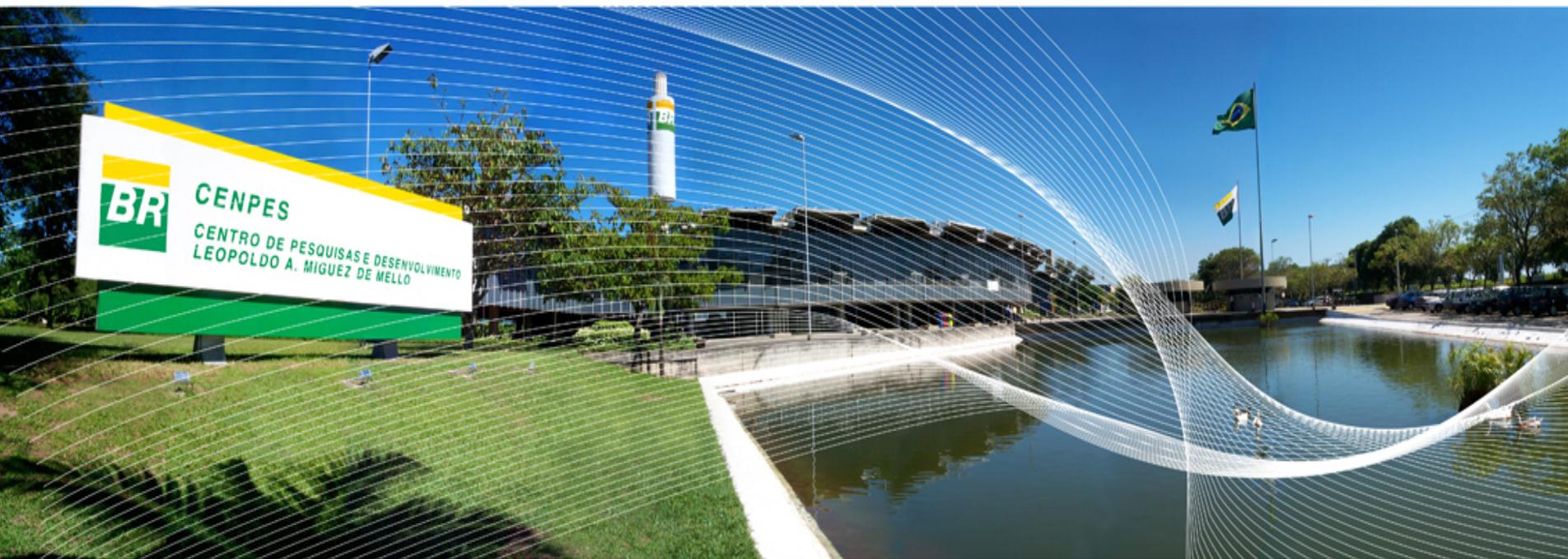


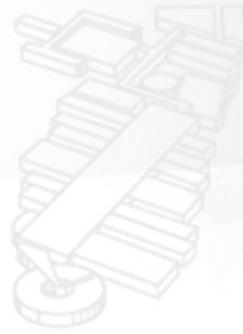


CENPES
Centro de Pesquisa
e Desenvolvimento



Workshop Usinas Heliotérmicas

Recife, 08 de Junho de 2010

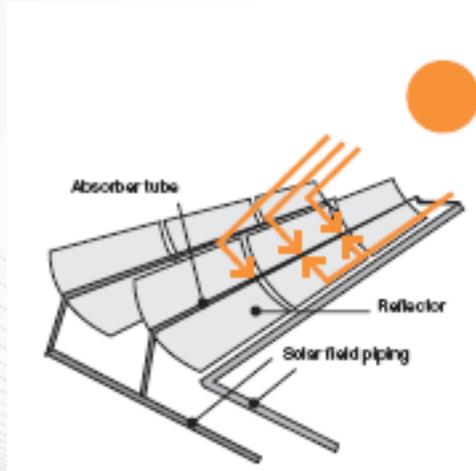


ROTEIRO DA APRESENTAÇÃO

- Contexto tecnológico
 - Contexto econômico
 - Potencial brasileiro
 - P&D da PETROBRAS
 - Proposta PETROBRAS para uma Política Pública de C&T em Geração Heliotérmica
-

Principais Conceitos

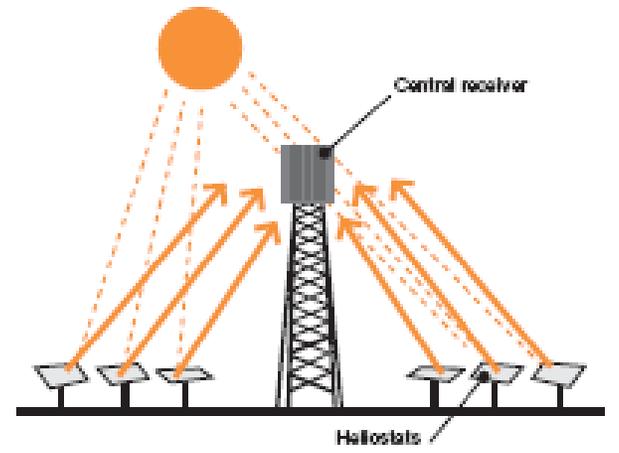
Cilíndrico-parabólico



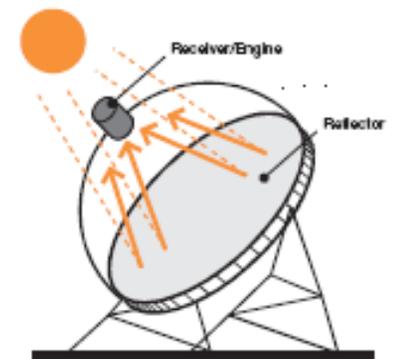
CLFR (Compact Linear Fresnel Reflector)



Torre Solar (Receptor Central)



Disco Solar



Cilíndrico-Parabólico



Cilíndrico-
parabólico



- **Descrição:**
 - Concentração: 80 x
 - Fluido de trabalho: óleo sintético
 - Temperatura: 393 °C
- **Estágio de desenvolvimento:**
 - Comercial desde 1984
 - Tamanho típico da central: 50 a 80 MW
 - Tamanho mais econômico: 125 MW (projetado)
- **Aspectos relevantes:**
 - Investimento de menor risco
 - Possibilidade de armazenamento térmico
 - Possibilidade de hibridização / integração com centrais termoeletricas de ciclo combinado

Cilíndrico-Parabólico

Nevada Solar One

EUA - 2007

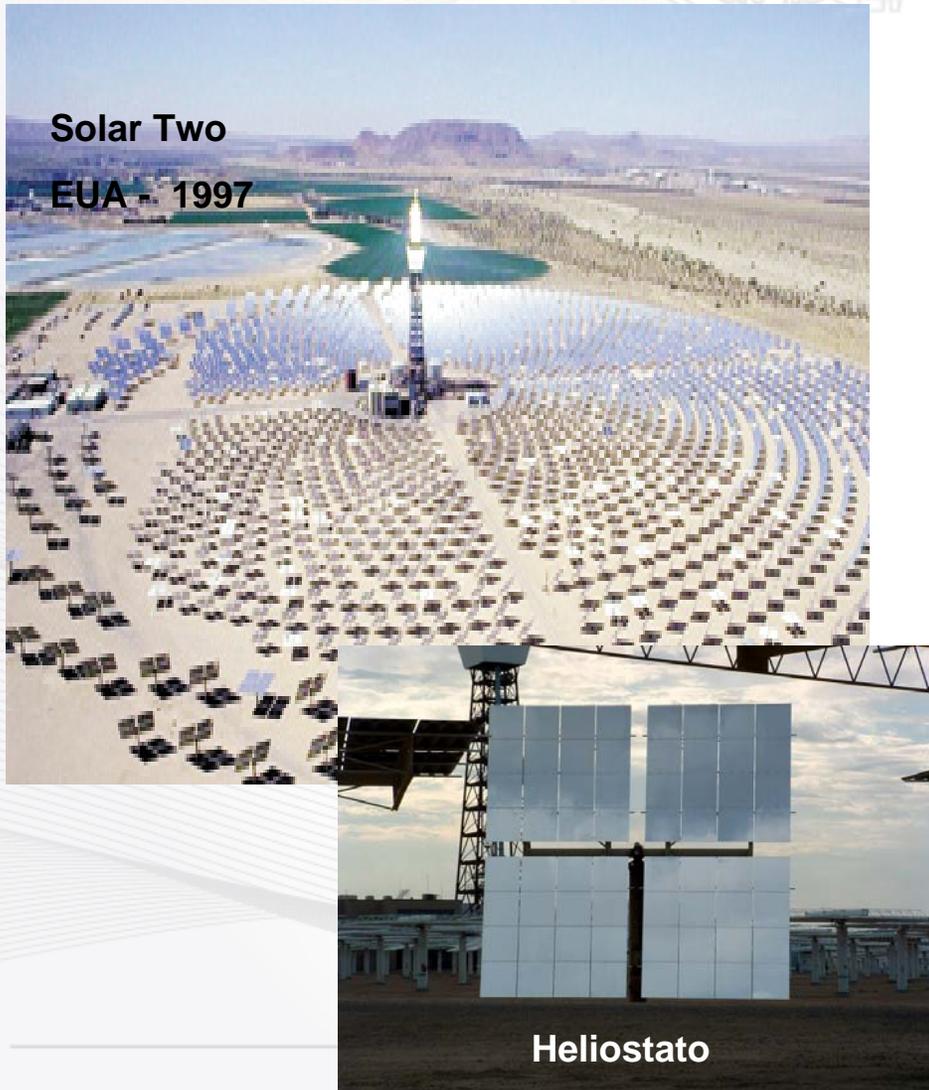


Andasol 1

Espanha - 2009

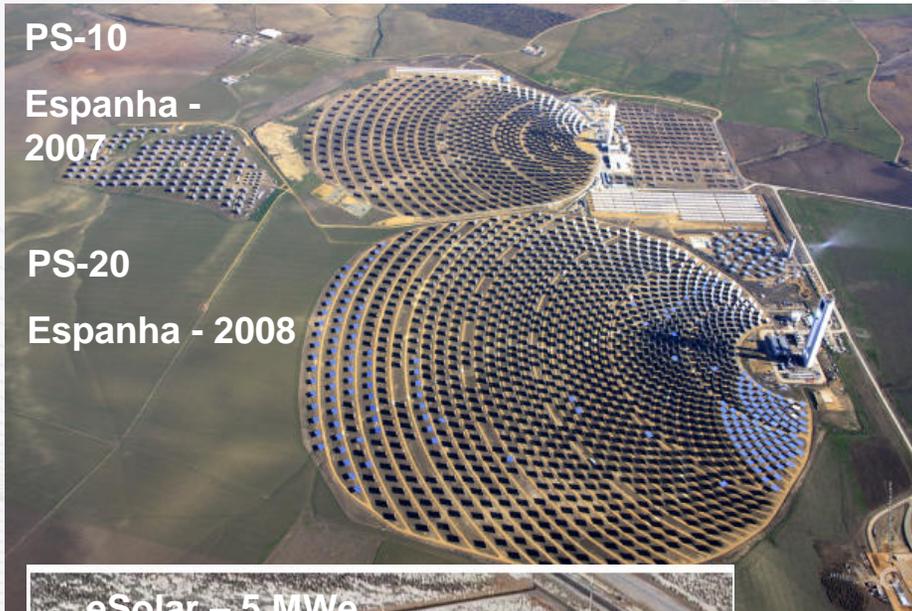
- **Custo de Instalação:**
 - Sem armazenamento:
US\$ 4.500 / kW
 - Com armazenamento:
US\$ 5.500 a 6.500 /kW
- **Custo da Energia:**
 - US\$ 250 a 280 / MWh
- **Capacidade Instalada (2009):**
 - 520 MWe
- **Em Construção (2010 – 2012):**
 - 939,7 MWe

Torre Solar



- **Descrição:**
 - Concentração: 600 - 1200 x
 - Fluido de trabalho: vapor, sal fundido, ar
 - Temperatura : 400-850 °C
- **Estágio de desenvolvimento:**
 - Demonstração a início de operação comercial
 - Tamanho típico da central: 10 – 20 MW
- **Aspectos relevantes:**
 - Tecnologia em crescimento
 - Maior eficiência
 - Possibilidade de armazenamento térmico (sal fundido)
 - Possibilidade de hibridização / integração com centrais termoeletricas de ciclo combinado

Torre Solar



- **Custo de Instalação:**
 - Sem armazenamento:
US\$ 4.350,00/kW (PS-10)
 - Com armazenamento:
US\$ 21.040,00/kW (Solar
Tres)
15 horas armazenamento
FC 74%
- **Custo da Energia:**
 - US\$ 190 a 270 / MWh – PS-10
(incluindo subsídios espanhóis)
- **Capacidade Instalada (2009):**
31 MWe
- **Em Construção (2010 – 2012):**
17 MWe (Solar Tres)

Disco Solar

Plataforma Solar de
Almería - Espanha



- **Descrição:**
 - Concentração: 3000 x
 - Fluido de trabalho: hidrogênio, hélio
 - Temperatura : > 700 °C
- **Estágio de desenvolvimento:**
 - Demonstração a início de operação comercial
 - Pequenas plantas de demonstração
 - Tamanho típico: discos de 10 e 25 kWe
- **Aspectos relevantes:**
 - Tecnologia embrionária
 - Modular
 - Alta eficiência
 - Sem armazenamento térmico

Disco Solar



- **Custo de Instalação:**
 - Eurodish (10 kW):
US\$ 20.400,00/kW
 - SES: ???
- **Custo da Energia:**
 - Sem informação
- **Capacidade Instalada (2009):**
<1 MWe
- **Em Construção (2010 – 2012):**
 - 1,5 MWe (Maricopa Solar Project)
 - 60 discos de 25 kW cada.

Lidell
Austrália 2004



Espelhos



- **Descrição:**
 - Concentração: $< 80 \times$
 - Fluido de trabalho: vapor
 - Temperatura : $270 \text{ }^\circ\text{C}$
- **Estágio de desenvolvimento:**
 - Demonstração
 - Tamanho típico da central: 50 a 175 MW (esperado)
- **Aspectos relevantes:**
 - Menor custo
 - Ocupação eficiente da área
 - Armazenamento térmico ainda não testado
 - Menor eficiência de conversão elétrica



Kimberlina
EUA – 2008c

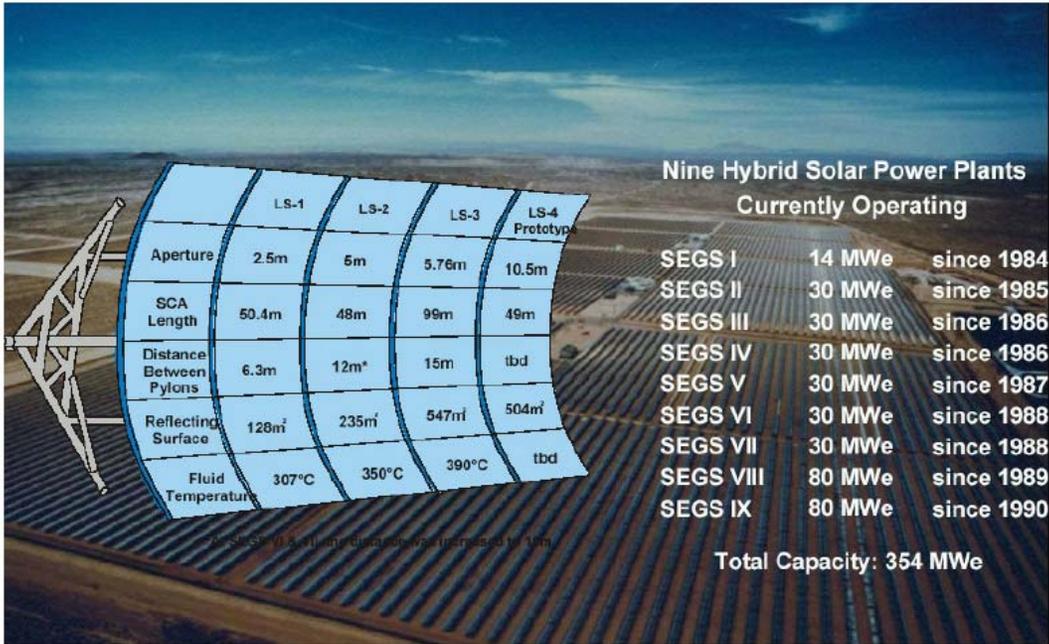


Receptor

- **Custo de Instalação:**
 - US\$ 2.857,00/kW com armazenamento (declarado pela Ausra)
- **Custo da Energia:**
 - US\$ 104 / MWh hoje (declarado pela Ausra)
- **Capacidade Instalada (2009):**
 - Lidell (Austrália) 1 MWe desde 2004
 - Kimberlina (EUA) 5 MWe desde 2008

Geração Heliotérmica – Uma Evolução dos Fatos

DÉCADA DE 80



Solar Electric Generating System – 354 MW

Solar Two – 10 MW



2010 - Plantas em Operação EUA

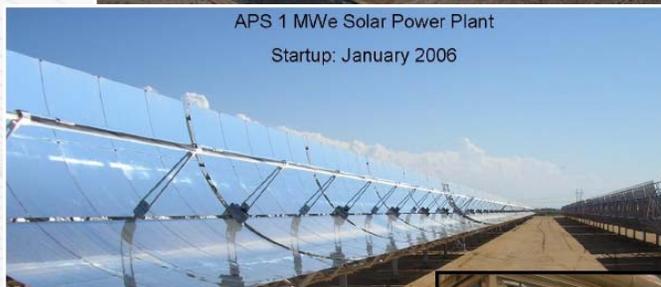
Nevada Solar One

Início em 2007



- SEGS I a IX : 354 MWe
- Nevada Solar One: 64 MWe
- APS Saguaro: 1 MWe
- Kimberlina: 5MWe

APS 1 MWe Solar Power Plant
Startup: January 2006

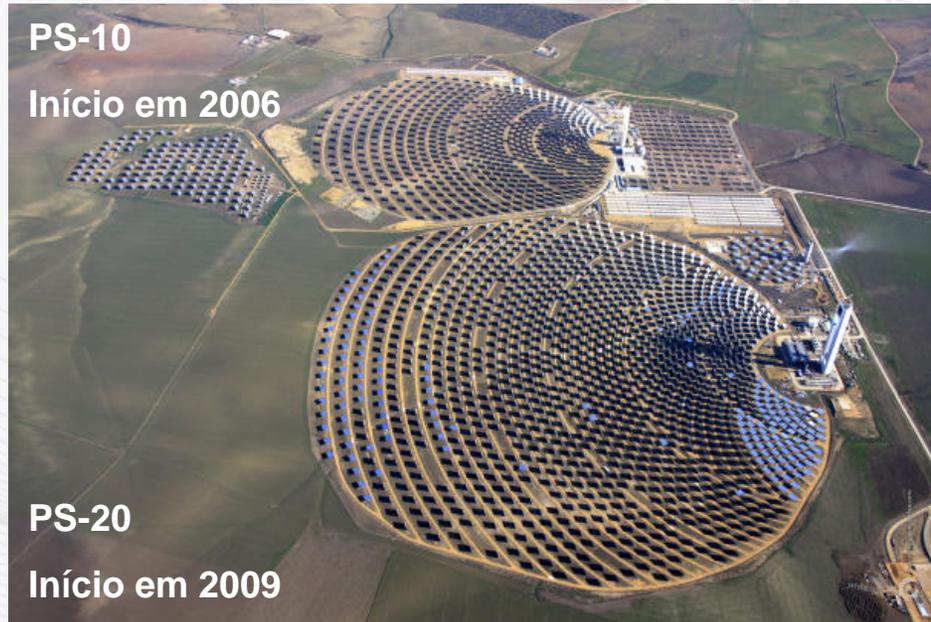


Kimberlina

Início em 2008

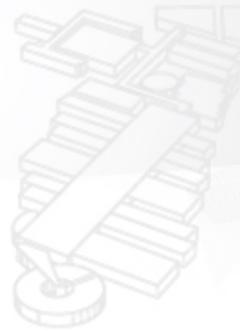


2010 - Plantas em Operação ESPANHA



- PS-10: 11 MWe
- PS-20: 20 MMe
- Andasol 1: 50 MWe





Cenário Futuro

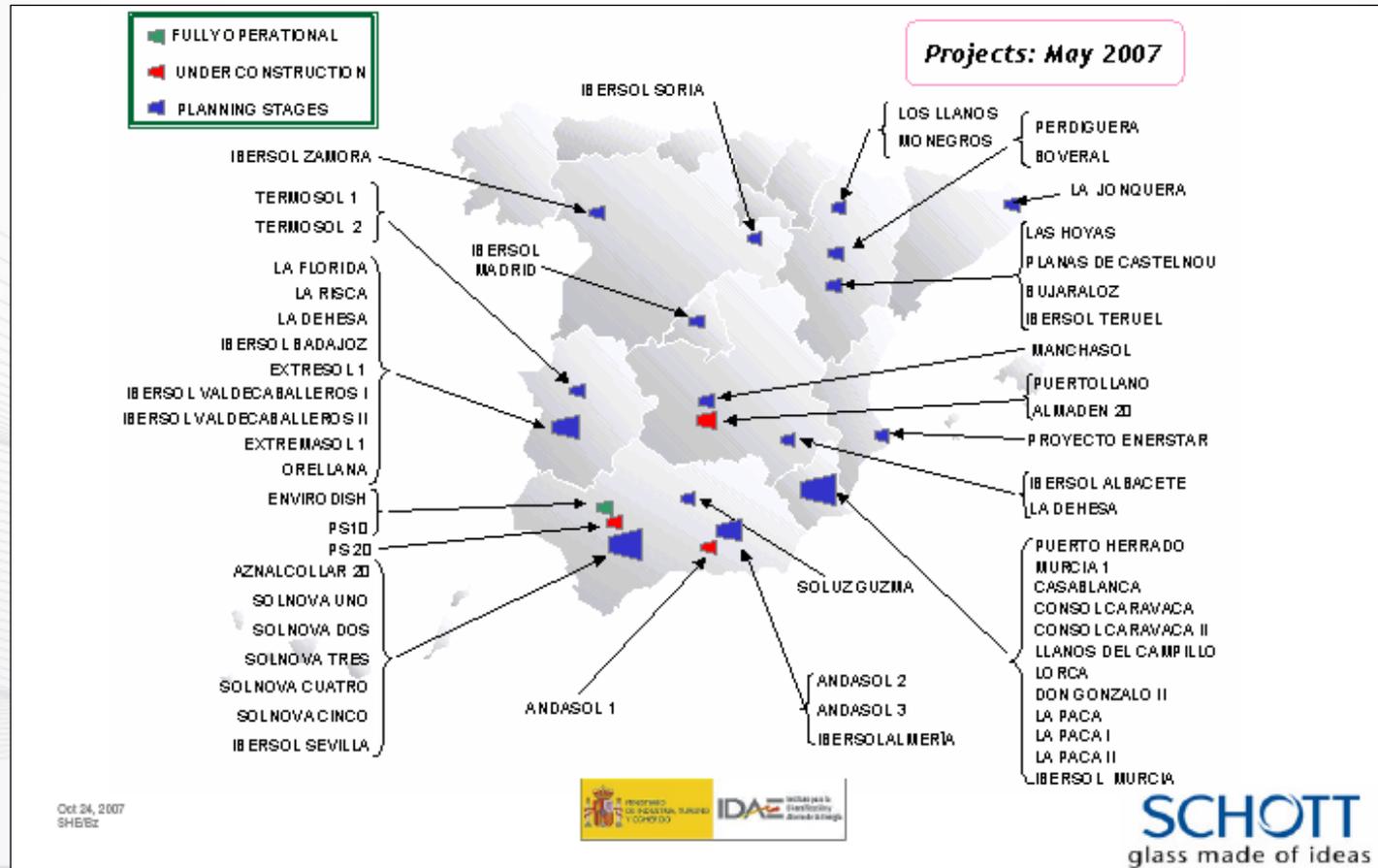
- **EUA: Quase 5 GW em desenvolvimento para os próximos 5 anos**

Concentrating Solar Thermal Power Activity in the United States, December 2008¹

Name	Utility	Location	Installed ²	Under Contract ³	Technology	Operational Date	Developer / Owner
SES Solar One – Phase 1	Southern California Edison	California		500 MW	Dish-engine	2009 - 2012	SES
SES Solar Two – Phase 1	San Diego Gas & Electric	California		300 MW	Dish-engine	2009 - 2010	SES
Carrizo Energy Solar Farm	Pacific Gas & Electric	California		177 MW	Linear Fresnel	2010	Ausra
Victorville 2 Hybrid Power Project	Southern California Edison	California		50 MW*	Parabolic trough add-on to IGCC	2010	Inland Energy
n/d	San Diego Gas & Electric	California		100 MW	Parabolic trough	TBD	Bethel Energy
Mojave Solar Park	Pacific Gas & Electric	California		553 MW	Parabolic trough	2011	Solel
Solana Generating Station Project	Arizona Public Service	Arizona		280 MW	Parabolic trough	2011	Abengoa Solar
Ivanpah Solar Electric Generation System	Pacific Gas & Electric	California		400 MW	Central receiver	2011 - 2013	BrightSource Energy
Beacon Solar Energy Project	Los Angeles Department of Water & Power	California		250 MW	Parabolic trough	2011	FPL Energy
n/d	El Paso Electric	New Mexico		66 MW	Central receiver	2011	eSolar
Gaskell Sun Tower Facility	Southern California Edison	California		245 MW	Central receiver	2011	eSolar
Coalinga Solar Plant	Pacific Gas & Electric	California		107 MW	Parabolic trough	2011	Martifer Renewables
Martin Next Generation Solar Energy Center	FPL	Florida		75 MW	Parabolic trough add-on to IGCC	2010 - 2011	FPL Energy
SES Solar One – Phase 2	Southern California Edison	California		350 MW ⁴	Dish-engine	2013 - 2014	SES
SES Solar Two – Phase 2/3	San Diego Gas & Electric	California		600 MW ⁴	Dish-engine	2011 - 2013	SES
n/d	Pacific Gas & Electric	California		500 MW ⁴	Central receiver	TBD	BrightSource Energy
Palmdale Hybrid Gas-Solar	City of Palmdale	California		62 MW*	Parabolic trough add-on to IGCC	2013	City of Palmdale
TOTALS	n/a	n/a	424 MW	4,624 MW	n/a	n/a	n/a

Cenário Futuro

- Espanha: Quase 1 GW em construção até 2012





Incentivos

• EUA

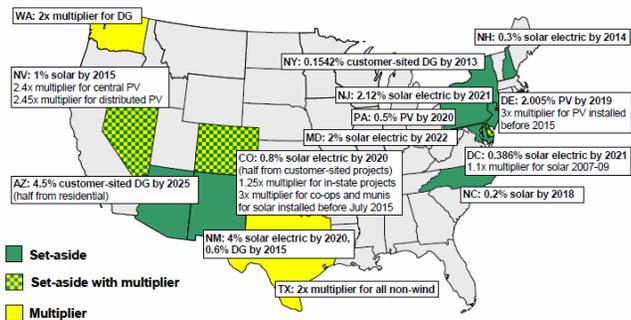
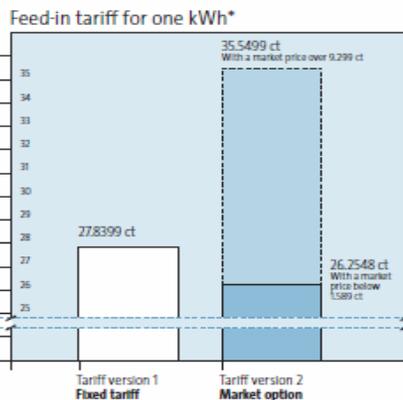


Figure 8. Differential Support for Solar Energy in State RPS Policies

• Espanha



*The numbers stated correspond to the feed-in tariff for 2008 determined in the document "Orden ITC/3860/2007", dated December 28, 2008. This annually updated document contains the tariff determined in the Real Decreto 661/2007 as well as the inflationary adjustment also provided for in the Real Decreto.

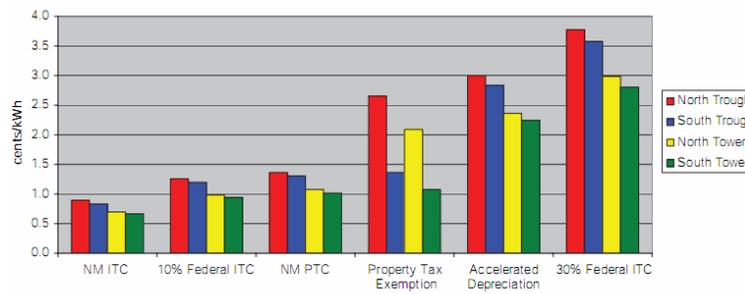
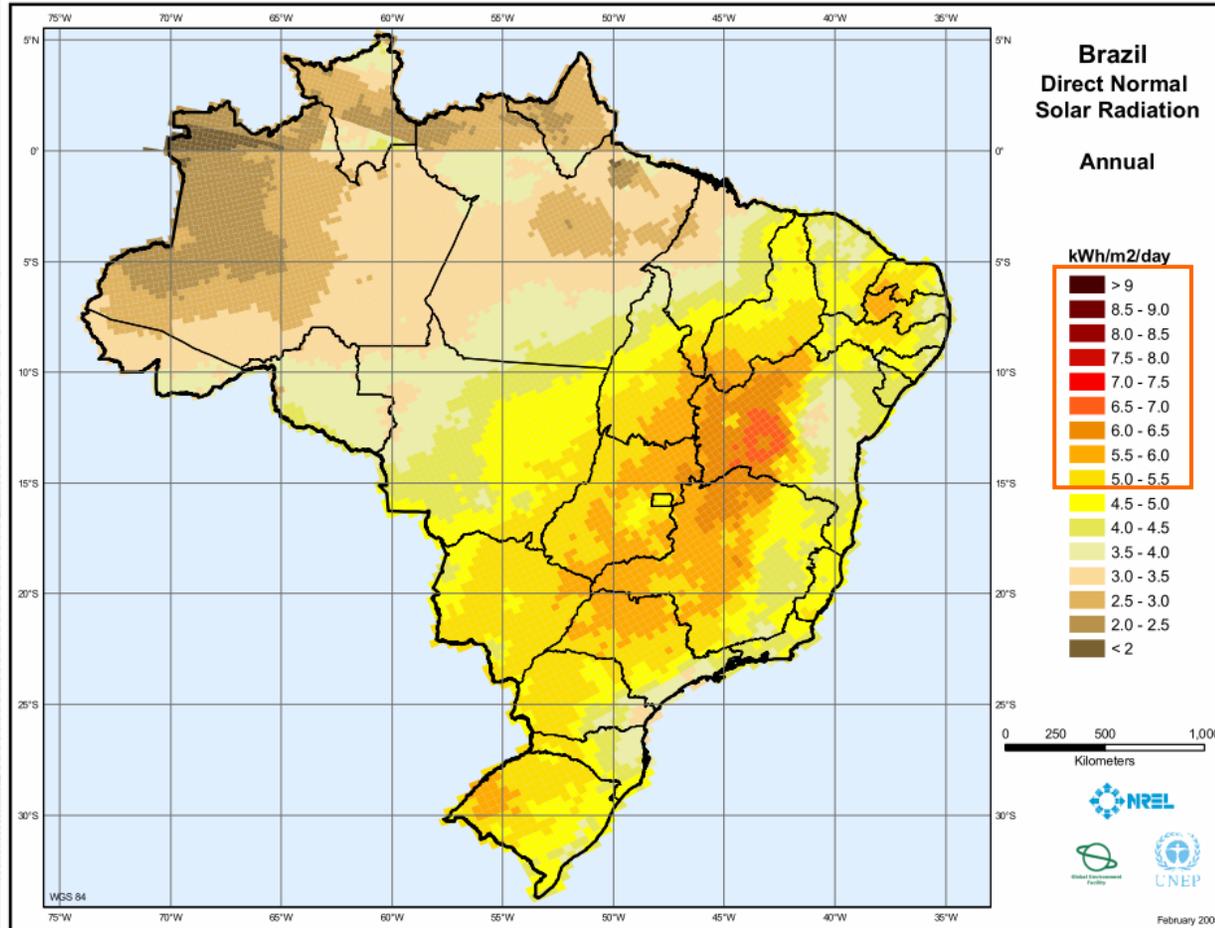


Figure 5-8 IOU Base Case Reduction in LCOE Due to Existing Incentives

Brasil – Temos Potencial ?



Brasil – Temos Capacidade Industrial ?

Radiação Solar Direta Normal (DNI)

- EUA: 2700 kWh/m²
- Espanha: 1800 a 2100 kWh/m²
- Brasil: 1800 a 2100 kWh/m² (é preciso medir e delimitar melhor)

Capacidade da indústria

- Estrutura metálica e parte convencional da planta;
- Engenharia civil;
- *Power block* até certa potência;
- Espelhos (?)

Se importarmos: receptores, espelhos e fluido térmico, estaremos nas mesmas condições do resto do mundo.

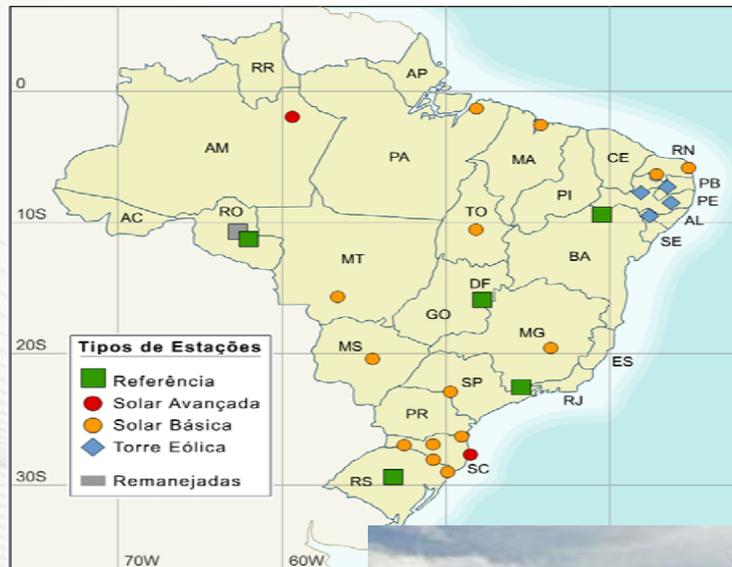
Podemos construir a Usina com menor custo ?

P&D da PETROBRAS – Desde 2003

- Levantamento do recurso solar brasileiro
- P&D em tecnologia nacional para fabricação de concentradores
- Desenvolvimento de aplicações para geração de calor industrial para consumo próprio
- Simulação computacional de aplicações térmicas e geração elétrica

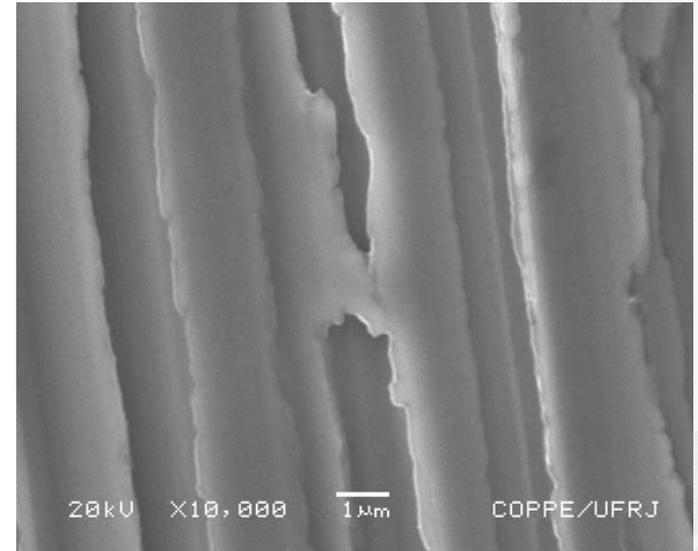
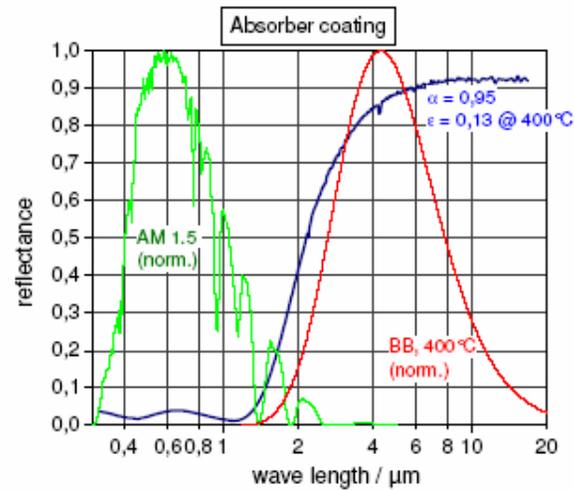
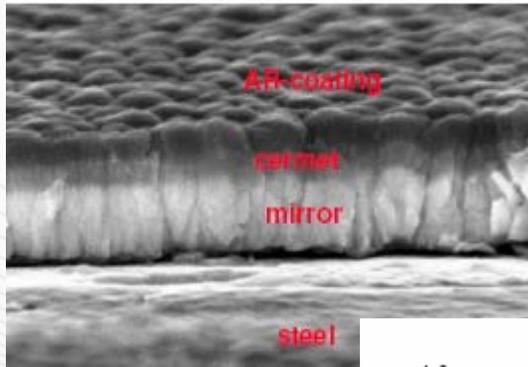
Levantamento de Dados de Radiação Solar

- Rede instalada e operada pelo INPE, com financiamento da FINEP e Banco Mundial, e mantida há 2 anos e meio pela PETROBRAS



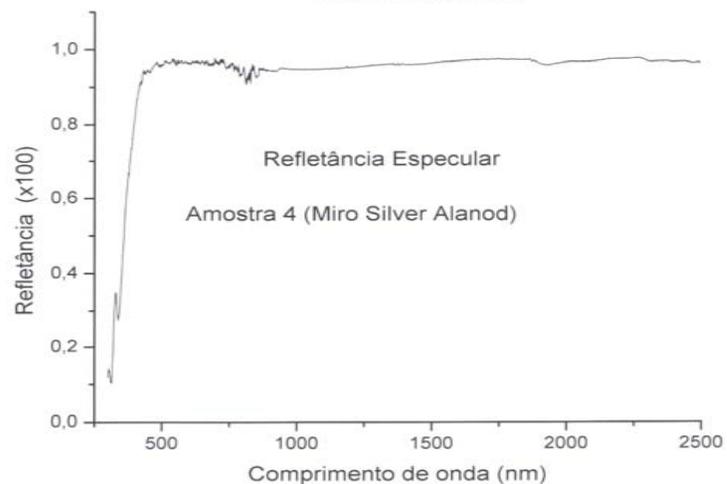
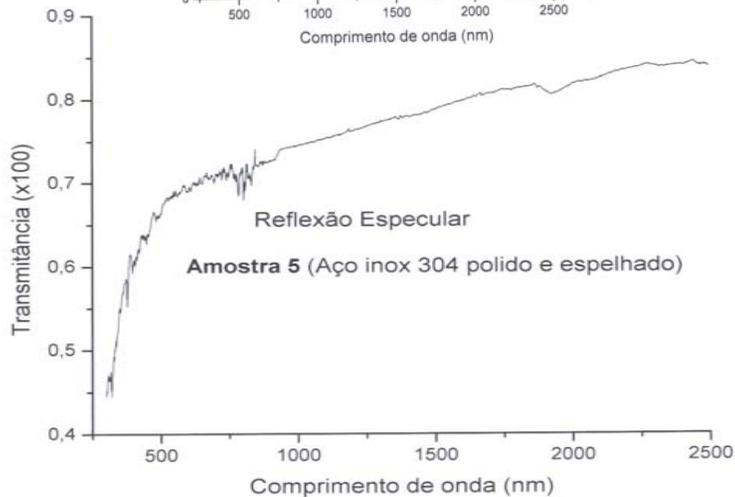
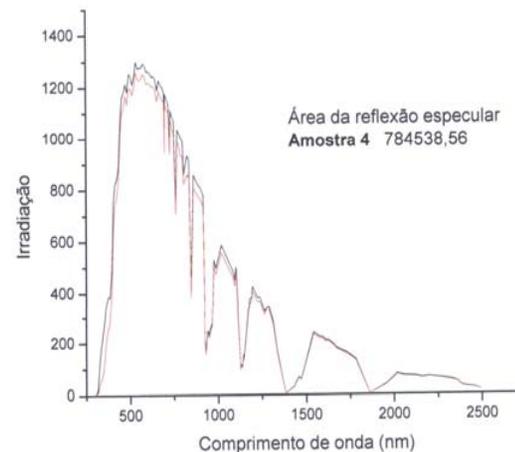
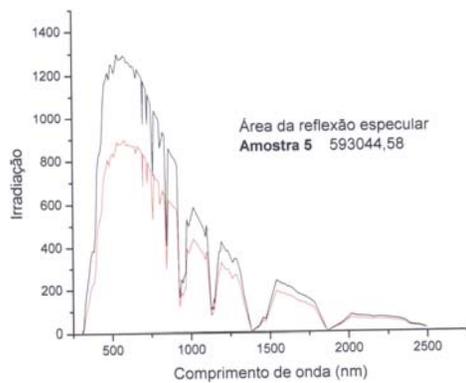
Superfícies Seletivas

Parceiro: COPPE / UFRJ



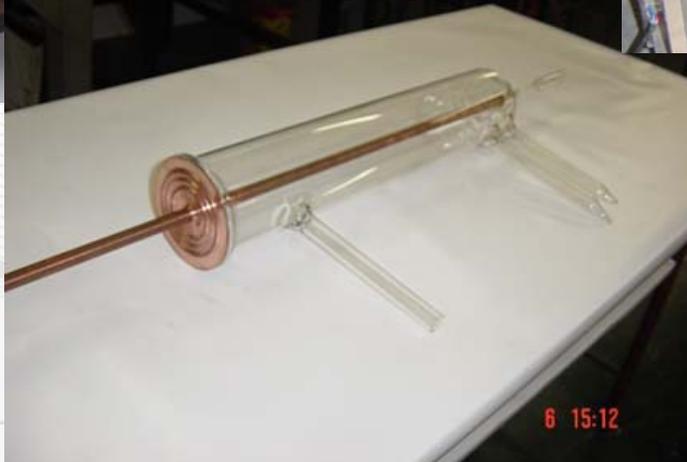
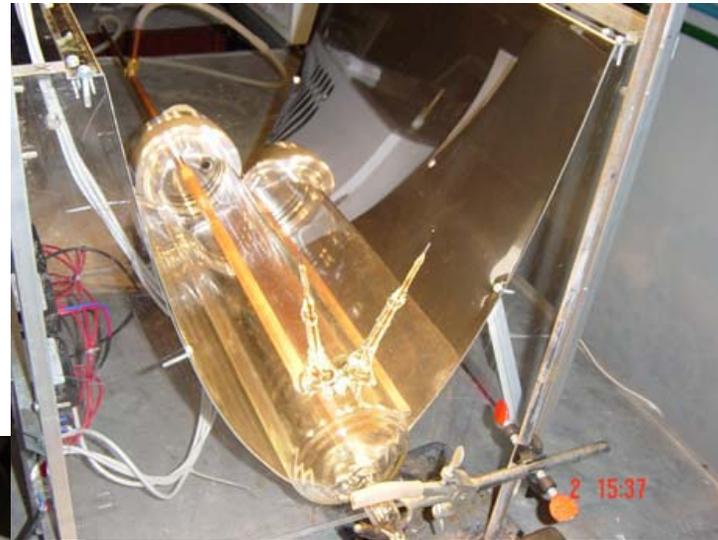
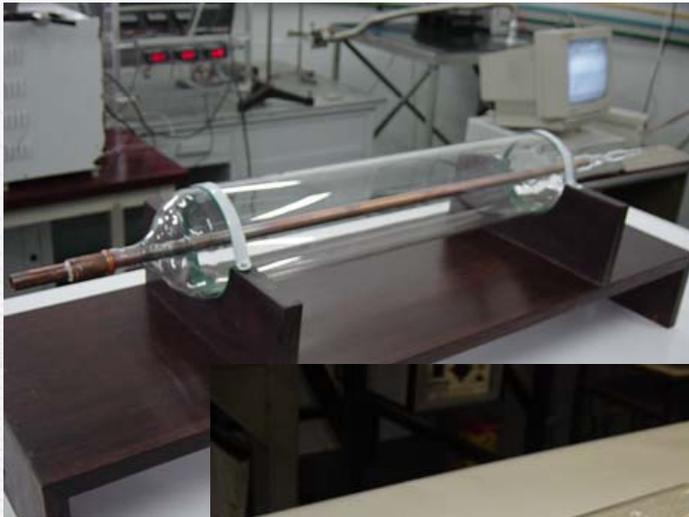
Superfícies Refletivas

Testes em diversas superfícies



Encapsulamento metal/vidro para alto vácuo

Parceiro: Multivácuo / ITA



Simulação em TRNSYS de aplicações solares para unidades de produção

- Aquecimento de correntes de petróleo
- Injeção de água em poços remotos
- Ar-condicionado solar/gás-natural

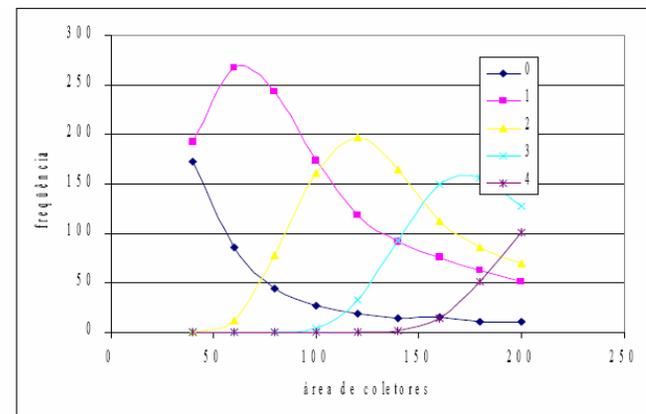
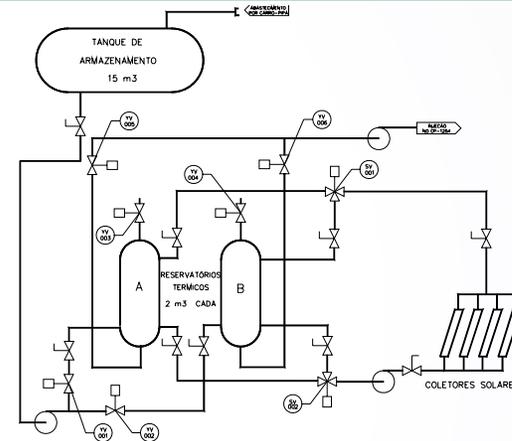
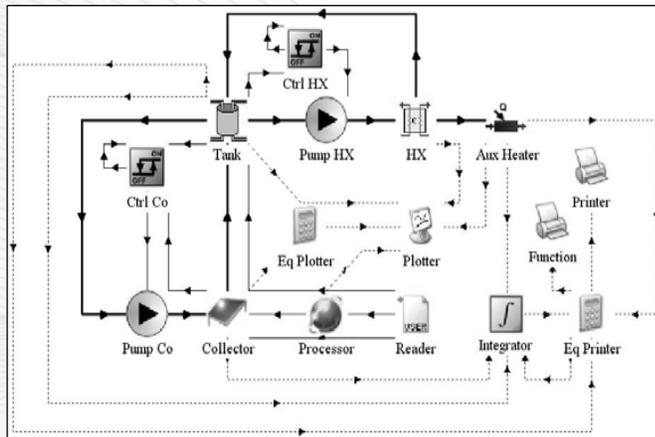
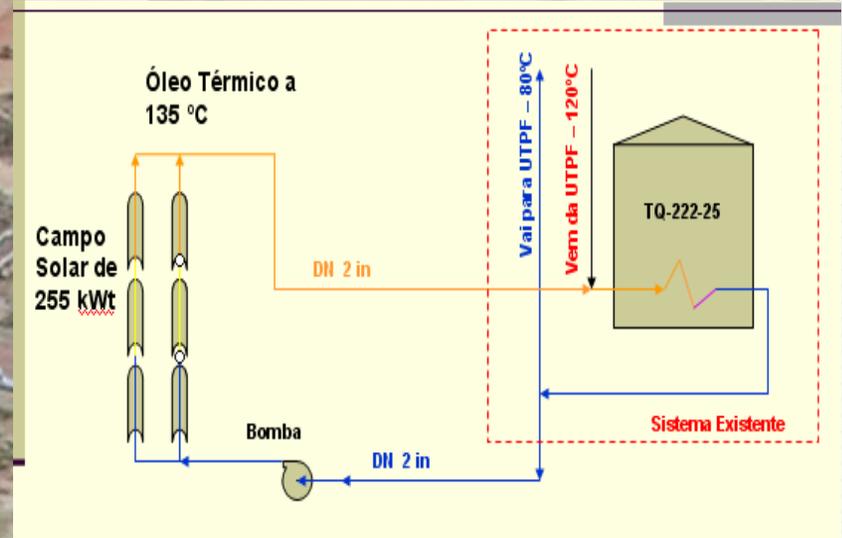


Figura 5 - Frequência de injeções de 2 m³ versus área de coletores

Piloto de uma planta de aquecimento de óleo de 250 kWt

- Fornecedor Abengoa Solar (antiga IST)



Simulação em TRNSYS de uma planta de trigeração

Parceiro: UFSC

- Geração elétrica, ar-condicionado e dessalinização

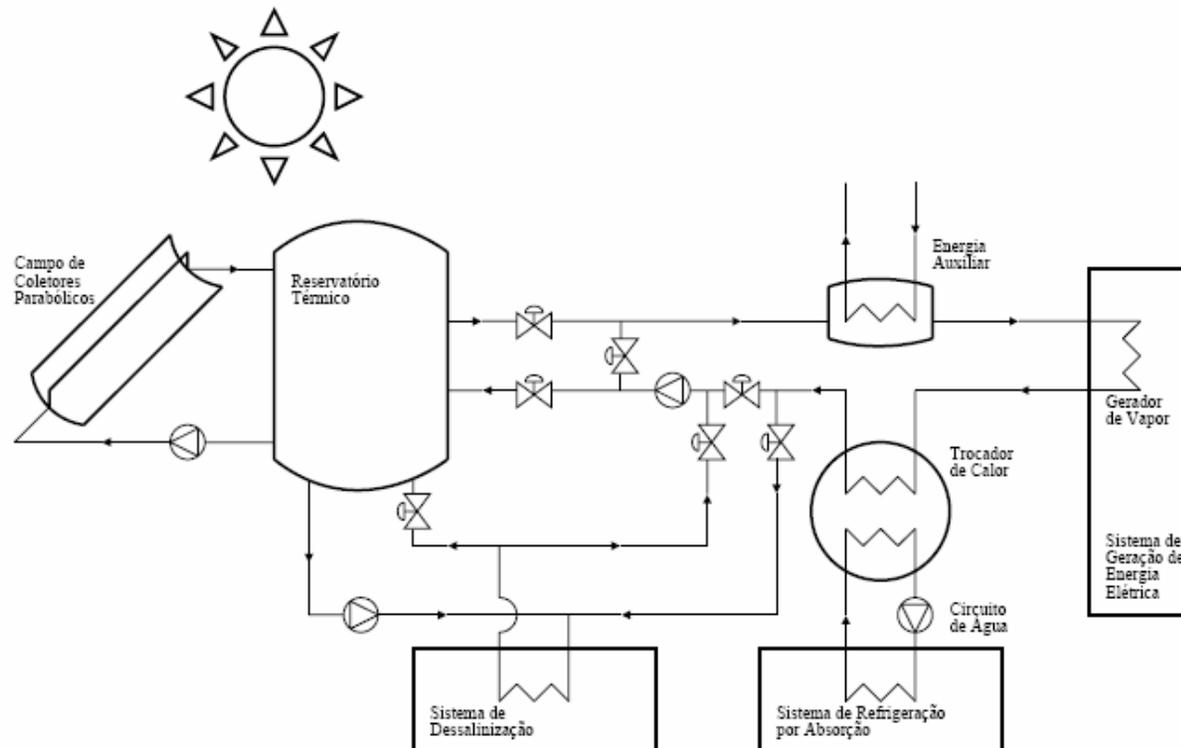
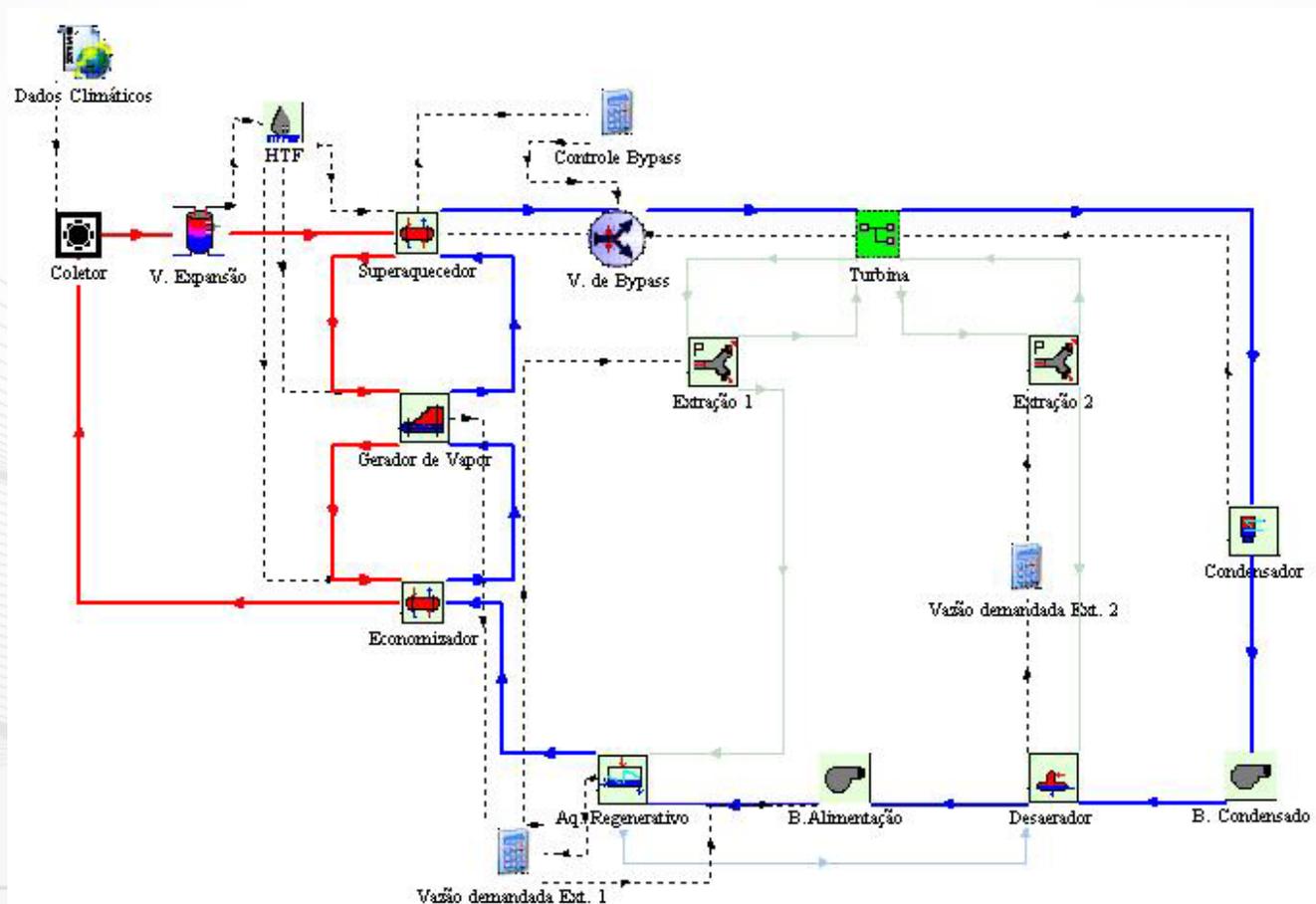


Figura 1: Configuração da planta com reservatório para o óleo térmico

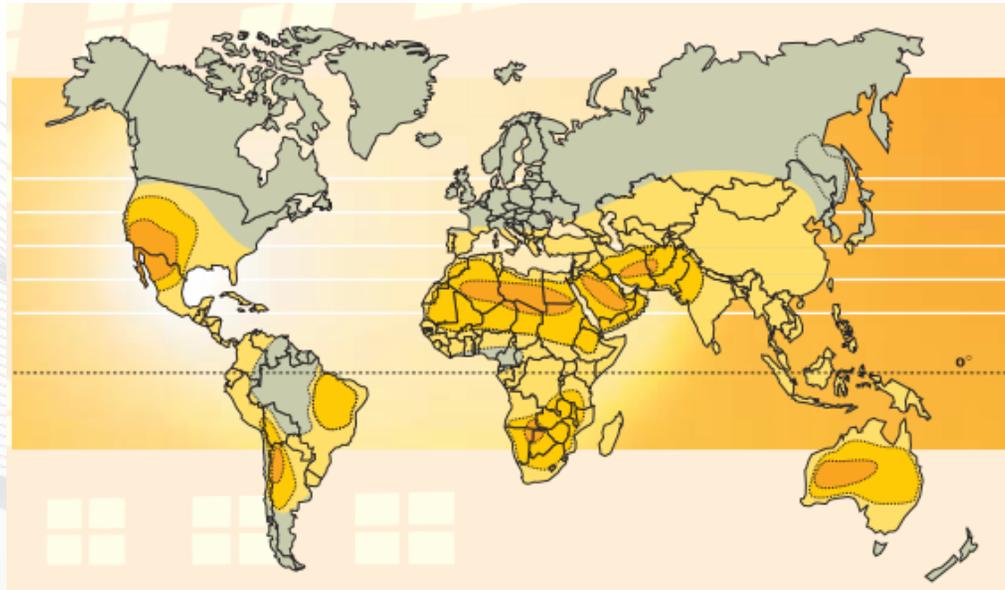


Simulação em TRNSYS de uma planta de geração elétrica de 3 MWe, integrada a uma UTE da Petrobras



Brasil – O Que Falta Então ?

- Programa nacional para medição de radiação solar
- Investimento em P&D
- Incentivos para geração elétrica por energia solar



Proposta de uma política pública de C&T para a área

1. Incentivo fiscal

- **Isenção de impostos de importação para os receptores, espelhos parabólicos e óleo térmico;**
- **Prêmio de tarifa elétrica para os primeiros 100 MWe instalados;**
- **Em um segundo momento, determinada a capacidade da indústria de construir e operar estas centrais, e o custo de geração possível no país -> leilão específico para eletricidade solar**

2. Ampliação da Rede de Medição de Radiação Solar do INPE (SONDA), que hoje é mantida pela PETROBRAS

Proposta de uma política pública de C&T para a área

3. **Estabelecimento de uma Plataforma de Desenvolvimento e Teste de Geração Heliotérmica, multicliente, como os seguintes objetivos:**
 - **Instalar plantas de demonstração das tecnologias de cilíndrico-parabólicos, torre central, CLFR e Fotovoltaica concentrada, com as tecnologias hoje existentes;**
 - **Programa de P&D nestas tecnologias, com foco em:**
 - **Materiais seletivos;**
 - **Espelhos especiais;**
 - **Armazenamento térmico;**
 - **Desenvolvimento de concepções de projeto nacionais;**
 - **Técnicas de simulação computacional**



OBRIGADO !

Equipe Cenpes/PDEDS/G&E

- **Francisco Mateus Miller, fmmiller@petrobras.com.br**
- **Marcia de Oliveira Costa, marciaocosta@petrobras.com.br**
- **Patricia Oliva Soares, oliva@petrobras.com.br**
- **Rafaela Frota Reinaldo, rafaela.reinaldo@petrobras.com.br**
- **Ricardo Oliveira Razuk, ricardo.razuk@petrobras.com.br**
- **Jeffrey Lowe, jeffrey@petrobras.com.br**