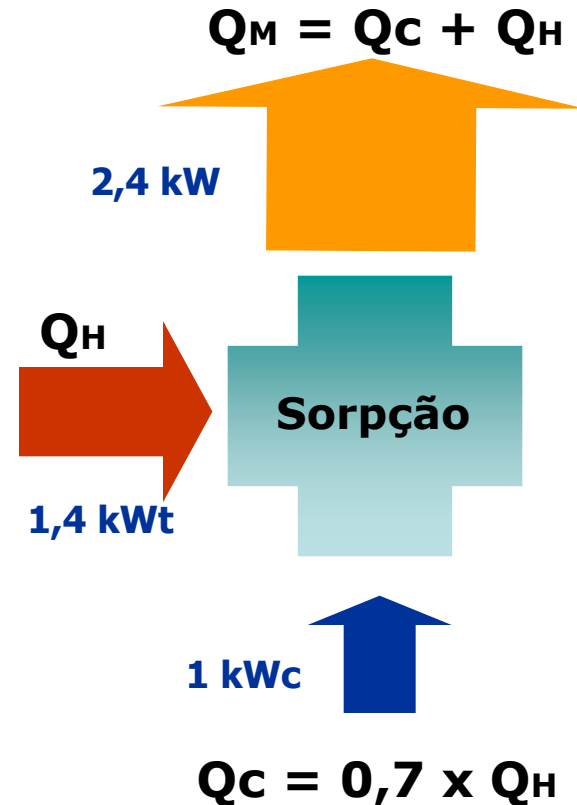
| Método                                      | Ciclo fechado   |  | Ciclo aberto  |   |
|---|---|--|---|---|
| Ciclo do refrigerante                       | Ciclo do refrigerante fechado   |  | O refrigerante (água) está em contacto com a atmosfera                              |   |
| Princípio                                   | Água refrigerada  |  | Desumidificação do ar e arrefecimento evaporativo                                   |   |
| Fase do sorvente                            | sólido  | líquido  | sólido  | líquido   |
|   |  |  |  |  |
| Mistura utilizada                           | água - sílica gel   | Água - Brometo de lítio<br>Amoníaco - água   | Água - sílica gel<br>Água - cloreto de lítio  | Água - cloreto de cálcio<br>Água - cloreto de lítio                                 |
| Tecnologia disponível no mercado            | <i>Chiller Adsorção</i>   | <i>Chiller Absorção</i>  | Sistema excitante-evaporativo   | Próximo de introdução no mercado  |
| Gama de potência de arrefecimento (kW frio) | 50 – 430 kW   | 15 kW – 5 MW   | 20 kW – 350 kW (por módulo)   |   |
| COP nominal                                 | 0.5 – 0.7   | 0.6 – 0.75 (efeito simples)  | 0.5 – >1  | > 1   |
| Temperatura de funcionamento                | 60 – 90 °C  | 80 – 110 °C  | 45 – 95 °C  | 45 – 70 °C  |
| Colectores Solares                          | Tubos de vácuo, tipo CPC, planos  | Tubos de vácuo, tipo CPC, planos selectivos  | Planos, colectores a ar   | Planos, colectores a ar   |

# Ciclos de arrefecimento

## ■ Compressão

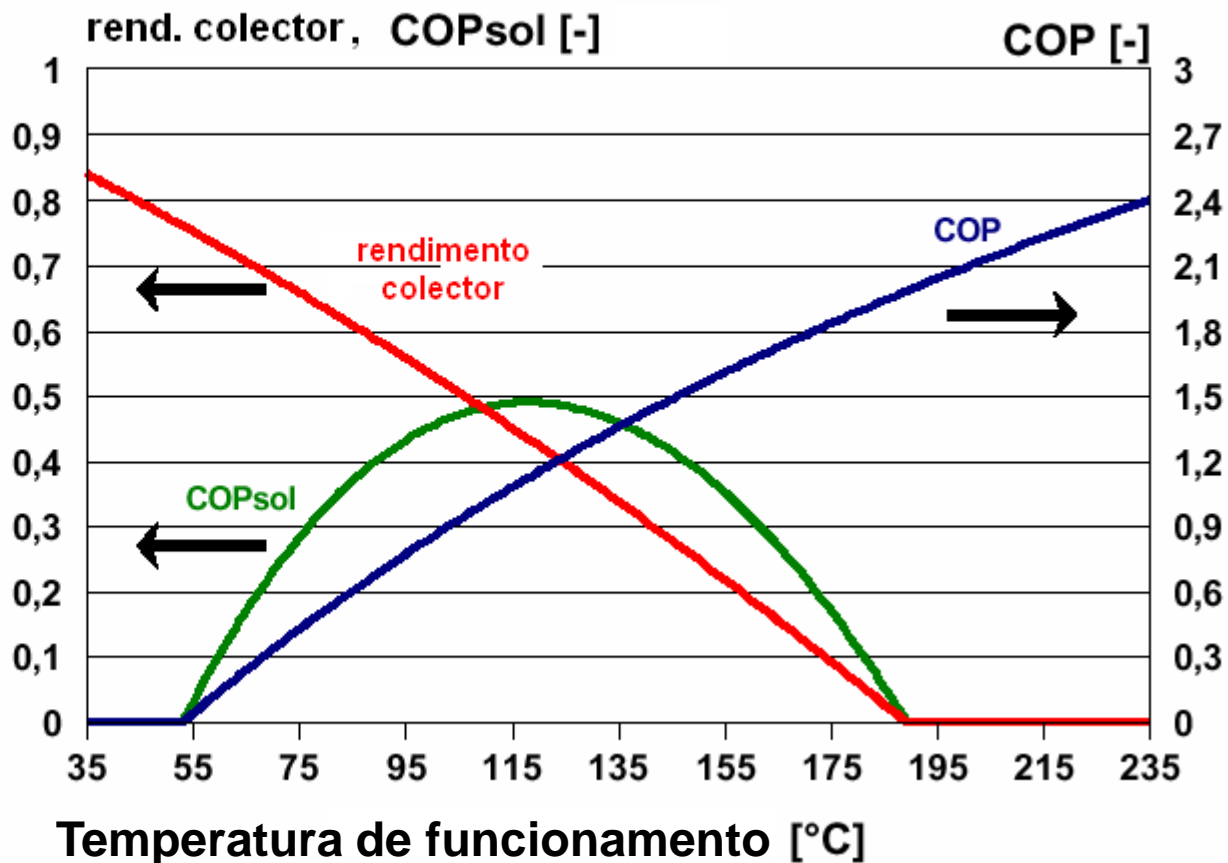


## ■ Sorpção



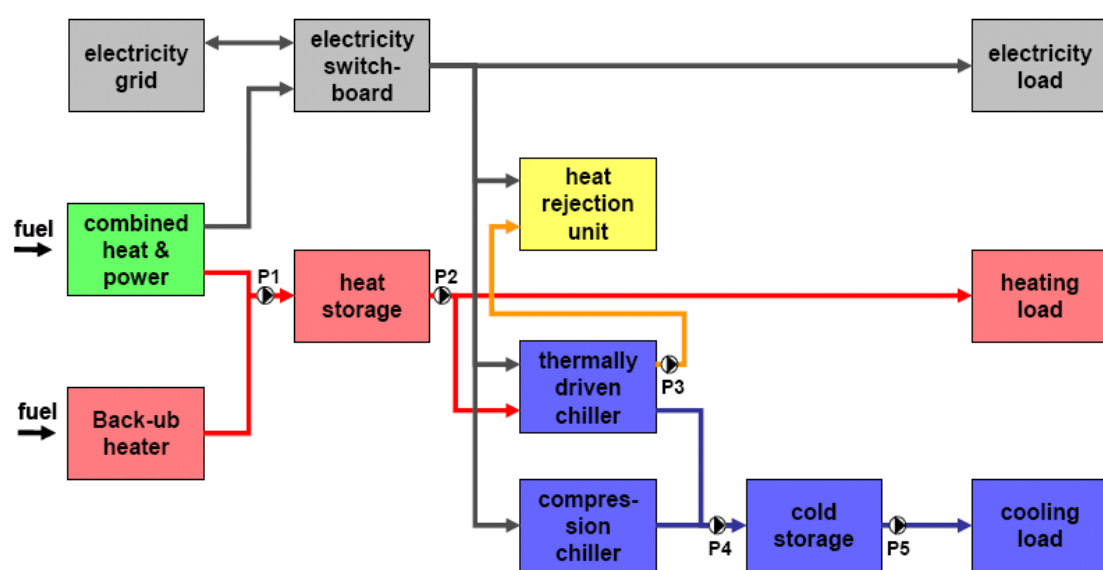
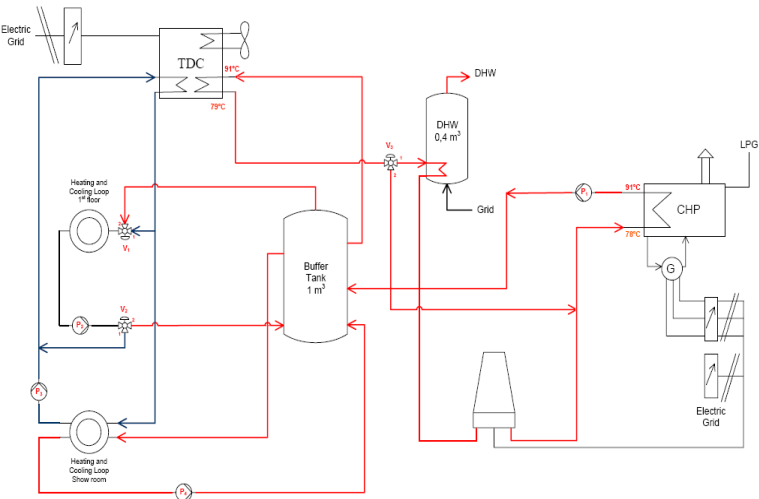
# Arrefecimento com Energia Solar

COP máximo das máquinas arrefecimento

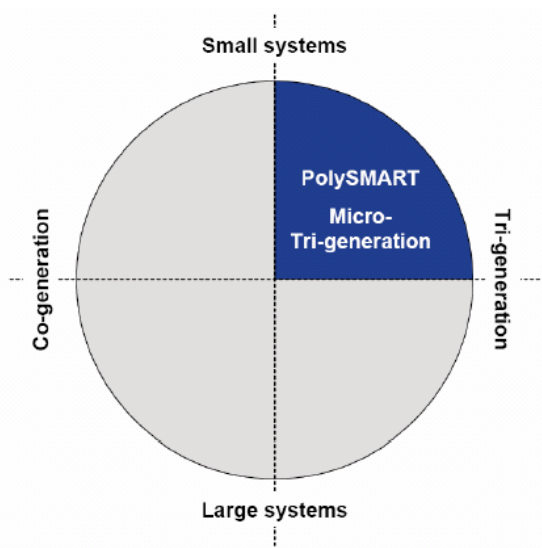


$$\text{COP}_{\text{sol}} = \text{COP} * \eta_{\text{colector}}$$

Fontee : Fraunhofer ISE



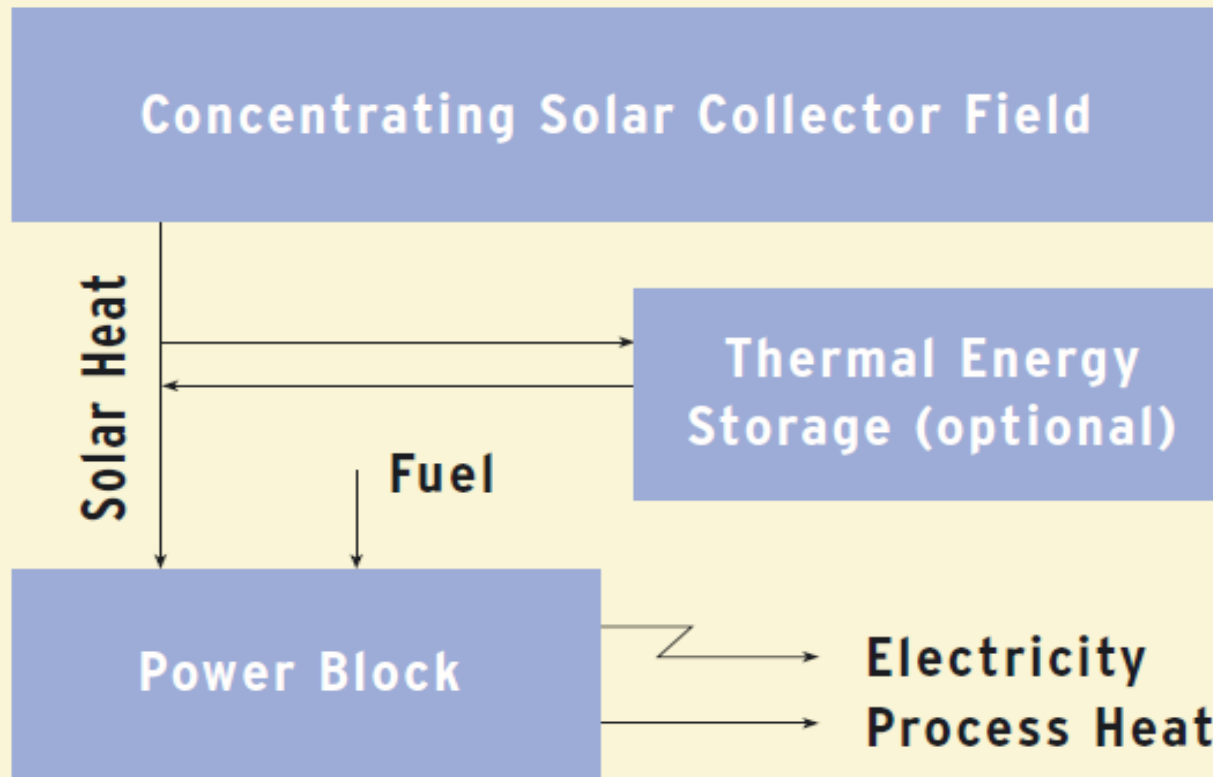
- Combination of thermally driven chillers (TDC) with combined heat and power systems (CHP)
- Tri-generation: combined heating, cooling and power (CHCP)
- Specific scope of the PolySMART project: small capacity systems



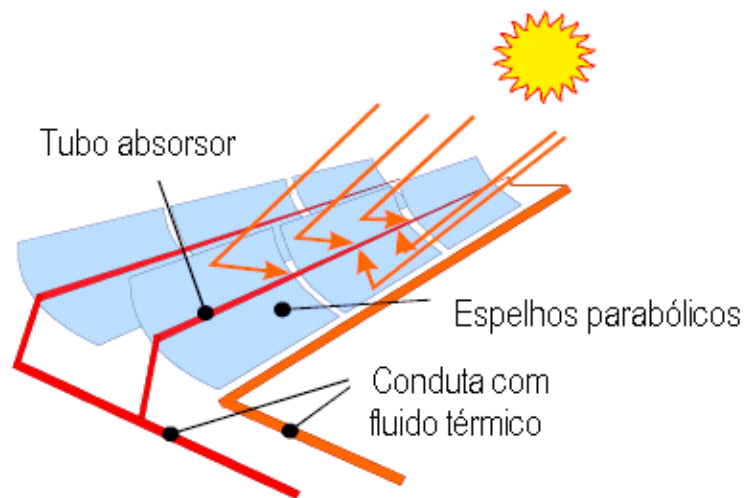
# POLIGERAÇÃO

## Produção combinada de electricidade calor e frio

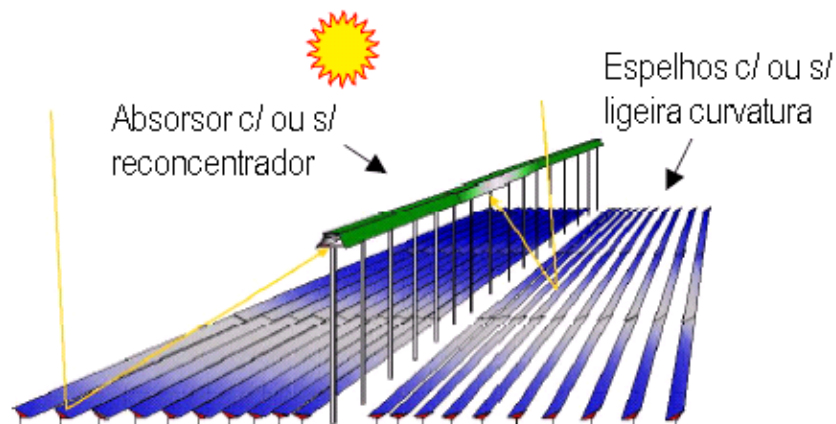




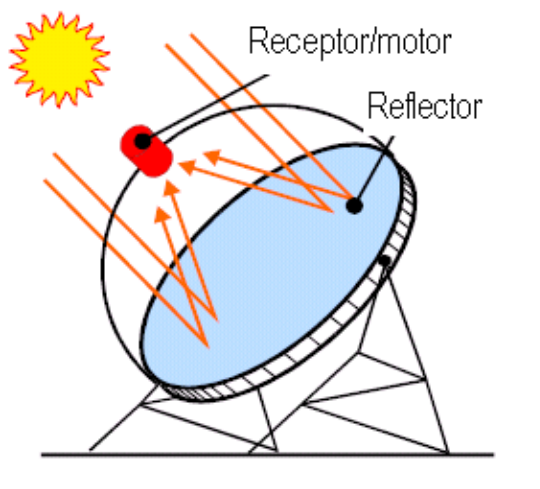
Principle of a concentrating solar power system for electricity generation or for the combined generation of heat and power.



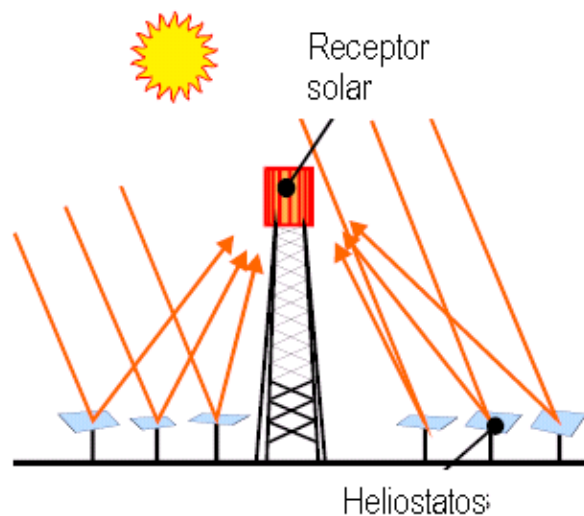
Cilindro-Parabólica



Fresnel Linear



Disco parabólico/Motor

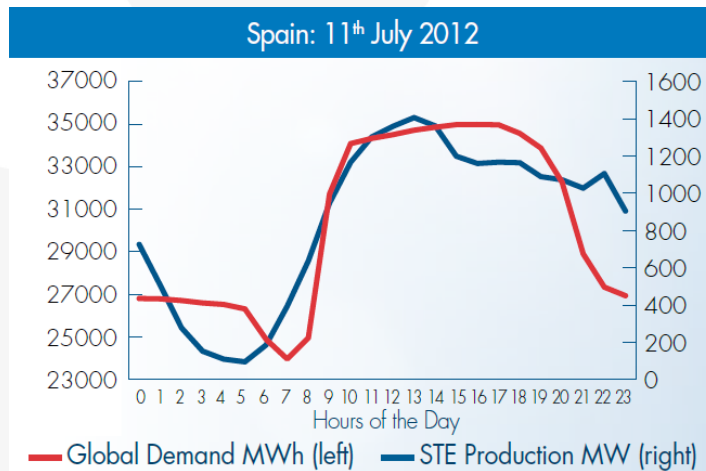


Receptor Central

# Centrais Solares Termoelétricas

Características :

- Despachabilidade
- Elevado factor de capacidade (50-100%)
- Possibilidade de hibridização com biomassa, outra FER ou fonte convencional
- Contribuição para a economia local
- Potencial de redução de custo (35-50%)



A curva de produção das centrais CSP adequa-se à curva de carga global.

Centrais STE e PV podem complementar-se beneficiando da mesma fonte comum: os sistemas distribuídos PV fornecem parte da carga reduzindo substancialmente a necessidade de centrais de potência de pico.

Ao contrário das centrais PV e eólicas podem ultrapassar facilmente o problema da intermitência.

IMPLEMENTING PLAN OF THE EUROPEAN SOLAR THERMAL  
ELECTRICITY INDUSTRY INITIATIVE (STE-EII)

ESTELA's PROPOSAL

24/02/2010



[www.estelasolar.eu](http://www.estelasolar.eu)

**THE SOLAR THERMAL ELECTRICITY EUROPEAN INDUSTRY INITIATIVE (STE-EII)**

**TECHNOLOGY OBJECTIVES 2010 -2020**

**1.- Increase efficiency and reduce generation costs**

To improve the conversion efficiency and cost at system level as well as the reliability, efficiency and cost of individual components

**2.- Increase dispatchability**

To develop and improve thermal energy storage, as well as hybridisation of the power plants with natural gas and potentially with biomass

**3.- Improve the environmental footprint**

To reduce the cooling water consumption through innovative cycles, by developing dry cooling systems and optimising land use  
To demonstrate CSP-specific water desalination processes

**4.- Longer term R&D**

To work on advanced components, concepts and systems

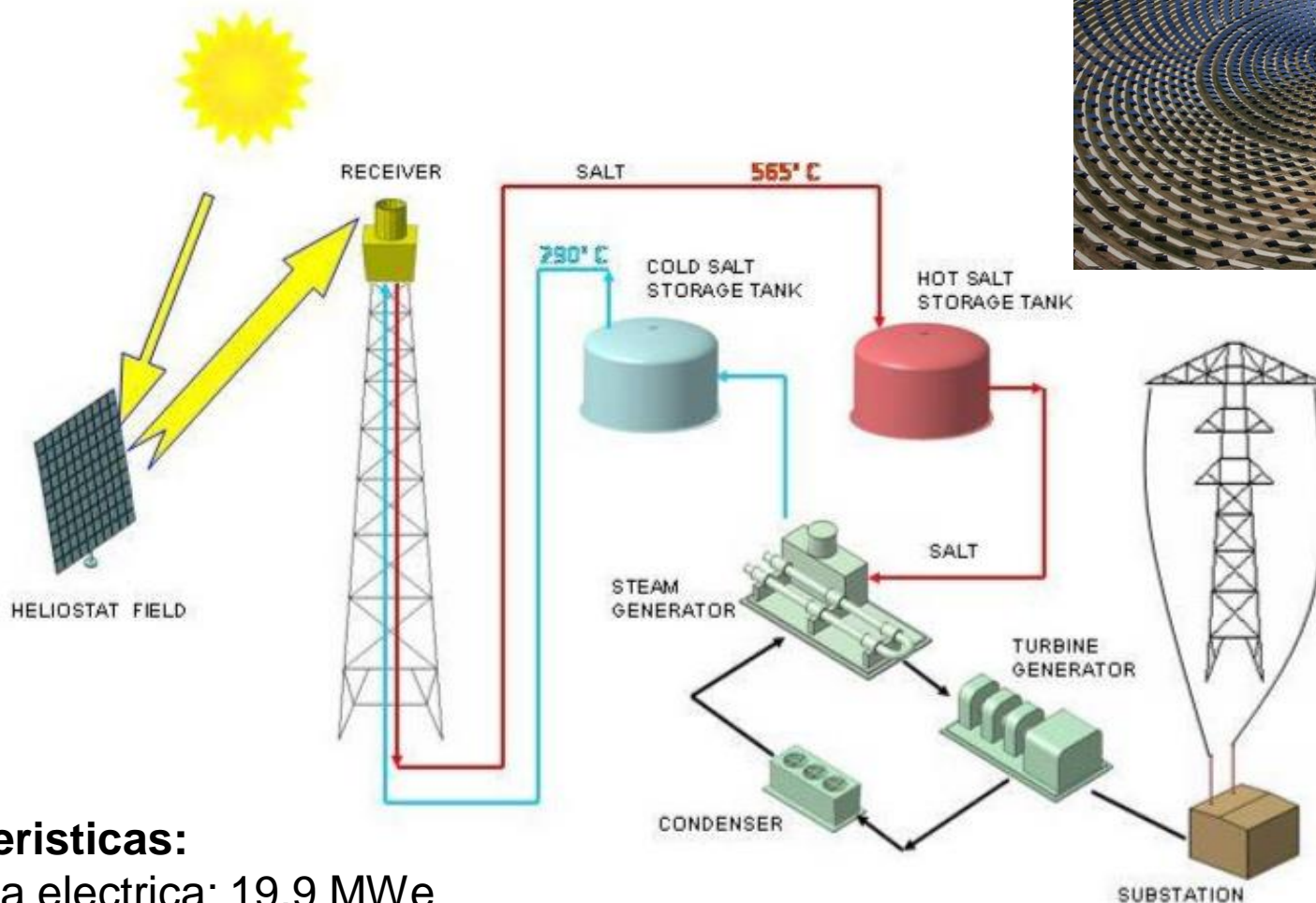
Short Term Priority

**We still keep the budget estimation for the STE-EII during the 2010-2020 period**

**Cost reduction between 35-50% was expected by the year 2020, in comparison with 2010 prices .**



# Diagrama da Central GEMASOLAR



## Características:

Potência eléctrica: 19.9 MWe

Produção eléctrica anual: 110 GWh/year

Campo solar: 2,650 heliostatos em 185 hectares

Sistema de Armazenamento: o tanque com sais fundidos permite geração independente de electricidade até 15 horas

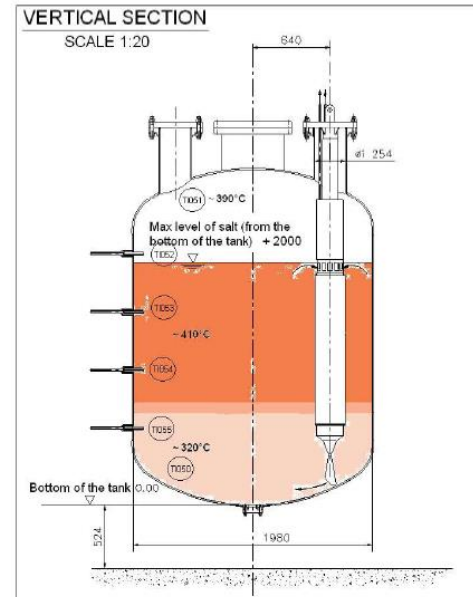
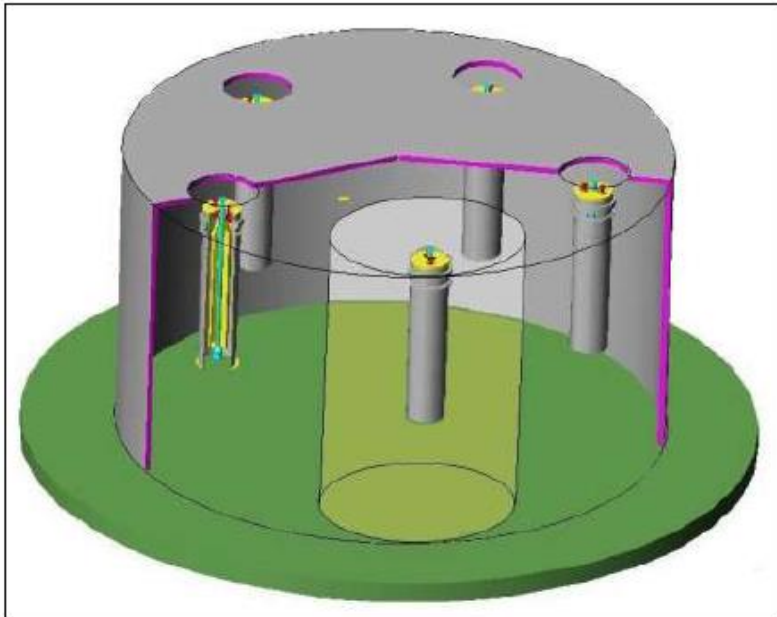


# The OPTS Project : OPTimization of a Thermal energy Storage system with integrated steam generator

Collaborative Project of the 7th FP

ENERGY.2011.2.5-1: Thermal energy storage for CSP plants

Coordinator : Dr. Fabrizio Fabrizi Partners : (ENEA), CEA, CNRS, FRAUNHOFER, WEIZMANN, CREF-Cyl, ANSALDO, CIEMAT, ENEL, LNEG



**LNEG Activities in the corrosion area, storage modulation and system simulation**

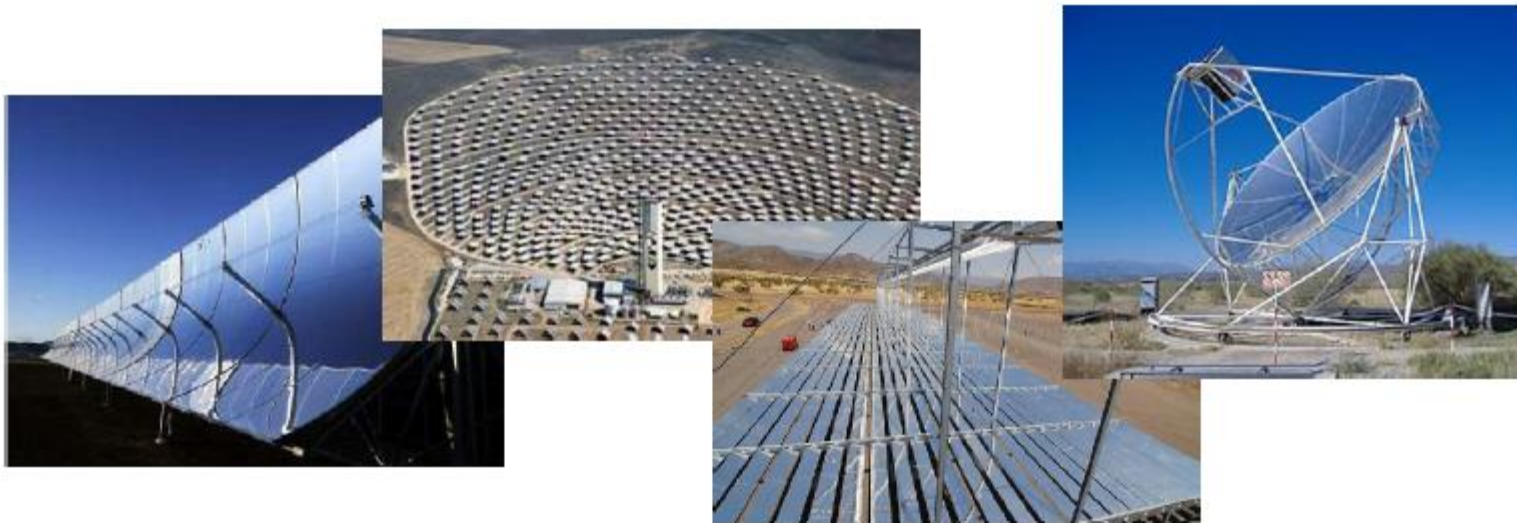


# EU-SOLARIS PROPOSAL

Call FP7- INFRASTRUCTURE-2012-1

*Construction of new Research Infrastructures (or mayor upgrade)-  
Preparatory Phase*

**Topic: INFRA-2012-2.2.1: EU-SOLARIS- The European SOLAR Research  
Infrastructures for Concentrated Solar Power**





# EUROPEAN ENERGY RESEARCH ALLIANCE

## Concentrating Solar Power Joint Programme

**SUB-PROGRAMME 1: Concentrated Solar Power plus Desalination (CSP+D)**

**SUB-PROGRAMME 2: Thermal Energy Storage for CSP plants (TES)**

**SUB-PROGRAMME 3: Solar Thermochemical Production of Fuels (STPF)**

**SUB-PROGRAMME 4: Accelerated Aging of Materials (AAM)**





**EERA CSP-JP**

**Proposal preparation to Call  
FP7-2013-ENERGY-IRP**

**STAGE-STE**

# **Scientific and Technological Alliance for Guaranteeing the European Excellence in Concentrating Solar Thermal Energy**

## **A) COORDINATION AND SUPPORT ACTION (CSA) ACTIVITIES**

- WP1** Overall programme coordination
- WP2** Integrating activities to lay the foundations for long-lasting research cooperation
- WP3** Enhancement of CSP Research Facilities cooperation
- WP4** Training Activities
- WP5** Relationship with the industry / Transfer of Knowledge
- WP6** International Cooperation

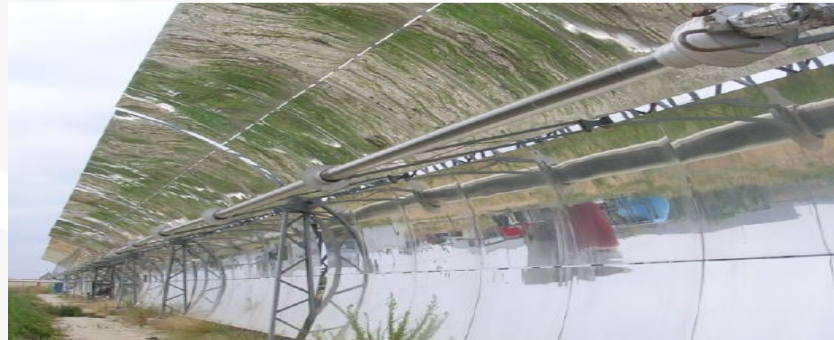
## **B) COLLABORATIVE PROJECT (CP) ACTIVITIES**

- WP7** Thermal Energy Storage for CSP Plants
- WP8** Materials to Solar Receivers and CSP Components
- WP9** Solar Fuels
- WP10** CSP plus Desalination
- WP11** Line-Focus Solar Concentrating Technologies
- WP12** Point focusing CSP technologies



# Solar CSP: gama de temperatura intermedia ( $T < 250^{\circ}\text{C}$ )

- 1st Phase: testing loop up to  $390^{\circ}\text{C}$ . Parabolic trough (100m long) complete loop [Martifer Solar]
- Testing Platform for large dimension concentrators ( $80^{\circ}\text{C} < T < 250^{\circ}\text{C}$ )
- Development of new solar concentrators
- Development of new instrumentation, methodologies and standards for solar concentrator testing
- Applications: steam for industry, cooling, dessalination
- Storage with solid materials
- (...)





## Resultados PIP Solar (CSP)

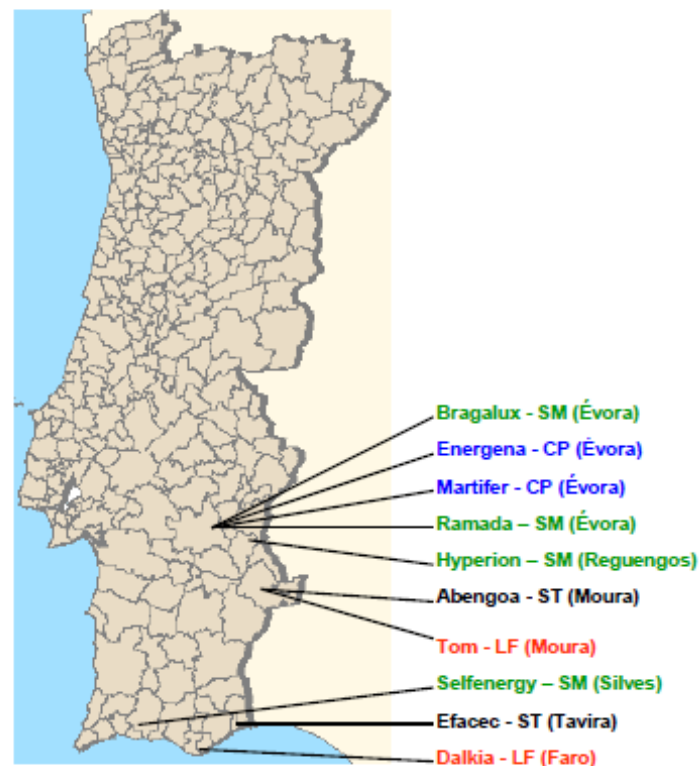
Projectos seleccionados - Proposta preliminar

| Promotor                 | CSP Stirling (SM)                   | (MW) |
|--------------------------|-------------------------------------|------|
| Ramada Holdings, SGPS    | Quinta Solar Alentec 1              | 1,5  |
| Hyperion Energy Portugal | Solar Stirling I                    | 1,5  |
| Selfenergy               | Central Solar Térmica de Odelouca   | 1    |
| Bragalux                 | Central Termoeléctrica de Alcanizes | 1,5  |

| Promotor               | CSP Torre (ST)                                   | (MW) |
|------------------------|--|------|
| Efacec                 | Central de Concentração Solar de Torre - SolMass | 4    |
| Abengoa / Fomentinvest | Central Solar Térmica de Moura                   | 4    |

| Promotor         | CSP Cilindro-Parabólico (CP)                  | (MW) |
|------------------|---|------|
| Energina SLU     | Solar Termoeléctrica de Évora                 | 4    |
| Martifer Energia | Instalação Solar Térmica Concentrada de Évora | 4    |

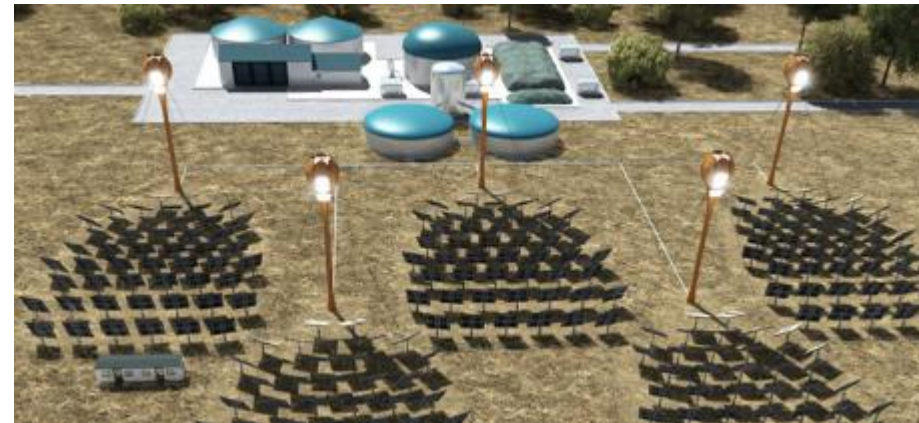
| Promotor | CSP Fresnel Linear (LF)                       | (MW) |
|----------|---|------|
| Dalkia   | Central de Concentração Solar Térmica de Faro | 4    |
| Tom      | Moura Fresnel (CSP)                           | 4    |



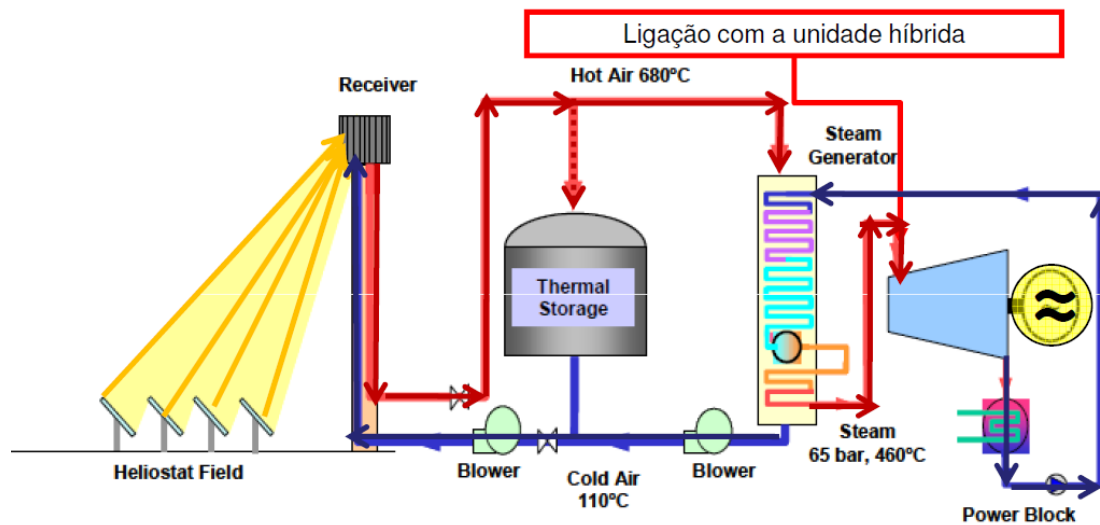
Despacho nº 18838/2009 da DGEG, de 14 de Agosto para CSP:  
4.5 MW Stirling + 24 MW+ 4 MW torre, parabólicos e fresnel linear

# Tecnologia Torre Central de Baixa Potência (100 kWe)

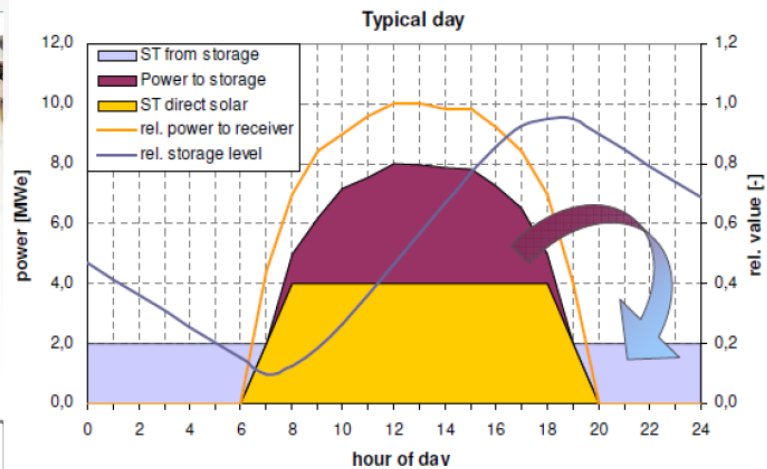
Sistema AORA - Modular, electricidade e calor de processo  
No Alentejo (Evora) : 4 MW com 40 módulos de 100 kWe



Temperature in the Tulip micro turbine is 1000 degrees Fahrenheit



**PROJECTO SOLMASS** - Central de torre híbrida de 4 MW  
Évora, 28 de Janeiro de 2011



## **Metas e cálculo da energia proveniente de fontes renováveis**

### Artigo 2.º - Metas nacionais

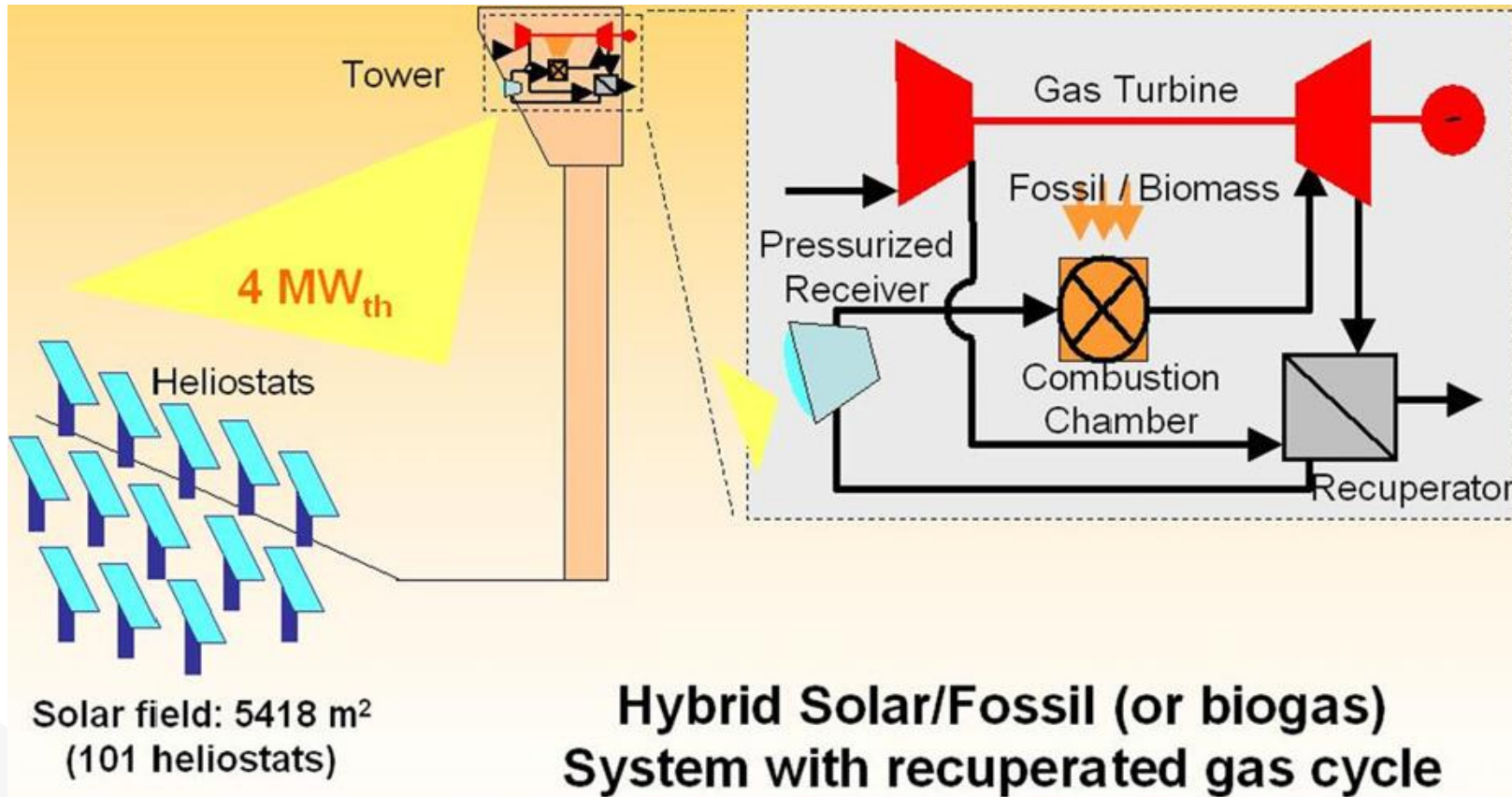
- 1 — Para o ano de 2020, a meta de utilização de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia é fixada em 31%.
- 2 — São fixadas as seguintes metas intercalares indicativas para a utilização de energia renovável no consumo final bruto de energia:
- a) Para os anos 2011 e 2012 – 22,6%;
  - b) Para os anos 2013 e 2014 – 23,7%;
  - c) Para os anos 2015 e 2016 – 25,2%; e
  - d) Para os anos 2017 e 2018 – 27,3%.
- 3 — Para 2020, a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no consumo energético em todos os modos de transporte é fixada em 10% do consumo total de energia nos transportes.

**Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013**  
**PARTE II - Estratégia para as Energias Renováveis - PNAER 2020**  
*Diário da República, 1.ª série — N.º 70 — 10 de abril de 2013*

### **Centrais Termoelétricas solares - capacidade anual instalada**

| Ano | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| MW  | 0    | 12   | 34   | 34   | 34   | 34   | 34   | 34   | 50   |

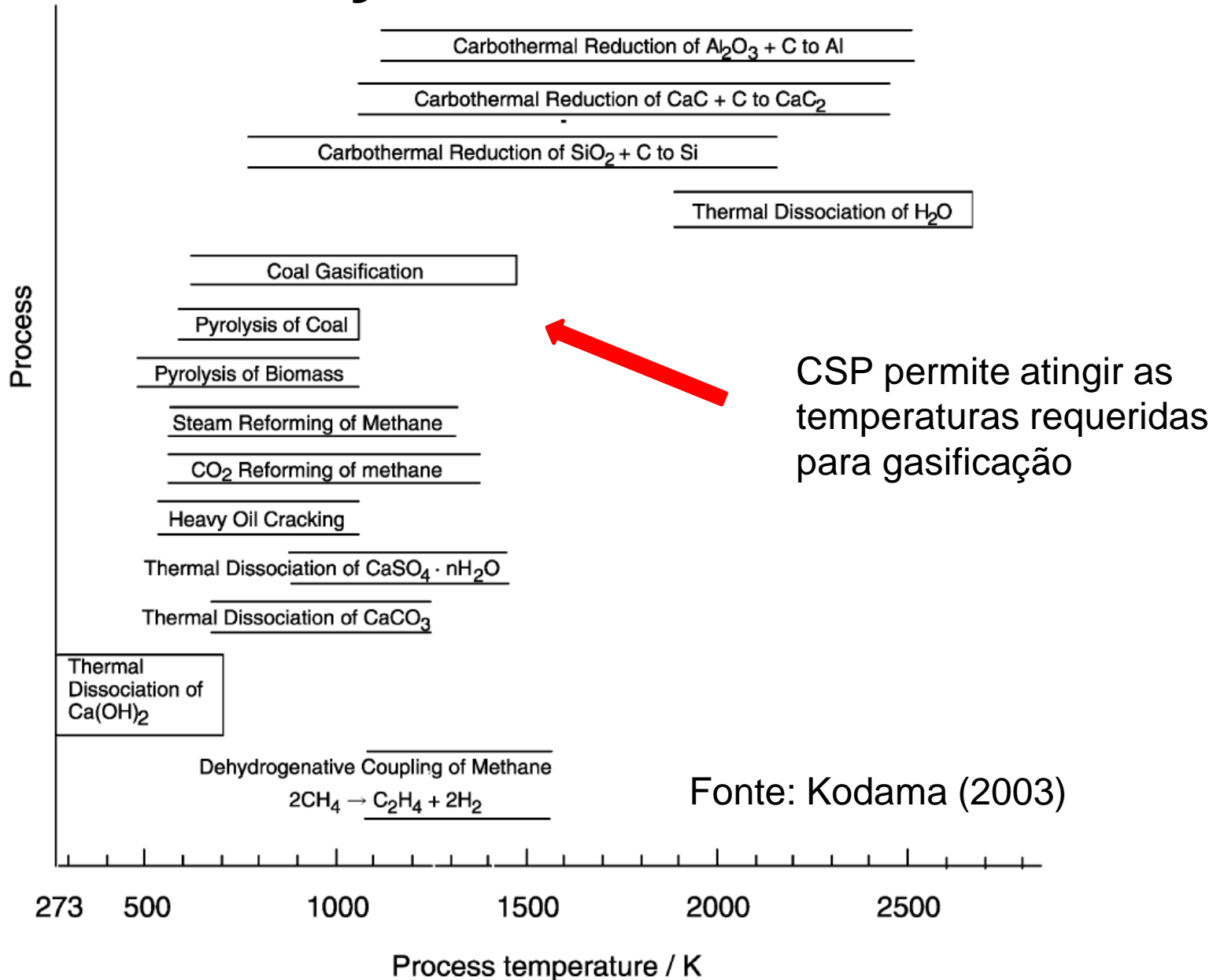
# Centrais híbridas com biomassa



View of the Themis facility and scheme of the Pegase system.



# Gasificação de biomassa via CSP



# CSP na produção de gás de síntese

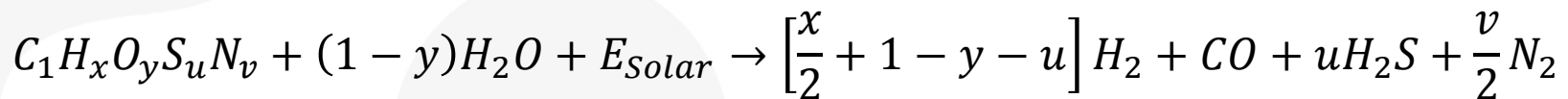
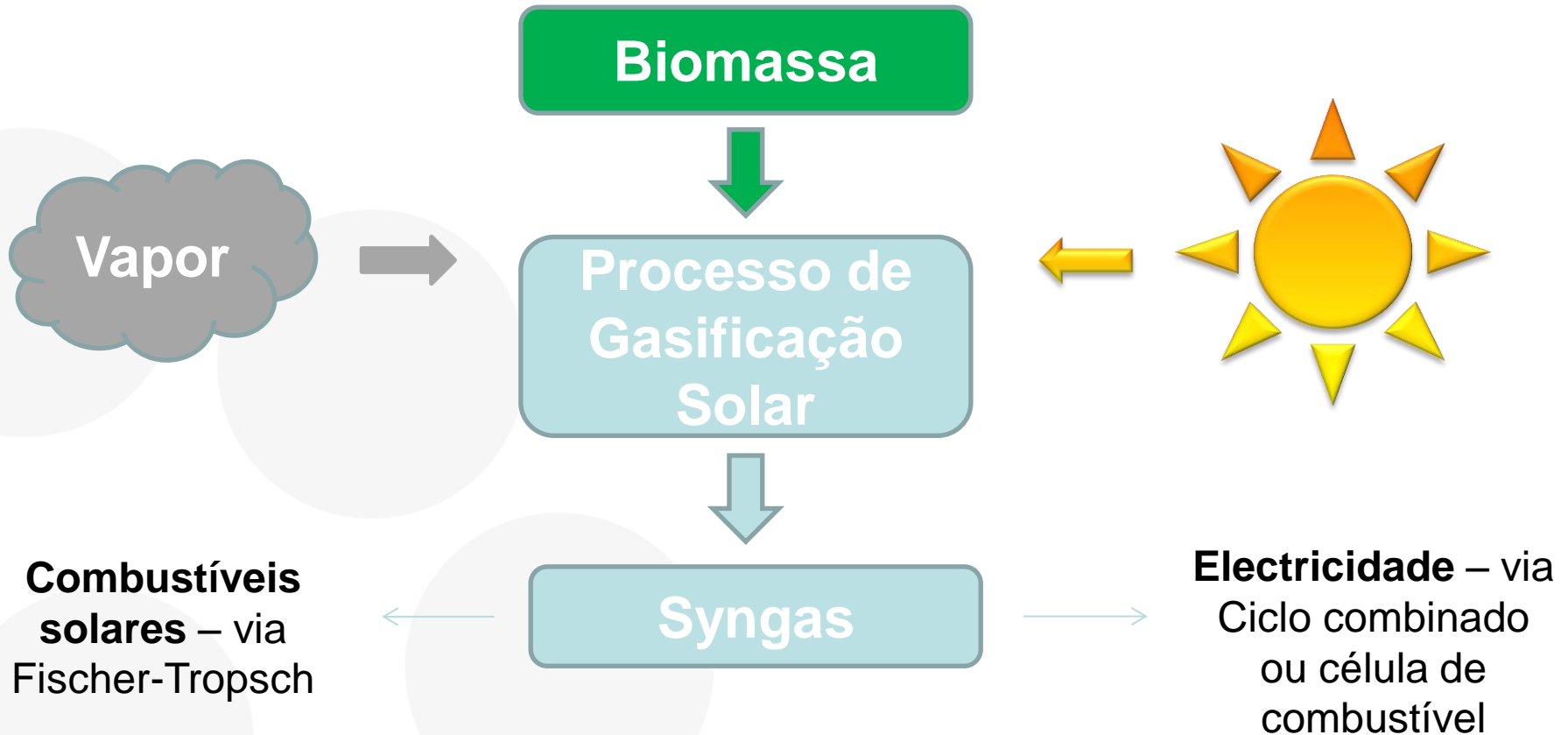
## A ideia base:

- Processos de conversão termoquímica de biomassa globalmente são endotérmicos;
- Calor necessário para estes processos pode ser fornecido pela energia solar térmica concentrada;
- Os produtos resultantes representam aproximadamente a soma da energia armazenada pela fotossíntese e pelo processo térmico

## Dois processos principais:

- Pirólise;
- Gasificação;

# Gasificação de biomassa via CSP



# PILOT INSTALLATION

## RENEWABLE ENERGY

### SUN

Sun energy is a clean, inexhaustible and freely available source of renewable energy.

### LANDFILL

The amount of municipal wastes is increasing every year. In Slovenia, the annual production of municipal waste is 450 kg per capita.

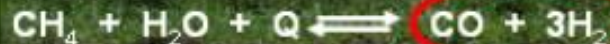
Solar tower

### LANDFILL GAS

Landfill gas is formed during the decomposition process of organic waste. Generally, it contains 45-60 vol% methane, 40-60 vol% carbon dioxide but also other gasses, which are known also as greenhouse gases (GHG). Some of its characteristics are that can cause small explosions, pollution of ground water and generate unpleasant odors in the surroundings. One tonne of waste can generate up to 400Nm<sup>3</sup> of landfill gas, which can be generated up to 20 years.

REFORMER

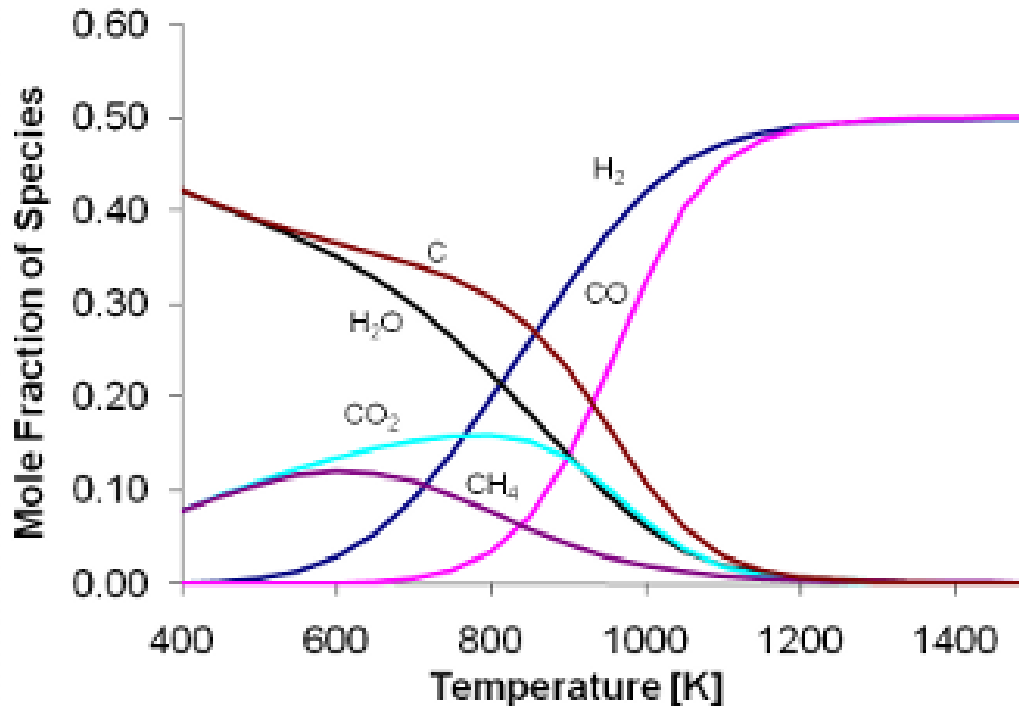
SYNTHESIS GAS



ENGINE (150 kW)

GREEN ENERGY

# Gasificação de biomassa via CSP



Fonte: University of Minnesota

- ✓ A 1200K a razão molar de produção de H<sub>2</sub> e CO é aproximadamente de 1:1
- ✓ Acima de 1200K a produção de compostos secundários é quase nula
- ✓ CSP consegue atingir estas temperaturas

# Gasificação de biomassa via CSP

## Vantagens:

- Produz mais syngas por unidade de matéria prima
  - Pois não usa parte da matéria prima para produção do calor de processo
- Evita contaminação do syngas com produtos secundários
  - Reduzindo os dispendiosos requisitos de processamento (limpeza e separação) a jusante

# Gasificação de biomassa via CSP

## Vantagens:

- Produz syngas com maior capacidade calorífica
  - Conteúdo energético da matéria prima pode ser aumentado até cerca de 33% pela absorção de energia solar
- Permite a obtenção de temperaturas de gasificação mais elevadas (acima de 1200°C)
  - Resultando em maiores velocidades de reacção e maior qualidade do syngas produzido
- Vapor é o único agente gasificador
  - Elimina a necessidade de unidades de separação de ar a montante

# Gasificação de biomassa via CSP

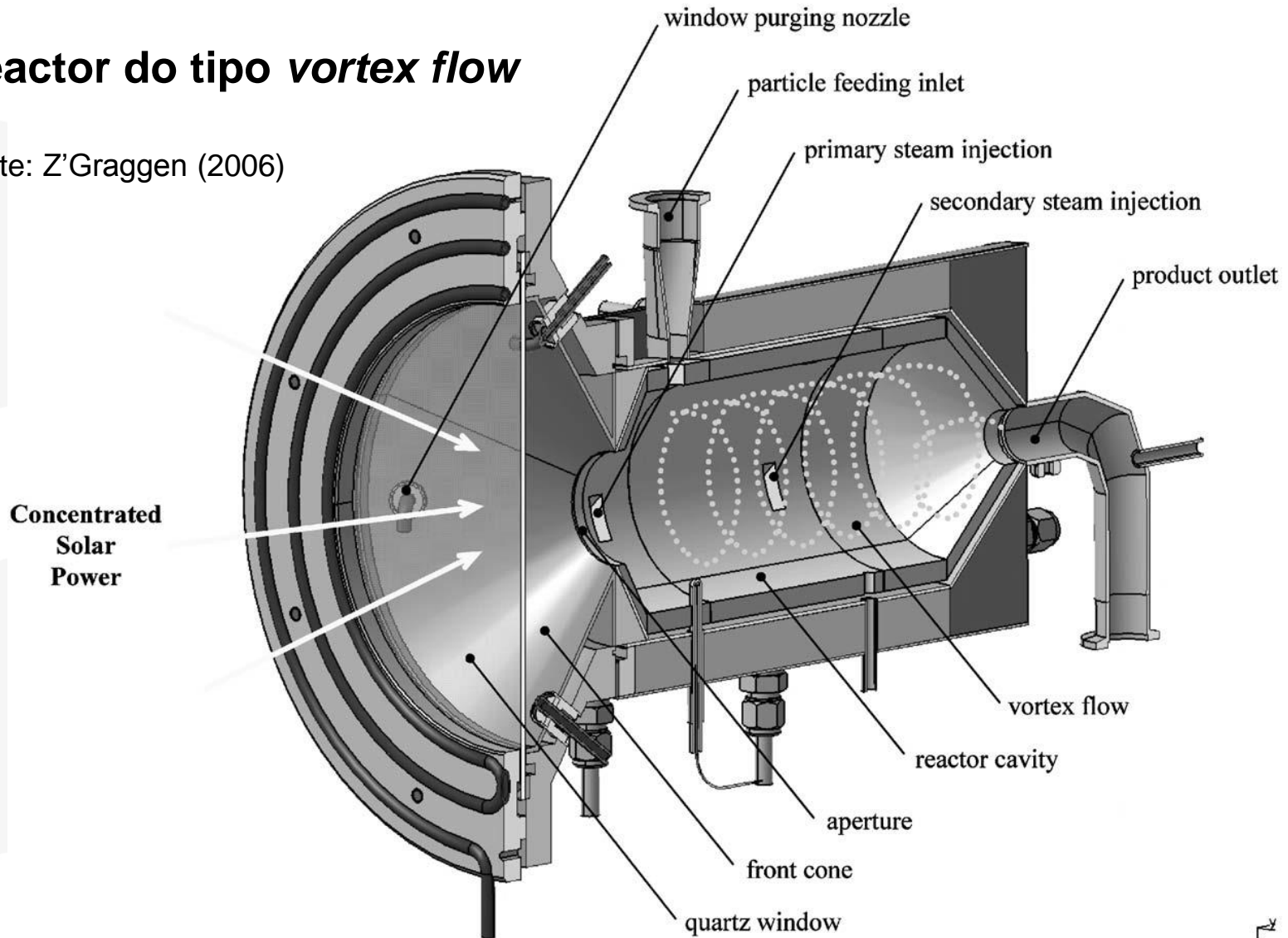
## Problemas:

- Formação de aerossóis que se podem depositar na janela do reactor, diminuindo a qualidade óptica do mesmo
- Energia solar é um recurso transiente o que pode gerar instabilidades e problemas de controlo do gasificador
  - Tal como na pirólise podem ocorrer ciclos de aquecimento/arrefecimento

# Reactores solares (carbonaceous feedstock)

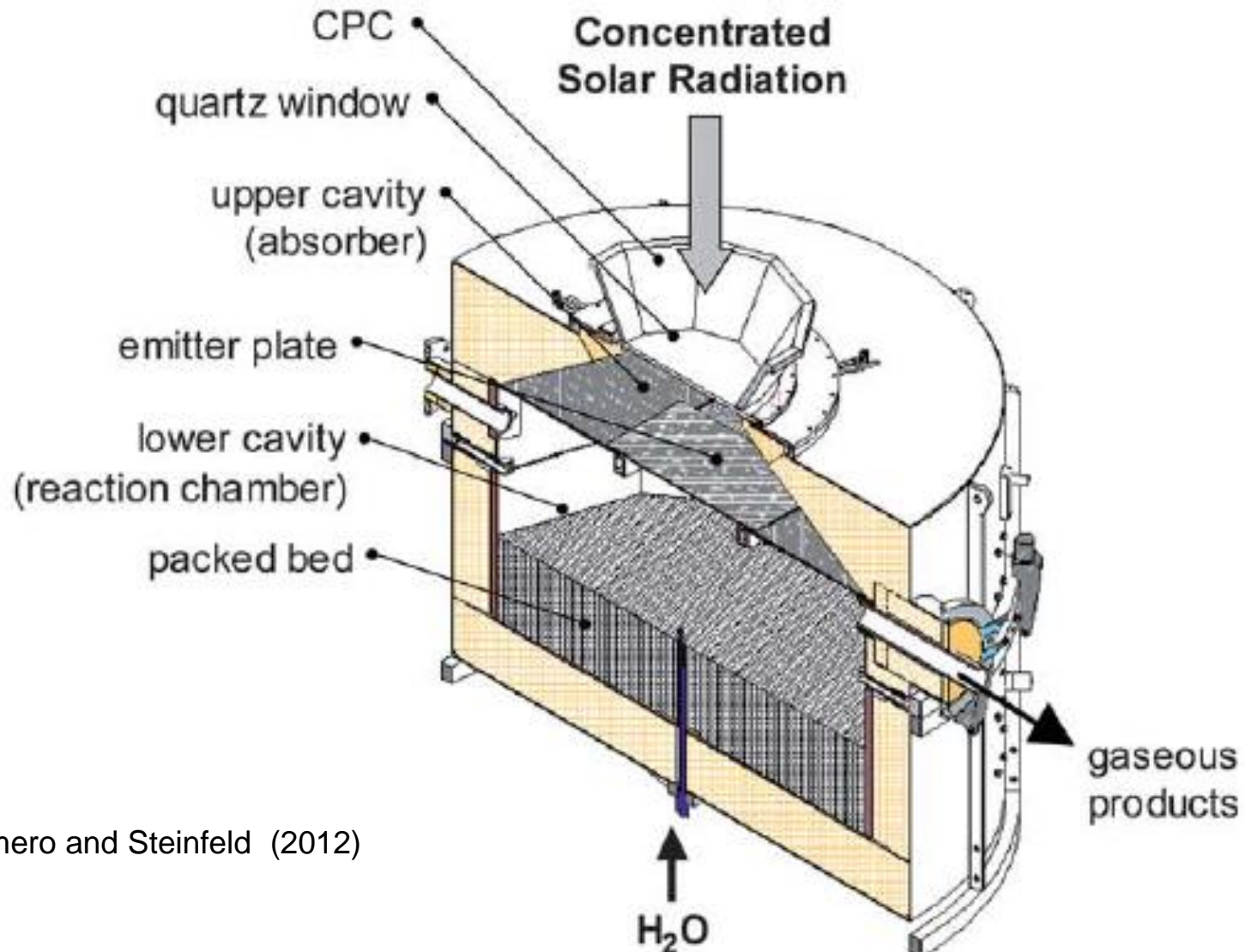
## Reactor do tipo *vortex flow*

Fonte: Z'Graggen (2006)



# Reactores solares (carbonaceous feedstock)

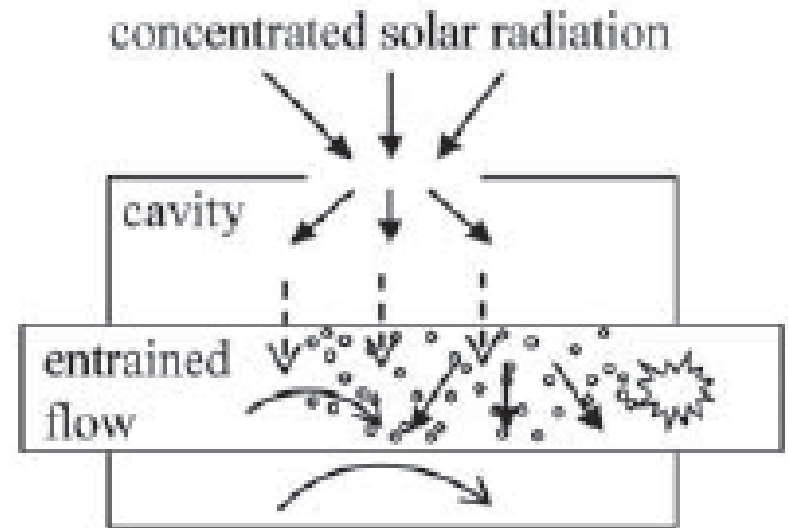
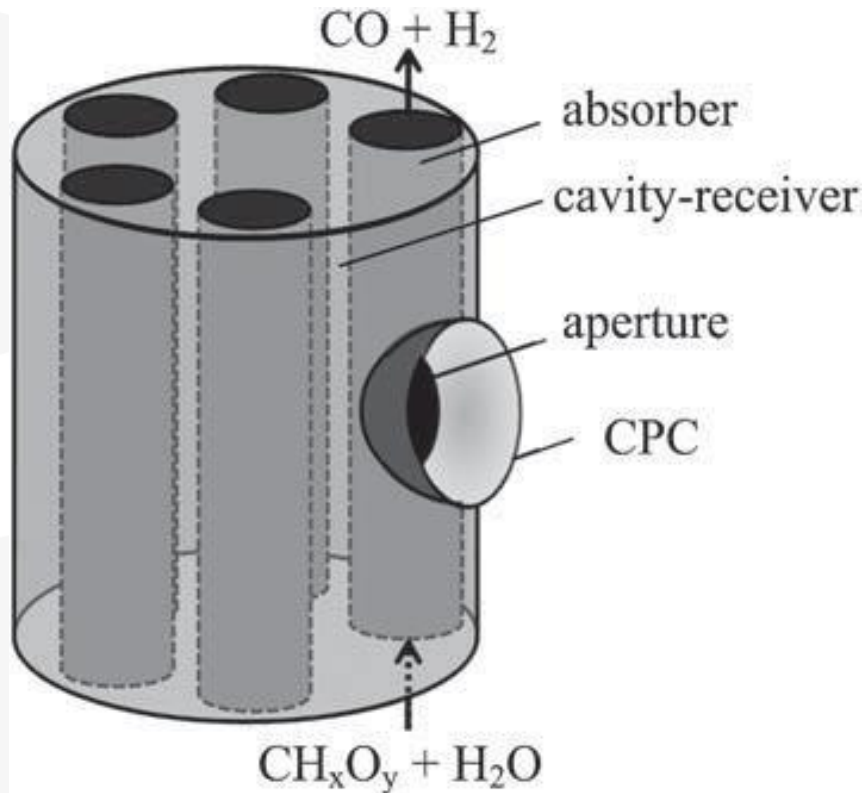
## Reactor do tipo *packed-bed*



Fonte: Romero and Steinfeld (2012)

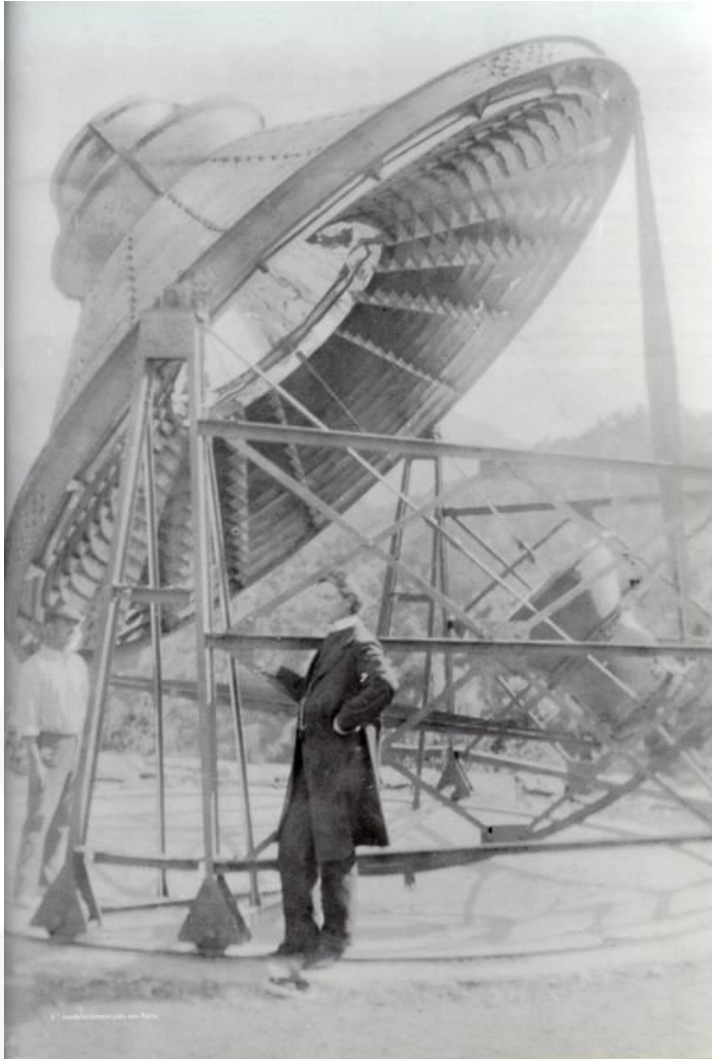
# Reactores solares (carbonaceous feedstock)

## Reactor do tipo *entrained-flow*



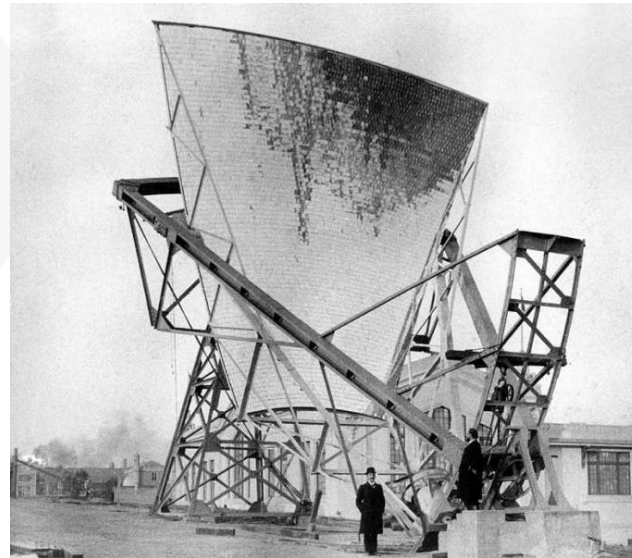
Fonte: Piatkowski et al. (2011)

## Padre José Manuel Gomes (Padre Himalaia) foi precursor a nível mundial no estudo e desenvolvimento de sistemas de alta concentração da radiação solar



Com o equipamento exposto a que chamou **Pireliófero** no qual reclama ter atingido  $3800^{\circ}\text{C}$ , ganhou o Grande Premio da Exposição Universal de 1904 em St. Louis, USA.

Pensava utilizá-lo em aplicações como produção de água potável em climas desertos, produção de vapor para maquinas industriais, fusão de materiais refractários, e a **produção de nitratos fertilizantes** através da oxidação do azoto ambiente neste forno solar a essas elevadas temperaturas.





## IEA SolarPACES Member Countries

# Cooperação internacional em CSP



[www.solarpaces.org](http://www.solarpaces.org)  
[www.rediene.com](http://www.rediene.com)



PSA + DLR + WI + PSI + .....

USA + Australia + ...





[www.lneg.pt](http://www.lneg.pt)