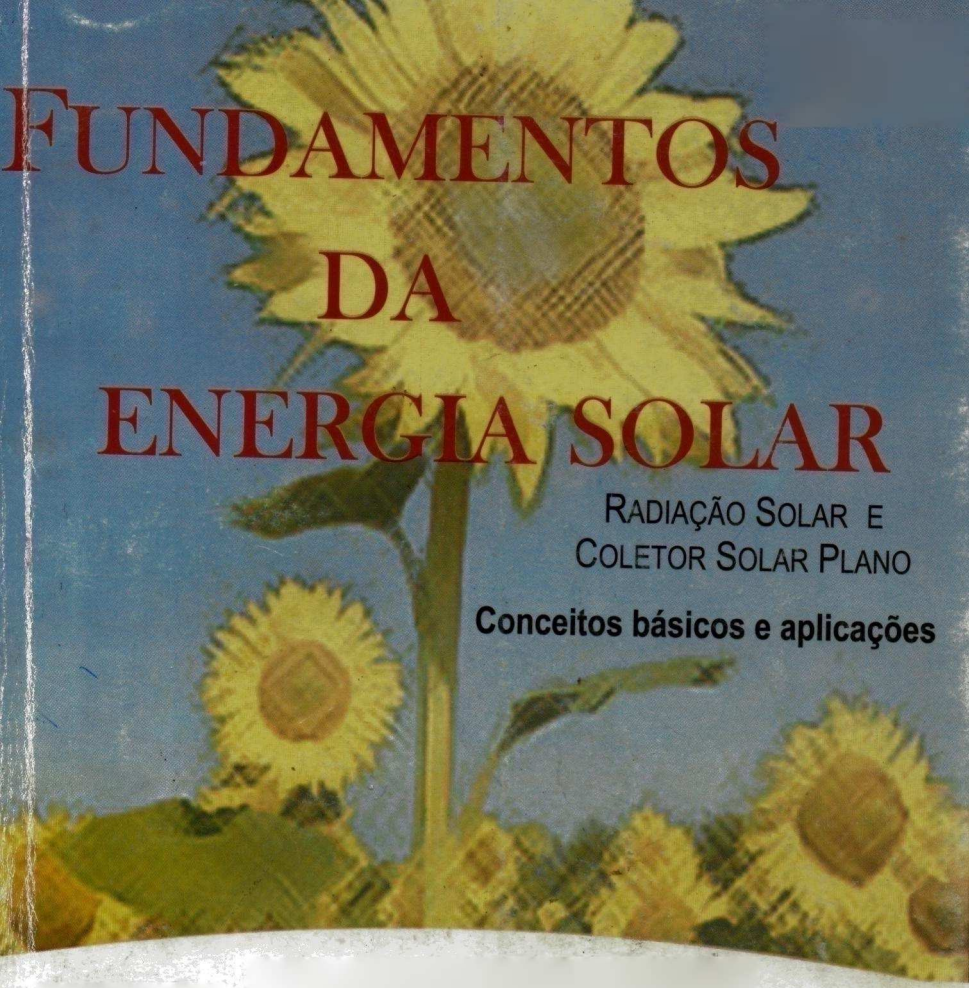
FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR

RADIAÇÃO SOLAR E COLETOR SOLAR PLANO

Conceitos básicos e aplicações



Marcelo Bezerra Grilo

EDUFCG

O uso e as aplicações tecnológicas da energia solar, felizmente, estão em crescimento no Brasil e no Mundo. Por isto percebe-se uma demanda por informação sobre aproveitamento da energia solar para aquecimento de água, secagem de produtos agrícolas, conforto de ambientes e geração de eletricidade. Entretanto, constata-se uma carência de livros para atender essa demanda. No mercado são encontrados livros específicos direcionados para pessoas já familiarizadas com a linguagem e o universo da energia solar, ou os manuais de fabricantes que utilizam uma linguagem completamente voltada aos produtos em divulgação.

A **coleção fundamentos** dirige-se em especial a quem precisa dar passos firmes e iniciais no assunto ou (re)conhecer o tema com base sólida e linguagem científica. Concebida e assessorada por profissionais altamente qualificados e com larga experiência no assunto, seu propósito é oferecer ao mercado editorial, livros com temas atuais, onde os conteúdos são apresentados de maneira simples, didática e seqüencial de modo a interessar profissionais, estudantes e pessoas em geral.

Fundamentos da Energia Solar é o primeiro livro da coleção. Na parte inicial trata da radiação solar e do movimento aparente do sol visto por um observador na Terra, que são pressupostos para ensejar o uso eficiente da energia solar, permitindo o aproveitamento máximo da radiação disponível em cada localidade. Na segunda parte são apresentadas informações sobre o uso do coletor solar plano no aquecimento de água. Finalizando com a descrição de estudos de casos reais e exercícios propostos.

Alguns temas em estudos para continuidade da coleção fundamentos são: Fundamentos do Gás Natural; Fundamentos da Mecatrônica; Fundamentos dos Biocombustíveis; Fundamentos de Ecologia para Engenheiros; Fundamentos da Adsorção aplicada a Engenharia

ISBN 978-85-89674-34-8

9 788589 674348

EDUFCG

Editora da Universidade Federal de Campina Grande

FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR

Radiação Solar e Coletor Solar Plano

Conceitos básicos e aplicações

Marcelo Bezerra Grilo

FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR

Radiação Solar e Coletor Solar Plano

Conceitos básicos e aplicações

Campina Grande - Paraíba

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
Reitor
Thompson Fernandes Mariz
Vice-Reitor
José Edilson Amorim

EDITORA UNIVERSITÁRIA – EDUFCG

Diretor Administrativo da Editora Universitária
Prof. Dr. Antonio Clarindo Barbosa de Souza

Diretor Comercial da Editora Universitária
Prof. Dr. Antonio Gomes da Silva

FUNDAMENTOS DA ENERGIA SOLAR
Radição Solar e Coletor Solar Plano
conceitos básicos e aplicações

Autor
Prof. Dr. Marcelo Bezerra Grilo

Endereço para contato
Rua Antônio Joaquim Pequeno, 299. Conjunto dos Professores
58 109 – 085 Campina Grande - Paraíba
griloufcg@yahoo.com.br

Edição Eletrônica e capa
Lívia Brasil

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Biblioteca Central da UFCG

G898f
Grilo, Marcelo Bezerra.
Fundamentos da energia solar / Marcelo Bezerra Grilo.
Campina Grande : EDUFCG, 2007.
60p.
ISBN 978-85-89674-34-8

1. Energia. 2. Energia Solar. 3.Termodinâmica. 4. Radiação Térmica. 5. Astronomia. I -Título.

CDU – 620.97

Editora Universitária
Universidade Federal de Campina Grande
Rua Aprigio Veloso, 882 - Bodocongó - Fone (83) 3310.1008
Campina Grande - Paraíba

Sumário

Prefácio 7

Agradecimentos 9

Transferência de calor / energia - Conceitos básicos 11

Condução 11
Convecção 11
Radiação 11
Energia 13
Termodinâmica 13
Primeira lei da termodinâmica 15
Segunda lei da termodinâmica 15
Entropia 15
Exergia 16

Radição Térmica - Equações e conceitos básicos 17

Introdução 17
Radiação térmica 20
Fluxo de calor por radiação 22
Lei de Stefan - Boltzmann 23
Lei de Wien 24
Propriedades da radiação 24
Radiação solar 26

Astronomia- Conceitos básicos 27

Geocentrismo (Ptolomeu) 27
Heliocentrismo (Copérnico, Galileu, Kepler) 27
Sistema solar 27
Movimentos relativos entre a terra e o sol 28
Equação de Cooper 30
Coordenadas geográficas 31

Movimento aparente do sol (observador na Terra) 32
Cálculo do número de horas de sol numa localidade ... 33
Zênite 34
Solarimetria – Principais instrumentos de medição 36
Constante solar - Gcs 36
COLETOR SOLAR PLANO - CSP 37
Funcionamento 37
Características 39
Informações complementares 44
Aplicações práticas 46
EXERCÍCIOS PROPOSTOS 53
BIBLIOGRAFIA BÁSICA 57

PREFÁCIO

A versão inicial deste trabalho foi escrita em 1998, quando Moema Soares de Castro, minha orientadora no Doutorado em Planejamento Energético, fez o convite para que lecionasse parte das aulas na disciplina Geração de Energia, no Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande.

Naquele curso era preciso tratar especificamente a questão da conversão da energia solar e de suas aplicações, por isso escrevi um texto de apoio às leituras que fazíamos nos livros tradicionais existentes na área.

Para minha surpresa, os alunos gostaram e sugeriram que o texto fosse ampliado e aprimorado para se transformar em um livro, onde os conceitos fossem apresentados de forma simples e direta, servindo para estudos iniciais e panorâmicos sobre o tema.

Esta versão trata dos conceitos básicos da radiação solar, do movimento aparente do sol e de uma aplicação clássica da energia solar que é o aquecimento de água usando coletor solar plano.

Esse livro pode ser utilizado tanto em cursos técnicos como em atividade de treinamento de pessoal que vai utilizar a energia solar para aquecimento de água. Pode também ser utilizado como texto complementar em cursos universitários de transferência de calor, fontes alternativas de energia e/ou disciplinas afins.

Sobre o tema energia solar, existem bons livros. Para

quem lê em inglês, o clássico *Solar engineering of thermal processes*, de Duffie e Beckman, continua sendo fundamental.

Em Língua Portuguesa existem algumas traduções sofríveis, e uma pequena quantidade de bons escritos, que atendem interesses específicos. Neste universo encontram-se os livros de Arnaldo Moura Bezerra, que faz um excelente trabalho no sentido de divulgação e popularização da energia solar. Também é muito bom o livro dos professores da UFPE, Naum Fraidenraich e Francisco Lira, e um destaque especial para um texto de Rogério Pinheiro Klüppel, *Fontes alternativas de energia para a agricultura - Energia solar e suas aplicações*, do qual participei quando fui seu aluno de Mestrado no Laboratório de Energia Solar da UFPB. O professor Klüppel, uma das maiores autoridades em energia solar no Brasil, já deveria ter transformado aquele texto em livro. Neste livro incorporo alguns dados e equações da primeira versão do texto de Klüppel.

Este é um livro em construção, que procura se apoiar nos conceitos básicos da radiação solar para ensejar suas aplicações na área solar térmica. Para poder ser lido por especialistas e leigos, a linguagem, às vezes, perde no formalismo para ganhar na facilidade da compreensão.

Espero receber contribuições, críticas e sugestões, por isso é fornecido o endereço para contato.

AGRADECIMENTOS

Estou de bem com a vida e em permanente celebração, com a felicidade de ter muitos amigos, ter saúde e uma família em harmonia; se fosse citar nominalmente todos que contribuíram para este trabalho, infinitas folhas seriam necessárias.

Porém, não posso esquecer de lembrar o nome de alguns colegas e de ex-professores, em nome de quem homenageio a todos que estudam e trabalham com o fascinante tema da energia solar. Agradeço a Amaro Ladislau, Arnaldo Moura Bezerra, Francisco Antônio Belo, Ildo Sauer, Júlio Goldfaber, Naum Fraidenraich, Rogério Pinheiro Klüppel e Telmo Araújo.

Agradeço a meus pais, Claver e Ilze, de origem pobre e camponesa, exemplos de bondade, sabedoria e energias infinitas...

Campina Grande, primavera de 2007.

TRANSFERÊNCIA DE CALOR / ENERGIA CONCEITOS BÁSICOS

Neste capítulo são apresentadas as equações básicas da transferência de calor e os conceitos fundamentais da energia.

Calor é energia em movimento. O mecanismo da transferência de calor ocorre por cada uma das seguintes formas, ou de modo combinado por mais de uma delas:

Condução Equação de Fourier

$$q_k = - KAdT/dx$$

Convecção Equação de Newton

$$q_c = hA_{\Delta} T$$

Radiação Equação da TC por radiação

$$q_r = \sigma A_1 \varepsilon F_{1-2}(T_1^4 - T_2^4)$$

A condução de calor ocorre em sólidos, líquidos e gases. A convecção de calor é caracterizada pela participação do fenômeno da transferência de massa, associada com a condução de calor, na camada adjacente. A radiação é tratada como ondas eletromagnéticas, pela

teoria eletromagnética de Maxwell e como *fótons*, ou *quanta* de energia, segundo o conceito de Max Planck. Ambos os conceitos são utilizados para descrever a emissão e propagação de radiação.

Nas equações dadas, cada termo representa:

q_k	Fluxo de calor por condução [W]
q_c	Fluxo de calor por convecção [W]
q_r	Fluxo de calor por radiação [W]
K	Condutividade térmica [W/m°C]
A	Área onde ocorre efetivamente a TC [m^2]
dT/dx	Variação da Temperatura em x [°C/m]
h	Coeficiente de convecção [$W/m^{2}{}^{o}C$]
ΔT	Diferença de Temperatura [°C]
σ	Coeficiente de Stefan-Boltzmann [W/m^2K^4]
A_1	Área do corpo emissor [m^2]
ε	Emissividade
F_{1-2}	Fator de forma
T_1	Temperatura absoluta do emissor [K]
T_2	Temperatura absoluta do receptor [K]

Energia

Existem muitas definições para energia, porém, energia é comumente apresentada como a capacidade de realizar trabalho.

As principais fontes primárias de energia são o sol e os fósseis (petróleo, gás natural, carvão). Considerando-se a terra como um sistema energeticamente aberto, toda vida provém do sol, portanto, usar energia solar é a forma energética mais sensata para atuar na direção do desenvolvimento sustentável.

Existem vários tipos de energia: a energia elétrica, energia térmica, energia cinética, energia potencial, energia química e tantas outras. No entanto, nem todas as formas de energia possuem o mesmo valor. Existem as energias de maior qualidade, como é o caso da energia elétrica. Isso fica muito claro quando ocorrem processos de conversão, elas apresentam maior eficiência. Acredita-se que para a sociedade humana, o problema energético é mais um problema de conversores do que de fontes de energia.

Termodinâmica

A termodinâmica é considerada como a ciência fundamental para a vida. A termodinâmica nos dá lições fascinantes: a da energia que não pode ser criada nem destruída, caracterizada que é por sua conservação, e a da entropia em crescimento contínuo. Nas ações do homem existe o tempo, e o futuro é diferente do passado,

caracterizado por um valor maior de entropia.

O homem é um consumidor voraz de energia, uma vez que ele possui um requerimento energético vital (REV) de apenas 1 100 kWh/ano, mas consome 17 vezes mais do que isso, considera-se de apenas 20% o valor do rendimento do conversor humano (valores para média mundial).

O consumo global de energia primária mundial é de 18 500 kWh por pessoa por ano, que é 17 vezes maior que o necessário. Como esse consumo não é uniforme, em países como os Estados Unidos da América cada cidadão consome o equivalente a 84 vezes sua necessidade. No Brasil esse número é 7 vezes maior, enquanto na maior parte dos países da África esse número é menor que a unidade.

√ REV = 2 600 kcal/dia = 1 100 kWh/ano por pessoa

√ CGEP = 18 500 kWh por pessoa por ano

- CGEP = 17 REV média mundial
- CGEP = 84 REV média dos EUA
- CGEP = 7 REV média do Brasil
- CGEP = 0,6 REV média da África

Onde:

REV Requerimento Energético Vital

CGEP Consumo Global de Energia Primária

Primeira lei da termodinâmica

O conceito fundamental da primeira lei é o da conservação da energia. Ela afirma que a energia total existente no universo, sob as diversas formas, é constante, podendo apenas se transformar de uma forma para outra, não é possível criar mais energia ou destruir a já existente.

Segunda lei da termodinâmica

O conceito fundamental da segunda lei afirma que não se pode passar livremente de uma forma de energia para outra, e que a energia térmica pode transferir-se livremente de uma fonte quente para uma fonte fria, mas não em sentido oposto. Esse conceito informa que nos processos de conversão, o rendimento é sempre inferior a 100%.

Entropia

É uma propriedade termodinâmica que mede o grau de dispersão de energia; é o conceito que nos indica a direção dos eventos.

Entropia significa desperdício dos recursos naturais e poluição, crise energética, lixo e destruição do meio ambiente.

Nossa maneira de viver, de consumir, de nos comportar, determina a velocidade do processo entrópico, ou seja, a velocidade com que é dissipada a energia útil.

"*Às vezes a desordem se transforma em ordem*", isto ocorre, por exemplo, quando é construída uma barragem para uma usina hidrelétrica, mas isto é apenas uma ilusão, uma aparência de ordem à custa de uma desordem ainda maior no meio ambiente, ou seja, a entropia do universo é sempre crescente.

Exergia

A exergia pode ser definida como sendo a fração da energia que pode efetivamente ser convertida em trabalho útil, à medida que um sistema se dirige para o seu estado final de equilíbrio com o meio ambiente.

Um exemplo muito interessante para compreender o significado de exergia ocorre quando se observa os gases de descarga de um motor veicular.

Neste caso, sabe-se da experiência cotidiana que a temperatura desses gases é maior do que a temperatura do ambiente. Assim pode-se afirmar que esses gases ainda contêm uma disponibilidade energética em relação a esse ambiente. Essa energia ainda disponível nos gases representa a exergia.

Radiação Térmica

Equações e conceitos básicos

Introdução

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, como fonte de calor e de luz, é hoje uma das alternativas energéticas mais promissoras para se enfrentar os desafios do novo milênio.

Quando se fala em energia, deve-se lembrar que o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia.

É, inclusive, a partir da energia do sol que se dá a evaporação da água, origem do ciclo hidrológico, que possibilita o represamento e conseqüente geração de eletricidade nas usinas hidrelétricas.

A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos que geram energia elétrica através das turbinas eólicas.

Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento da radiação solar. As reações químicas, às quais a matéria orgânica foi submetida, a altas temperaturas e pressões, por longos períodos de tempo, também utilizam o sol como fonte de energia.

É também por causa da energia do sol, atraves da fotossíntese, que a cana-de-açúcar retira CO_2 do ambiente, fixa carbono e prodruz biomassa capaz de gerar açúcar, álcool e bagaço que pode ser usado como combustível nos geradores de vapor das usinas.

As formas mais usuais de utilização tecnológica da energia solar hoje são:

Energia solar térmica (*aquecimento de água*)

Energia solar fotovoltaica (*geração de eletricidade*)

Energia solar na arquitetura (*conforto de ambientes*)

Na representação esquemática mostrada a seguir são apresentados diversos processos de conversão da energia solar, usados no acionamento de sistemas para bombeamento de água.

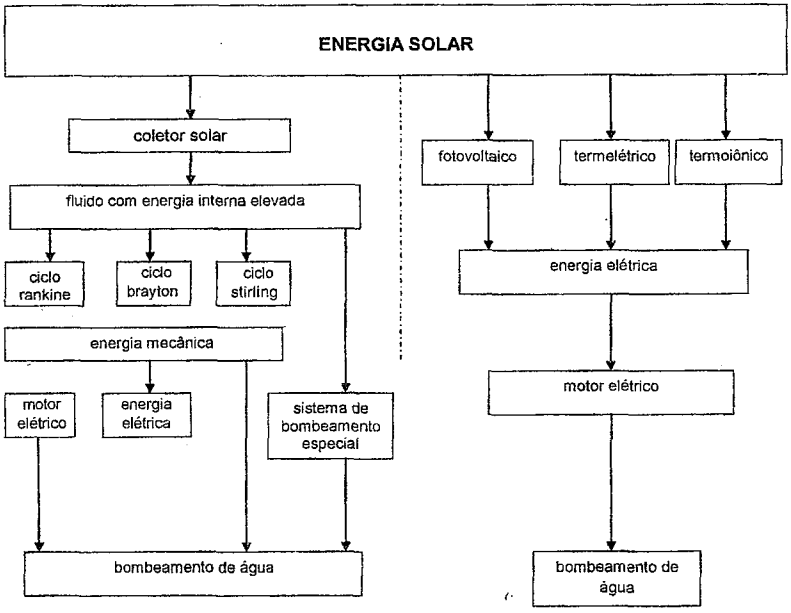


Figura 01 Representação esquemática de processos de conversão da energia solar

Este livro trata do processo de conversão da energia solar apenas para aquecimento de água, através do uso do coletor solar plano.

Outra aplicação tecnológica atualmente muito usada é a conversão fotovoltaica, na qual painéis solares transformam a energia solar incidente, diretamente em energia elétrica, podendo essa energia ser utilizada para acionamento direto de equipamentos eletro-eletrônicos ou ser armazenada em baterias para uso posterior.

Radiação térmica

É a radiação eletromagnética emitida por um corpo em função de sua temperatura. Todo corpo com T > 0 K, emite radiação térmica.

A transferência de calor por radiação difere da condução e da convecção por dois aspectos importantes:

Não há necessidade de um meio material para ocorrer a transmissão de calor, podendo ocorrer inclusive no vácuo;

A energia transferida é proporcional à quarta potência das temperaturas dos corpos envolvidos. Essas temperaturas são absolutas em Kelvin.

Mecanismo físico $\mathbf{c} = \lambda\nu$

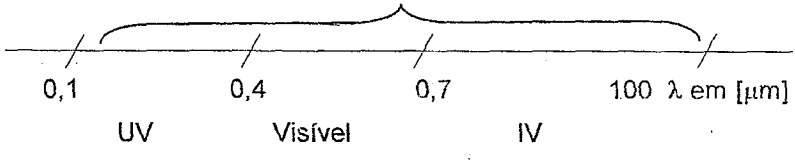
c velocidade propagação da luz ($3x10^8$ m/s)

λ é o comprimento de onda em μm

ν é a freqüência em Hz

A forma do **espectro eletromagnético** em função do comprimento de onda λ é:

Radiação térmica



As faixas características de radiação, com os valores aproximados em μm, são:

Radiação Térmica	0,10 a 100	μm
Ultravioleta UV	0,01 a 0,40	μm
Radiação Visível	0,40 a 0,70	μm
Infravermelho IV	0,70 a 1000	μm
Radiação Solar	**0,10 a 2,50**	**μm**
	(no nível do solo)	

A radiação visível tem sete faixas com as cores fundamentais, que são:

Violeta, **A**nil, **A**zul, **V**erde, **A**marelo, **A**laranjado, **V**ermelho (V A A V A A V).

Segundo o conceito de Planck (teoria da propagação corpuscular), a radiação térmica se propaga na forma de *Quanta* de energia, onde:

$$E = \hbar \nu$$

$\hbar$ é a constante de Planck ($\hbar = 6{,}625 \times 10^{-34}$ Js)

Cada *Quantum*, tem massa e quantidade de movimento, obtido através da relação:

$$E = mc^2 = \hbar \nu$$

Massa	$m = \hbar \nu / c^2$
Quantidade de movimento	$mc = \hbar \nu / c$

O *Quantum* da energia luminosa, ou de qualquer radiação eletromagnética, é também conhecido como *fóton.*

Cuidados com a radiação ultravioleta UV

A radiação ultravioleta pode ser UV A, UV B, UV C.

A **radiação UV B** tem qualidade espectral entre 0,28 e 0,32 μm. Essa radiação requer cuidados especiais, uma vez que ela atravessa o buraco na atmosfera que ocorre devido à destruição da camada de ozônio e pode provocar câncer de pele, por isso recomenda-se as pessoas o uso de protetor solar.

Fluxo de calor por radiação

Permite o cálculo da quantidade de energia, na forma de radiação, que é transferida do corpo 1 para o corpo 2. Esta transferência de energia não necessita de um meio material para ocorrer, pode acontecer inclusive no vácuo.

$$q_r = \sigma A_1 \varepsilon F_{1-2} (T_1^4 - T_2^4)$$

q_r	é o fluxo de radiação entre 1 e 2 em W
σ	é a constante de Stefan-Boltzmann
	$\sigma = 5{,}669 \times 10^{-8}$ W/m²K⁴
A_1	é a área do corpo que emite radiação m²
ε	é a emissividade
F_{1-2}	é o fator de forma
T	é a Temperatura absoluta em Kelvin

Lei de Stefan - Boltzmann

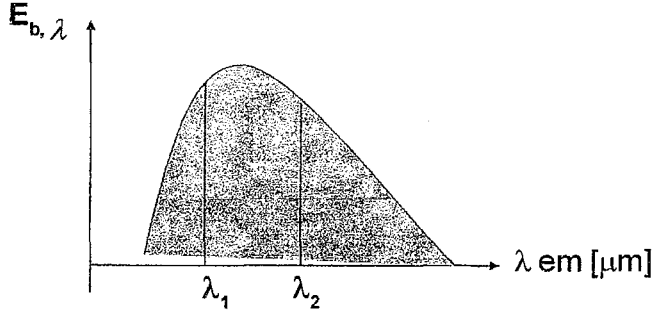
Esta lei indica o máximo de energia que pode ser emitido por um perfeito emissor, em função de sua temperatura e do comprimento de onda associado a radiação (quantidade e qualidade). Para um corpo no vácuo, a expressão da lei de Stefan - Boltzmann é dada por:

$$E_b = E_b = \frac{2\pi c_1}{\lambda^5 \left(e^{c_2 / \lambda T} - 1 \right)}$$

E é o *poder emissívo* do corpo, ou seja, é a energia emitida pelo corpo por unidade de área e de tempo.

$E_{b,\lambda}$ é o poder emissívo do **corpo negro (black)**, para um dado l.

$$E_{b,\lambda}(T) = \int_0^{\infty} \frac{2\pi c_1}{\lambda^5 \left(e^{c_2 / \lambda T} - 1 \right)} d\lambda = \sigma T^4$$ que é a área sob a curva $E_{b,\lambda} \times \lambda$.



Para se calcular a energia emitida entre l_1 e l_2, basta aplicar a integral de $E_{b,l}$ entre os valores de compri-

mento de onda desejados.

Uma outra alternativa para esse cálculo é utilizar as tabelas existentes nos livros de transferência de calor (Holman, 1983. p.350-351). Uma interessante aplicação desta equação é, por exemplo, permitir o cálculo da radiação emitida por uma lâmpada incandescente, na faixa do visível, quando a temperatura no filamento emissor for de 1 800°C.

Lei de Wien

Esta lei é fundamental na transferência de calor, porque ela mostra que há um deslocamento para direita do comprimento de onda no qual é emitido o máximo de radiação, quando se reduz a temperatura do corpo emissor.

A radiação solar entra no coletor solar plano com uma qualidade espectral, mas encontra resistência para sair, porque ocorre uma mudança nessa qualidade espectral, conseqüência da temperatura da placa absorvedora no interior do coletor ser muito menor que a do sol.

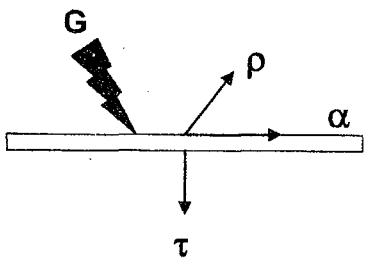
A equação de lei de Wien é:

$$\lambda_{máx} T = 2\,898\ \mu mK$$

Propriedades da radiação

Irradiação (G). É a radiação total incidente sobre uma superfície (por unidade de tempo e de área)

- **Refletividade** ρ
- **Absortividade** α
- **Transmissividade** τ



$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

$$G = G(\rho) + G(\alpha) + G(\tau)$$

Corpo negro é aquele que absorve toda energia incidente, $\alpha = 1$

Corpo opaco é aquele cuja transmissividade é nula, $\tau = 0$

Corpo cinzento é aquele em que a emissividade independe de λ

Corpo real é aquele que a emissividade depende de λ e de T

Emissividade Toda superfície real emite uma certa quantidade de radiação, essa radiação emitida chama-se emissividade e é função de sua temperatura e do material. Os valores de emissividade são encontrados em tabelas de livros de transferência de calor (Holman, 1983. p.619).

Radiação solar

É a radiação eletromagnética com uma forma particular de comprimento de onda. A intensidade desta radiação depende basicamente de:

Condições atmosféricas;

Época do ano;

Local (latitude e longitude);

Hora.

ASTRONOMIA CONCEITOS BÁSICOS

- Galáxias ⇒ via láctea ⇒ sistema solar ⇒ planetas ⇒ satélites

Geocentrismo (Ptolomeu)

- Os céus são esféricos e os objetos celestes têm movimentos circulares
- A terra é esférica
- A terra é o centro do universo
- A terra é imóvel

Heliocentrismo (Copérnico, Galileu, Kepler)

- ***1ª lei***: A órbita dos planetas é elíptica com o sol num foco
- ***2ª lei***: Nessa órbita os planetas percorrem em tempos iguais áreas iguais
- ***3ª lei***: O período de translação é proporcional a posição do planeta

Sistema solar

- ✪ **SOL** (*Hélios*)
- ○ **Planetas:**

Mercúrio (*Hermes*) Sem atmosfera p = 86 dias

Vênus (*Afrodite*) Tem CO_2 e H_2SO_4 p = 225 dias

Terra (*Gaia*) p = 1 ano

Marte (*Ares*) p = 1,88 a

Júpiter (*Zeus*) Tem grande massa p = 11,9 a

Saturno (*Cronos*) Tem anéis p = 29,5 a

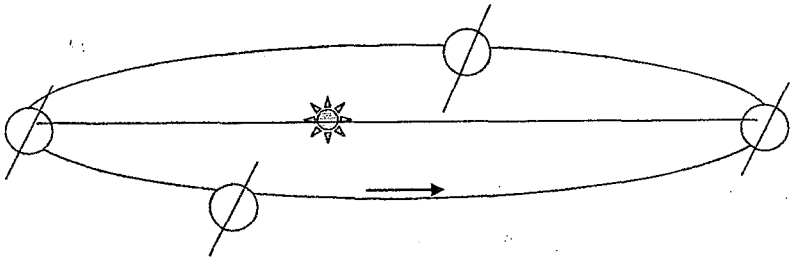
Urano (*Ouranós*) p = 84 a

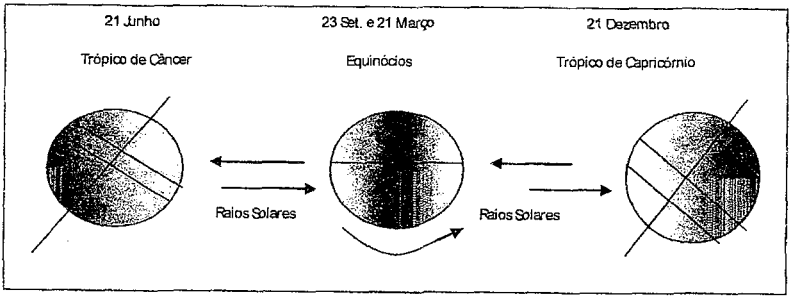
Netuno (*Possêidon*) p = 164 a

Movimentos relativos entre a terra e o sol

Translação

É responsável pelas estações do ano



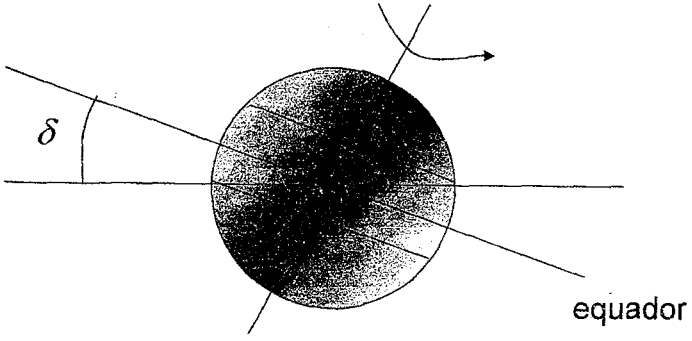


Solstícios (No hemisfério sul)

- *Verão* 21 de dezembro
- *Inverno* 21 de junho

Equinócios

- *Outono* 21 de março
- *Primavera* 23 de setembro



Rotação

É responsável pela existência da noite e do dia
A terra gira de *Oeste para Leste*
(360°/24 horas = 15° por hora)

δ é a declinação da Terra em relação ao equador

$-23,45° \leq \delta \leq 23,45°$

Equação de Cooper

Para calcular a declinação δ utiliza-se a equação:

$$\delta = 23,45 \text{ sen } [360 (\tfrac{284+n}{365})]$$

δ	é a declinação solar
n	é o número de dias, onde:
n = 1	representa o dia 1° de janeiro
n = 33	representa o dia 2 de fevereiro
...	
n = 365	representa o dia 31 de dezembro

Por exemplo:

Para o dia 12 de dezembro

$\Rightarrow n = 346 \therefore \delta = -23,18°$

Coordenadas geográficas

Latitude ϕ representa a posição em relação a *Norte x Sul*

São Paulo	ϕ = **23° 32' S = - 23° 32'**
Recife	ϕ = **8° 10' S = - 8° 10'**
Campina Grande	ϕ = **7° 11' S = -7° 11'**

No hemisfério sul as latitudes são consideradas sempre negativas

Longitude L representa a posição em relação a *Leste x Oeste*

L_p é a Longitude padrão
L_l é a Longitude local

Para Recife:
$L_p = 45°$
$L_l = 34°\ 54'$ W. Gr.

- **Fusos horários**

O Brasil tem quatro fusos horários, em relação a *Greenwich* ($L_p = 0$)

-2 horas	(Fernando de Noronha)
-3 horas	(Brasília. São Paulo. Paraíba)
-4 horas	(Mato Grosso. Amazonas)
-5 horas	(Acre)

Exemplos:

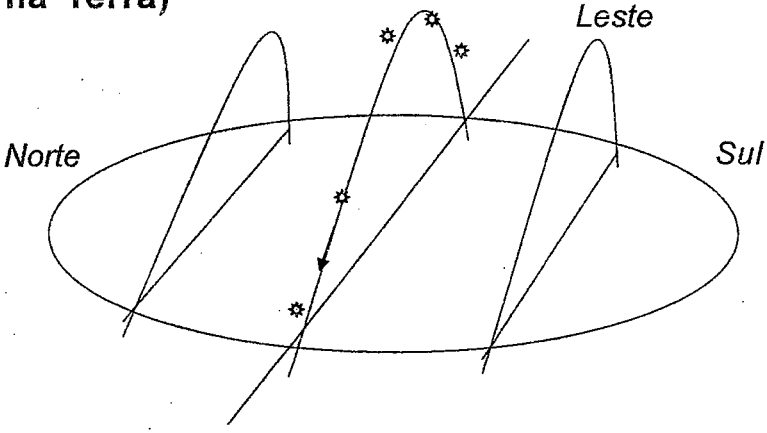
Quando em Recife são 12 horas ⇒

Greenwich = 12 – (-3) = 15 h

Quando em Recife são 12 horas ⇒

Rio Branco (Acre) = 12 – 2 = 10 h

Movimento aparente do sol (observador na Terra)



No desenho esquemático está representado como um observador sobre a superfície da terra, em qualquer latitude, vê a movimentação do sol.

Ele vê o sol nascer sempre no leste e se pôr no oeste, porém, para esse observador, o sol diariamente muda a

posição de nascer e de se pôr em relação a latitude, ou seja, no dia 21 de junho o sol nasce na posição equivalente a latitude 23,45° e no dia 21 de dezembro nasce na posição equivalente a latitude –23,45° .

Sabe-se que esse passeio que o sol faz, em relação ao observador, é resultante da declinação da terra, este fato tem relevância e aplicações práticas fundamentais.

Por exemplo, um observador situado na cidade de Porto Alegre nunca vê o sol produzir sombra para o norte, isto ocorre porque a latitude de Porto Alegre está abaixo de –23,45°.

Uma localidade situada sobre a linha imaginária do Equador teria sombras projetadas para o norte na metade do ano e sombras projetadas para o sul na outra metade.

Na cidade de Recife, que tem $\phi = - 8,2°$ na maior parte do ano as sombras se projetam para o sul.

Cálculo do número de horas de sol numa localidade

O número de horas de sol para qualquer localidade é dado pela equação:

$$\mathbf{N = (2/15) \arccos [-tg (\delta) tg (\phi)]}$$

Exemplos

Em que dia do ano, em Recife, há mais horas de sol? Quantas horas?

Em São Petersburgo, na Rússia, latitude $\phi = 60°$, em qual dia do ano tem-se a noite mais longa? Quantas horas sem sol tem-se neste dia?

Recife

$\phi = -8,2°$

Dia = 21 Dezembro

(Solstício de Verão no hem. Sul) $\Rightarrow$ n = 356

$\delta = -23,45°$

$N = (2/15) \arccos [-tg(\delta)\, tg(\phi)]$

$= (2/15) \arccos [-tg(-23,45)\, tg(-8,2)] = 12,48$ horas

N = 12 horas e 29 minutos

São Petersburgo

$\phi = 60°$

Dia = 21 Dezembro

(Solstício de Inverno no hem. Norte)

$\delta = -23,45°$

$N = (2/15) \arccos [-tg(-23,45)\, tg(60)] = 5,5$ horas

Assim á noite durará 24,0 – 5,5 = 18,5 horas

Exercício proposto

Mostrar que, na cidade de Recife, o dia com menos horas de sol é 21 de Junho - Solstício de Inverno no Sul, e que, **N = 11,52 horas = 11 horas e 31 minutos**

Zênite

O Zênite é um ponto imaginário e acorre se $\delta = \phi$.

Para um observador, em uma localidade entre os trópicos, ou seja, entre 23,45° e – 23,45°, o Zênite representa o dia em que não haverá projeção de sombras para o norte nem para o sul, e ao meio dia solar, não haverá qualquer tipo de sombra.

Assim, o Zênite em Maceió ocorrerá nos dias em que $\delta = 10°$ S = - 10°

• Que dias do ano são esses?

Fazendo-se:

$\delta = 23{,}45 \text{ sen } [360 (\frac{284+n}{365})] = -10°$

sen $[360 (\frac{284+n}{365})] = -10/23{,}45 = -0{,}426$

Arc seno de – 0,426 = - 25,2° e 205,2°

Seno – 25,2° = Seno 205,2°

$360 (\frac{284+n}{365}) = -25{,}2°$

n = - 309

N = 365 + n = 365 + (– 309) = 56

N = 56, representa o dia **25 de fevereiro.**

$360 (\frac{284+n}{365}) = 205{,}2°$

n = - 76

N = 365 + n = 365 + (- 76) = 289

N = 289, representa o dia **16 de Outubro.**

Solarimetria - Principais instrumentos de medição

Heliógrafo
Mede o número de horas de sol por dia

Piranômetro
Mede a potência solar por área

Pireliômetro
Mede a radiação direta do disco solar

Constante solar - G_{cs}

Constante solar é a quantidade de energia que incide em uma superfície unitária, normal aos raios solares, por unidade de tempo, numa região situada no topo da atmosfera. Seu valor aproximado é:

$$G_{cs} \cong 1\,367\ (\pm 2)\ W/m^2 \cong 1\,940\ cal/cm^2.min$$

COLETOR SOLAR PLANO - CSP

Funcionamento

O sistema de absorção da energia solar e sua conversão e armazenagem na forma de energia térmica é constituído por um coletor solar plano e um tanque de armazenagem que utiliza água como fluido de trabalho.

A circulação da água se dá através do efeito termossifão, ou seja, sem a necessidade de uma bomba auxiliar de movimentação. Essa movimentação ocorre devido a diferença de densidade da água que é conseqüência da sua diferença de temperatura na entrada e na saída do coletor solar. A necessidade de uma bomba auxiliar para movimentação do fluido de trabalho no interior do CSP ocorre nos casos em que a vazão de água a ser aquecida é muito grande.

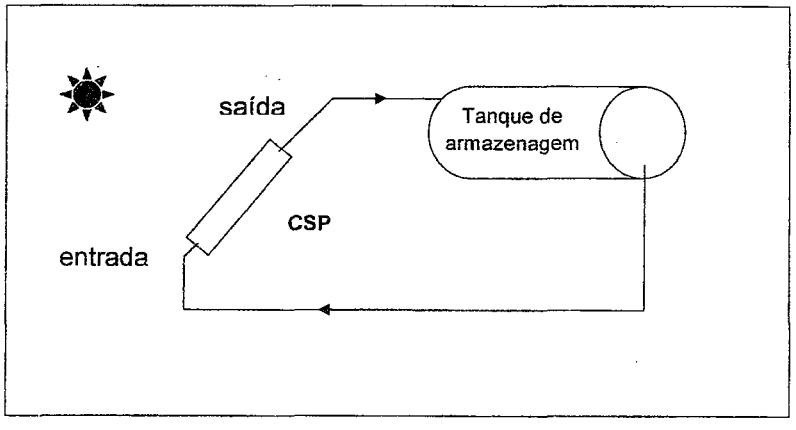


Figura 02 Representação esquemática do sistema coletor-tanque em circuito fechado, sem bomba auxiliar.

O princípio de funcionamento do coletor solar plano baseia-se na absorção da energia solar incidente sobre uma placa absorvedora. Essa placa absorvedora é efetivamente o coletor solar plano, e está colocada no interior de uma caixa que é isolada termicamente nas laterais e na parte inferior, e coberta por uma superfície transparente à radiação solar.

Sabe-se que a radiação solar chega ao nível do solo, com qualidade espectral na faixa de comprimento de onda entre 0,1 a 2,5 μm.

A superfície da cobertura é um vidro, que tem a vantagem de deixar passar essa radiação proveniente do sol e ao mesmo tempo apresenta alta reflectância para o comprimento de onda emitido pela placa absorvedora que está no interior da caixa. Dessa forma, a radiação absorvida pela placa aumenta continuamente sua temperatura de modo equivalente ao que ocorre em uma estufa, ou seja, a transmissividade do vidro e a absortividade da placa são elevadas para a qualidade espectral da radiação incidente, como pode ser observado na figura 03, que representa esquematicamente esse processo de captura e conversão da energia solar em um coletor solar plano.

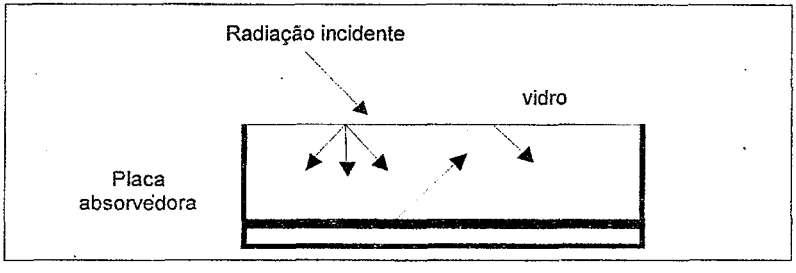


Figura 03 Representação esquemática do coletor solar plano

Ao absorver energia do sol, a placa coletora se aquece passando a ter uma temperatura superior à temperatura de entrada da água, essa diferença de temperatura possibilita a transferência de energia calorífica da placa para a água.

O tanque de armazenagem é isolado termicamente para manter a temperatura da água em seu interior no valor adequado ao funcionamento do sistema. É possível inserir um dispositivo sensor da temperatura do fluido no interior do tanque de modo que o mesmo acione um mecanismo para retroalimentação do tanque toda vez que a temperatura no interior cair de um valor programado.

Características

Os coletores devem ser projetados para absorver a energia solar e transformar essa energia em calor, que por sua vez será transferida ao fluido em aquecimento. O coletor solar plano deve ter características que maximizem:

- Absorção da energia solar
- Transmissão de calor ao fluido em aquecimento
- Conservação do calor dentro do coletor e nos tubos
- Não alteração das características de potabilidade da água (quando esta for o fluido em aquecimento)

Para facilitar o entendimento apresentam-se algumas das principais características dos elementos que compõem um CSP e do reservatório de fluido aquecido.

Caixa do coletor solar plano

Responsável pela resistência mecânica do coletor, tem a função de resistir ao transporte e a cargas de ventos, protegendo os elementos de seu interior das intempéries. Deve ser de um material com boa resistência mecânica, boa resistência à corrosão pela umidade e resistente à ação do sol. A maioria dos coletores fabricados utiliza perfil de alumínio. Podem ser também construídas de chapa metálica, madeira ou alvenaria.

Cobertura transparente

Tem a função de fechar a parte superior do coletor e bloquear a entrada de umidade, evitando a perda excessiva de calor e permitindo a passagem do máximo de radiação solar possível.

O vidro plano transparente, com espessura entre 3 e 5 mm, tem se mostrado o melhor material devido a sua elevada transmissividade à radiação solar e elevada resistência à ação do sol. Deve ser utilizado um elemento de vedação entre o vidro e a caixa do coletor para impermeabilização do sistema. Em casos especiais, podem ser utilizados dois vidros para aumentar a temperatura no interior do coletor.

Placa absorvedora

A placa absorvedora é efetivamente o coletor solar plano. Pode ser feita de qualquer material que tenha boa resistência mecânica e apresente elevada capacidade de transmitir calor. Deve ser pintada com tinta preta fosca que

tenha a capacidade de resistir as temperaturas existentes no interior do coletor. Em casos especiais utilizam-se superfícies seletivas que ampliam a eficiência do coletor, entretanto, essas superfícies seletivas ainda apresentam custo elevado.

Tubos (serpentinas)

Têm a função de conduzir a água, permitindo a passagem do calor da placa absorvedora para seu interior onde está a água a ser aquecida. Devem ser de um material com boa condutividade térmica e excelente resistência a corrosão por água e ainda suportar a pressão de trabalho do sistema. No Brasil, o material mais utilizado tem sido o cobre. A boa eficiência de um CSP está diretamente associada à forma como esses tubos estão ligados às placas absorvedoras.

Isolamento térmico

Utilizado nas paredes laterais e na parte inferior da caixa do coletor evita a perda de calor para o exterior, garantindo que toda energia ganha pela placa absorvedora seja transferida para a água no interior dos tubos. Em geral, utiliza-se a lã de vidro ou a lã de rocha, em alguns casos, a raspa de madeira seca ou isolantes comerciais encontrados no mercado.

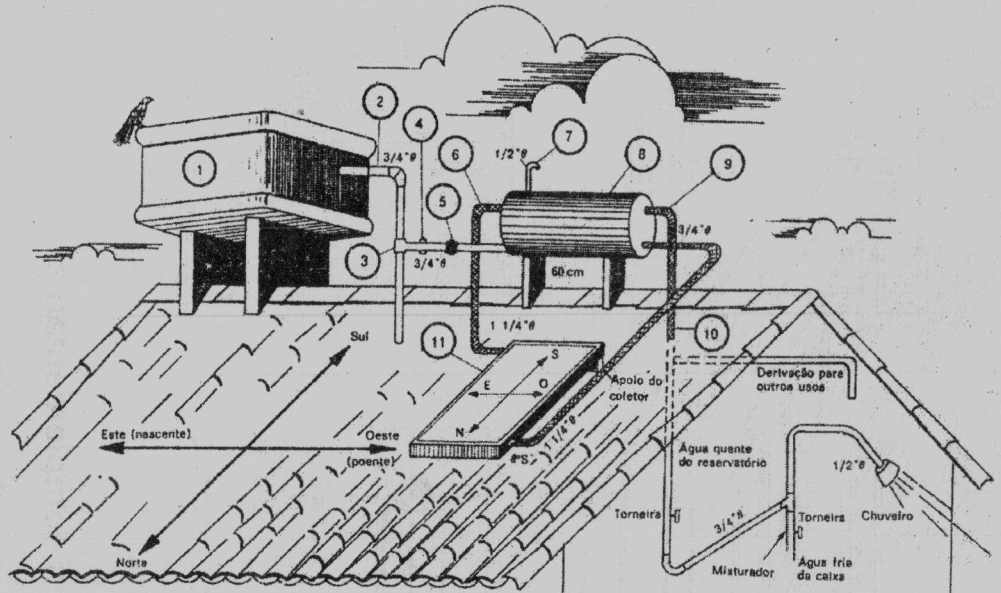
Reservatório de água aquecida

Boa parte do consumo da água aquecida se dá no período noturno ou no início da manhã (banho). Portanto, é necessário armazenar a água quente gerada no coletor

para posterior consumo. Utiliza-se chapa galvanizada com isolamento térmico e excepcionalmente aço inoxidável que, entretanto, tem ainda um custo bastante elevado. Para sistemas de aquecimento de água em localidades muito frias (Sudeste do Brasil), é necessário utilizar um sistema auxiliar de aquecimento (boiler) movido a eletricidade para manter a temperatura desejada, o que torna o preço do reservatório muito elevado.

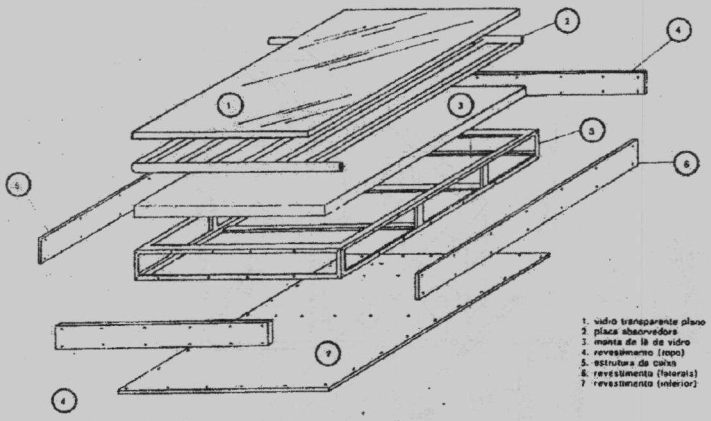
Desenho esquemático

A seguir apresenta-se um esquema geral de montagem do coletor solar (fonte: Bezerra, 2001), com uma visão panorâmica do sistema para aquecimento de água podendo-se observar o posicionamento do tanque de água fria, o reservatório de água quente, o coletor solar plano (com inclinação voltada para o Norte geográfico) e demais características importantes para a montagem do sistema. Também um desenho com vista explodida de um coletor solar plano, com seus principais componentes e detalhes da placa absorvedora.

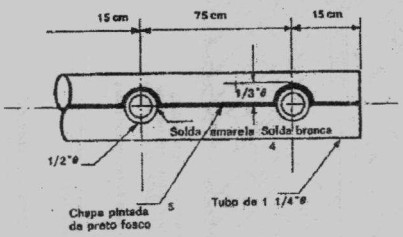


1. caixa de água fria da residência
2. entrada de água da rede pública
3. T de 3/4"ø
4. válvula de retenção de 3/4"ø
5. junta de união de 3/4"ø
6. entrada de água quente do coletor, tubo de 1 1/4"ø int., termicamente isolado
7. tubo de equilíbrio de 1/2"ø
8. reservatório termicamente isolado
9. saída de água quente em tubo galvanizado de 3/4"ø, termicamente isolado
10. entrada de água do reservatório para o coletor de 1 1/4"ø int., termicamente isolado
11. coletor solar inclinado de θ°S (latitude do lugar + 10°)

— Esquema geral de montagem do coletor.

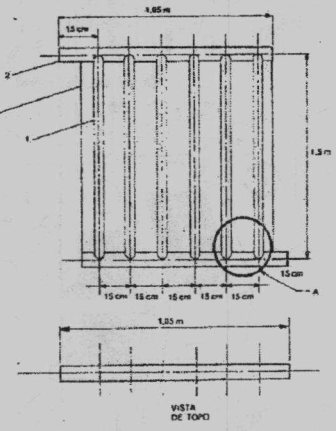


Vista explodida do coletor.



DETALHE A

obs.: os tubos de 1/2"ø são soldados de topo aos tubos de 1 1/4"ø com solda amarela. Testar as soldas para verificar vazamentos.



Placa absorvedora do coletor.

Informações complementares

O Coletor Solar Plano - CSP é largamente utilizado em sistemas para aquecimento de água no setor residencial, em hotéis e hospitais.

Cada m^2 de CSP instalado evita a inundação de cerca de 56 m^2 de área em barragens usadas para geração de energia elétrica nas usinas hidrelétricas [Abrava, 1997] e gera, em um ano, a mesma energia que:

- 215 kg de lenha
- 66 litros de óleo diesel
- 73 litros de gasolina
- 55 kg de GLP

Seguem algumas recomendações, dados e características sobre CSP e suas aplicações:

Em geral o CSP comercial tem área superficial entre 1,0 e 2,0 m^2;

Deve-se utilizar a tampa do CSP de vidro comercial temperado, com espessura entre 3 e 5 mm;

O custo do CSP vem decrescendo a cada ano, atualmente situa-se em torno de US$ 150.00 por m^2 instalado, com garantia de 10/15 anos;

A manutenção do CSP resume-se na limpeza periódica da superfície superior (vidro) e na verificação de vazamentos;

Para o Nordeste brasileiro, os valores de irradiação estão entre 500 e 1 100 W/m^2 (0,72 a 1,58 cal/cm^2.min);

Quando não estiver especificado, pode-se utilizar a área de coletor solar por pessoa = 0,7 m^2;

Usar a relação de conversão:
1, 00 W/m^2 = 860 cal/m^{2}h = 1, 43 x10^{-3} cal/cm^2.min

Para coletores que usam o sistema aberto com termossifão, inclinar o coletor para o norte geográfico com um ângulo $\propto$ igual a latitude do local ϕ, + 10°
Inclinação = L_l + 10°
(Para alguns autores: Inclinação = L_l + 15°)

Quando o CSP estiver inclinado em relação ao plano horizontal, utilizar a equação $I_{real} = I_{solar}$ Cos $\propto$ ($\propto$ é a inclinação do coletor, $\propto = \phi$ **+ 10°**);

A eficiência do CSP é dada pela equação:
η **= Q/I * A$_c$;**

A NB-128 (Norma Brasileira) trata sobre a instalação e utilização de água quente em instalações prediais e residenciais;

A NB-128 indica o volume de 45 litros por pessoa por banho quente;

A estrutura onde os coletores são montados deve atender a NB 599/78 (Força devido ao vento em edificações).

Aplicações práticas

1. Calcular a **área de coletor solar plano (A$_c$)** necessária para aquecimento de água residencial, em Maceió ($\phi \approx$ 10° sul), sabendo-se que:

- Intensidade de irradiação solar (I_{solar})500 W/m²
- Volume diário de água a ser aquecida 150 l/dia
- Temperatura da água na entrada do CSP 28°C
- Temperatura da água na saída do CSP 70°C
- Tempo de funcionamento do coletor 7 h/dia
- Rendimento do coletor 60%

$\overset{o}{m}$ = 150 l/dia; para 7 h/dia; $\Rightarrow$

$\overset{o}{m}$ = 150/7 = 21,42 l/h $\approx$ 21,42 kg/h

$\overset{o}{Q} = \overset{o}{m}\ C_p \Delta T \Rightarrow$

$\overset{o}{Q} \approx 21{,}42 \text{ kg/h} * 1.00 \text{ kcal/kg°C} * 42 \text{ °C}$

$\approx 899{,}64 \text{ kcal/h} \approx 1\,046 \text{ W}$

$I_{real} = I_{solar} \cos \alpha \Rightarrow$

$I_{real} = 500 \cos (10° + 10°) \approx 469{,}84 \text{ W/m}^2$

$\eta = \overset{o}{Q} / I * A_c \Rightarrow$

$A_c = \overset{o}{Q} / \eta * I \approx (1\,046/0.6) * 469{,}84 \approx 3{,}71 \text{ m}^2$

Usar dois coletores de 2,0 m² cada.

2. Dimensionar um sistema para aquecimento de água de duas residências, uma na cidade de São Paulo e outra em Recife, cada uma com três quartos e que abrigará duas pessoas em cada quarto. Determinar qual a economia mensal e anual de energia elétrica, em reais, que a

utilização da energia solar irá proporcionar ao substituir o chuveiro elétrico. Utilizar os dados abaixo:

	SÃO PAULO	RECIFE
• Intensidade média de radiação (cal/cm².min)	1,00	1,30
•Temperatura da água na entrada do coletor (°C)	20	25
•Temperatura da água na saída do coletor (°C)	60	60
•Rendimento do coletor (%)	60	60
•Tempo de funcionamento do coletor (h/dia)	6	8
•Inclinação do coletor (° voltado para o Norte)	35°	18°
•Consumo de água por banho diário (l/pessoa)	45	45
•Custo do kWh em Reais (R$)	R$ 0,18	R$ 0,18

Em São Paulo

$\overset{o}{m}$ = 45 l/dia x 6 pessoas = 270 l/dia = 270 kg/dia

$\overset{o}{Q} = \overset{o}{m} \times C_p \times \Delta T$

$\overset{o}{Q}$ = 270 kg/dia x 1 kcal/kg°C x 40 °C

$\overset{o}{Q}$ = 10.800 kcal/dia

I = 1,00 cal/cm².min x 60 h/min x cos 35°
(cos 35° = 0,819)
I = 49,11 cal/cm².h
I = 49,11 cal/cm².h x 6 h/dia = 294,66 cal/cm².dia
I = 294,84 x 10^{-3} kcal/cm².dia

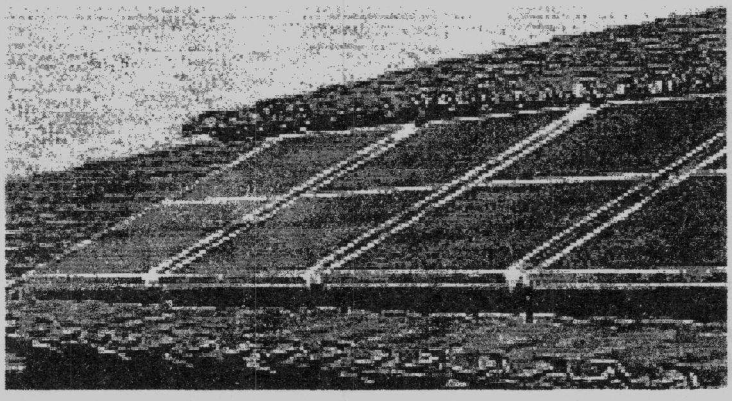
Sabe-se que: $\eta = Q / I * A_c$

Portanto: $A_c = Q / I * \eta$

A_c = 10 800 / 294,84 x 10^{-3} * 0,60 * 10^4 cm²/m²

A_c = 6,00 m²

Usar quatro coletores de 1,50 m² cada.



Em Recife

$\overset{o}{m}$ = 45 l/dia x 6 pessoas = 270 l/dia = 270 kg/dia

$\overset{o}{Q}$ = 270 kg/dia x 1 kcal/kg°C x 35 °C

$\overset{o}{Q}$ = 9 450 kcal/dia

I = 1, 30 cal/cm².min x 60 h/min x cos 18°
(cos 18° = 0,951)
I = 74,178 cal/cm².h
I = 74,178 cal/cm².h x 8 h/dia
= 593,424 cal/ cm².dia
I = 593,424 x 10^{-3} kcal/cm².dia

$A_c = 9\,450/593,424 * 10^{-3} * 0,60 * 10^4 = 2,65\ m^2$

$A_c = 2,65\ m^2$

Usar dois coletores de 1,50 m² cada.

Comentários

Como já era esperado, em Recife, a quantidade de coletores necessários é menor por várias razões, observe que:

A diferença de temperatura da água entre a entrada e a saída é menor;

A inclinação do coletor em relação ao plano horizontal é menor;

O número de horas com radiação solar sobre o CSP é maior;

A Intensidade de radiação incidente sobre o CSP é maior e a inclinação do coletor em relação ao plano horizontal é menor;

O número de horas com radiação solar sobre o CSP é maior;

A Intensidade de radiação incidente sobre o CSP é maior.

Cálculo da economia mensal de energia elétrica em reais

Considerando-se que o rendimento desse chuveiro elétrico é em torno de 90%. A quantidade de calor no chuveiro elétrico ($Q_{chuveiro}$), necessária para aquecer 270 kg de água por dia será:

Em São Paulo

$Q_c = 10\,800/0,9$

$Q_c = 12\,000$ kcal/dia

Se: 1 kWh = 860 kcal

Então:

O consumo diário é:

Energia consumida por dia = 12 000 kcal/dia

= 13,95 kWh/dia

O consumo mensal é:

Energia consumida por mês = 13,95 x 30 dias

= 418,50 kWh

Economia de energia obtida em um mês, é:

Energia economizada por mês = 418,50 x R$ 0,18

= R$ 75,33

Em um ano, a energia economizada é:

Energia economizada

num ano = R$ 75,33 x 12 meses = R$ 903,96

Comentário

Esses valores acontecem se cada morador da residência na cidade de São Paulo tomar um banho diário. Em um ano, o total de banhos é de 2 190 unidades (365 x 6), dessa forma cada banho custa R$ 0,41.

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. A energia radiante incidente sobre um corpo que parcialmente reflete, absorve e transmite energia radiante é 2 200 W/m^2. Desta quantidade, 450 W/m^2 são refletidos e 900 W/m^2 são absorvidos pelo corpo. Calcular a transmissividade.

2. Determinar o poder emissívo total de um corpo negro a 1 000°C.

3. A que tipo de radiação corresponde uma freqüência de $1,2 \times 10^{14}$ Hz ?

4. Que é albedo?

5. Explique porque vemos o céu azul.

6. Calcular o número de horas de sol previsto em Recife, no dia de seu aniversário e no dia de hoje.

7. Calcular os dias de Zênite para as seguintes localidades: Aracaju, $\phi = -10,9°$ Brasília, $\phi = -15,8°$; Rio de Janeiro, $\phi = -22,9°$.

8. Calcular o número de horas de sol em Porto Alegre, $\phi = -30,1°$ nos dias de solstícios.

9. Qual a melhor inclinação de um coletor solar plano, usado para aquecimento residencial de água, na cidade de São Paulo. Justifique sua resposta.

10. Qual a % de radiação visível emitida por uma lâmpada incandescente que tem uma temperatura de 2 700°C no filamento emissor?

11. Descreva o funcionamento do destilador solar e do secador solar de frutos.

12. Comente duas vantagens e duas desvantagens do uso da energia solar em situações de interesse da engenharia térmica.

13. Cite outras formas não convencionais de geração de eletricidade.

Problemas

14. Uma instalação consome diariamente 21 000 litros de água para produção de vapor saturado a 150 °C. Calcular a contribuição dada por um sistema de pré-aquecimento de água para uma caldeira a BPF (PCI = 10 500 kcal/kg) empregando coletores planos, sabe-se que:

    - Temperatura da água na entrada do coletor
      T = 27 °C
    - Temperatura da água na saída do coletor
      T = 70 °C
    - Temperatura da vaporização da água
      T = 150 °C

- Intensidade de Radiação

  $I = 700\ W/m^2$
- Eficiência do coletor Solar

  $\eta = 50\ \%$
- Eficiência da caldeira

  $\eta = 80\ \%$
- Tempo de funcionamento do coletor

  $t = 7$ h/dia
- Calor específico da água (usar)

  $C_p = 1$ kcal/kg°C

15. Uma indústria consome 1 000 kg de vapor saturado por hora a uma pressão de 3 kgf/cm^2 . Utilizando-se um sistema de pré-aquecimento de água da caldeira com coletores solares planos, qual a redução no consumo de óleo BPF? (baixo ponto de fluidez) Utilizar os dados do problema anterior para os coletores e consultar tabelas termodinâmicas para as propriedades da água.

16. Um coletor solar é utilizado para aquecer água liquida de 25 °C até 60 °C. Este coletor possui uma área de 3 m^2 sobre a qual incide energia solar a uma taxa de 500 W/m^2. Estima-se que cerca de 35% deste fluxo não é utilizado no aquecimento. Admita que a perda de carga no interior do coletor é pouco significativa, e considere que o coletor opera no regime permanente.

a) Determine o fluxo de calor aproveitado para o aquecimento de água.

b) Calcule o menor número de coletores necessários para que se tenha pelo menos 180 litros de água aquecida em uma hora de operação.

17. Em uma empresa um ambiente climatizado deve ser mantido a temperatura de 25°C durante 24 horas por dia, supondo a temperatura externa constante de 40°C. A área total das paredes externas é de 100 m^2 com espessura de 15 cm, constituída de material com condutividade térmica de 0,7 W/m°C.

a) Determine a quantidade de calor que passa através das paredes em um dia e em um mês.

b) Calcule a energia economizada durante um mês, se as paredes fossem revestidas com 20 mm de isolante térmico de condutividade térmica 0,04 W/m°C. Se 1 kWh custa R$ 0,30 qual a economia mensal obtida com o uso do isolante térmico?

BIBLIOGRAFIA BÁSICA

ABRAVA. ***Associação Brasileira de Ventilação e Ar condicionado***. Página da ABRAVA na Internet. www.abrava.com.br

BEZERRA, Arnaldo Moura. ***Aplicações térmicas da energia solar***. 4ª edição. Editora Universitária. UFPB. João Pessoa, Paraíba. 2001.

CRESESB. ***Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Salvo Brito***. Página do CRESESB na Internet. www.cresesb.cepel.br

DUFFIE, John A., BECKMAN, William, A. ***Solar engineering of thermal processes*** . 762p. John Wiley & Sons. New York, USA. 1980.

GRILO, Marcelo Bezerra. ***Desenvolvimento experimental de um refrigerador solar para fabricação de gelo usando o par adsortivo carvão ativado-metanol.*** Tese de Doutorado, 204p. CPGEM, UFPB, João Pessoa. 2004.

GRILO, Marcelo Bezerra, ***Projeto construção e testes de um simulador de radiação solar***. Copele/UFPB. Campina Grande, Paraíba. 1998.

HOLMAN, J. P. ***Transferência de calor***. Editora McGraw-Hill do Brasil. Tradução de Luiz Fernando Milanez. São Paulo, Brasil. 1983.

KLÜPPEL, Rogério Pinheiro. ***Fontes alternativas de energia para a agricultura – Energia solar e suas aplicações***. ABEAS/CAPES/MEC. Brasília. 1985.

MONTENEGRO, Alexandre de Albuquerque. ***Fontes não convencionais de energia. As tecnologias solar, eólica e de biomassa***. UFSC/LABSOLAR. 3ª edição. Florianópolis, SC. 2000.

LIVROS PUBLICADOS PELA EDUFCG - 2005-2007

1 - Abordagens Teórico-Metodológicas: Possibilidades e Aplicabilidades em Pesquisas - Francisca B. de Oliveira e Ma. Lucinete Furtunato.(2006)

2 - Bases Teóricas para a Gestão da Propriedade Intelectual - João Ademar de Andrade Lima.(2006)

3 - História da Mídia Regional: O Rádio em Campina Grande - Goretti Maria S. de Freitas, Flavianny Guimarães e Antonio Clarindo B. de Souza.(2006)

4 - Relações de Poder/Saber: Protagonismo de Jovens em Assentamentos do Alto Sertão Paraibano - Mariana Moreira Neto, Maria Lucinete Furtunato & Rovilson José Bueno.(2006)

5 - A Paraíba no Império e na República: Estudos de História Social e Cultural - Vários autores.(2006)

6 - Plantas, Prosa e Poesia do Semi-Árido - Daniel Duarte Pereira.(2005)

7 - Da cidade de Pedra à cidade de papel: Projetos de educação, projetos de cidade - Alarcon Agra do Ó. (2006)

8 - Derramando susto: Os escravos e o Quebra Quilos em CG - Luciano Mendonça de Lima.(2006)

9 - Trem e Imaginário na Paraíba e região: Tramas políticoeconômicas 1880-1925 - Gervácio Batista Aranha.(2006)

10 - Sobressaltos do Discurso - Aloísio de Medeiros Dantas (2007).

11 - Um convite à Matemática - Daniel Cordeiro de Morais Filho (2006/2007).

12 - Solos Agrícolas - Lúcia Helena G. Chaves e Hugo Orlando Carvalho Guerra.(2006)

13 - Territórios de Confrontos: Campina Grande (1920-1945) - Fábio Gutemberg R. B. de Sousa.(2007)

14 - Textos Didáticos - Análise do Discurso (2007) Vários Autores.

15 - Ensaios em Estudos Clássicos - Marinalva Vilar de Lima e Orlando Luiz de Araújo (2006)

16 - Qualificar para quê? Qualificação para quem? - Roberto Veras de Oliveira (org) (2006)

17 - Caderno PET de Economia - Gelfa Maria (org).(2006)

18 - Textos Didáticos em História - Antonio Clarindo Barbosa de Souza (2006).

19 - Textos Didáticos em História da América - Faustino Teatino e Williams Bartolomeu (org.) - 2007

20 - Computação Quântica - Noções básicas utilizando a linguagem de circuitos quânticos. - Aércio Ferreira de Lima e Bernardo Lula Júnior (2007)

21 - Introdução ao Direito Ambiental - Erivaldo Moreira Barbosa (2007)

22 - Apostila de Desenho - Expressão 2D - Adriano Marinho Martins (2007)