



Introdução ao Aquecimento Solar

Prof. Samuel Luna de Abreu
Área de Refrigeração e Climatização
CEFET-SC – Unidade São José
abreu@si.cefetsc.edu.br



II fórum
pró-sustentabilidade
feevale arquitetura e urbanismo

06, 07 e 08 de novembro de 2008



Sumário

- Introdução
- Sistemas de aquecimento solar
- Qualidade e Normas
- Projeto e Dimensionamento
- Instalação
- Tipos de Coletores



Introdução

Energias Renováveis

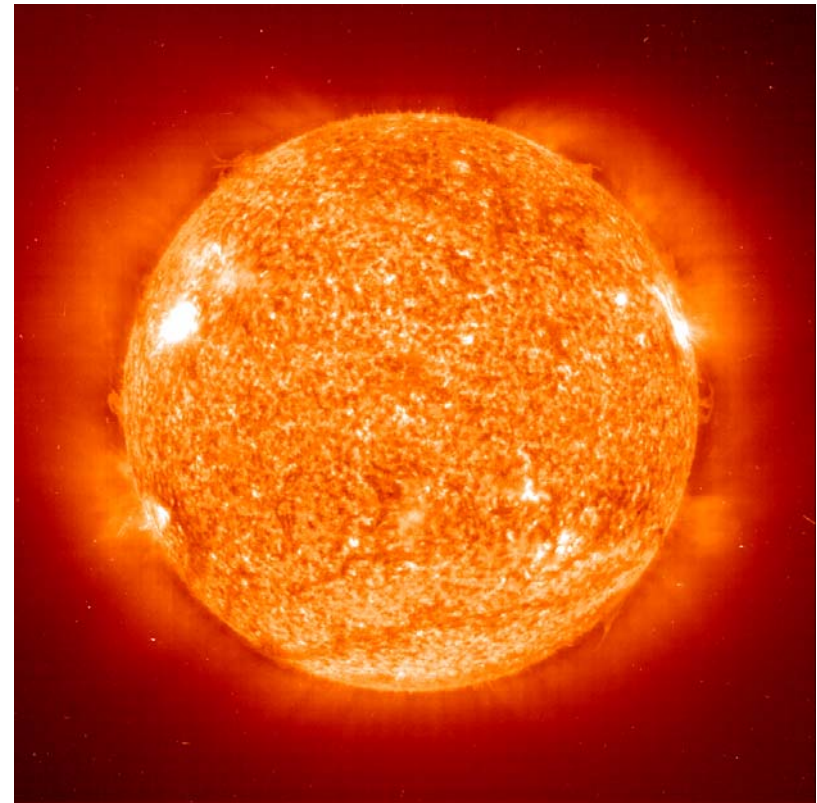
- Oferta variável
- Hidroeletricidade e biomassa: acúmulo em larga escala, sazonal
- Energia Solar e eólica. Acúmulo sazonal é economicamente inviável (\$). Uso com complementação



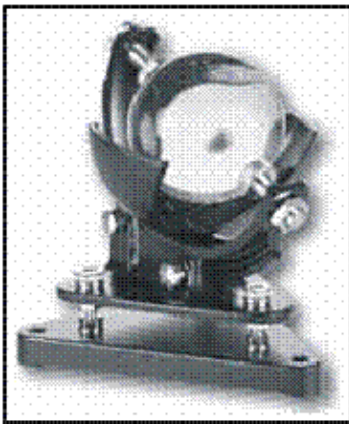


O SOL

- diâmetro: 1.390.000 km
- massa: $1,989 \times 10^{30}$ kg
- distância média Sol – Terra: $1,496 \times 10^8$ km (equivale a 1 UA – Unidade Astronômica)
- temperatura: 5.800 K (superfície), 15.600.000 K (núcleo)
- 75% Hidrogênio, 25% Hélio
- potência: $3,86 \times 10^{26}$ W
- radiação se assemelha à de um corpo negro a 5777 K
- constante solar – $I_{sc} = 1.367$ W/m²



Medição da radiação solar



Heliógrafo Campbell Stokes

Piranômetro



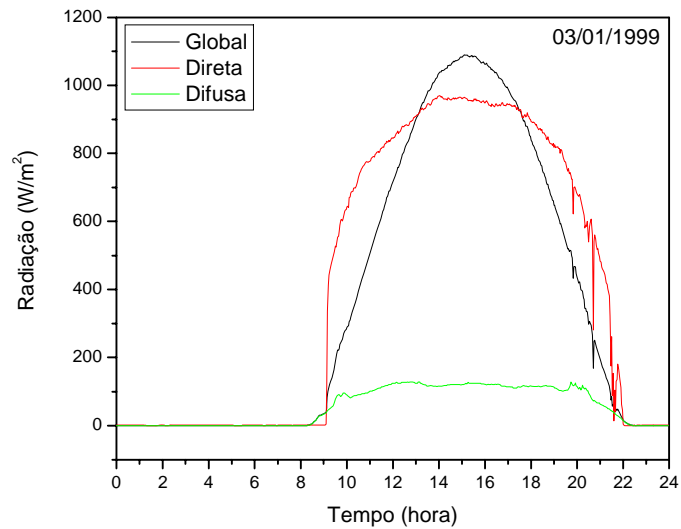
Medição da radiação solar difusa



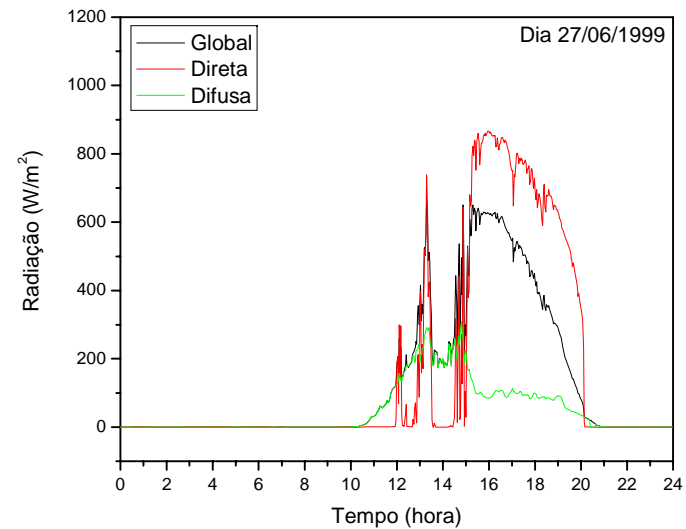
Piroheliômetro + ratreador solar



Medição da radiação solar



dia de céu claro

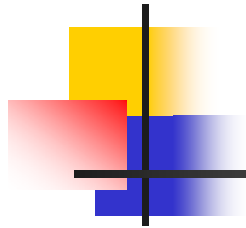


dia de céu parcialmente encoberto

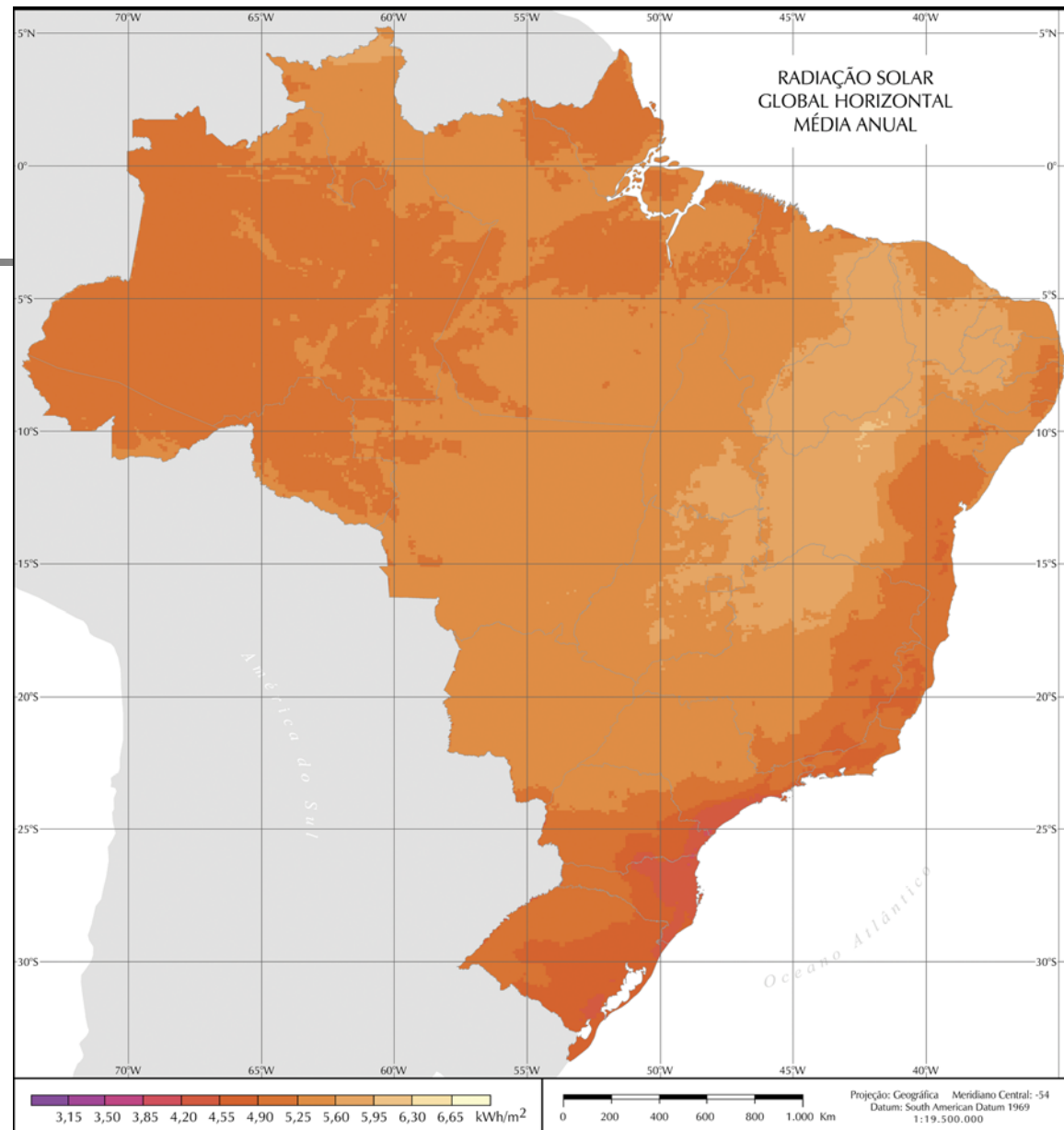


Estimativa da Radiação Solar

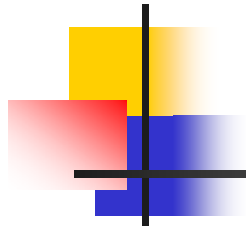
- A partir de dados medidos
 - mapas são gerados a partir da interpolação dos valores das estações existentes
 - número de estações radiométricas necessárias para garantir bons resultados inviabiliza financeiramente
 - séries históricas mais longas estão disponíveis (basicamente dados de horas de insolação)
- A partir de imagens de satélite
 - mapas são gerados a partir de imagens de satélite
 - resolução espacial e temporal equivalente à fornecida pelo satélite
 - poucas estações radiométricas necessárias para calibrar e validar os modelos



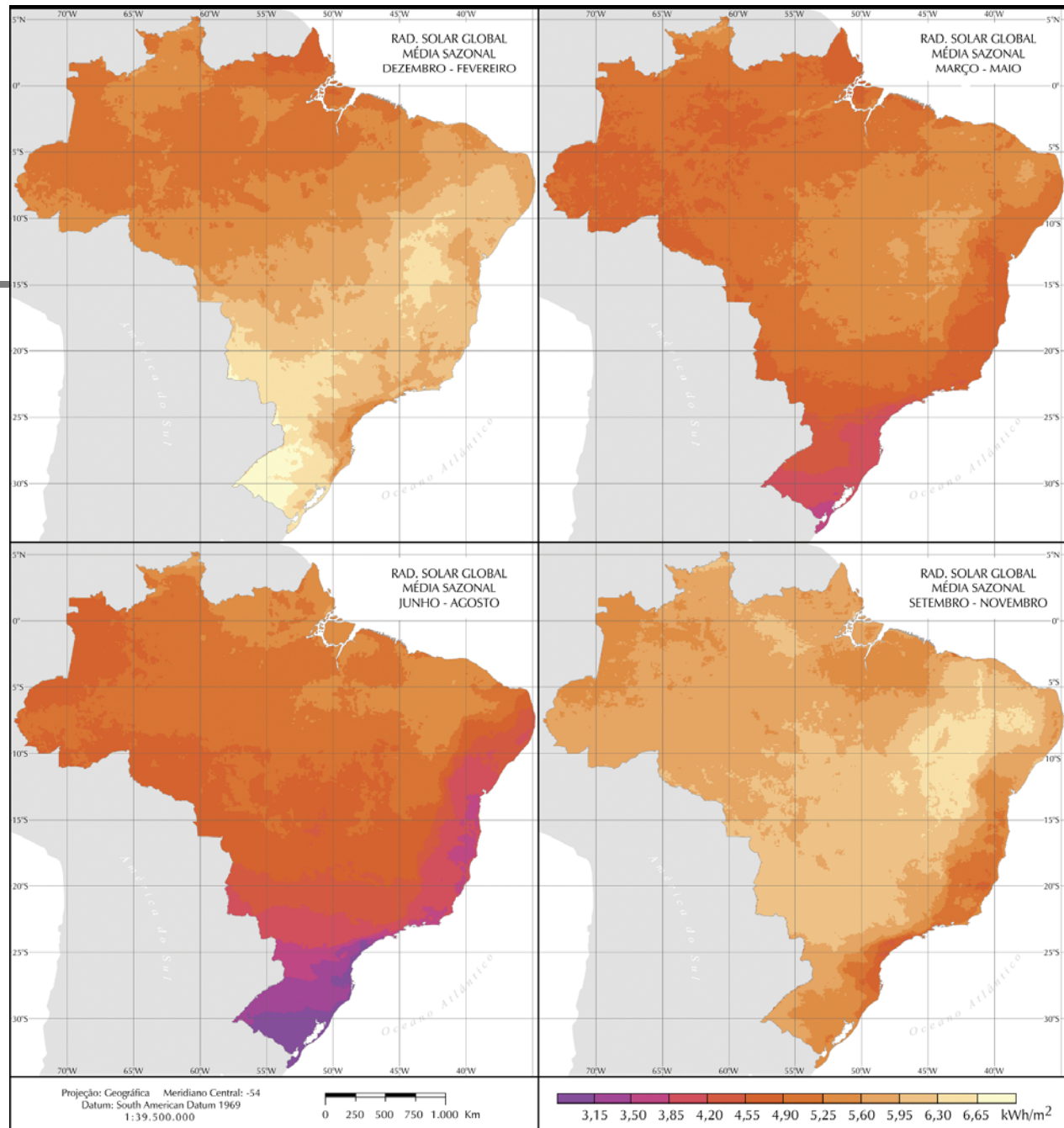
Atlas de Radiação Solar no Brasil



Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al, 2006)



Atlas de Radiação Solar no Brasil



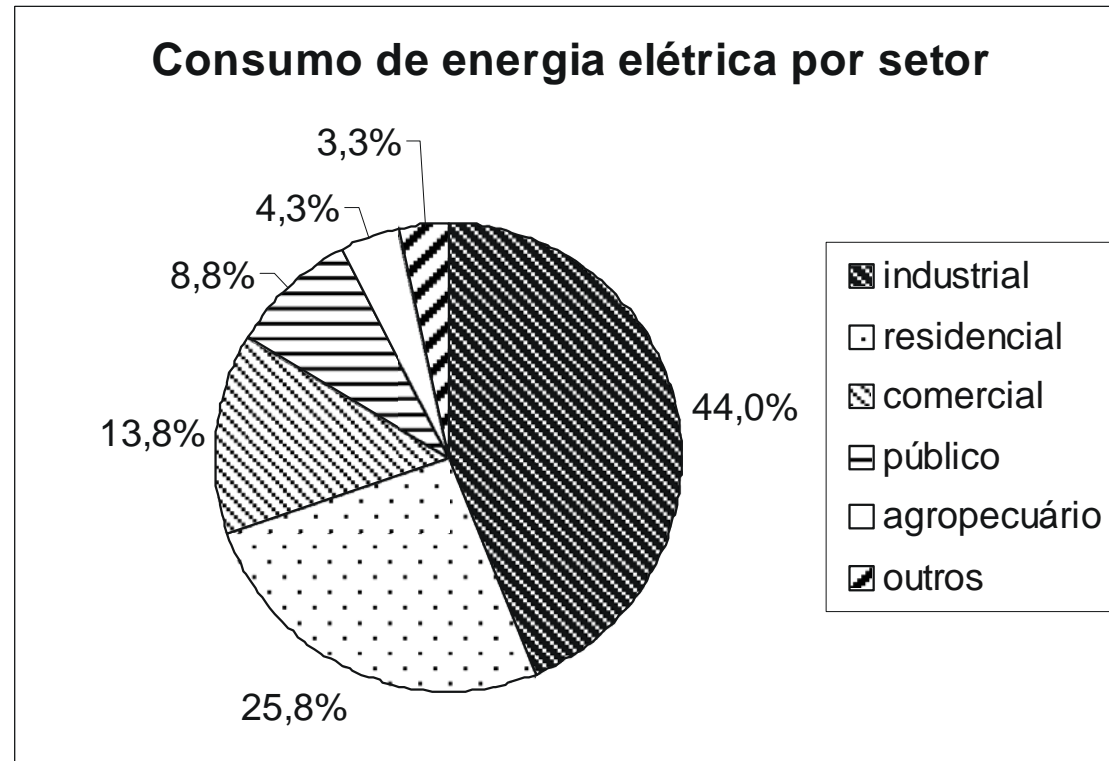
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar (Pereira et al, 2006)



Consumo de água quente

- Banho + Residencial
- Piscinas
- Processos industriais

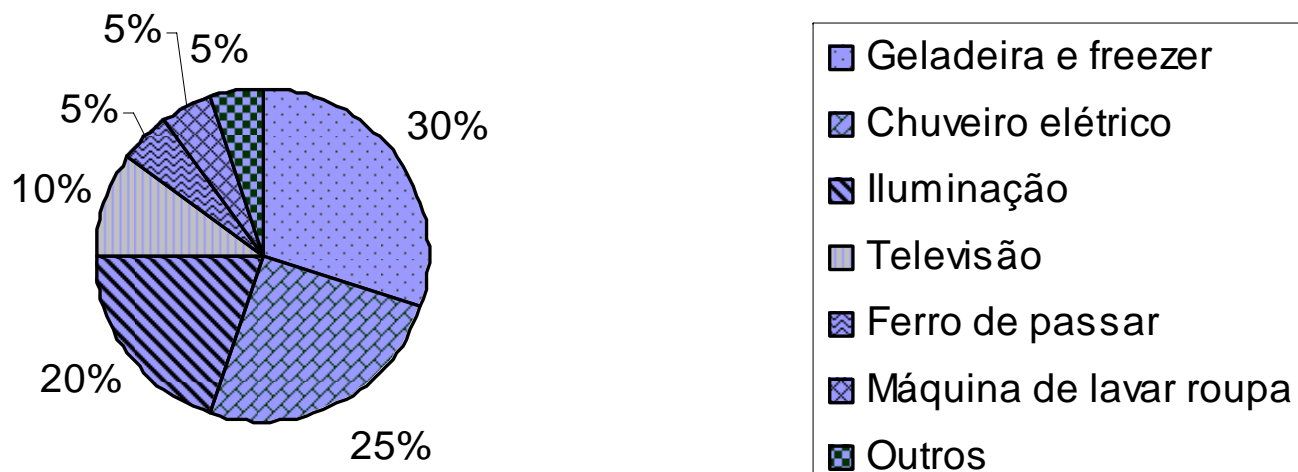
Consumo de eletricidade por setor



fonte: Balanço Energético Nacional (MME, 2000)

Distribuição do consumo residencial de eletricidade

Distribuição consumo residencial



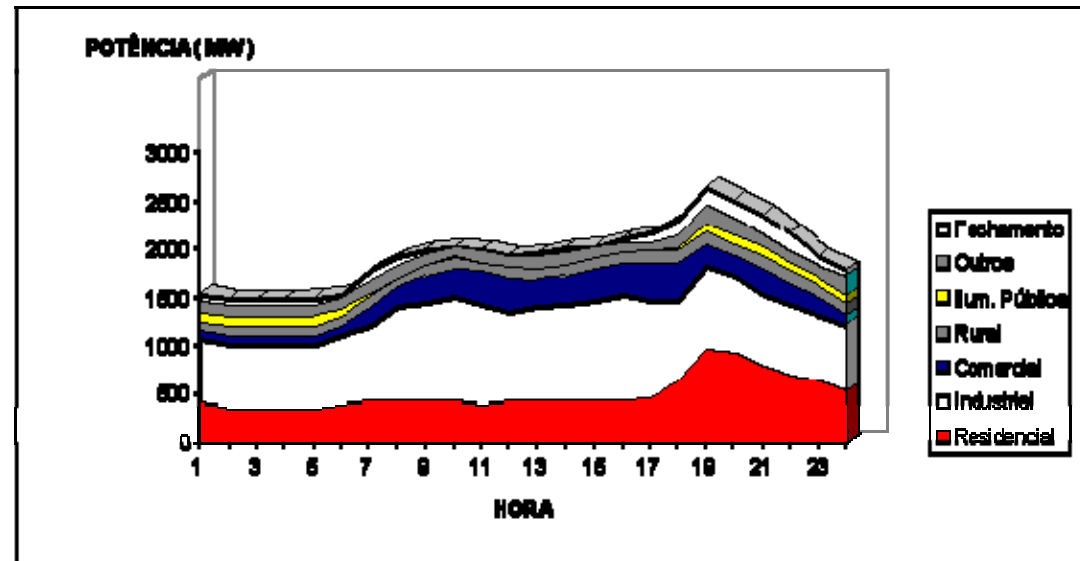
Banho

- Brasil: importância do banho para convívio social
- Chuveiros elétricos - 5 a 10 kW em 90% das residências
- Horário de Ponta

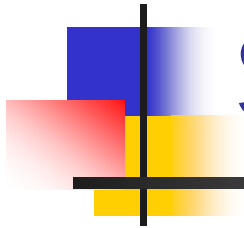


Horário de Ponta

- Setor residencial: 35% da demanda na ponta
- Chuveiro elétrico: 27% da demanda residencial na ponta
- 90% penetração
- Chuveiro elétrico: 8,5% da demanda na ponta
- 4.800 MW – 40% da capacidade Itaipu



Sistemas de Aquecimento Solar





Sistema de aquecimento solar com coletores de placa plana

- Equipamentos

- Coletores Solares;
- Reservatórios térmicos;
- Acessórios.

- Instalações

- Funcionamento do sistema;
- Configurações.

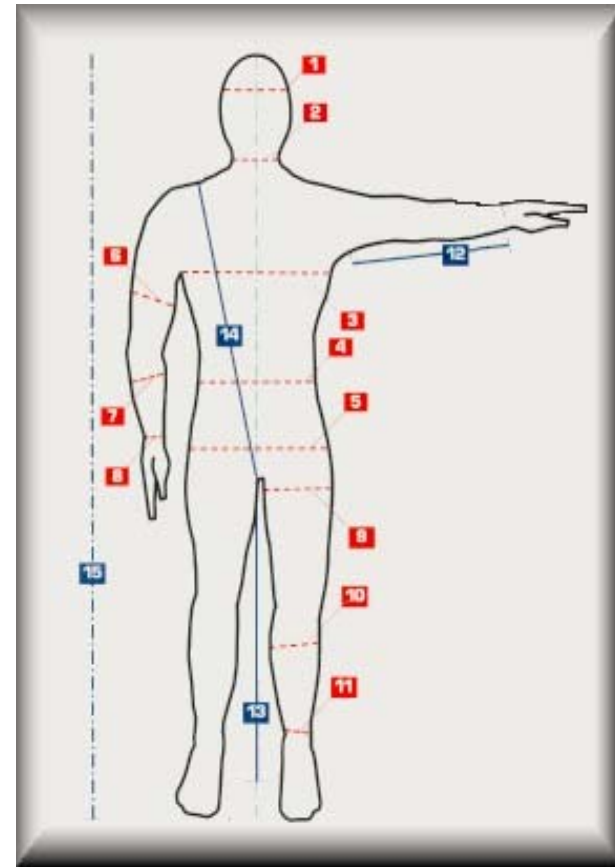


Aquecimento solar de água

- Uso e Cadeia produtiva: limpos
- Economia
- Evita consumo na ponta
- Utiliza energia auxiliar elétrica ou gás
- Custo de aquisição maior do que no aquecimento convencional

Energia Solar Térmica

- Projeto personalizado
 - Clima
 - Demanda
 - Materiais e componentes
- “Roupa sob medida”

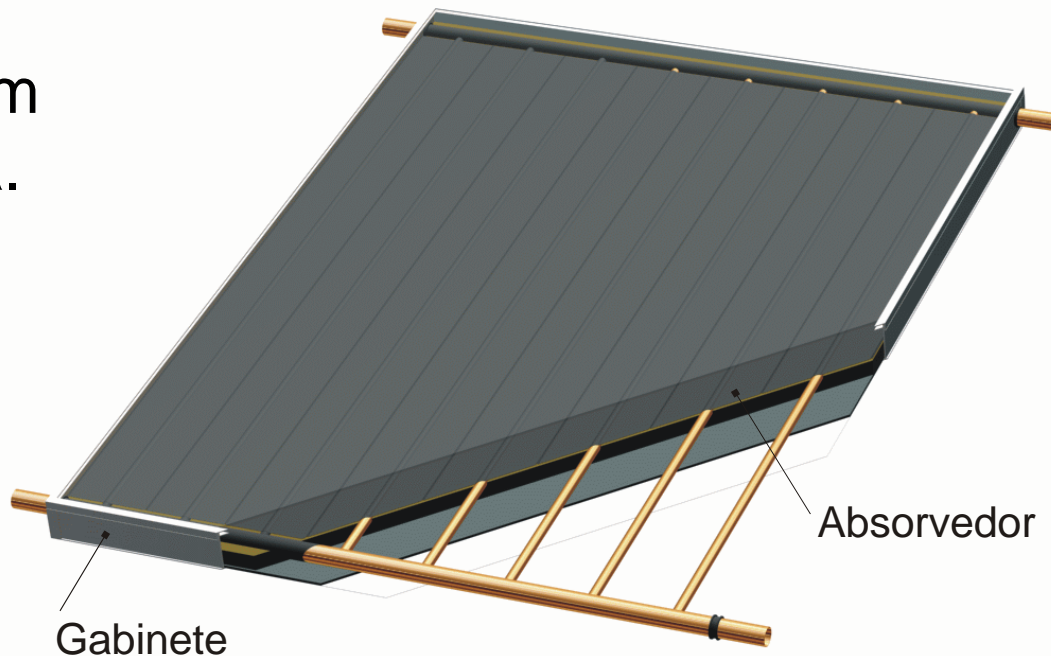


Coletores Solares

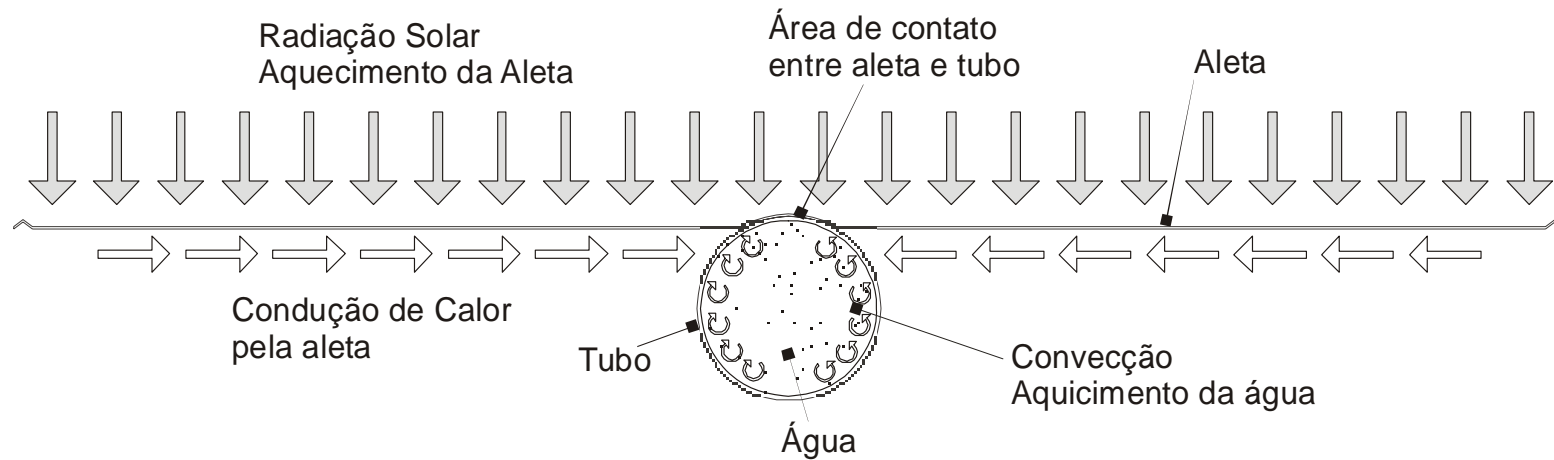
Conversão da energia solar em energia térmica.

Componentes Principais:

- Placa coletora;
- Gabinete.



Fluxo de calor pelo absorvedor



Coletores Solares

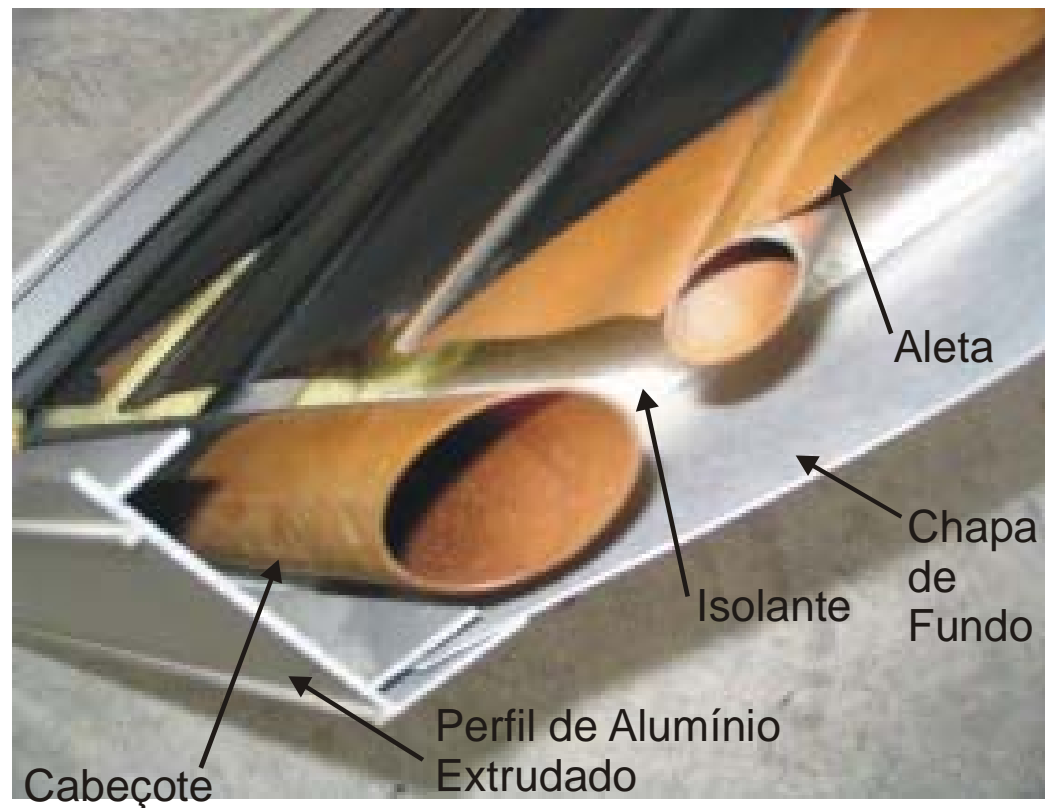
- Gabinete

- Caixa

- Perfil e chapa
 - Chapa dobrada
 - Estampada
 - Moldada

- Isolamento

- Cobertura





Coletores Solares

- O fator de eficiência de um coletor solar (F_R)

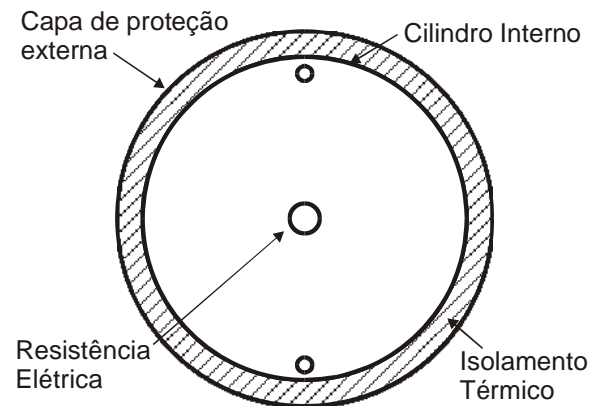
O fator de eficiência de um coletor solar representa a razão entre o ganho de energia caso a superfície absorvedora estivesse à temperatura local do fluido de trabalho e seu ganho real de energia. Em outras palavras, pode-se entender como fator de eficiência a razão entre a energia que é transmitida ao fluido de trabalho em relação à energia que chega ao coletor solar.

$$\eta = F_R (\tau\alpha) + F_R U_L (T_f - T_{amb}) / I_T$$

Reservatórios Térmicos (Boiler)

Componentes Principais:

- Cilindro Interno;
- Isolante;
- Capa de Proteção;
- Aquecedor auxiliar.



Acessórios

Bombas Centrífugas



Controlador Diferencial de temperatura



Programadores horários

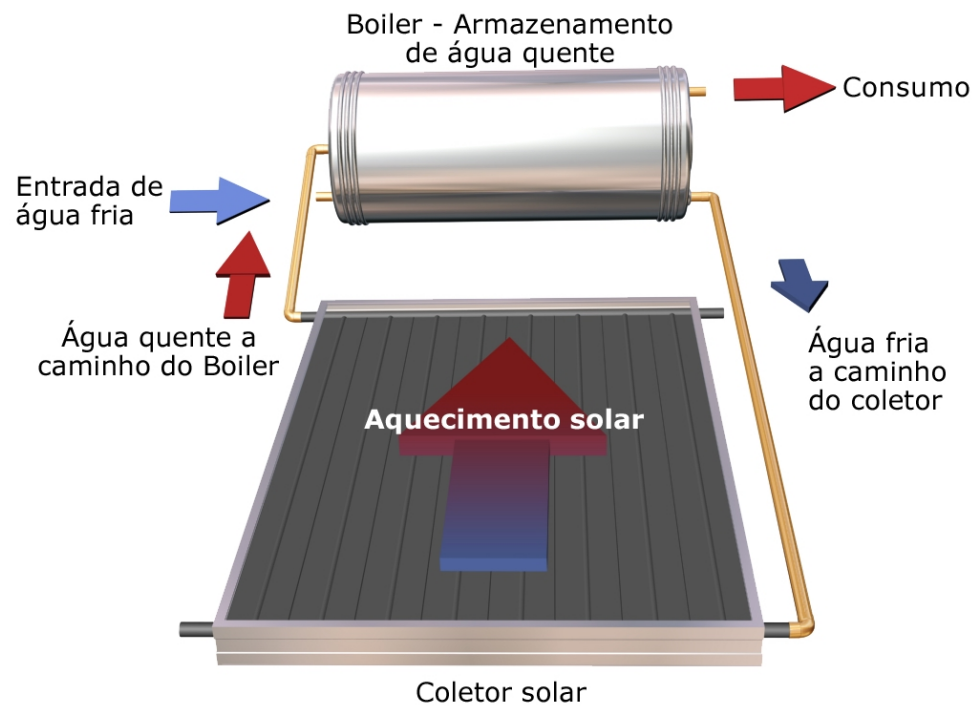


Termostato



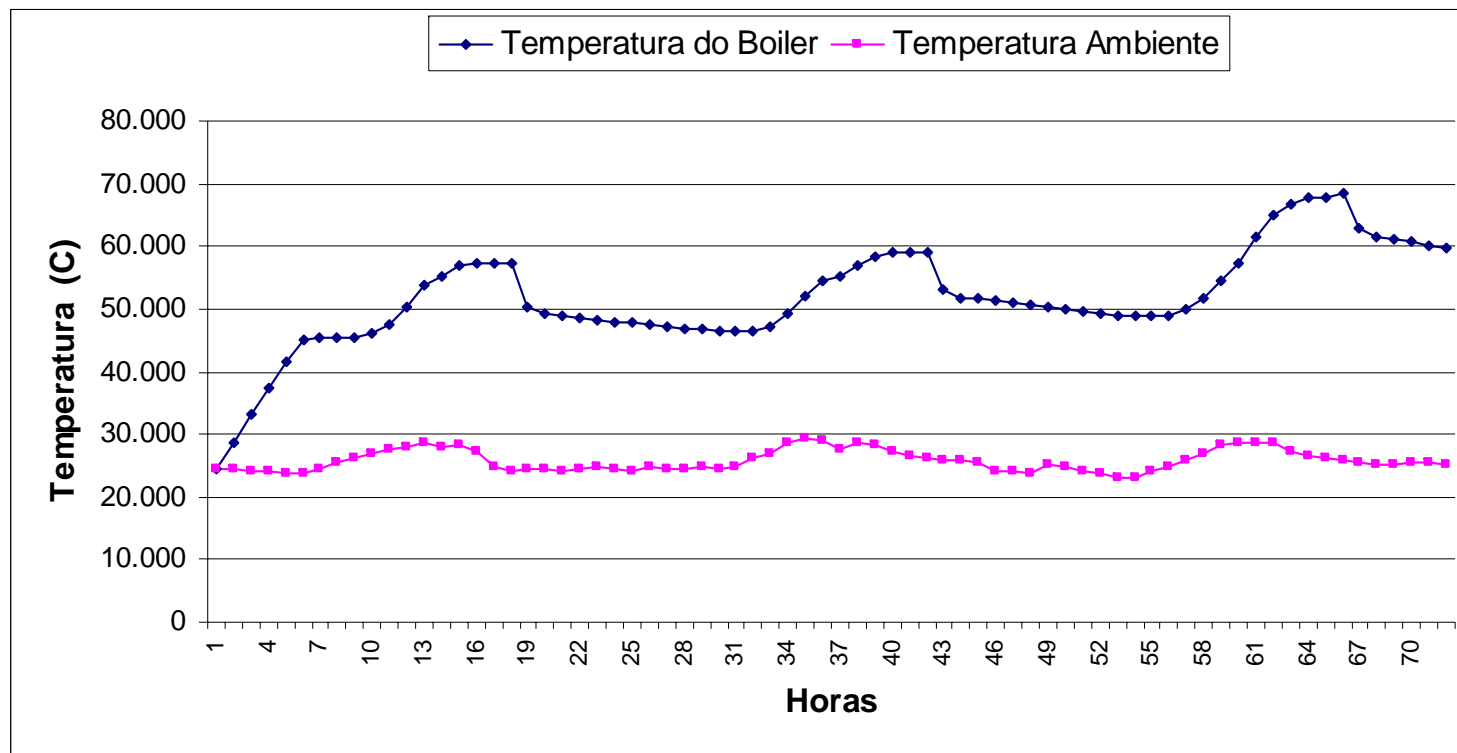
Sistemas de Aquecimento Solar

Funcionamento



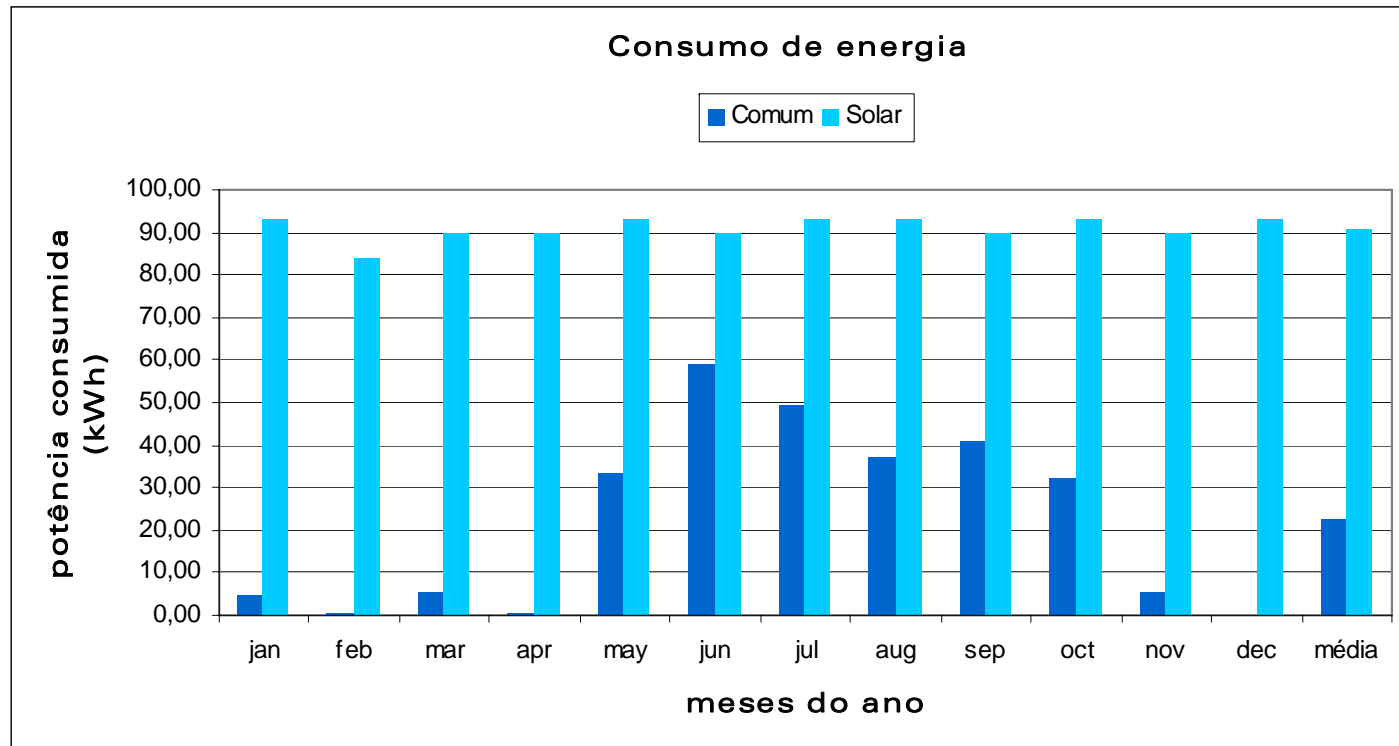
Funcionamento

- Curva de Variação de Temperatura



Funcionamento

- Curva de Consumo





Qualidade e normas

Aquecimento solar no Brasil

- Início mercado: 70's
- Mercado crescido nos anos 80
- Alguns fabricantes, projetistas e instaladores sem capacitação
- Descrédito solar





Normatização assegura



- Qualidade construtiva
- Caracteriza desempenho
- Qualidade do projeto e instalação



Normas ABNT

- NBR-7198 - Projeto e instalação água quente predial
- NBR-10184 - Coletores - desempenho
- NBR-10185 - Reservatórios – desempenho
- NBR-15569 - Sistemas de aquecimento solar de água em circuito direto Projeto e Instalação (substitui a NBR-12269 Execução de instalações de sistemas de aquecimento solar)

Caracterização de Coletores

Indoor



- Procedimento atual:
testes estáticos
 - Outdoor
 - Indoor



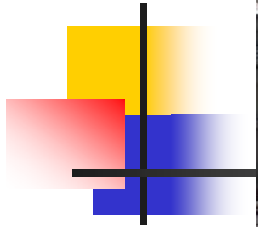
Outdoor

Qualidade e Normas

Caracterização de Coletores

- Procedimento novo: testes quase-dinâmicos





Qualidade e Normas

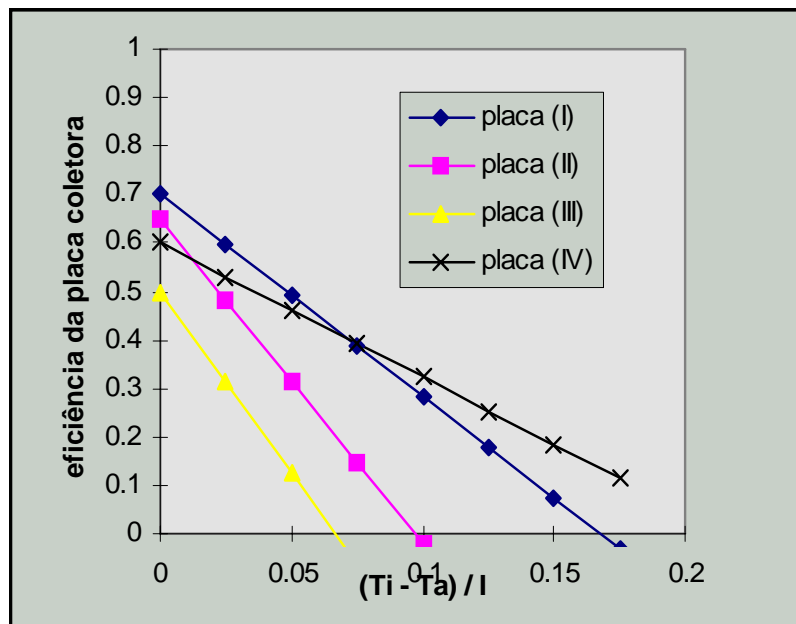
Etiquetagem PROCEL

- Governo recomenda produtos. Rotulagem, ou etiquetagem.
- Brasil: um dos únicos a recomendar coletores solares (Flórida – FSEC).

Energia (Elétrica)	REFRIGERADOR
Fabricante Marca	ABCDEF XYZ(Logo)
Tipo de degelo Modelo /tensão(V)	ABC/Automático IPQR/220
Mais eficiente Menos eficiente	
CONSUMO DE ENERGIA (kWh/mes) <small>(ajustado no teste clima tropical)</small>	XY,Z
Volume do compartimento refrigerado (l)	000
Volume do compartimento do congelador(f)	000
Temperatura do congelador (°C)	-18
<small>Regulamento Especifico Para Uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia Unidade de Refrigeradores e Assesmentados - RESPRO1-REF Instruções de instalação e recomendações de uso, leia o Manual do aparelho.</small>	
PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	
IMPORTANTE: A REMOÇÃO DESTA ETIQUETA ANTES DA VENDA, ESTA EM DESACORDO COM O CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR	

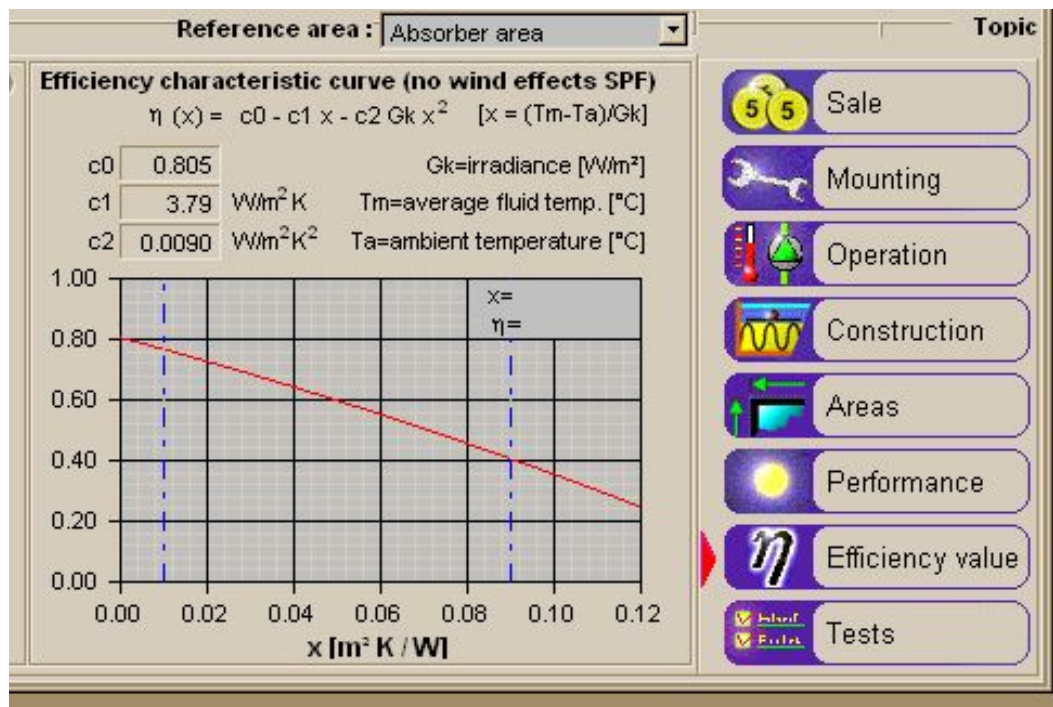


Coletores de A a Z



- Em certos casos não é possível dizer que o desempenho térmico de uma placa é melhor que o que de outra
- Placa de alto desempenho térmico não necessariamente é melhor do que a de pior desempenho.

Europa



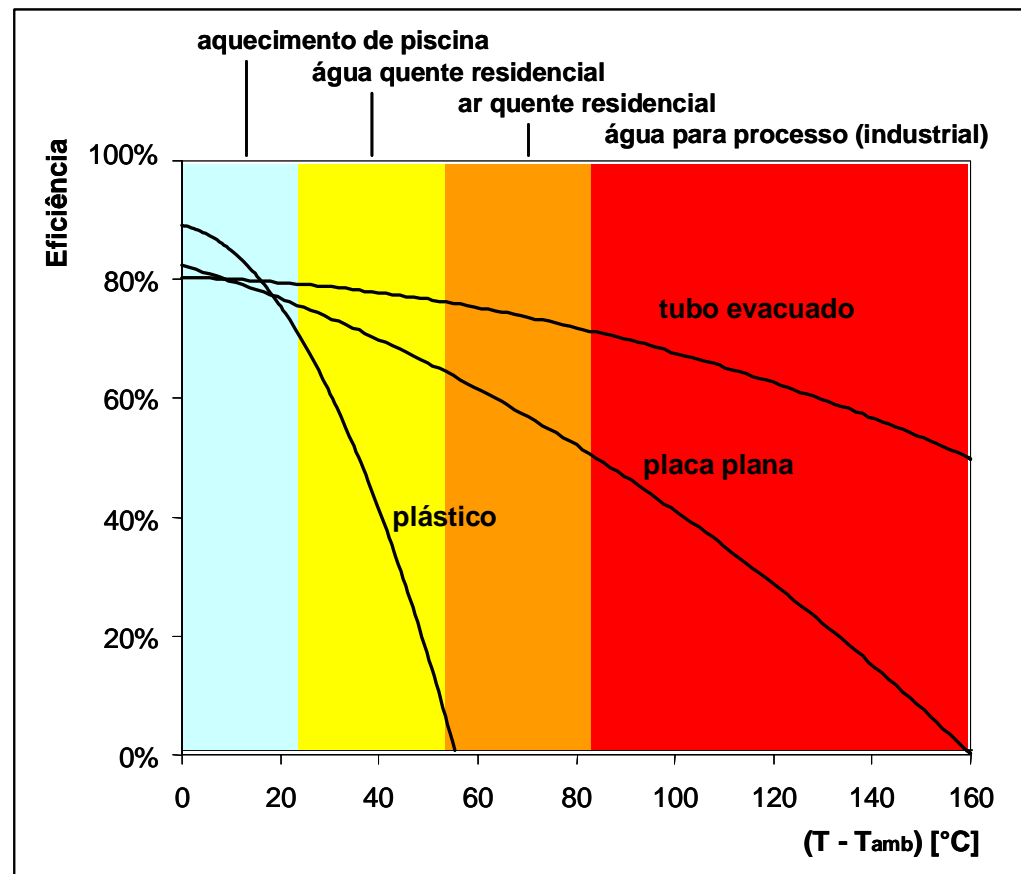
- Não se recomenda coletores.
- Apenas se caracteriza cada coletor

Diferença

- Uma geladeira ruim ocupa o espaço de qualquer outra geladeira.
- Um coletor de baixo desempenho pode ser utilizado em maior quantidade, se o preço permitir.



Eficiência de coletores





Projeto e Dimensionamento

- Consumo de água quente
- Aspectos práticos
- Métodos de simulação
 - f-Chart
 - TRNSYS
 - ANEEL



Projeto e dimensionamento



Simulação do Desempenho

- Projetar o sistema
- Estimar a energia fornecida pelo sistema de aquecimento solar
- Dimensionar o tamanho das instalações
- Fornecer subsídios para a análise econômica



Simulação do Desempenho

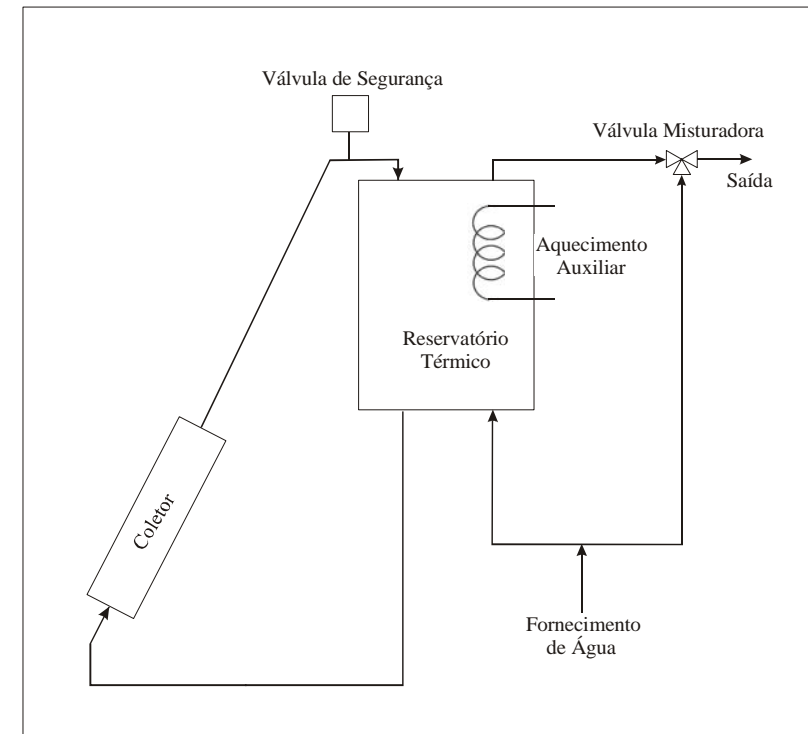
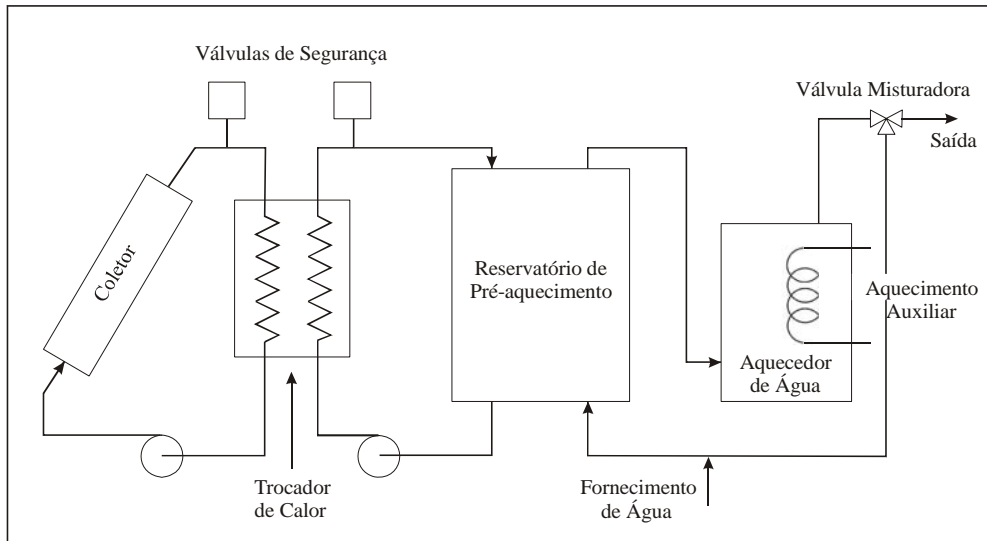
- Simulações simplificadas
 - pouco controle sobre os parâmetros de projeto
 - menor precisão
 - pré-dimensionamento
 - conhecimento técnico intermediário
 - dados de irradiação solar médios mensais
- Simulações detalhadas
 - maior controle sobre os parâmetros de projeto
 - maior precisão
 - projetos maiores
 - necessário conhecimento técnico avançado
 - dados de irradiação solar em base horária



Método f -chart

- Beckmann et al., 1977
- correlações derivadas a partir de simulações com o TRNSYS
- utiliza médias mensais históricas da irradiação solar e temperatura ambiente
- contempla as seguintes alternativas de sistema:
 - sistemas a líquido para aquecimento de ambientes e fornecimento de água aquecida
 - sistemas a ar para aquecimento de ambientes e fornecimento de água aquecida
 - sistemas a líquido apenas para fornecimento de água aquecida
- difere em alguns aspectos dos sistemas utilizados no Brasil

Método f -chart



Sistema f -Chart X Sistema normalmente usado no Brasil

Projeto e Dimensionamento

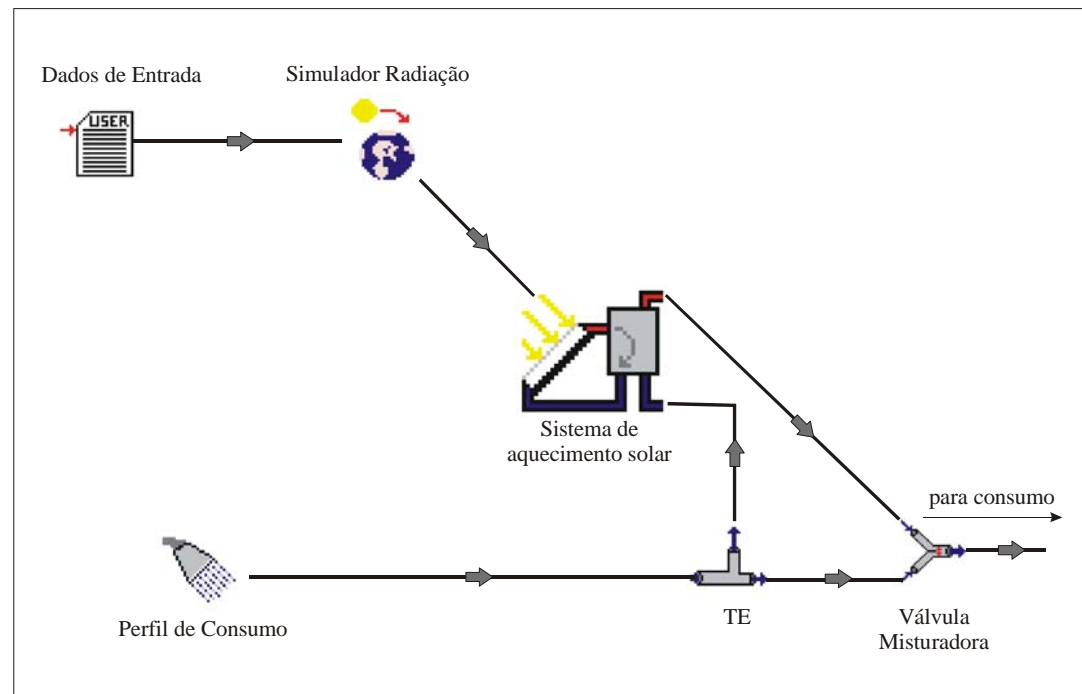


TRNSYS – Programa de Simulação Transiente

- utilizado para simulação de sistemas de aquecimento solar
- possui módulos para simulação de outros tipos de sistemas e também edificações
- componentes individuais modelados matematicamente
- é possível simular qualquer tipo de sistema e inclusive criar componentes novos
- utiliza dados de irradiação solar em qualquer base de tempo
- programa mais utilizado

TRNSYS

- **leitura de dados** – entrada dos dados do ano meteorológico típico
- **processamento de radiação** - determinar a intensidade de irradiação solar disponível na superfície do coletor a partir dos dados na superfície horizontal
- **sistema combinado coletor-reservatório** – simulação do funcionamento do sistema de aquecimento solar;
- **consumo de água** – perfil de consumo de água aquecida;
- **válvula misturadora** – fornecer a quantidade necessária de água aquecida à temperatura de banho





Programa de Combate ao Desperdício de Energia da ANEEL

- PROCEL - programa governamental de incentivo ao uso eficiente da energia elétrica
- define as linhas de atuação das concessionárias de energia
- propõe um método simplificado para a confecção de projetos de utilização de sistemas de aquecimento solar em substituição a chuveiros elétricos



Programa de Combate ao Desperdício de Energia da ANEEL

energia gasta com aquecimento de água:

$$L = \dot{Q}_{\max} n_{\text{banho}} t_{\text{banho}} n_{\text{dia}}$$

energia fornecida pelo sistema de aquecimento solar:

$$Q_{\text{solar}} = A_c F_{\text{clima}} 12 Q_{\text{placa, mensal}}$$

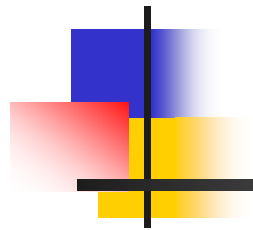
fração solar anual:

$$F = \frac{Q_{\text{solar}}}{L}$$



Programa de Combate ao Desperdício de Energia da ANEEL

- pressupõe que as placas coletoras funcionarão em média com a mesma eficiência do PBE
- produção média mensal de energia não faz nenhuma referência às condições da instalação
- metodologia excessivamente simplificada



Instalação





Objetivos NBR 15569

- Esta Norma estabelece os requisitos para o Sistema de Aquecimento Solar (SAS), considerando aspectos de concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, especificação de componentes, instalação e manutenção, onde o fluido de transporte é a água.
- Esta Norma se aplica a SAS compostos por coletores solares planos, com ou sem reservatórios térmicos, e com eventual sistema de aquecimento auxiliar.
- Esta Norma é aplicável aos sistemas onde a circulação de água nos coletores solares se faz por termossifão ou por circulação forçada.
- Esta Norma não é aplicável ao aquecimento de água de piscinas e nem a sistemas de aquecimento solar em circuito indireto.

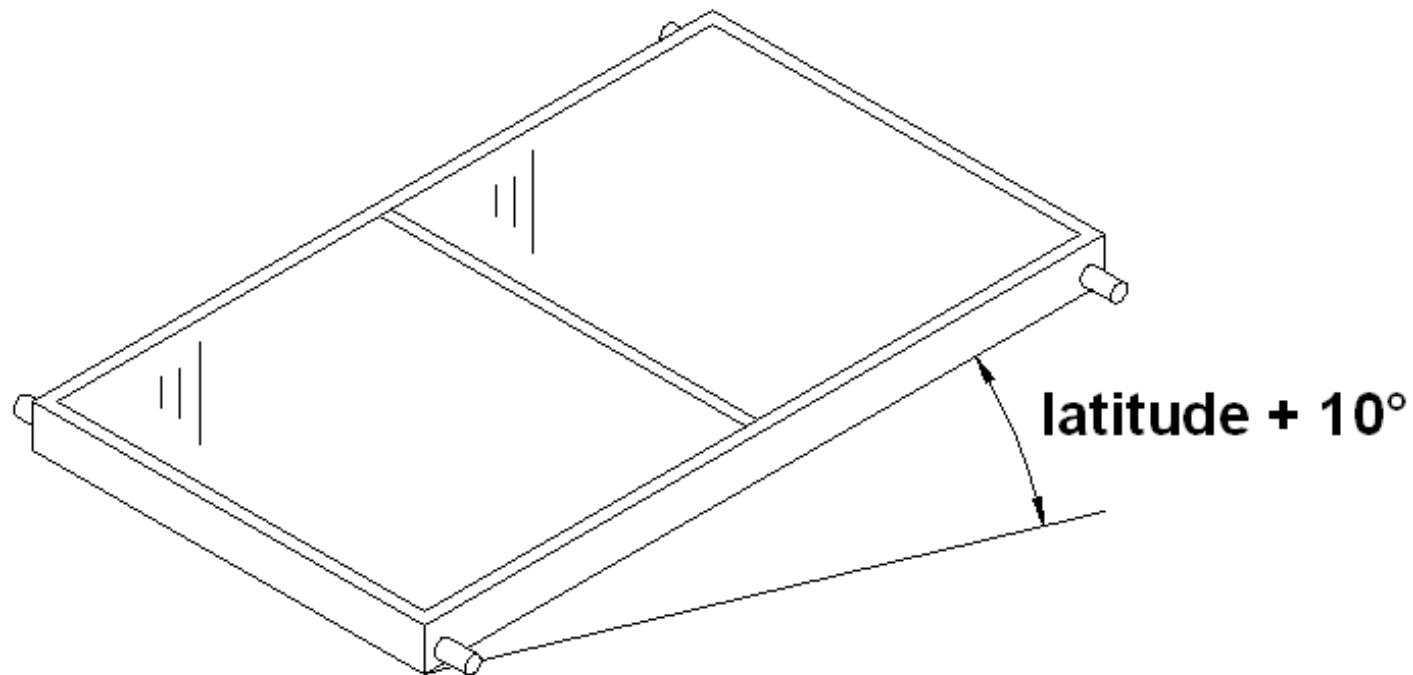
Classificação dos SAS

NBR 15569

Atributo	Categorias		
	I	II	III
Arranjo	Solar mais auxiliar	Somente solar	Pré-aquecimento solar
Circulação	Natural ou termosifão	Forçada	-
Regime	Acumulação	Passagem	-
Armazenamento	Convencional	Acoplado	Integrado
Alimentação	Exclusiva	Não exclusiva	-
Alívio pressão	Respiro	Conjunto Válvulas	-

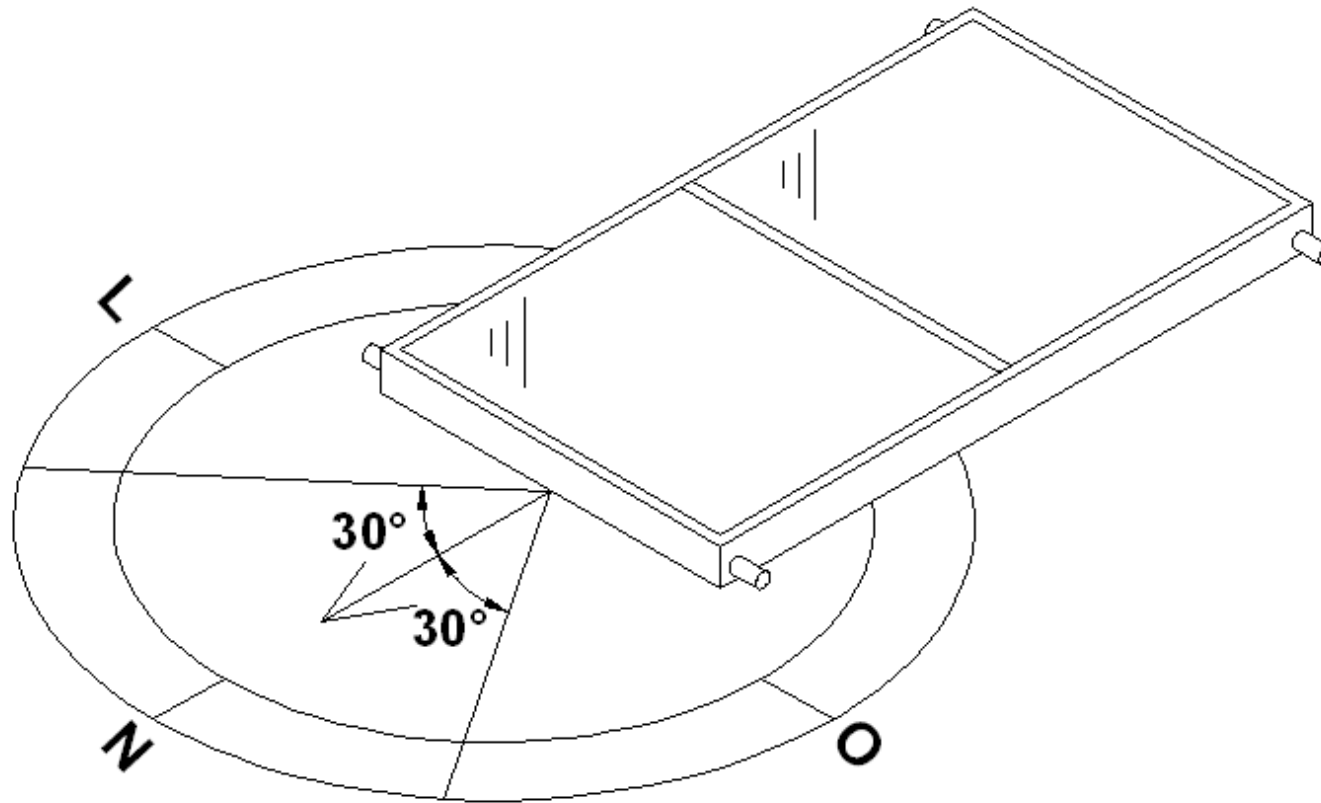


Inclinação das placas

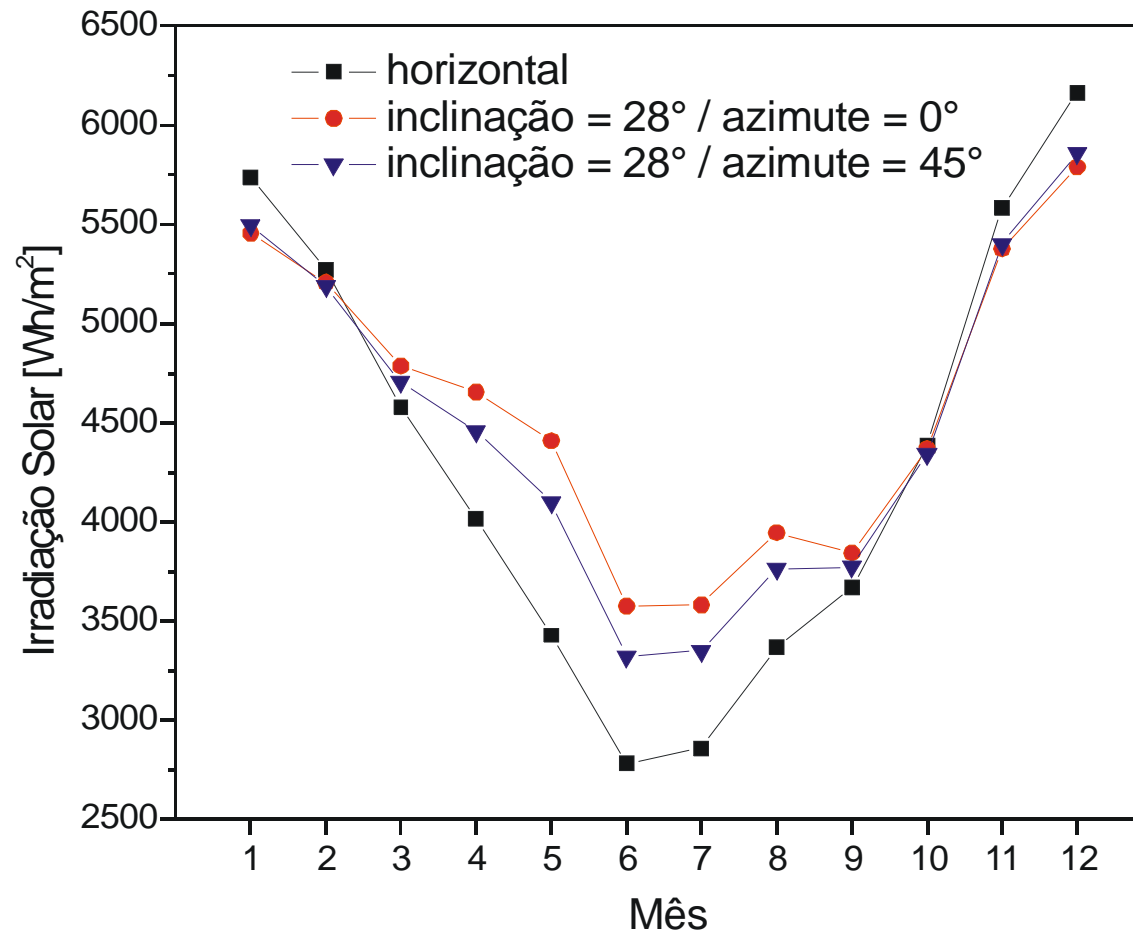




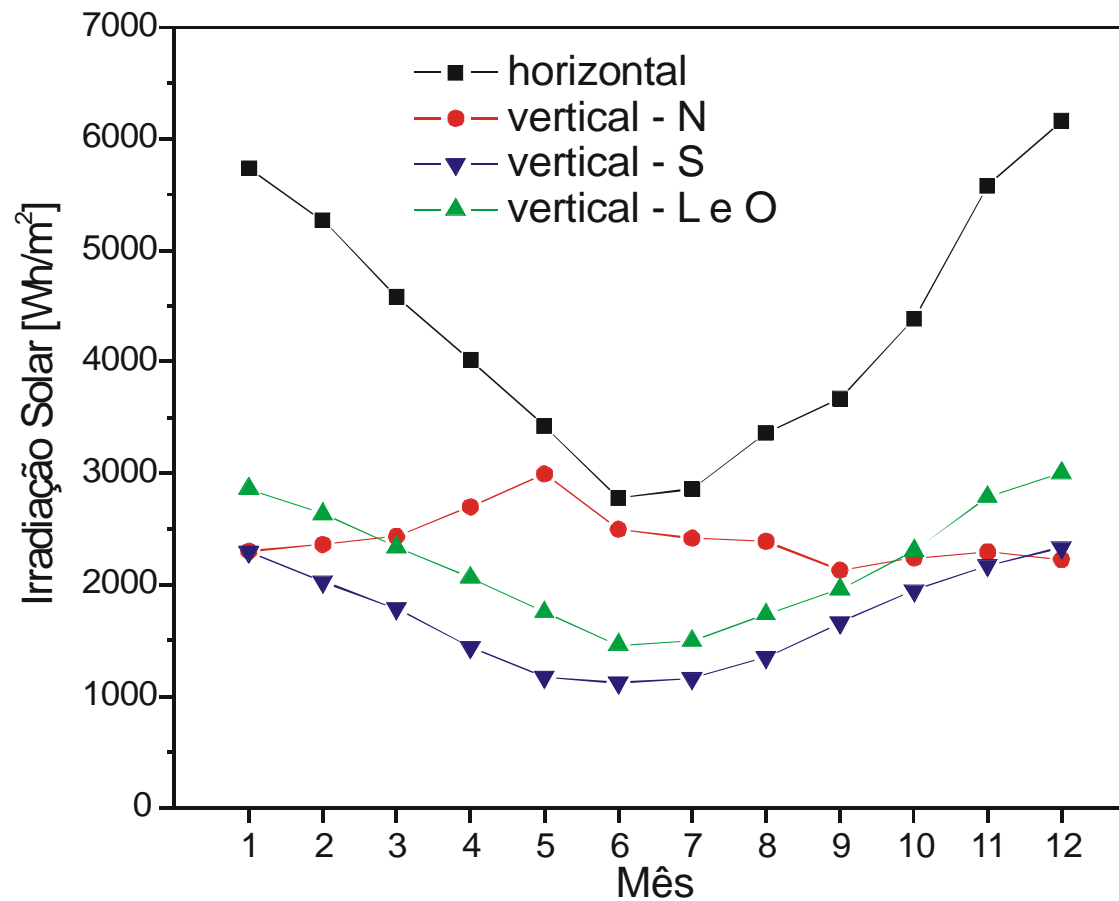
Azimute das placas



Orientação das placas



Orientação das placas





Tipos de Coletores Solares

Coletor reservatório



Tipos de coletores

Placa plana sem cobertura



Tipos de coletores

Placa plana com cobertura



Tipos de coletores

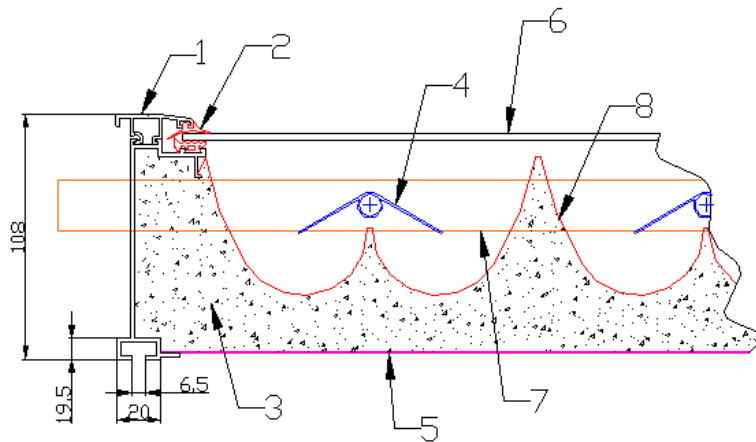
Concentrador fixo



tubo evacuado



Parabólico composto (CPC)



Parabólico de passagem



Tipos de coletores

Refrator Fresnel



Tipos de coletores

Refletor Fresnel



Tipos de coletores

Refletor prato esférico



Tipos de coletores

Refletor prato parabólico



Receptor central



SOLAR TWO - MOJAVE DESERT, CALIFORNIA

Tipos de coletores

Torre solar

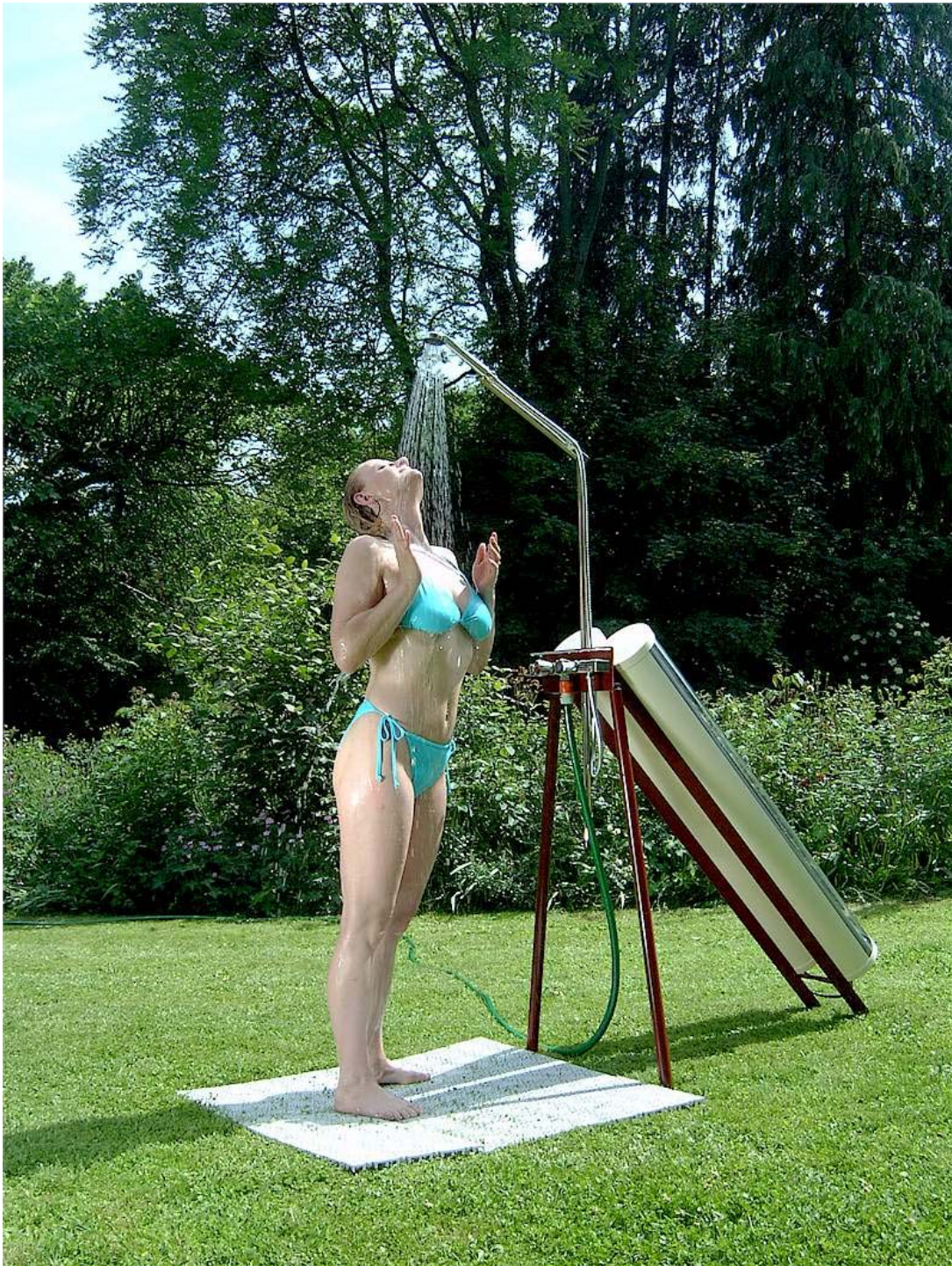


Tipos de coletores



Tipos de coletores solares

Tipo	Fator de concentração	Temperatura de operação típica [°C]
Tanque receptor solar	1	30-70
Coletor sem cobertura (placa plana, plástico)	1	40
Coletor de placa plana metálico com cobertura	1	60-120
Concentrador fixo	3-5	100-150
Tubo evacuado	1	50-180
Parabólico composto [com tracking em 1 eixo]	1-5 [5-15]	70-240 [70-290]
Parabólico de passagem	10-50	150-350
Refrator fresnel	10-40	70-270
Refletor prato esférico	100-300	70-730
Refletor prato parabólico	200-500	250-700
Receptor central	500-3000	500-1000





Introdução ao Aquecimento Solar

Prof. Samuel Luna de Abreu
Área de Refrigeração e Climatização
CEFET-SC – Unidade São José
abreu@si.cefetsc.edu.br



II fórum
pró-sustentabilidade
feevale arquitetura e urbanismo

06, 07 e 08 de novembro de 2008