PEA 3100
Energia, Meio Ambiente e Sustentabilidade

Fontes de Energia : Energia Solar

Aplicação: Aquecimento de água

POSSIBILIDADES DE APROVEITAMENTO

Energia Solar

Energia térmica

- **A baixa temperatura (até 100ºC)**
  - •Aquecimento de ambientes
  - • aquecimento de água
  - •Condicionamento de ar
  - •refrigeração
  - •evaporação
  - •destilação
  - •geradores de vapores de líquidos especiais
- **A média temperatura (até 1000ºC)**
  - •Geradores de vapor d'água
  - •Transformação em energia elétrica e mecânica
  - •fornos solares
- **A alta temperatura (além de 1000ºC) mediante fornos solares parabólicos**

Transformação direta em energia elétrica

- •Processos fotovoltaicos

Processos fotoquímicos

- **Químicos**
  - •Fotossíntese
- **Bioquímicos**
- **Biológicos**
  - •Fotossíntese

ENERGIA SOLAR – FORMAS DE CONVERSÃO EM ELETRICIDADE

Conversão fotovoltaica

luz solar → eletricidade

Conversão termomecânica

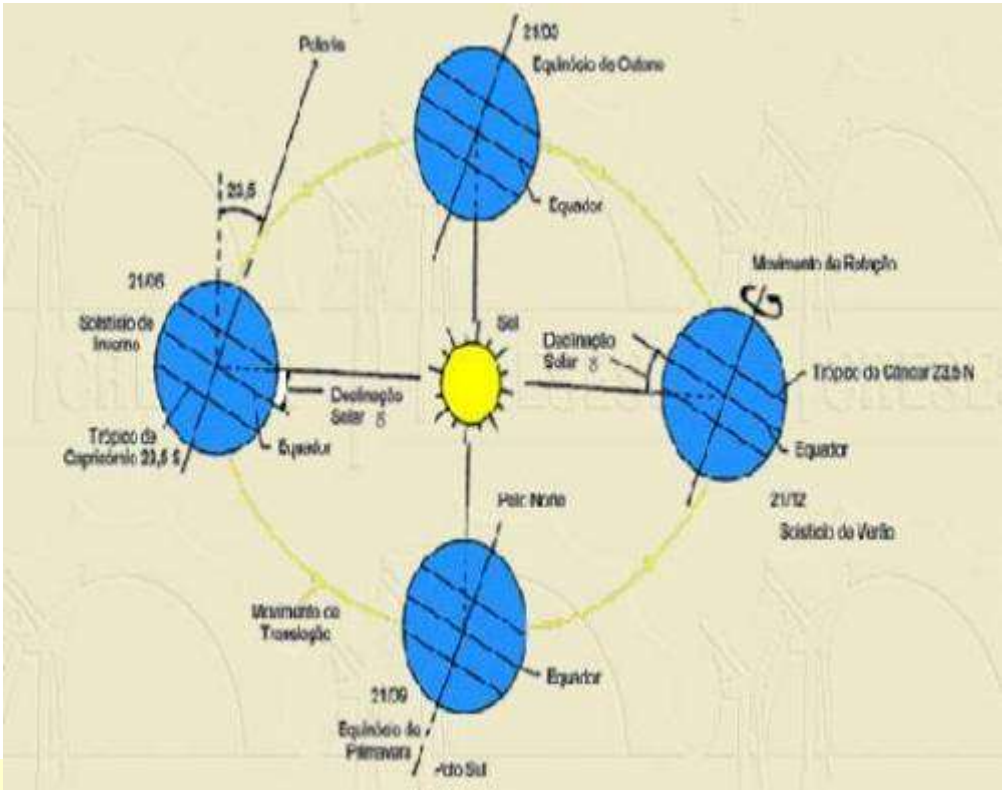
Radiação solar → Energia térmica → Energia mecânica → Energia elétrica

O RECURSO SOLAR: CARACTERÍSTICAS

Energia recebida pela terra: **1,5125 $\times 10^{18}$ kWh / ano de energia**

Radiação solar: Radiação eletromagnética

λ **= Constante solar** λ **= 1367 W / m²**



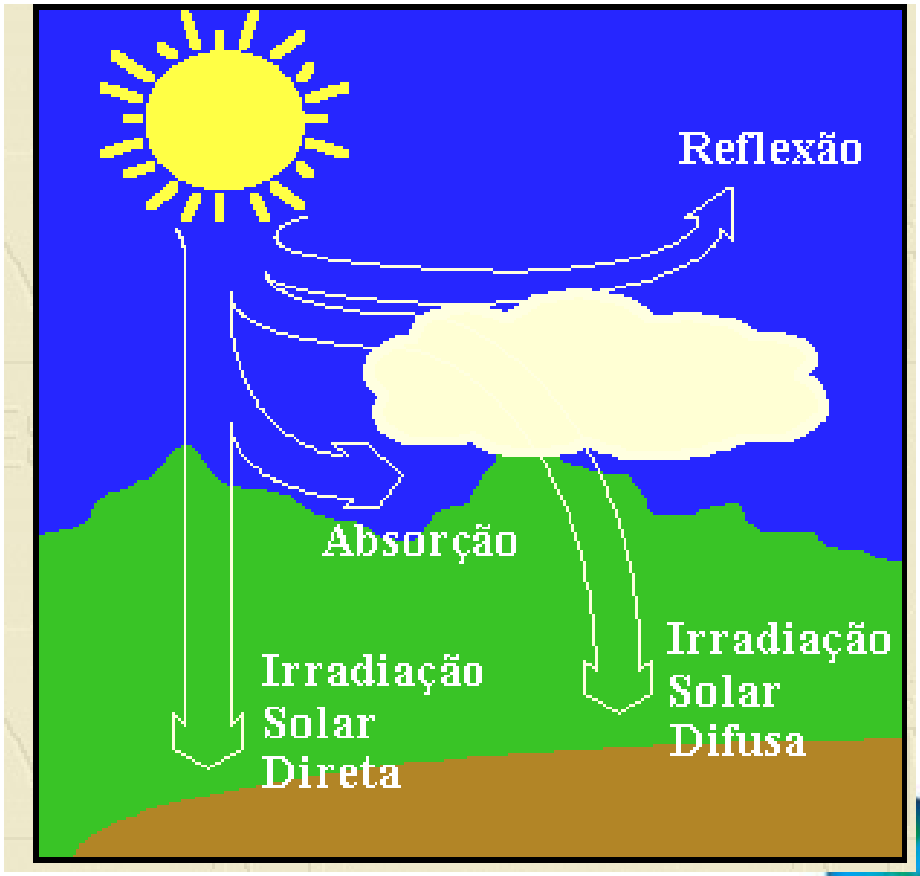
Quantidade de energia que incide numa superfície unitária, normal aos raios solares, por unidade de tempo, numa região situada no topo da atmosfera

Componentes da radiação solar ao nível do solo

Radiação direta - fração da radiação solar que atinge a superfície terrestre sem sofres desvio nenhum

Radiação difusa - atinge a superfície da terra em diversas direções devido as modificações introduzidas pela atmosfera e a presença de nuvens

Radiação refletida - Refletida pelo ambiente do entorno



Radiação

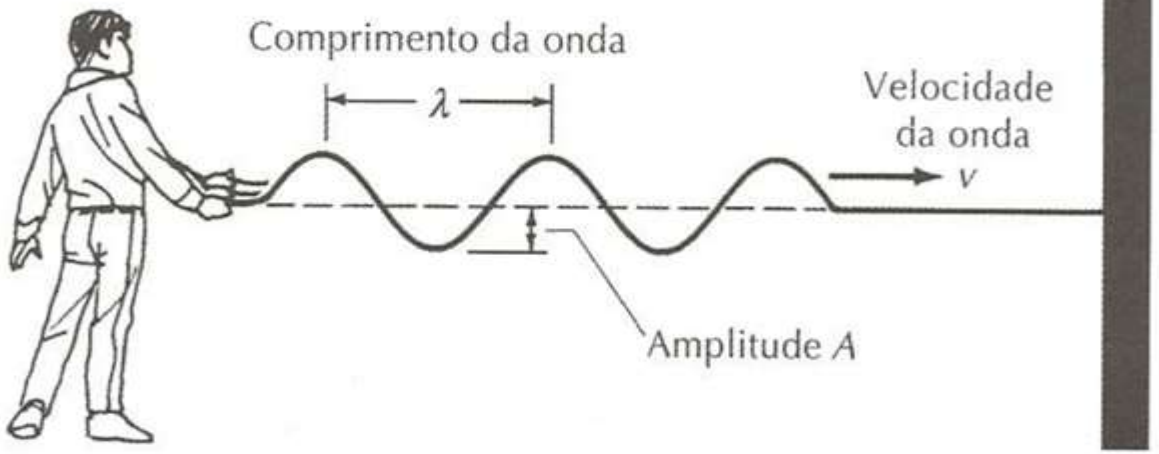
Consiste em um dos meios de transferência de calor. Necessita de um meio para que haja propagação.

É emitida de um corpo na forma de ondas eletromagnéticas , que consiste em campos elétricos e magnéticos cujas amplitudes variam com o tempo.

Tipos de ondas eletromagnéticas: luz visível, ondas de rádio, micro-ondas, raio X e radiação infravermelha.

Os diferentes tipos de radiação eletromagnética têm uma propriedade em comum: todos eles possuem a mesma velocidade no vácuo – a velocidade da luz, $3{,}0 \times 10^{8}$ m/s. A diferença entre estas ondas é a sua frequência e seu comprimento de onda.

FIGURA 4.14 ONDAS GERADAS PELA MOVIMENTAÇÃO DA PONTA DE UMA CORDA.



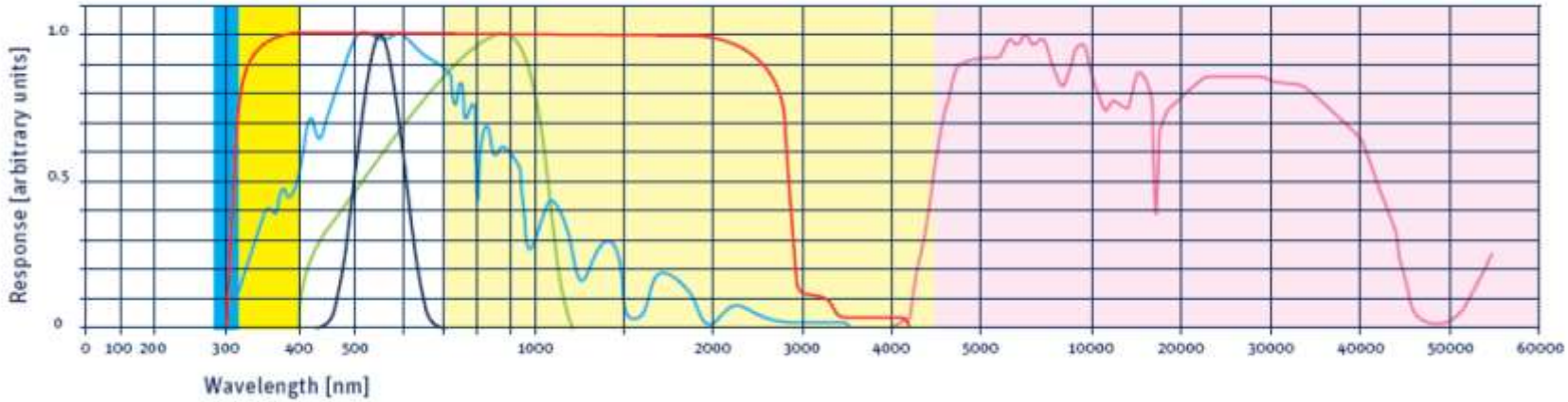
Exemplo: Qual o comprimento de onda da radiação eletromagnética emitida por uma estação de rádio que transmite 1500kHz ?

Resp: Comprimento de onda X frequência = velocidade da luz

$$\lambda = \frac{3\times10^{8} m/s}{1500\times10^{3} Hz} = 200\text{m}$$

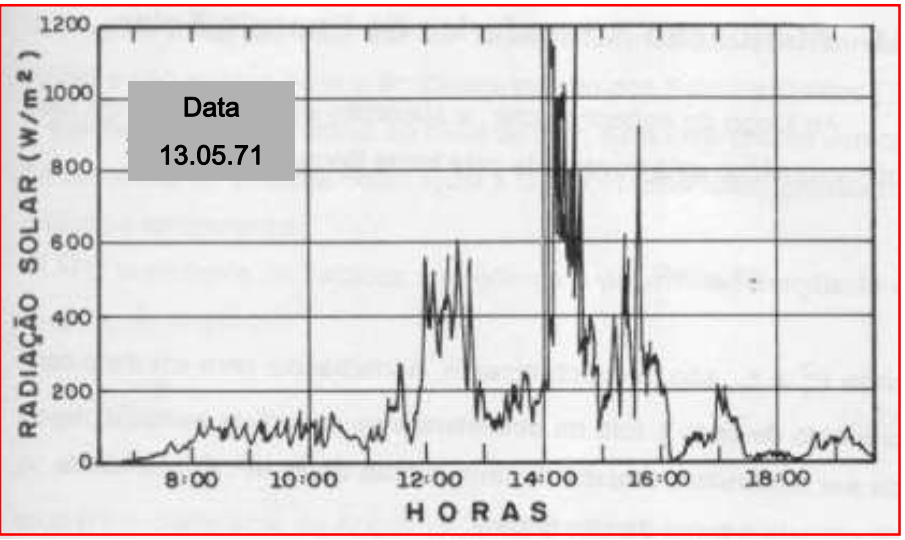
O sol cuja temperatura na superfície é de aproximadamente 6000 graus, emite um espectro de radiação centrado na região do visível, principalmente perto da região amarela. Entretanto há componentes intensos de luz infravermelha e ultravioleta da ordem de 50% e 9% respectivamente.

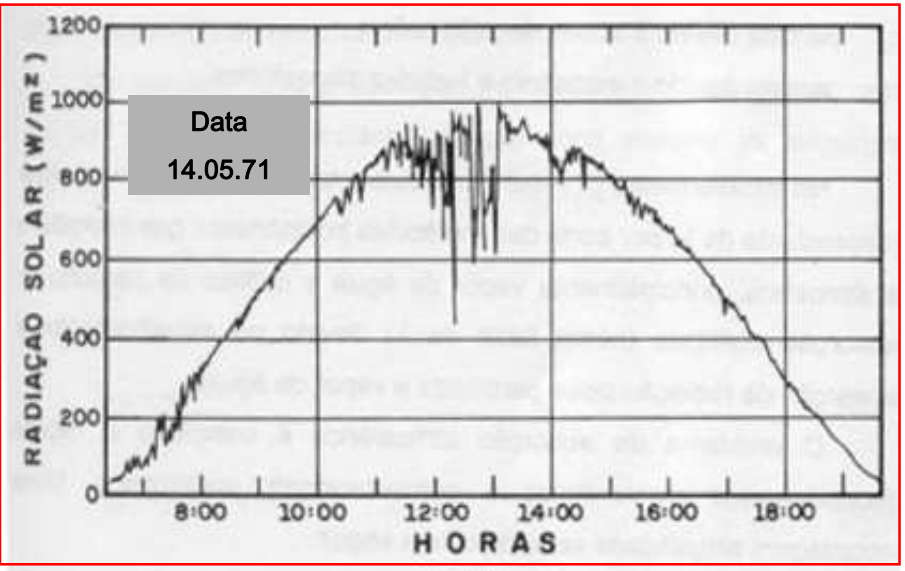
– Sensitividade à radiação solar



Fonte: Kipp & Zonen. Solar radiation measurements for solar energy applications

RADIAÇÃO SOLAR NA SUPERFÍCIE TERRESTRE





Variabilidade da radiação solar

É função:

- **da alternância de dias e noites;**
- **das estações do ano;**
- **dos períodos de passagem de nuvens.**

Condições atmosféricas ótimas:

- **Ao nível do mar = 1kW/m2;**
- **A 1000 metros de altura = 1,05 kW/ m2;**
- **Nas altas montanhas = 1,1 kW/ m2;**
- **Fora da atmosfera = 1,367 kW/ m2.**

ENERGIA SOLAR - Características físicas

Estimativa dos dados solarimétricos:

Unidades:
- Langley/dia= cal/dia
- W/m2
- Wh/m2

SP = N. de horas de sol pleno

Instrumentos de medida:

- Piranômetro
- Piro-heliômetro
- Heliógrafo

Condições atmosféricas ótimas:

- **Ao nível do mar = 1kW/m^2**
- **A 1000 metros de altura = 1,05 kW/ m^2**
- **Nas altas montanhas = 1,1 kW/ m2**
- **Fora da atmosfera = 1,367 kW/ m2**

Estimativa da radiação solar

Local	Radiação solar kWh/m2- anual
Europa Ocidental - sul	1500
Europa Ocidental - norte	800 - 1200
Deserto do Saara	2600
Brasil – região norte	1752 - 2190

ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR

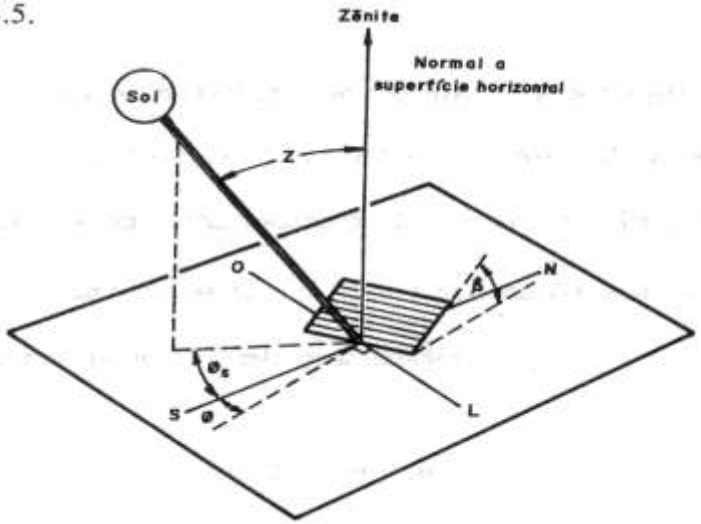
Dados Importantes

- radiação direta
- radiação difusa ou espalhada
- temperatura

Base de dados

- mensal
- diária
- horária

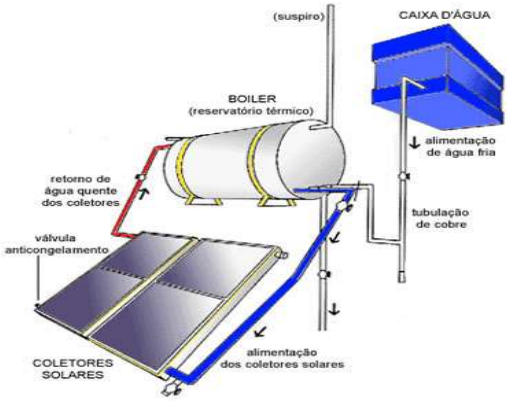
mostrados na figura 3.5.



Voltado para o norte, como é normalmente utilizado no hemisfério sul

Aplicação da Energia solar como Energia Térmica

Aplicação de baixa temperatura

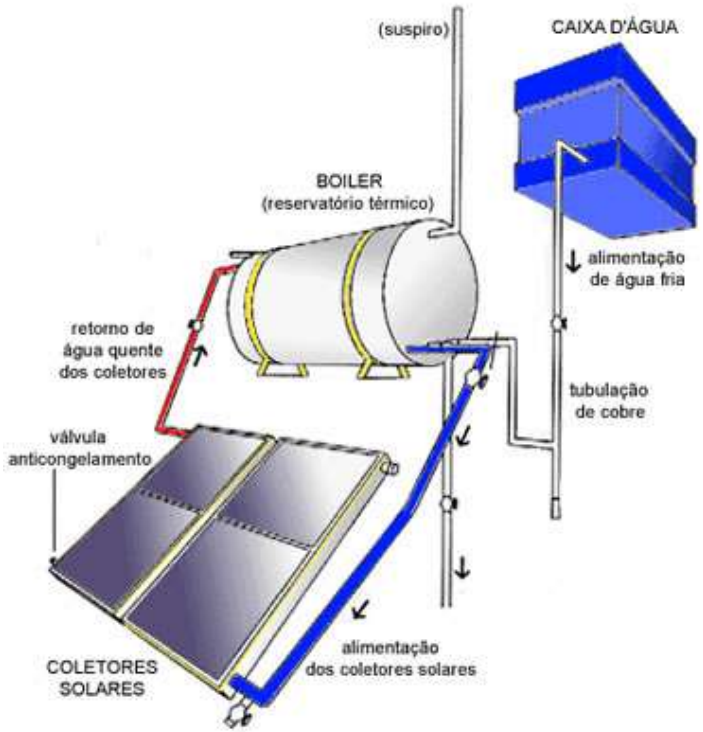


Atualmente, nos setores comercial e residencial, o aquecimento solar é basicamente utilizado em piscinas e para obtenção de água quente doméstica.

Os dois tipos principais são:

- Sistemas de circulação natural – termossifão
- Sistema de circulação forçada – com bombeamento

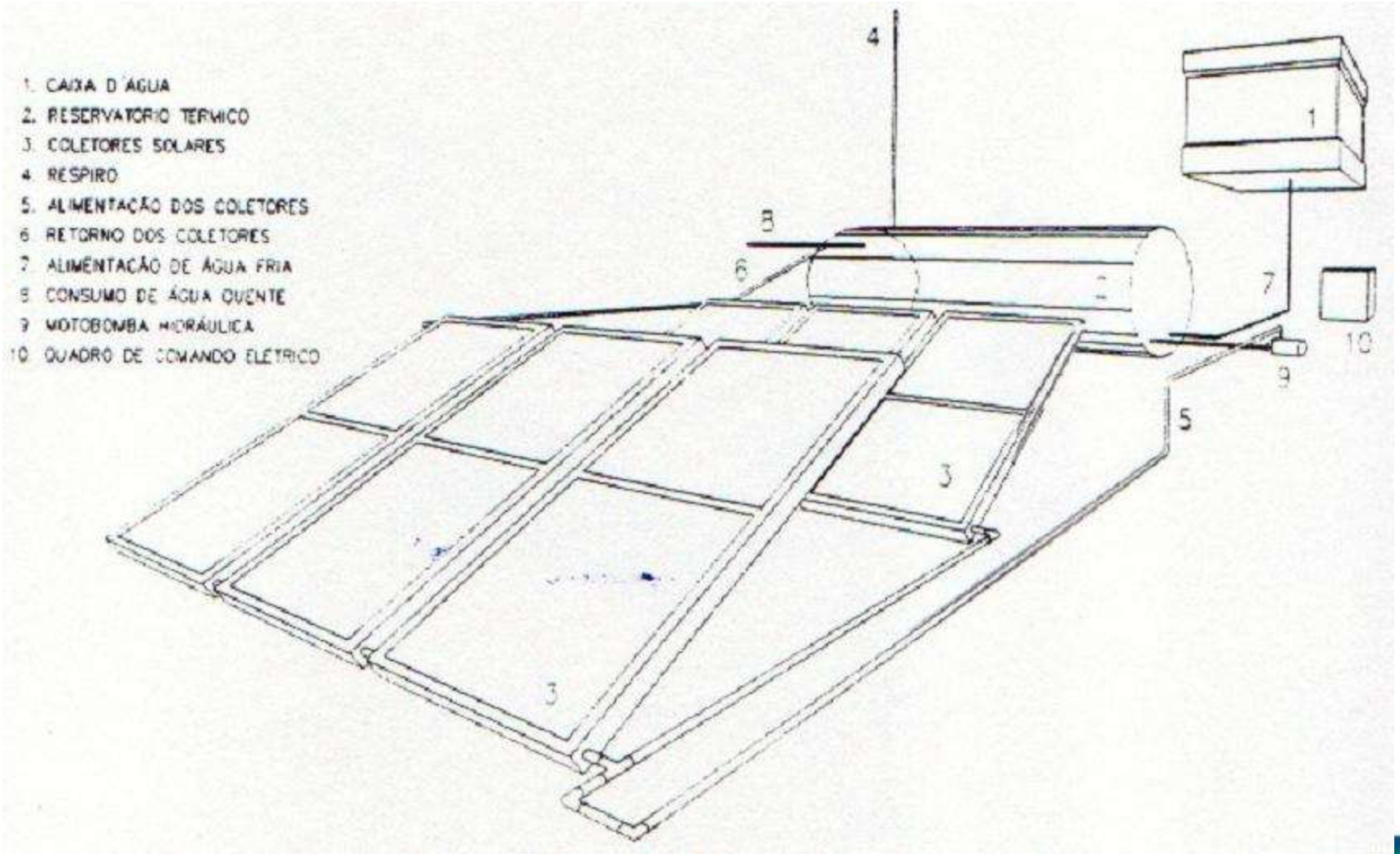
Instalação emTermossifão



Circulação natural em função da diferença entre a densidade da água

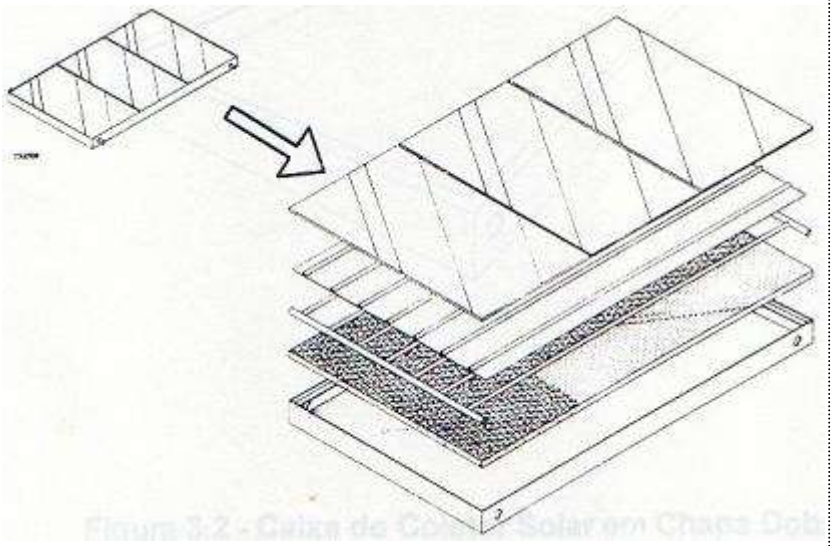
http://www.brasilescola.com/fisica/aquecimento-agua-por-energia-solar.htm
acesso 20/01/2013

Instalação básica em circulação forçada



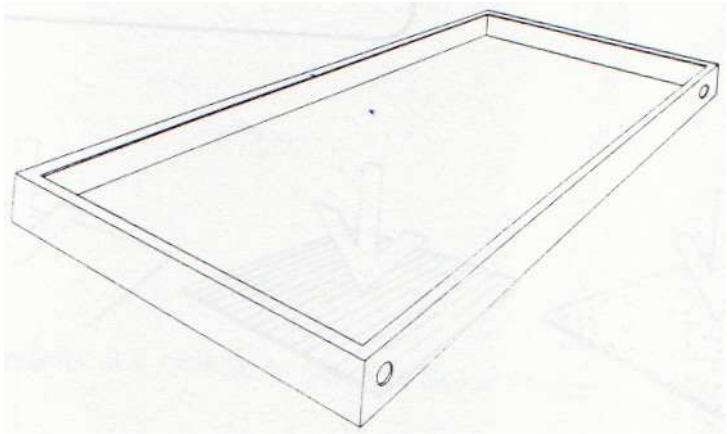
Componentes

Coletor solar plano



Caixa do coletor

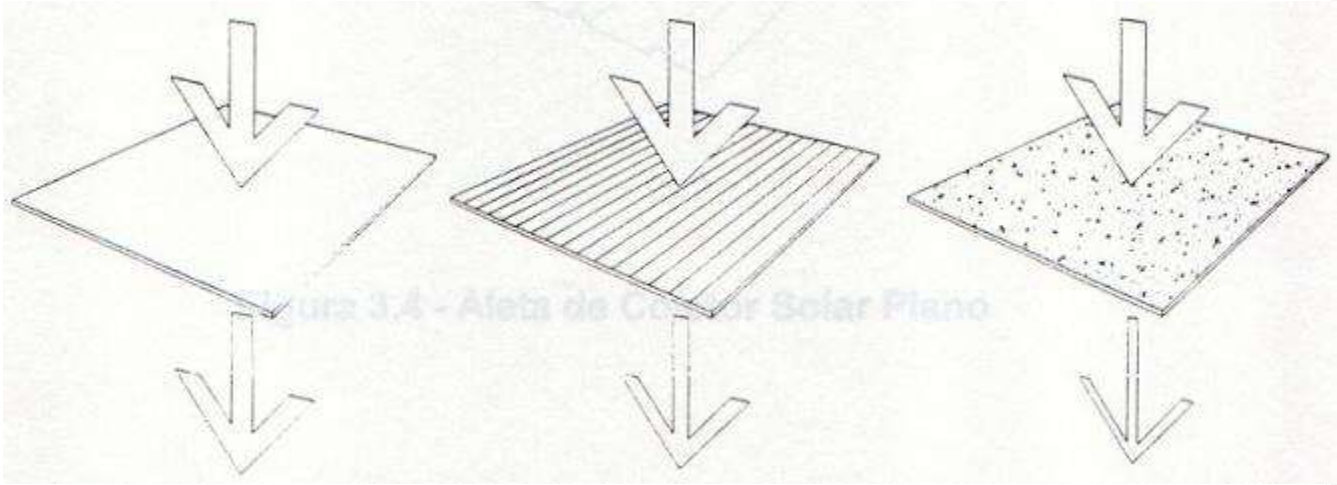
Material: alumínio, aço galvanizado e fibra-de-vidro



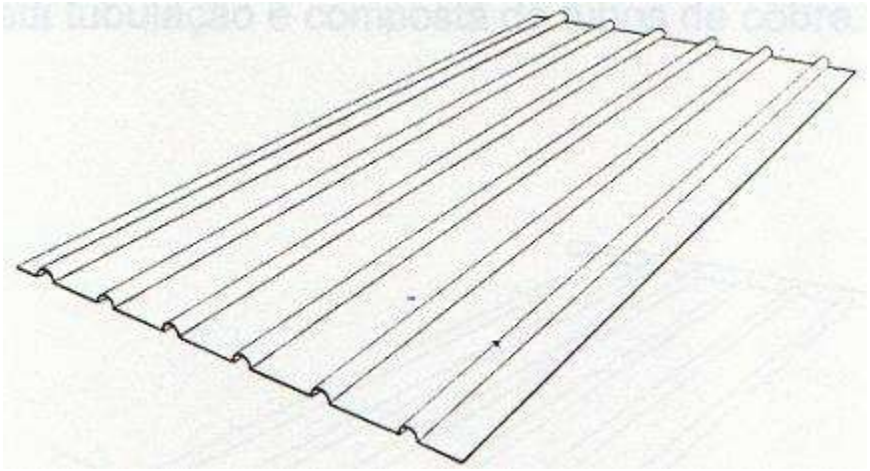
Cobertura

Material: vidro

2,3,4 mm de espessura



Aletas

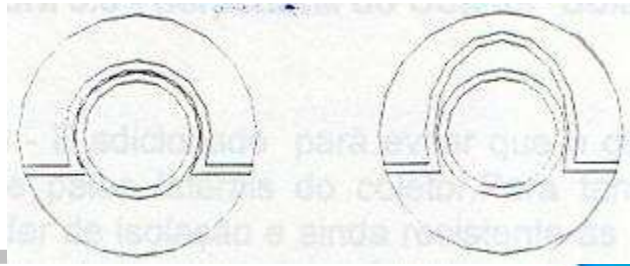


Aleta com bom contato e contato ruim com o tubo

Material : alumínio e cobre

Aço inoxidável

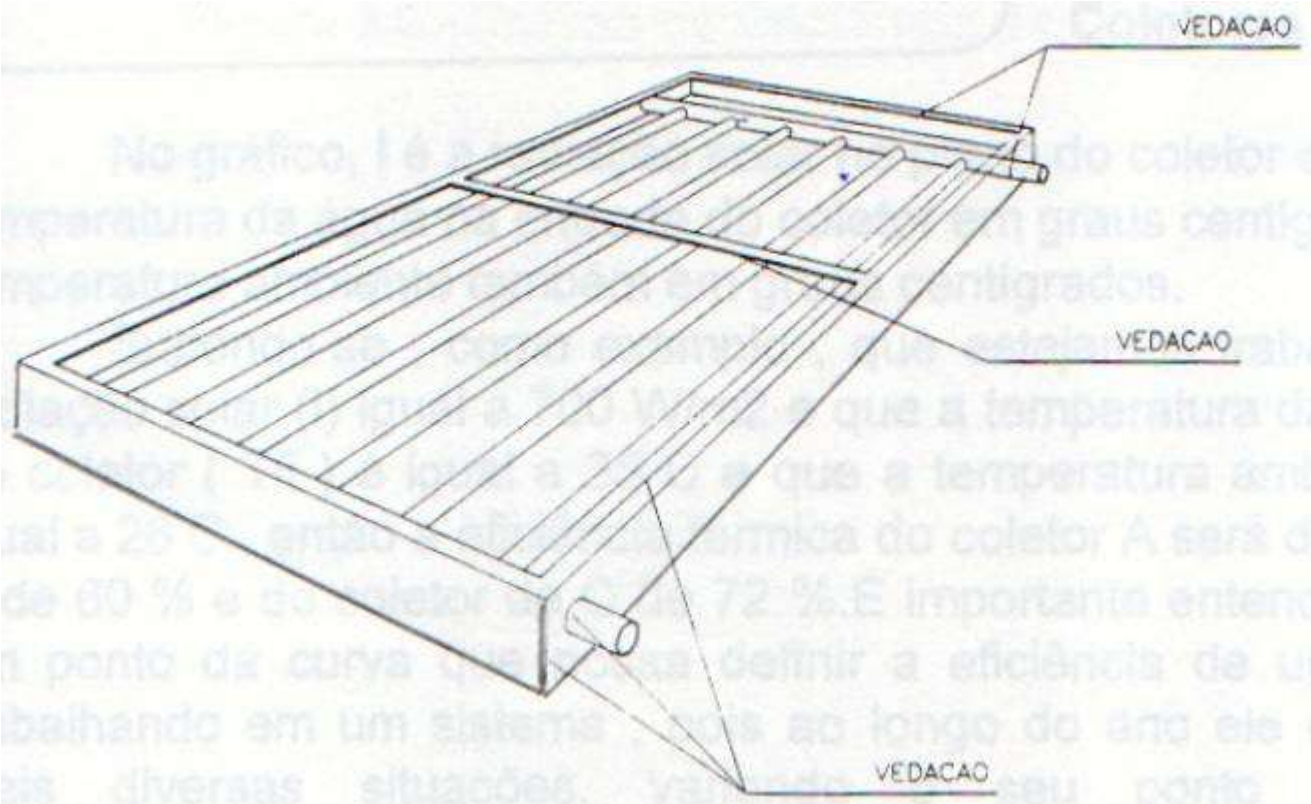
-Tintas. Como as **aletas** normalmente são de material reflexivo, é necessário cobrí-las com uma tinta que absorva o máximo de radiação solar



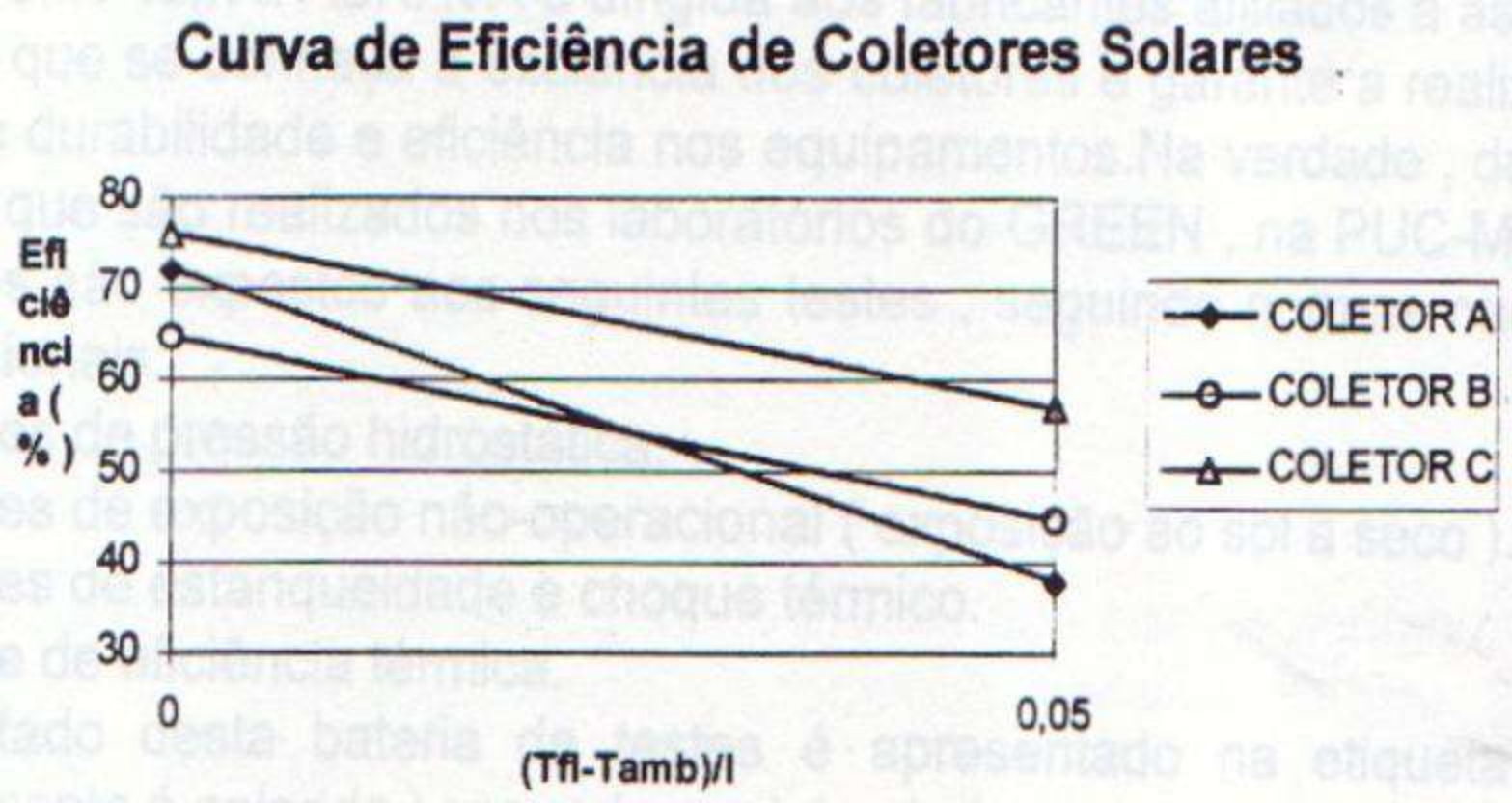
- tubos de cobre (serpentinas): Função: conduzir a água, permitindo a passagem de calor das aletas para seu interior onde está a água a ser aquecida

- isolamento térmico . Ex: lã de vidro. Função: evitar que o calor absorvido seja perdido pelo fundo e pelas laterais do coletor

- vedação. Evitar entrada de umidade. EX: silicone



EFICIÊNCIA DOS COLETORES SOLARES



Tfi = temperatura da água na entrada do coletor ^{o}C

I – radiação solar = W/m^2

Tamb – temperatura ambiente

Norma ABNT- NB 10184

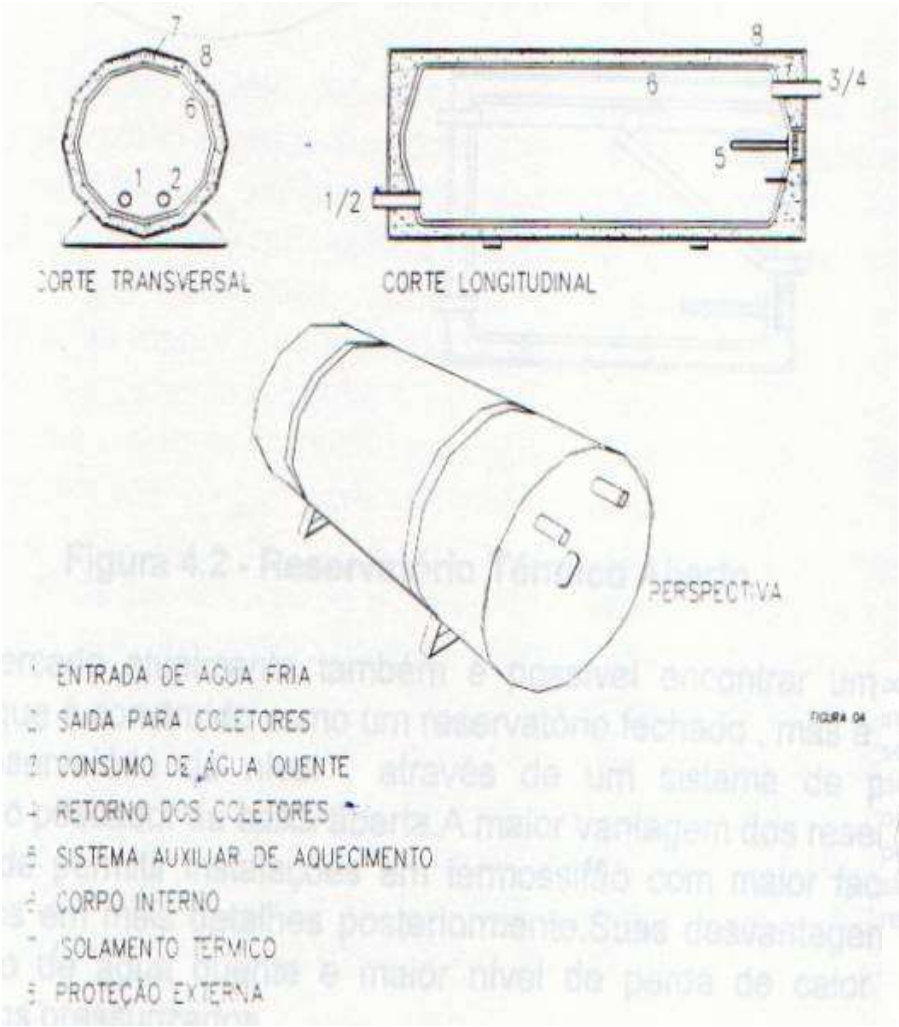
Etiqueta de eficiência energética

Inmetro - Procel

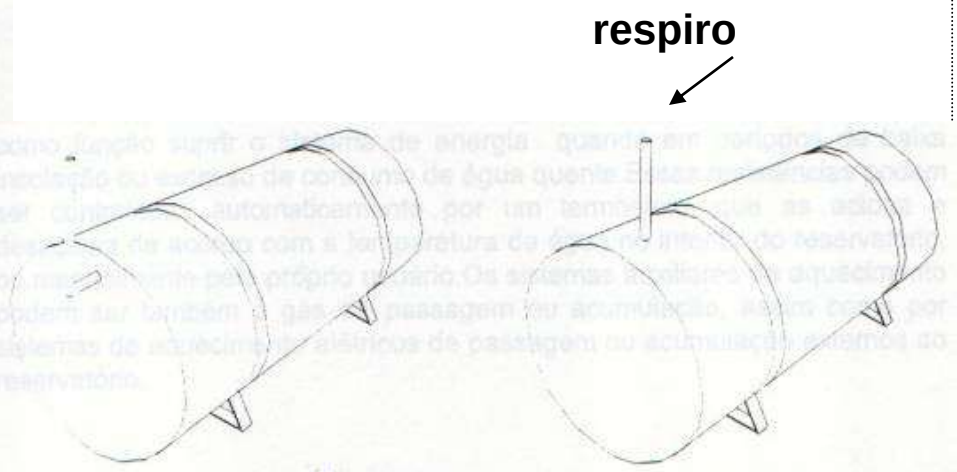


Atenção: ao escolher um coletor verificar se este tem certificação

RESERVATÓRIO TÉRMICO - BOILER



- Corpo interno
- Isolamento térmico
- Proteção externa
- Respiro ou suspiro
- Sistema auxiliar de aquecimento



Reservatório térmico pressurizado ou fechado

Componentes:

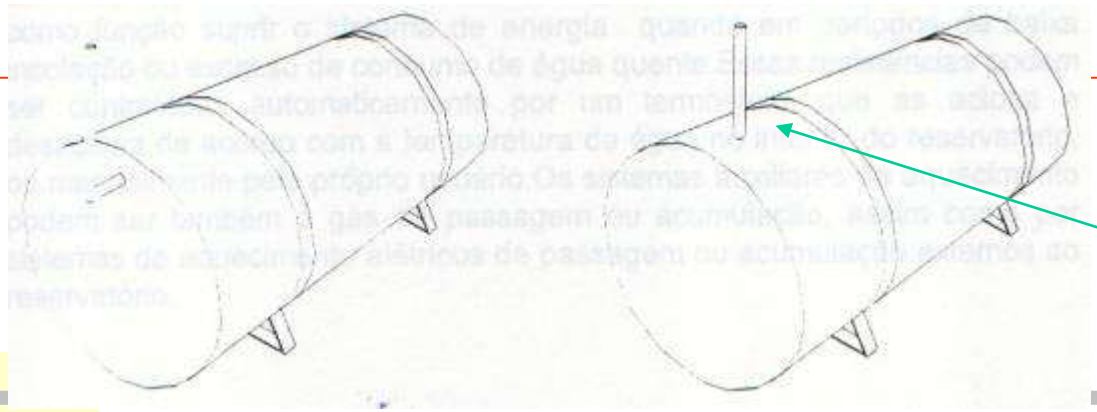
•– **Corpo interno:** responsável pelo contato direto com a água. Deve possuir excelente resistência mecânica e à corrosão. Material: aço inoxidável e cobre

•- **Isolamento térmico.** Dele depende o real funcionamento do reservatório térmico. Sua condutividade térmica e sua espessura irão determinar o poder de retenção de calor no interior do reservatório. Material: lã de vidro e poliuretano expandido

•- **Proteção externa.** Têm a função de proteger o isolamento térmico da umidade excessiva, de danos no transporte ou instalação e da radiação solar. Material : alumínio, aço galvanizado ou aço carbono pintado.

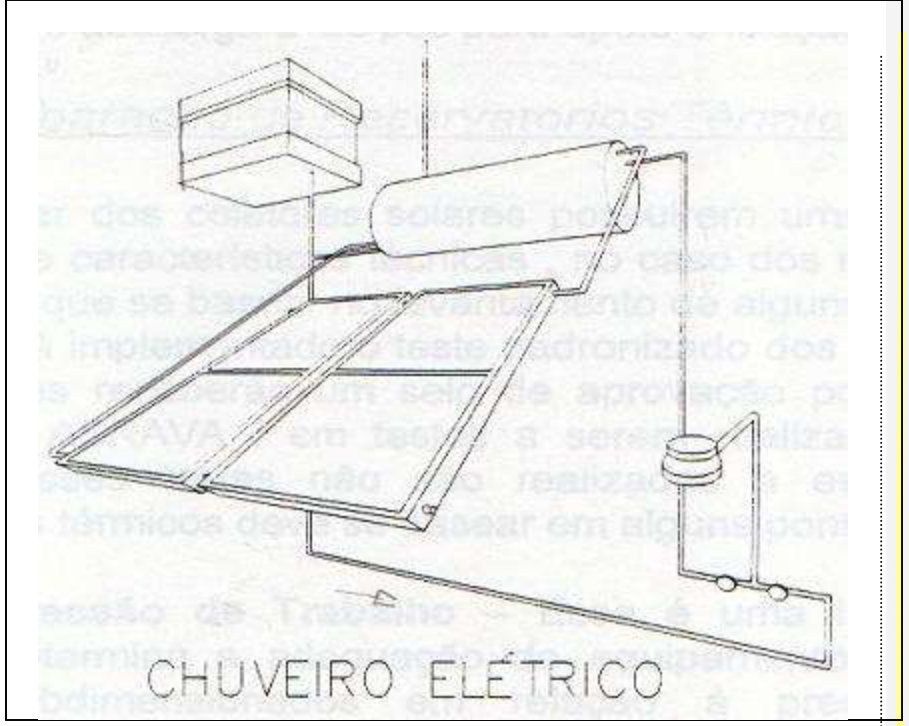
•-**Respiro ou suspiro**. Faz parte do conjunto de tubulações do reservatório. Têm a função de permitir a saída de ar ou vapor, aliviar sobrepressões e pressões negativas

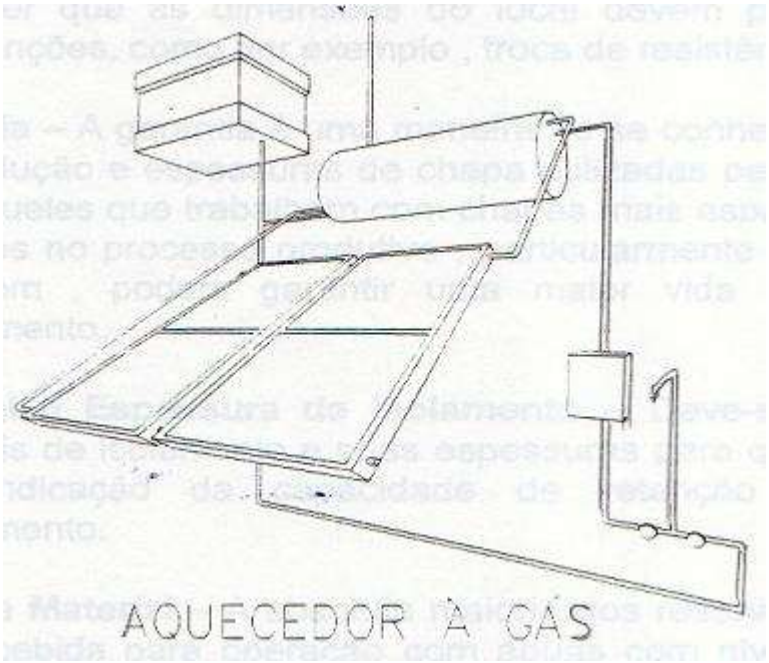
- **Sistema auxiliar de aquecimento** . Normalmente os reservatórios recebem uma ou mais resistências elétricas blindadas que tem como função suprir o sistema de energia em período de baixa insolação ou excesso no consumo.



suspiro

Aquecimento auxiliar com chuveiro elétrico →





← Aquecimento auxiliar com aquecedor a gás de passagem

Como dimensionar um sistema para aquecimento de água usando coletor solar ?

DETERMINAR O VOLUME DE ÁGUA QUENTE

ESTÁ ASSOCIADO Á:

- **pontos de consumo de água quente**
- **número de usuários**
- **freqüência de utilização**
- **nível de conforto desejado**

Nível de conforto

- Vazão típica de um chuveiro elétrico = 3 a 6 litros por minuto

- Vazão de uma ducha = varia, podendo chegar a vazões > 30 litros

- Vazão recomendada para atingir um bom nível de conforto = 7 a 10 litros/ minuto

- tempo de banho = 8 a 10 minutos

Consumo médio de água quente por peça

Para referência

Peça	Consumo diário
Ducha	70 a 90 litros / pessoa
Lavatório *	5 a 7 litros / pessoa
Bidê	5 a 7 litros / pessoa
Cozinha	20 a 30 litros / pessoa
Lavanderia	8 a 15 litros / kg de roupa seca
Banheira	30 a 50% do volume da banheira

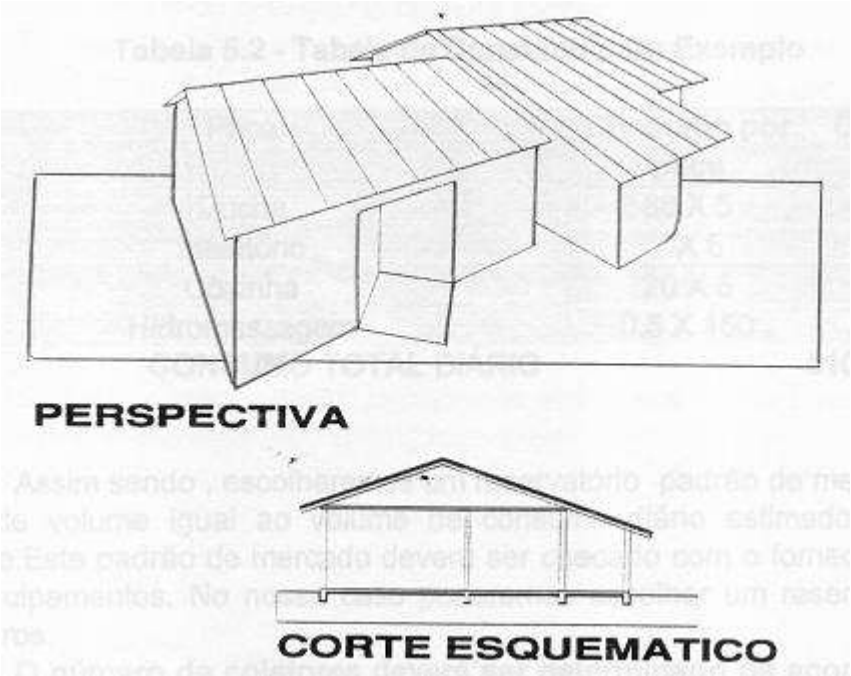
* – valor considerando 1 banho/dia/pessoa

EXEMPLO DE RESIDÊNCIA

Residência com:

- 5 moradores





Casa instalada em São Paulo (SP)

Cálculo do consumo diário de água quente

Tabela 1

Peça	Consumo por peça	Consumo total
Ducha	80 ´ 5	400
Lavatório	7 ´ 5	35
Cozinha	20 ´ 5	100
Hidromassagem	0,5 ´ 150	75
Consumo total diário		610 litros

Escolhe-se um reservatório padrão de mercado que seja de volume igual ao volume do consumo diário estimado de água quente

No exemplo = 600 litros

Cálculo da área e número de coletores

Aspectos a considerar:

- eficiência do coletor
- temperatura do local
- radiação solar disponível (kWh/m^2/dia)
- volume de água quente necessário

Opção 1- tabela fornecida por fabricante

Relação volume / área do coletores para algumas cidades

Tabela 2

Localidade	Área de Coletor (m2) para cada 100 litros
São Paulo	1,75 – 1,85
Campinas	1,20 – 1,30
Ubatuba	1,65 – 1,75
Bauru	1,10 – 1,20
Campos do Jordão	2,00 – 2,10
Ribeirão Preto	1,00 – 1,10
Presidente Prudente	1,10 – 1,20

Obs: relação desenvolvida para uma eficiência média de coletor, vidros lisos

Opção 2

Cálculo via equação de balanço de energia:

$$RSI \times A \times \eta = m \times c \times \Delta t$$

Onde:

RSI – radiação horária média mensal – kWh/m^2

C= 4180 joules/kg^{o}C – calor específico da água

m – massa de água (kg) ou litros

η eficiência do coletor

ρ = 1000 kg/m^3

A – área do coletor

Δt - diferença entre a temperatura de entrada e saída do coletor ^{o}C

O número de coletores deverá ser selecionado de acordo com o volume do reservatório e o padrão do mercado de coletores.

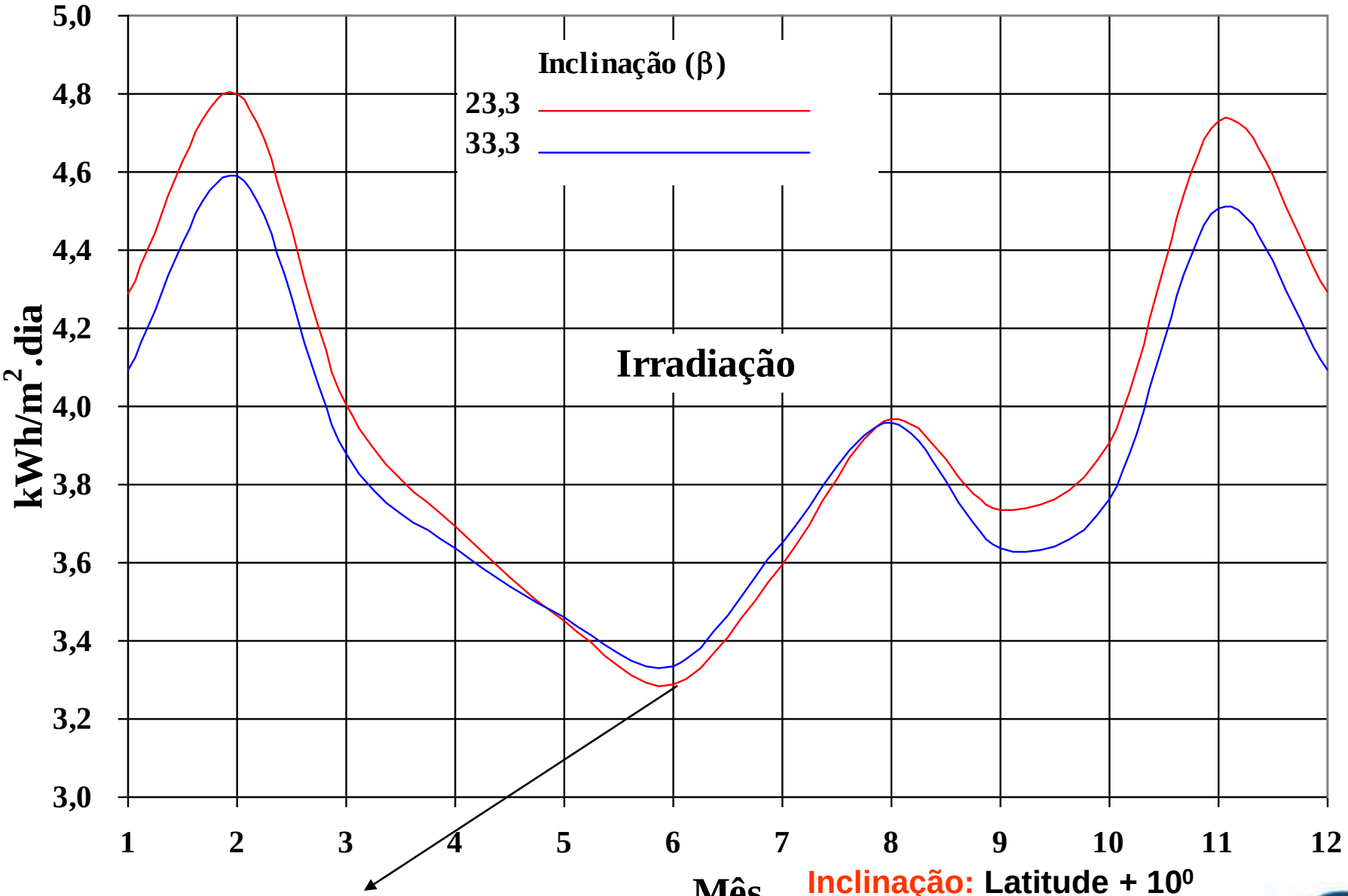
No nosso exemplo em São Paulo, consideramos um coletor de 1,6 m^2 (comercial) Assim sendo, de acordo com a tabela 2 necessitaremos de :

- 10,5 m^2 de coletores = 7 coletores

1,75m2 - 100 l

X - 600 l

COMO INSTALAR O COLETOR SOLAR?



Pior mês = menor radiação

São Paulo

Inclinação: Latitude + 10^0

Maximiza energia coletada no inverno

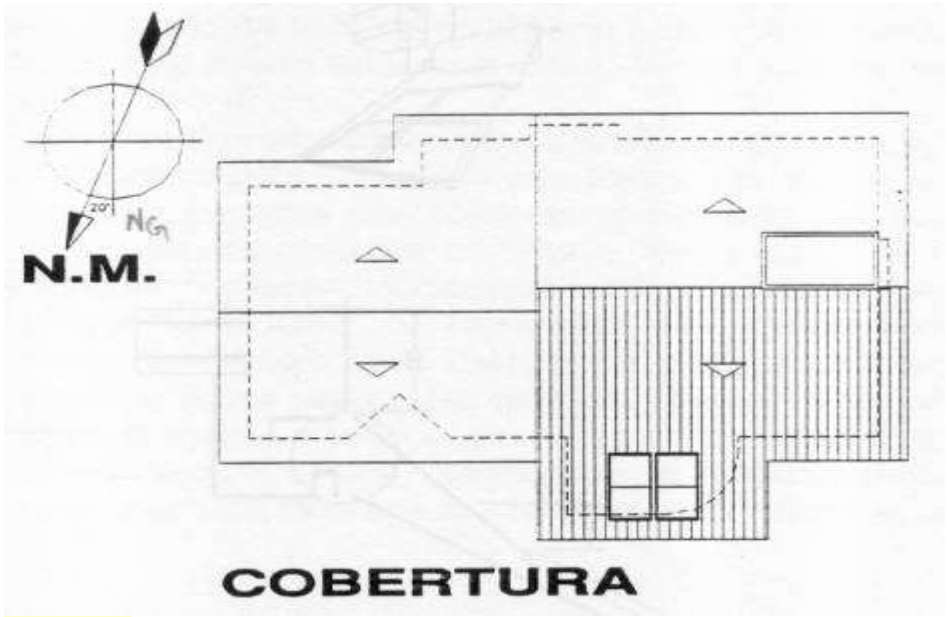
Face Norte – Verdadeiro ou geográfico

Ao avaliarmos o projeto de localização da cobertura definimos a água do telhado em destaque na figura abaixo.

Esta parte do telhado entretanto, apresenta um desvio em relação ao Norte magnético de 20 graus oeste.

Como o norte magnético está a aproximadamente 20 graus a oeste do norte geográfico para São Paulo, teremos um desvio total de 40 graus .

A inclinação do telhado é de 19 graus.



Compensação da área devido ao desvio.

Área total Fator de compensação = 10,5 × 1,18 = 12,4 m^2

Considerando o coletor de 1,6 m^2 – recomenda-se a instalação de 8 coletores

Custo

PREÇO DO SISTEMA:

COLETOR+RESERVATÓRIO+TUBULAÇÕES+ACESSÓRIOS= 450R$/m^2

Aproximadamente 8R$ por litro de água aquecida

Preço do sistema: 8 coletores $\times$ 1,6 m^2 $\times$ 450R$/m^2 = **5750,00 R$**

OBS: Não estão incluídos (caso seja necessário) preço de tubulação hidráulica de água quente interna e revestimento de paredes

Dever de casa:

Vida útil = 20 anos

Considerando que a tarifa residencial é igual a 0,400R$/kWh, calcule o retorno (tempo) do investimento.

Considerar um consumo médio de energia elétrica complementar (para dias nublados de 30% com relação ao consumo original (com chuveiro)

Exercício

Dados:

Radiação solar – 5,6 kWh/m^2

Área do painel – 2 módulos de 1,6 m2

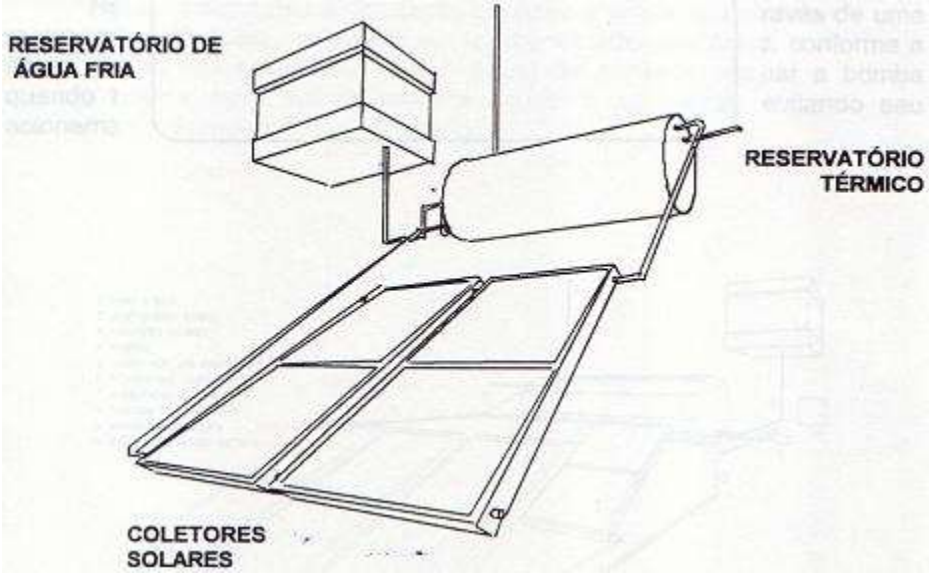
Latitude: 23,5 ^{0}C

Eficiência térmica – 50%

Tfi – entrada do coletor – 15 graus C

Tfs – saída do coletor – 45 ^{0}C

Cp – calor específico –4180 joules/kg^{o}C
Densidade da água = 1000kg/m^3



Calcule : Quantidade de água diária aquecida e capacidade do boiler

Solução: $RSI \times A \times \eta = m \times c \times \Delta t$

$RSI \times A \times \eta =$ 5,6 kWh/m^2/dia x 2 x 1,6m^2 x 0,5

= 8960 Wh /dia

1Joule= 1W x Seg
1seg= (1/3600)h

$$m(kg)/dia \times c\left(\frac{Watts \times seg}{kg \times {}^{o}C}\right) \times (Tf - Ti)^{o}C$$

$$m(kg)/dia \times 4180\left(\frac{Watts \times h}{3600 \times kg \times {}^{o}C}\right) \times (45-15)^{o}C = 34{,}883Wh/kg \times m(kg)/dia$$

$$8960Wh/dia = 34{,}883Wh/kg \times m(kg)/dia$$

Densidade = massa/volume= 1000kg/m^3

$$m = \frac{8960Wh}{34{,}883Wh/kg} = 256kg/dia$$

1kg=1 litro

Volume= 0,256 m^3 /dia

Capacidade do boiler = aproximadamente 256 litros