

Oficina de Sustentabilidade Hídrica no Semiárido

Energia Solar - Aplicações

Olga C. Vilela

Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia – Grupo FAE
Departamento de Energia Nuclear-DEN-CTG-UFPE

Centro de Energias Renováveis - CER-UFPE
ocv@ufpe.br

Petrolina, Novembro de 2019



CENTRO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO



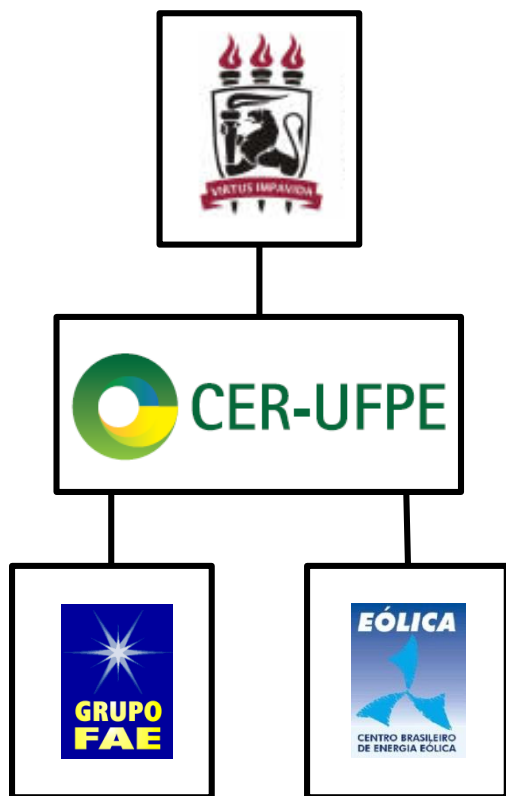
O CER-UFPE

Energia Solar

Aplicações e sistemas

Atividades de Pesquisa

O Centro de Energias Renováveis da UFPE



O CER-UFPE iniciou suas atividades há 6 anos a partir da integração entre o FAE (41 anos) e o antigo CBEE (30 anos).

strategic research at UFPE (see CER):
<https://www.ufpe.br/pesquisa/pesquisa-estrategica>

Breve História da Solar na UFPE

Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia (FAE)

1978: criação do Grupo FAE

1993: prêmio Liguria, Centro per lo Sviluppo del Popolo, Genova, Itália

2001: elaboração do 1º Atlas Solarimétrico do Brasil

2005: reconstituição da Associação Brasileira de Energia Solar

2009-2010: suporte às autoridades Brasileiras para estabelecer as bases para o desenvolvimento da energia solar térmica de médias e altas temperaturas no Brasil

2010: credenciamento como Entidade Associada ao INT/MCT

2011 a 2019: Chamadas ANEEL – Projetos de P&D

1978-2019 (41 anos): formação de pessoal, projetos de P&D em colaboração com instituições de pesquisa e empresas nacionais e internacionais

Alguns Projetos de P&D Recentes em Solar

Usina Termosolar de 1 MW, Plataforma Solar de Petrolina

recurso: FINEP (P&D), SECTEC

Central Solar FV 3 MW, Plataforma Solar de Petrolina

recurso: CHESF - P&D ANEEL chamada 13/2011 (chamada 01/2017)

Central Solar FV 1 MW, Arena Pernambuco

recurso: Grupo NEOENERGIA - P&D ANEEL chamada 13

Planta FV de 10 kW conectada à rede com Tecnologia HCPV

recurso: ABENGOA BRASIL - P&D ANEEL

Plantas FV instaladas em lagos de Hidroelétricas

(5 MWp Sobradinho-Bahia + 5 MWp Balbina-Amazonas)

recurso: CHESF/ELETRONORTE - ANEEL

Estudo das características de geração de células e módulos OPV fabricados pelo CSEM-BRASIL

recurso: SUDENE

Solar no CER-UFPE

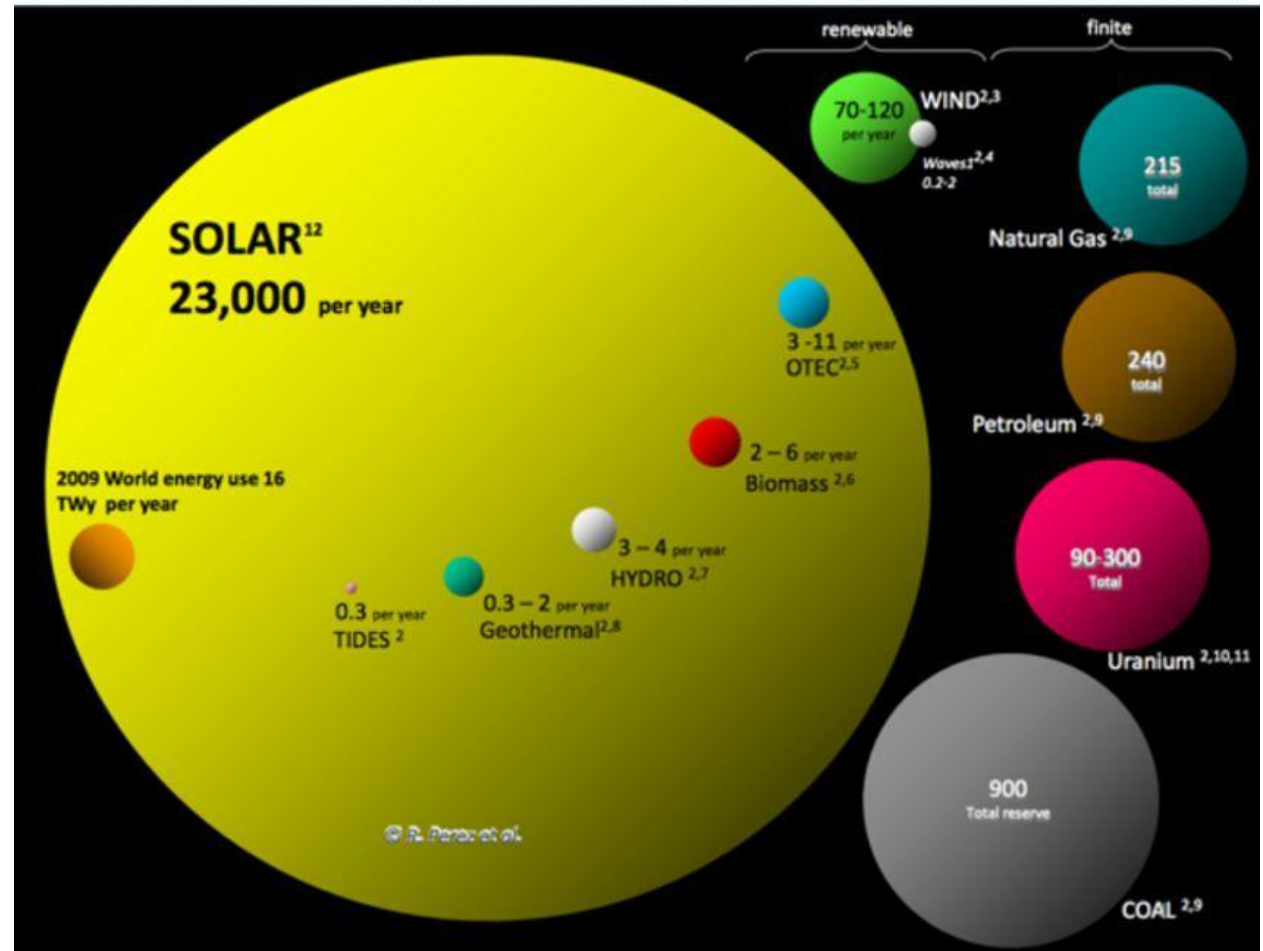
ENERGIA SOLAR

Aplicações e sistemas

Atividades de Pesquisa

Potencial da energia Solar

O potencial da energia solar é mais de 1.000 vezes o consumo de energia do mundo



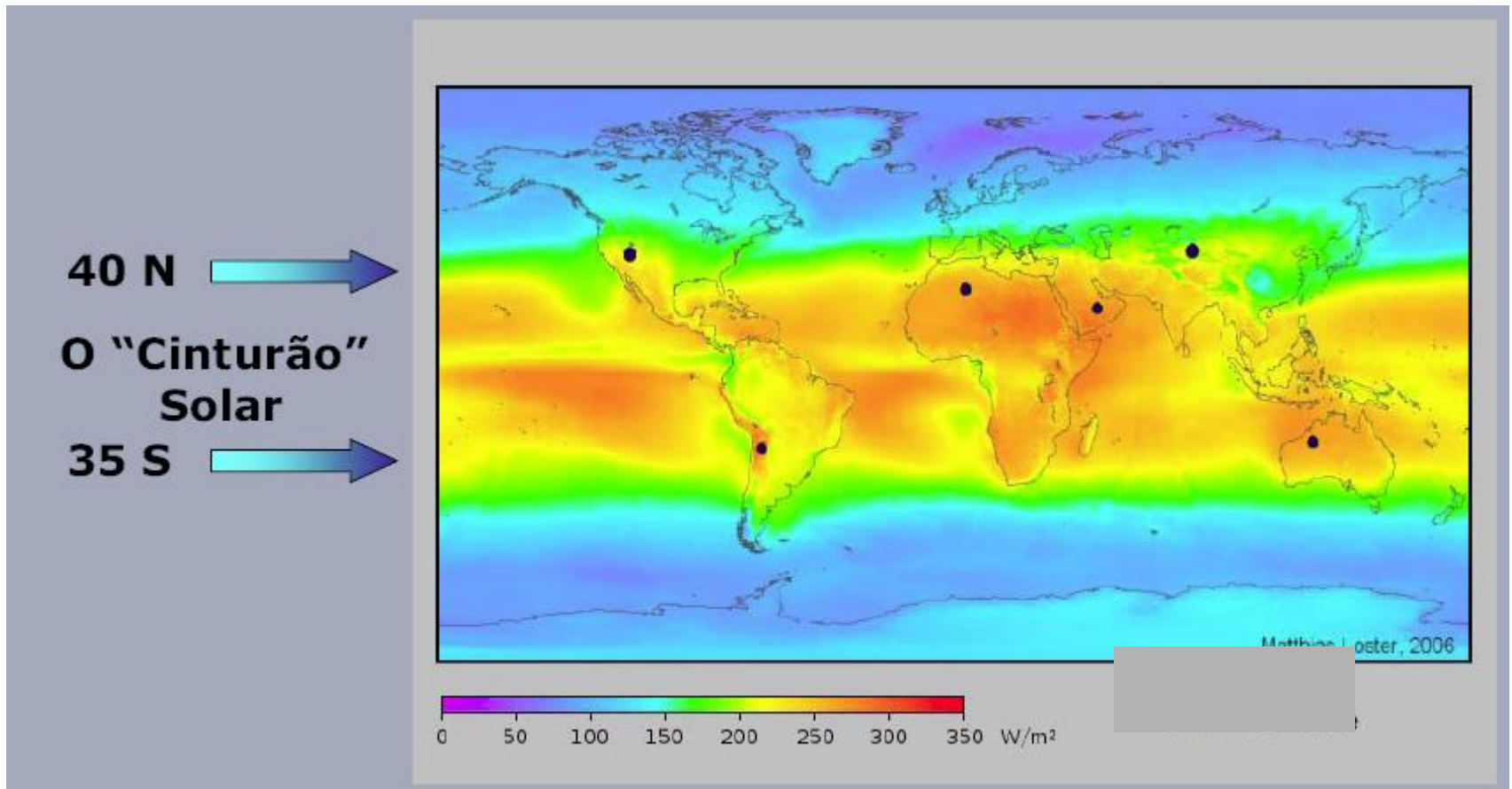
“Devemos deixar o petróleo antes que ele nos deixe”

Faith Birol

(Economista chefe da IEA)

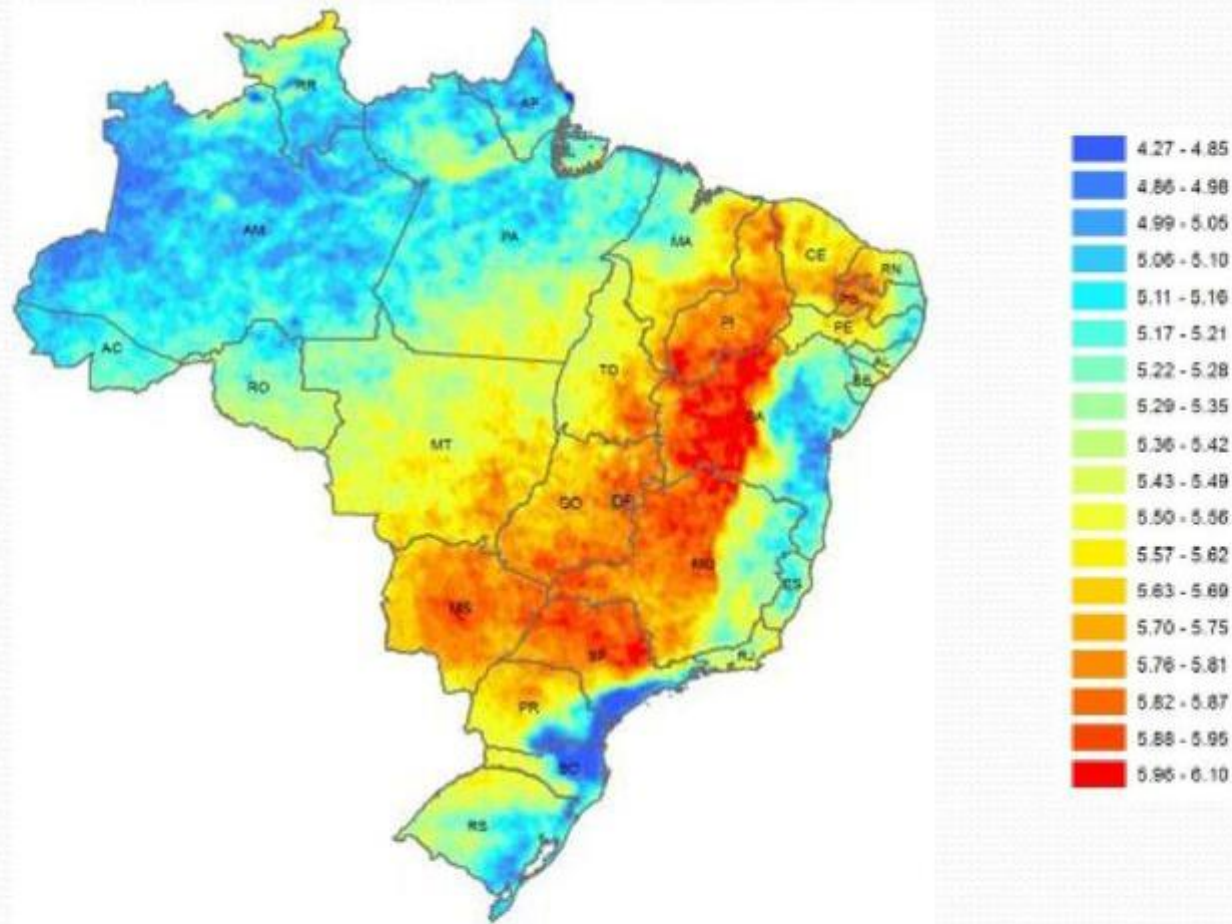
“2009 Estimate of finite and renewable planetary energy reserves (Terawatt-years). Total recoverable reserves are shown for the finite resources. Yearly potential is shown for the renewables.” (Perez & Perez, 2015) <https://cleantechnica.com/2016/08/17/10-solar-energy-facts-charts-everyone-know/>

POTENCIAL ENERGIA SOLAR



Fonte: CRESESB - CEPEL

Potencial da Energia solar no Brasil



No Brasil a irradiação média diária está entre 4,1 a 6,5 kWh/m² sendo que na Alemanha o valor máximo é de 3,4 kWh/m².

POTENCIAL ENERGIA SOLAR NO BRASIL

Índices elevados de energia solar incidente

- Radiação recebida no Brasil em média: $\sim 5200 \text{ Wh/m}^2\text{dia}$
- Considerando-se uma área de 0,1% da área do Brasil com sistema de 10% de rendimento temos:
 - Área Brasil: 8,5 milhões de km^2 :
 - Energia anual gerada: 1.610 TWh/ano
 - Consumo anual de energia elétrica Brasil atual: $\sim 470 \text{ TWh}$.

0,1% da área do Brasil com sistema de 10% de rendimento $\sim 3,4$ vezes o consumo anual do País

POTENCIAL ENERGIA SOLAR

RADIAÇÃO SOLAR MÉDIA ANUAL PETROLINA:

~ 5,5 kWh/m² por dia \longrightarrow 165 kWh/m² por mês

Telhado de 100m²

Consumo de uma residência média : 300 kWh/mês

Qual o rendimento de um sistema FV para atender a essa demanda?

$$165 \frac{kWh}{m^2 \cdot mês} \times 100 m^2 = 16.500 \frac{kWh}{mês}$$

$$\eta = \frac{\text{Energia consumida}}{\text{Energia Disponível}} = 300 \frac{kWh}{mês} \div 16.500 \frac{kWh}{mês} = 1,8\%$$

$$\eta = 1,8\%$$

Solar no CER-UFPE

Energia Solar

APLICAÇÕES E SISTEMAS

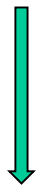
Atividades de Pesquisa

APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

SISTEMAS TÉRMICOS



Aquecimento de
água/ar/fluido térmico



CALOR



Geração indireta
de eletricidade



ELETRICIDADE

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS



Geração direta de
eletricidade



ELETRICIDADE

APLICAÇÕES

- Residências;
- Hotéis, motéis;
- Hospitais;
- Vestiários e restaurantes industriais;
- Piscinas;
- Processos industriais de baixa temperatura

AQUECIMENTO SOLAR

CHUVEIRO ELÉTRICO

- BAIXO CUSTO, FÁCIL DE INSTALAR
- Consome entre 2 e 5 kW
- Representa cerca de 1/3 do consumo mensal em residências populares
- Sobrecarga na distribuição de energia urbana no horário de pico

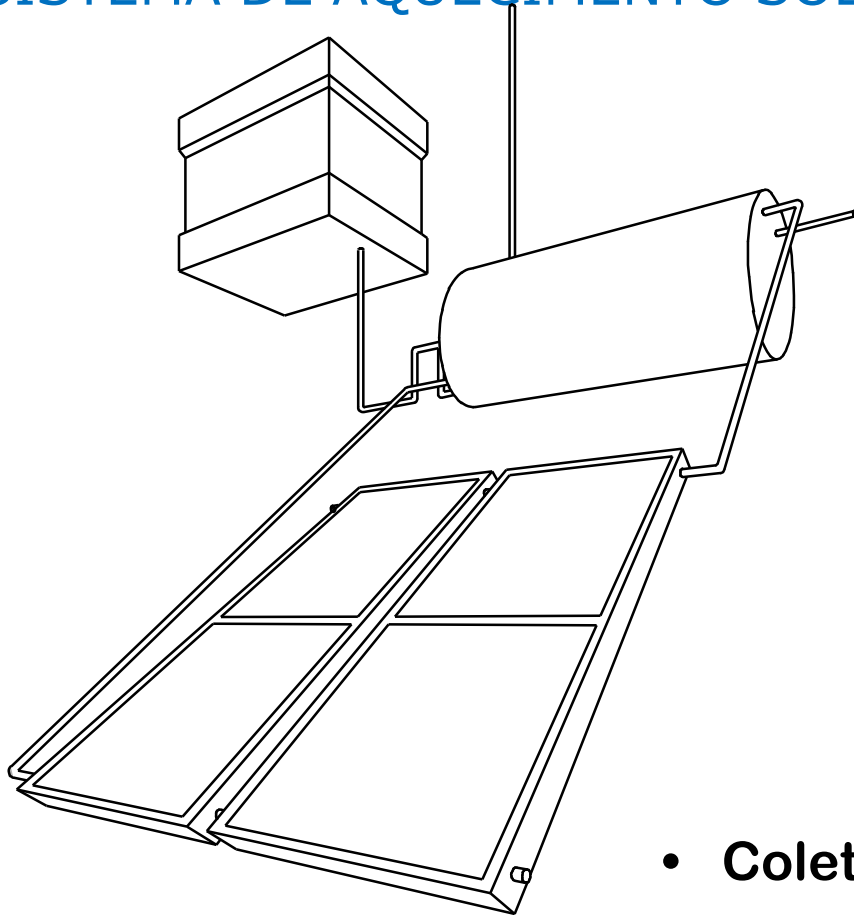
Aquecimento de água para banho



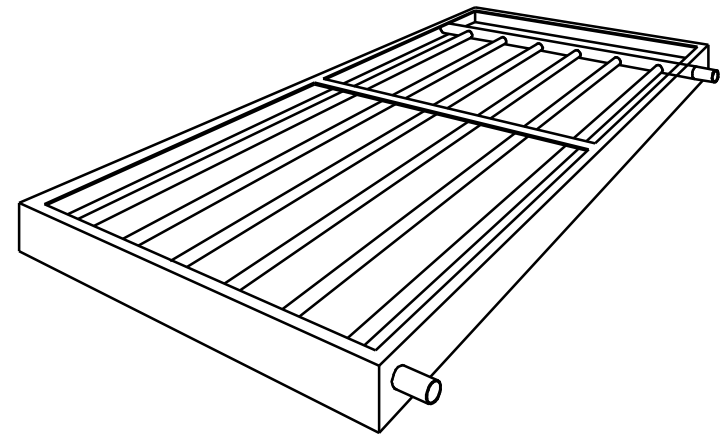
6,0% de todo o consumo nacional
de energia elétrica.

AQUECIMENTO SOLAR

SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR



COLETOR PLANO



- Coletores
- Reservatório
- Caixa de Alimentação

AQUECIMENTO SOLAR



Empresas de capital nacional,
Tecnologia 100% Brasileira,
Empregam profissionais na
fabricação, comercialização e
instalação.

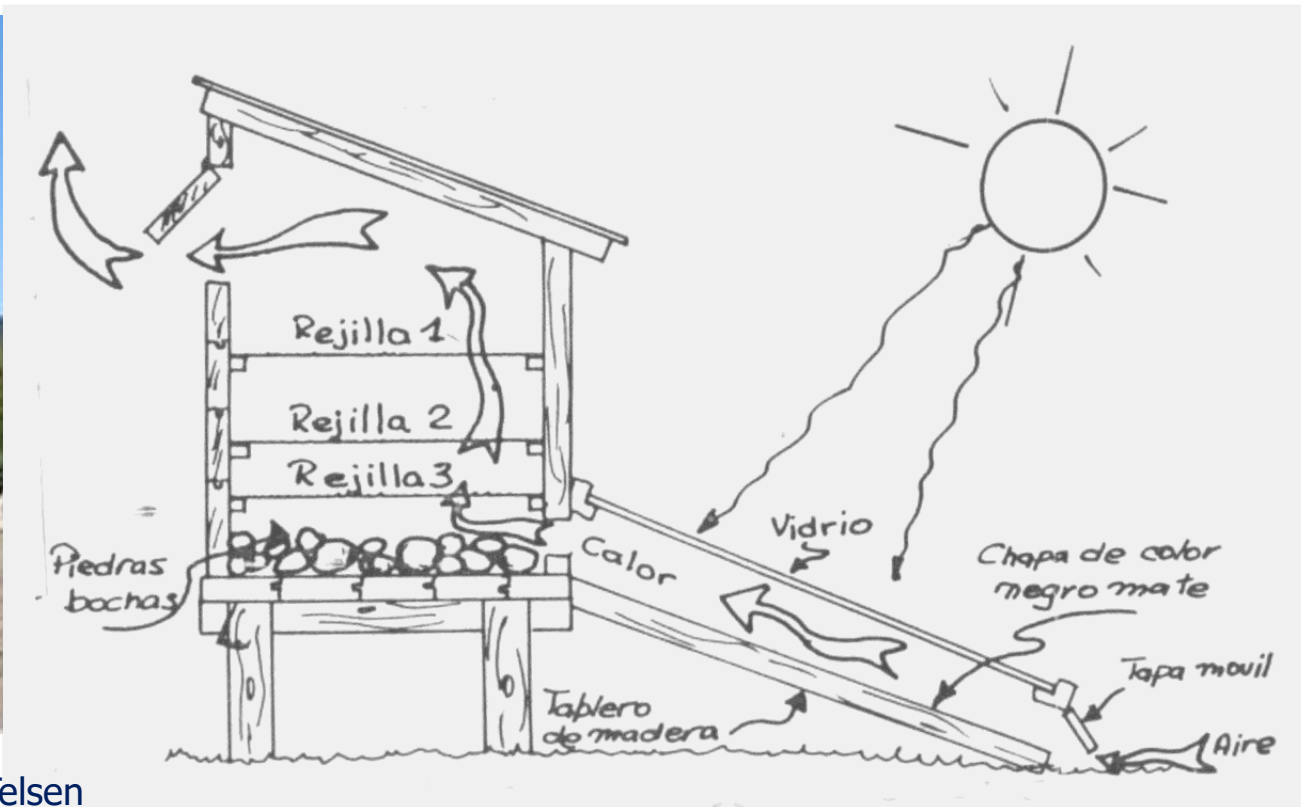
OUTRAS APLICAÇÕES

- Secagem
- Calor de processo
- Fogões solares

AQUECIMENTO SOLAR

Secagem Solar – frutas, legumes, cereais

Esquema de Secador Solar de alimentos tipo "armario".

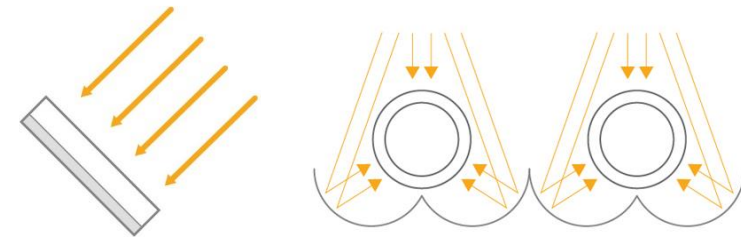
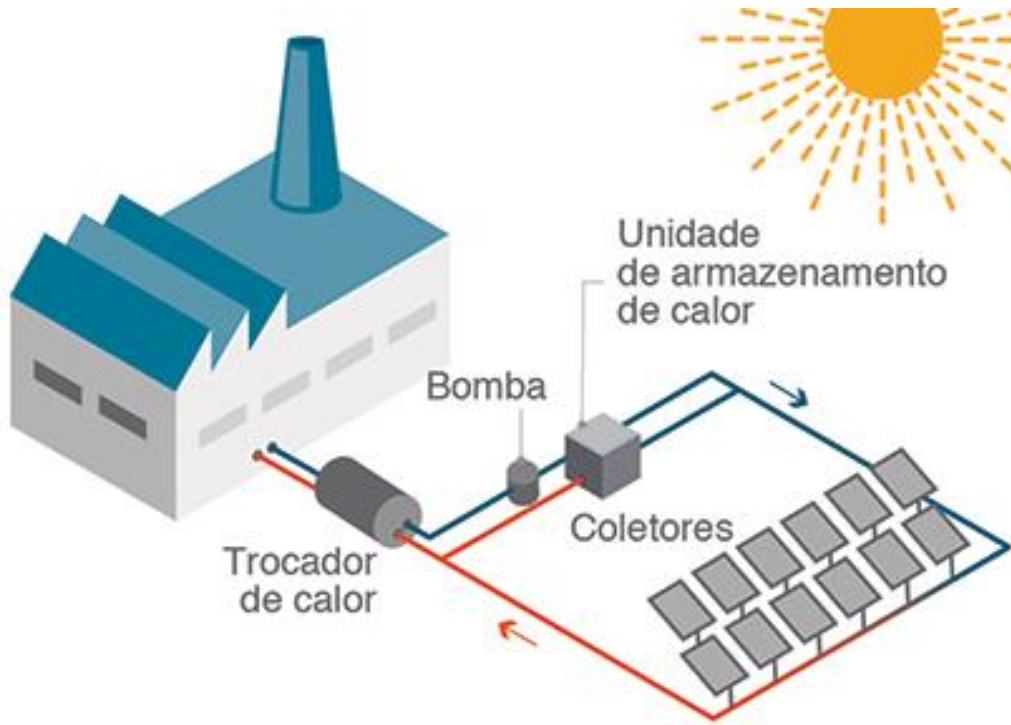


Secador solar - Comunidade Rural Telsen (Chubut) 2009.

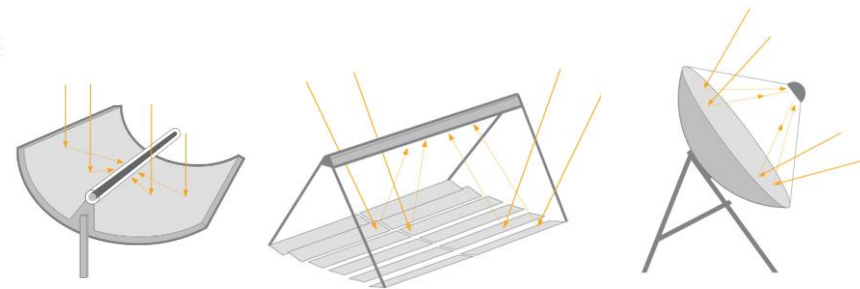
AQUECIMENTO SOLAR

Calor de processo

Tipos de coletores
FIXOS



MÓVEIS



Ex. pasteurização; secagem

AQUECIMENTO SOLAR

Fogões solares

Disco parabólico



Fresnel



Tipo forno



FONTE: Mercado Livre

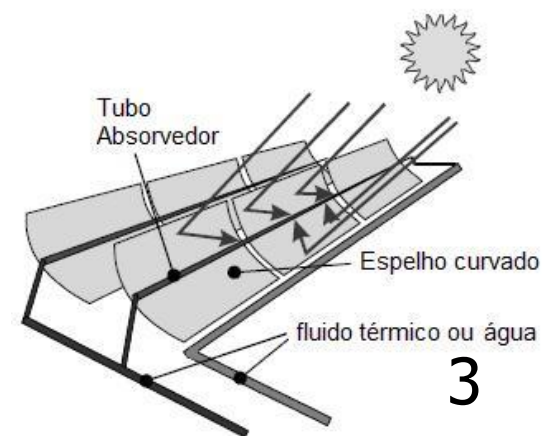
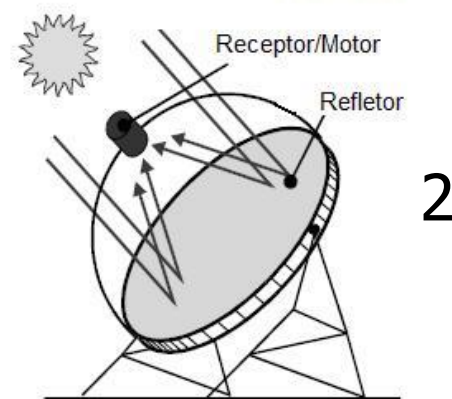
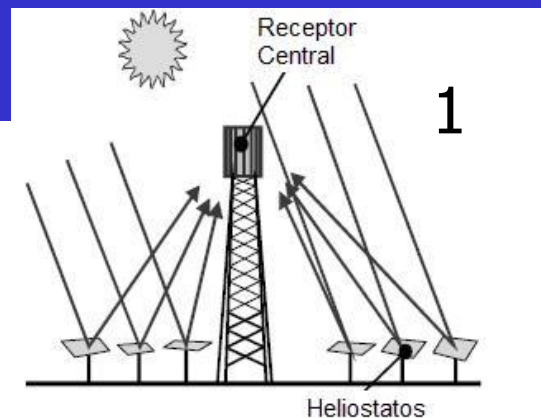
FONTE: http://zeca.astronomos.com.br/sci/fogao/fogao_solar.htm

GERAÇÃO SOLAR TERMO-ELÉTRICA

Tecnologias para Geração de Eletricidade

São classificados em três diferentes tecnologias de acordo com a maneira com que a superfície refletora concentra a radiação solar:

1. O sistema torre central, também conhecido como receptor central;
2. O sistema disco-parabólico, também conhecido como receptores distribuídos;
3. O sistema cilindro parabólico, também conhecido como parabólico de foco linear.



GERAÇÃO SOLAR TERMO-ELÉTRICA

Torre de Potência



GERAÇÃO SOLAR TERMO-ELÉTRICA

PS10 (11 MW)

Altura: 115 metros

Largura: 18m frontal, 8m lateral

Dimensões: 12,94m de largura e 10,12m de altura

Superfície efetiva de espelhos: 120 m²



GERAÇÃO SOLAR TERMO-ELÉTRICA

PS10 (11 MW)



Em condições normais, o receptor é capaz de produzir 50 MWt de vapor saturado a 257°C e 40 bar de pressão, com um rendimento superior a 92% com relação à potência incidente

GERAÇÃO SOLAR TERMO-ELÉTRICA

Coletores parabólicos



GERAÇÃO SOLAR TERMO-ELÉTRICA

Coletores parabólicos



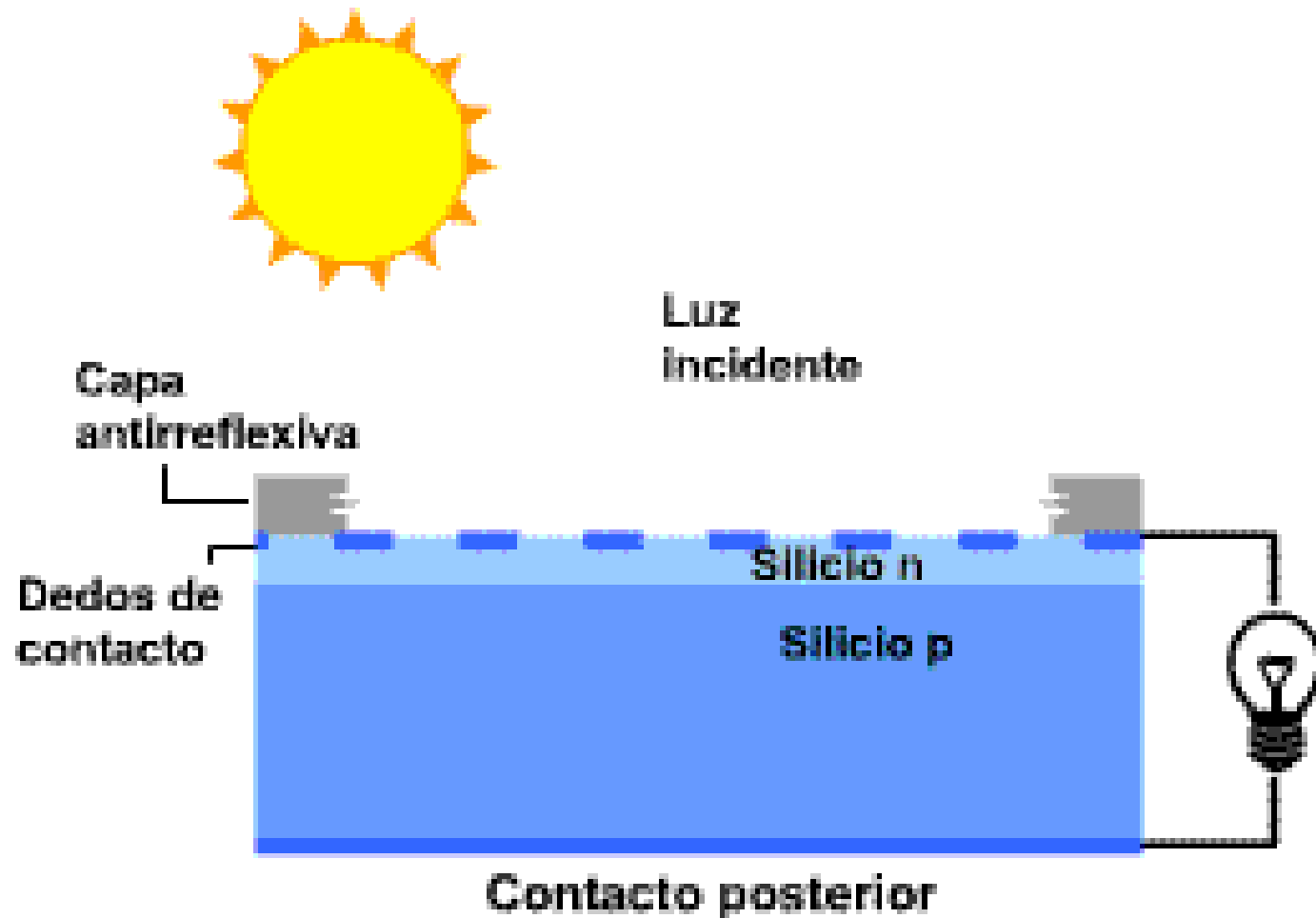
ANDASOL (50MWp)

GERAÇÃO SOLAR TERMO-ELÉTRICA

ANDASOL 1



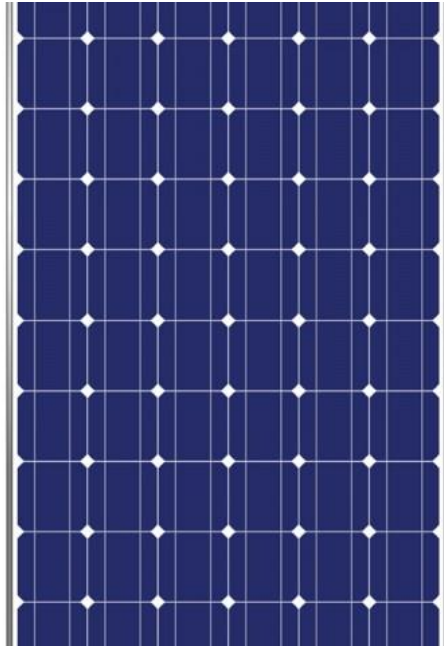
GERAÇÃO FOTOVOLTAICA



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

- **Silício monocristalino:**

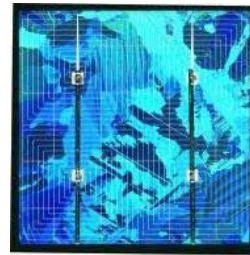
- 14% e 21%;



Célula monocristalina com AR e filamentos eléctricos

- **Silício Policristalino:**

- 13% e 17%;

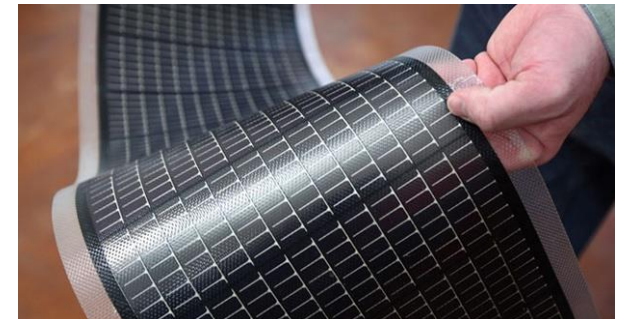


Célula policristalina com AR e filamentos eléctricos



- **Filmes Finos**

- Si-a cerca de 7% (12.5% em lab.)
- CIGS (Cu(In,Ga)Se₂) ~13% (20,3% em lab.)
- CdTe módulos de até 16,0% (INMETRO)
- Arseneto de Gálio (GaAs) 28% em lab.



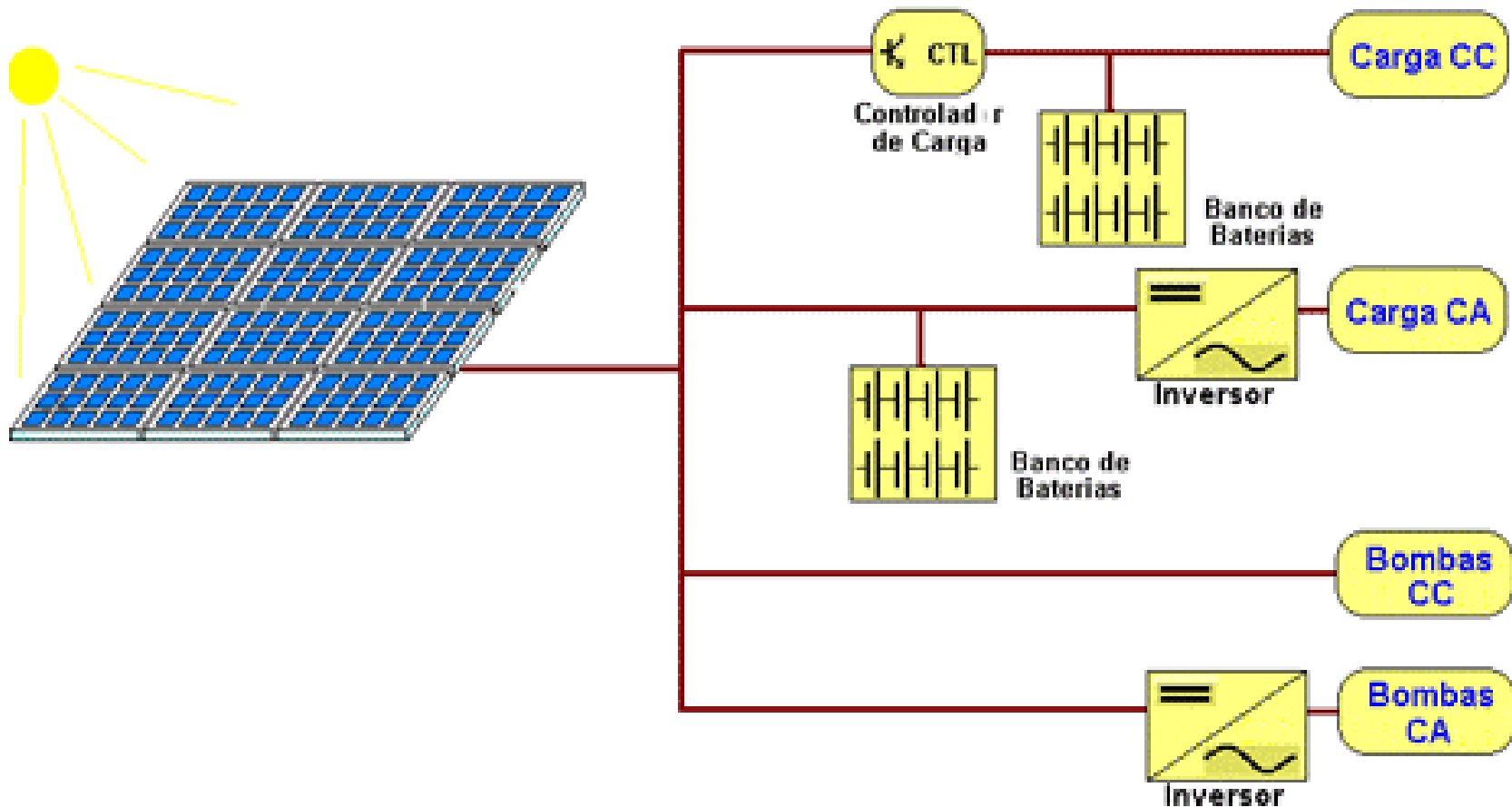
MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

- **Produtos de consumo:** brinquedos, calculadoras, relógios, etc.
- **Sistemas autônomos**
 - Sistemas de Comunicações
 - Sistema de eletrificação residencial e comunitário
 - Bombeamento/dessalinização de água
- **Sistemas conectados à rede elétrica**
 - Geração distribuída
 - Centrais fotovoltaicas

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

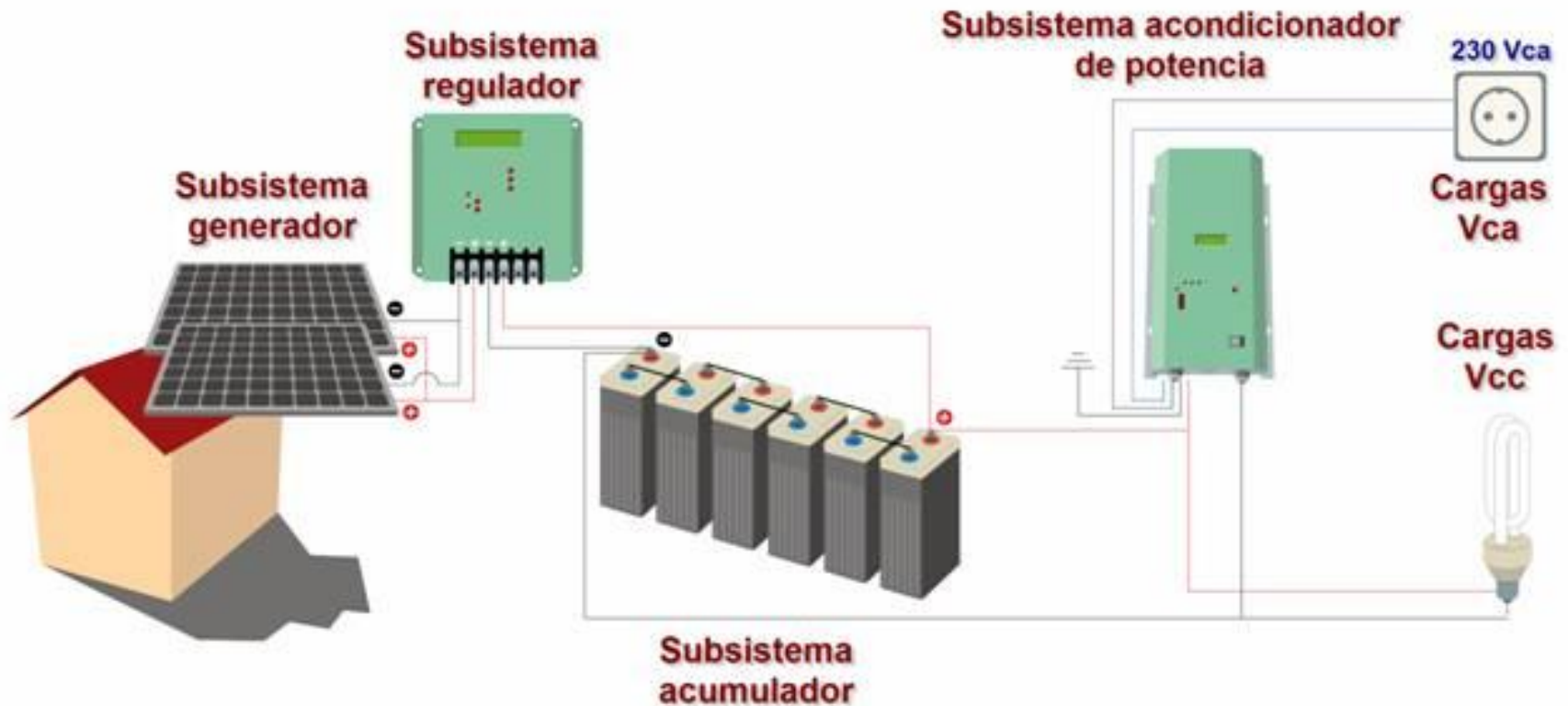
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS

Configurações



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

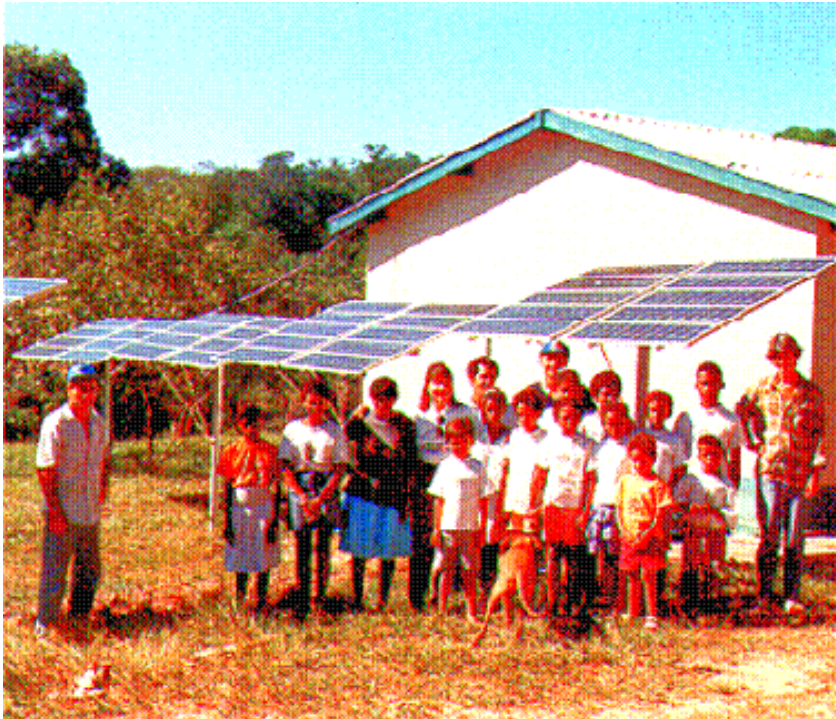
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÔNOMOS



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

ELETRIFICAÇÃO RURAL

Sistema instalado na comunidade de Boa Sorte (MS)
PRODEEM.



CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

- Potência total 2.1 kWp 44 Módulos (48Wp)

Iluminação pública, comunicação , bombeamento de água e refrigeração de vacinas

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

ELETRIFICAÇÃO RURAL

Sistemas instalados em uma Vila no Ceará
NREL/CEPEL/COELCE - Programa LUZ DO SOL



CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

- 1 Módulo da Siemens M55 (53Wp)
- 1 Bateria Delco 2000 (105Ah/12V)
- 20W em lâmpadas fluorescentes
- Saída de 12V para alimentação de cargas CC

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

Sistema de Bombeamento Fotovoltaico para Consumo Comunitário no Interior do Ceará COELCE / GTZ



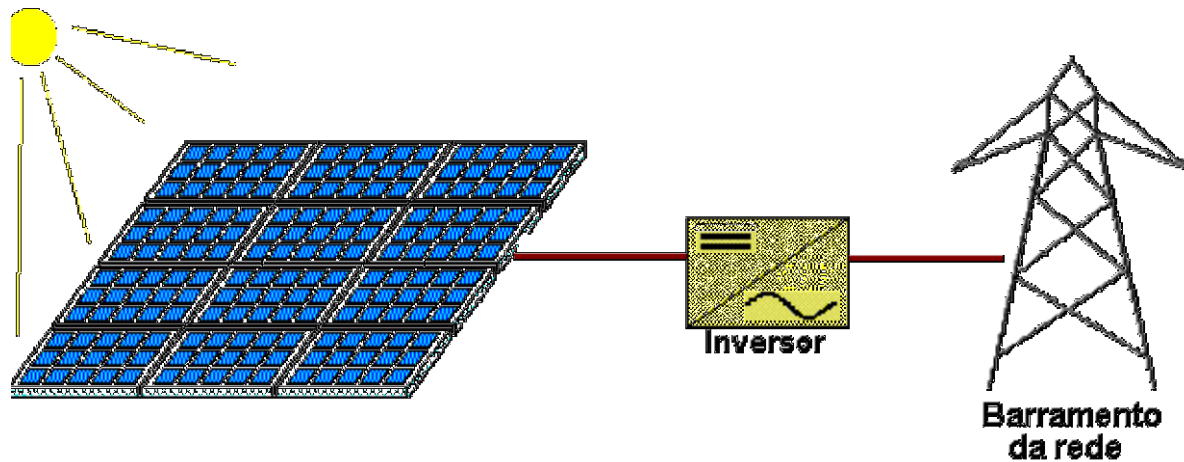
CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

- Módulos fotovoltaicos M77 da Siemens (48Wp cada)
- Inversor CC/AC de 1500W Grundfos
- Motor-Bomba modelo MS 402 Grundfos – submerso, multi-estágios.

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

SISTEMAS INTERLIGADOS À REDE – GERAÇÃO CENTRALIZADA

Usinas solares



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

SISTEMAS INTERLIGADOS À REDE



CENTRAL FOTOVOLTAICA DE TOLEDO OP. DESDE 1994



7936 MÓDULOS

≈1 MWp prod. Média de 1.600 MWh/ano

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

SISTEMAS INTERLIGADOS À REDE

CENTRAL FOTOVOLTAICA DE SERPA 11 MWP

Em junho 2007 -Maior Central Mundo com 600 mil m² / 52.000 módulos

Produção: 20 GWh/ano = Consumo p/ 8.000 residências



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

MAIOR USINA FV DO BRASIL

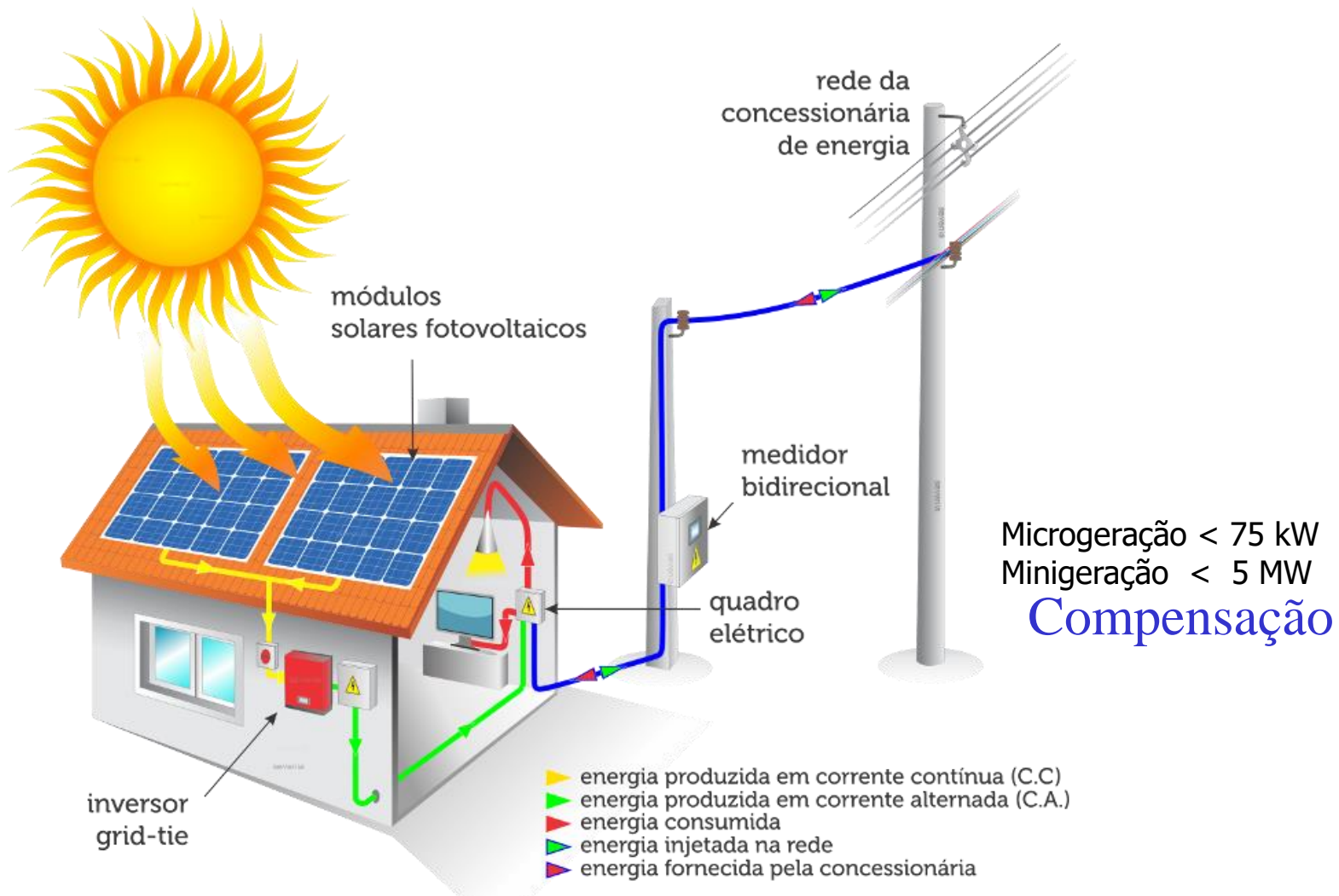
Parque Solar Nova Olinda (PI) - 292 MW



Localizado no município de Ribeira do Piauí, atualmente é o **maior parque solar do Brasil e da América Latina**, com **292 MW** de capacidade de geração de energia. Em operação desde setembro de 2017

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

Sistemas FV conectados à rede – Geração distribuída



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

SISTEMAS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES



Biblioteca -Espanha 33,5 kWp

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

SISTEMAS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

SISTEMAS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES



MÓDULOS FOTOVOLTAICOS- APLICAÇÕES

SISTEMAS INTEGRADOS A EDIFICAÇÕES



“Tecnologia com nível zero de ocupação de área”

Agrovoltáico

Cultivo + geração



Sistema de Ibimirim (Ecolume) escola de Agroecologia Serta



Numa área de pouco mais de 24 metros quadrados foi instalada uma unidade do projeto Ecolume que, anualmente, produz 192 quilos de peixe, 730 ovos de galinha, 816 unidades de vegetais, 200 mudas nativas e 4,8 mil quilowatts-hora (kWh) de energia por ano

Solar no CER-UFPE

Energia Solar

Aplicações e sistemas

ATIVIDADES DE PESQUISA – FAE - CER

Outras Tecnologias
CENTRAL TOWER



FRESNEL



Plataforma Solar de Petrolina

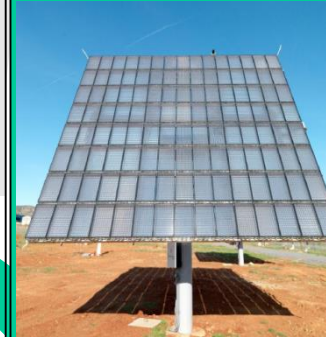


Planta Heliotérmica

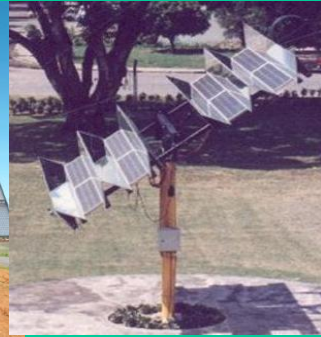


Planta Tecnológica 500 kWp

HCPV



V-TROUGH



TRACKERS



FIXOS- DIF. TECNOLOGIAS



BASE PLANT



**2,5 MWp
(Si-c)
Fixo
Plano**

LABORATÓRIOS

Plataforma Solar de Petrolina



Infraestrutura e Atividades em Solar

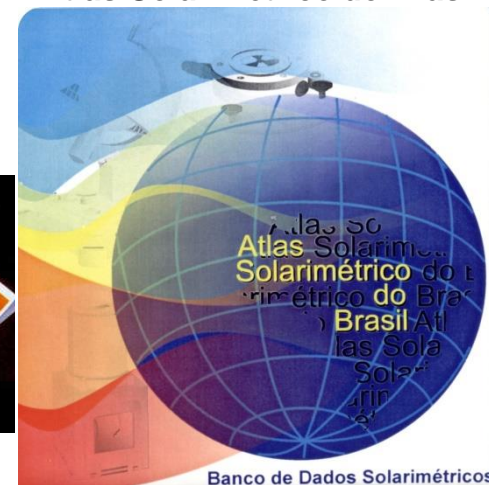
Sistemas conectados à rede



Aquecedor solar CPC – 120°C



1º Atlas Solarimétrico do Brasil



Infraestrutura e Atividades em Solar

➤ ENSAIOS, CARACTERIZAÇÃO, DIMENSIONAMENTO

➤ ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE SISTEMAS INSTALADOS EM CAMPO



Atividades em Solar – Bombeamento - FV

Aplicações: abastecimento e irrigação

SISTEMAS FLUTUANTES



FAE: Bombeamento 20m³
COMPLEXO TURÍSTICO GROTA DE ANGICOS – SE
Irrigação, horta, pomar



Restaurante _ Piranhas Rio São Francisco
Sistema FV Conectado à Rede
Programa Xingó - AL

Atividades em Solar – Bombeamento FV

IRRIGAÇÃO



sistema flutuante

Ilha do Ferro - AL: 20 m³/dia;
cultura Uva



Atividades em Solar – Bombeamento - FV

Aplicações: eletrificação, abastecimento e irrigação



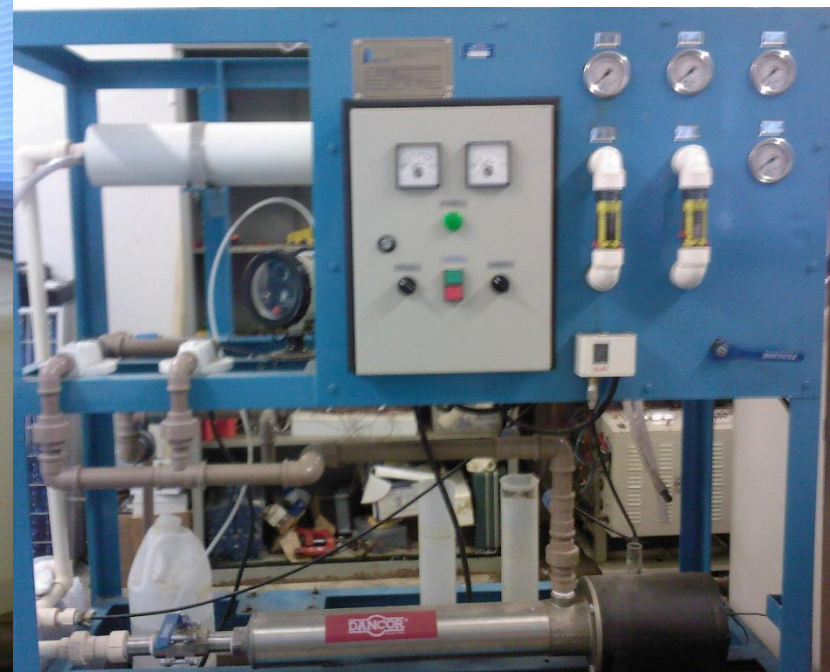
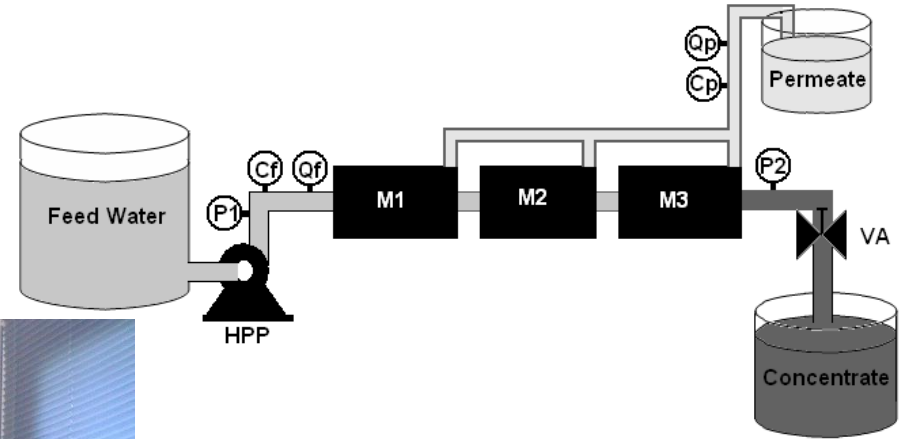
Caso Gualter SE – Assentamento
Bombeamento 20 m³ com sistema de distribuição de água-
Chafariz, bebedouro para animais, lavanderia
Escola: 2 salas, Wc, biblioteca, cozinha, área livre
Praça: Passeio, bancos, TV, arborização....
Cursos: primário, alfabetização adultos, corte e costura...



Atividades em Solar – Dessalinização FV

DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA

200 litros/dia



Atividades em Solar – Sistemas FV com Rastreamento

Alto fator de capacidade



Energia diária
no mínimo

20% maior
(Recife)



Rastreador

**Projetado e
construído no
FAE**

Desenvolvimento de rastreadores
Eletrônica, controle, mecânica

Infraestrutura e Atividades em Solar

SISTEMAS FV COM RASTREAMENTO E CONCENTRAÇÃO

CONCENTRADORES TIPO V



V-trough -Projetados e construídos pelo FAE

Para Recife

Ganho em radiação 68%

Ganho em volume bombeado 128%



Atividades em Solar – Sistema FV de alto rendimento

Sistemas HCPV - ABENGOA

Alta eficiência: 26% Sistema



Alta eficiência: 46% célula (atual)



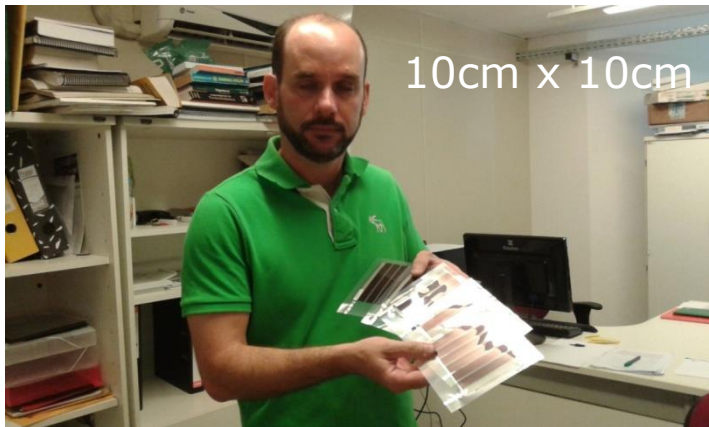
Testes com células de alta eficiência com concentração

Projeto CNPq

Atividades em Solar – Módulos orgânicos

Módulos orgânicos: leves e transparentes, adequado a estufas e estruturas frágeis

Projeto Células Orgânicas - SUDENE



Possibilidade de baixo custo- processo de fabricação



Caracterização de células e módulos OPV com iluminação pela frente e verso

Possível ganho de 70 % de potência

Desenvolvimento de óptica simples para aproveitar as duas faces ao mesmo tempo

Infraestrutura e Atividades em Solar

Inserção do fogão solar, em 3 comunidades da área de abrangência do Instituto Xingó (18 famílias)
Fogões Solares



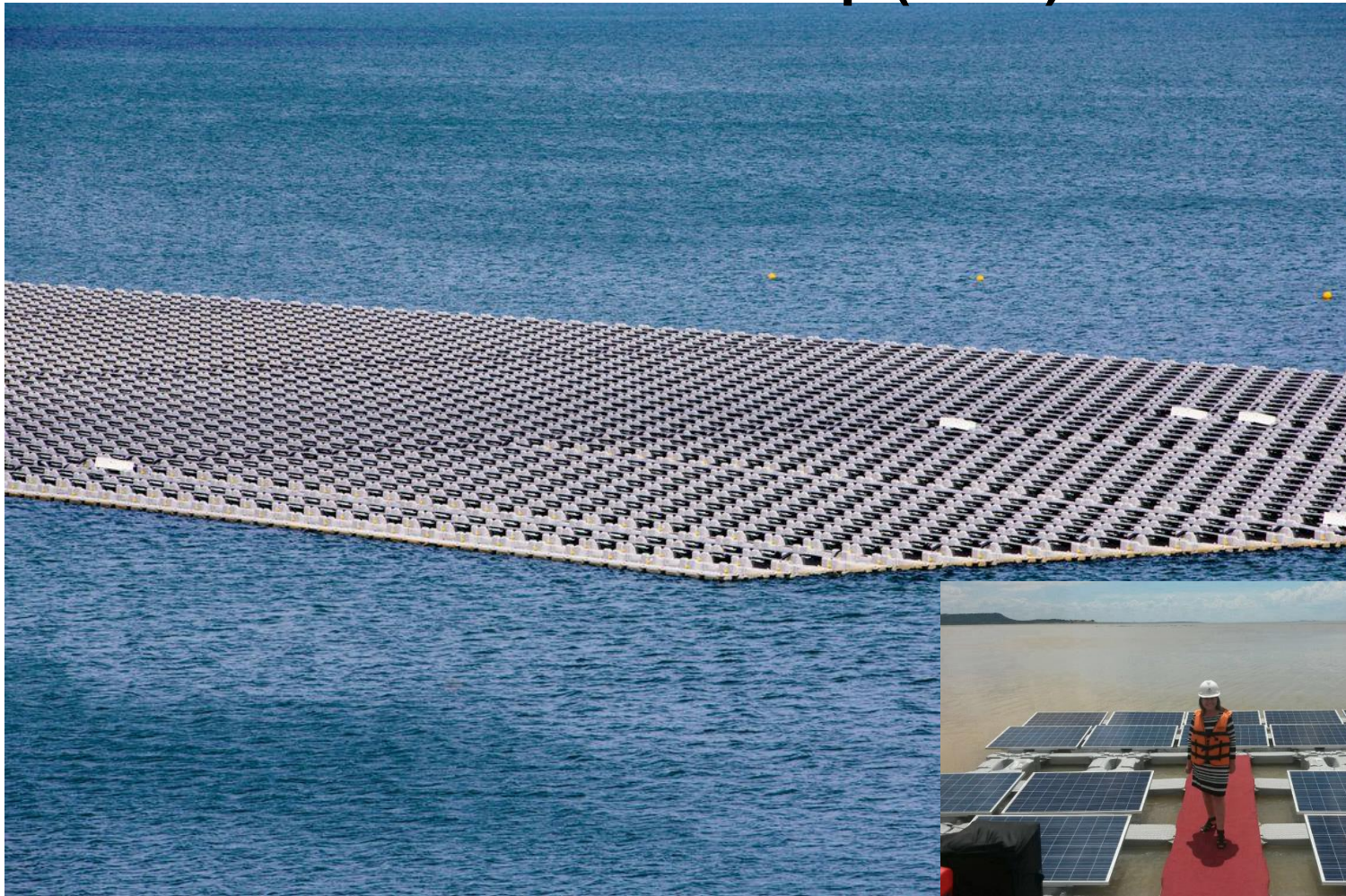
Protótipo UFPE adaptado à região.



Acompanhamento (2006-2007)-Redução de 70% do consumo de lenha (Caaatinga)

Atividades de Pesquisa em Solar

Usina solar Flutuante Sobradinho – 1MWp (atual)





Olga Vilela

Diretora de Solar, CER-UFPE

Professora Grupo FAE, DEN-CTG-UFPE

ocv@ufpe.br



CENTRO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO