RELATÓRIO FINAL DE INSTRUMENTAÇÃO PARA O ENSINO

Tatiana Góes Peixoto Stradulis
Orientador: Cícero Campos

COLETOR DE ENERGIA SOLAR

INTRODUÇÃO

A energia solar se apresenta a cada dia como a grande solução energética para o planeta. É uma fonte inesgotável, totalmente limpa que promove a total preservação do meio ambiente, além de atender a todas as pessoas de forma gratuita.

Captando-se adequadamente a radiação solar, pode-se obter calor e eletricidade. O calor se alcança mediante coletores térmicos e a eletricidade através de módulos foto-voltaicos. Ambos os processos nada tem a ver entre si, nem quanto à tecnologia nem quanto aplicação prática. O calor capturado nos coletores térmicos pode, por exemplo, servir para aquecer a água para consumo doméstico, comercial e industrial. Mesmo que pareça estranho, pode-se aproveitar a energia solar para o resfriamento, visto que, para gerar baixas temperaturas, é necessário uma fonte de calor que perfeitamente pode ter sua origem nos coletores solares. Outra aplicação menos comum consiste no aproveitamento da energia solar numa planta de purificação de água salgada para doce, sem nenhum consumo de combustível.

O Brasil, com dimensões continentais e atravessado pelo Trópico de Capricórnio e pela linha do Equador, com farta insolação anual, parece elementar o uso racional de energia solar. Entretanto, o Brasil ainda é o pais que utiliza de forma maciça o chuveiro elétrico. Este cenário retrata a cada dia um problema que se agrava: o contínuo crescimento do pico da demanda de energia elétrica residencial. A falta de intervenção do poder público através do uso da energia solar sobre as habitações, reserva tal tecnologia para as classes mais privilegiada, em número insignificante para resolver o problema energético que o Brasil atravessa. Sabe-se que por mais baixo que seja o custo de um aquecedor solar, o seu preço será maior que o do chuveiro elétrico, por tratar-se de sistema de acumulação de água quente composto por um reservatório térmico, coletores, tubulações, conexões e misturadores de água apropriados para resistirem a temperaturas maiores que a do ambiente.

O Brasil possui os mais elevados índices mundiais dessa fonte de energia. A incidência solar na área do Distrito Federal corresponde a produção energética de 162 Itaipus, conforme dados da ABRAVA.

AQUECIMENTO DE ÁGUA COM APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR

O processo de aquecimento de água através do aproveitamento de energia solar consiste, basicamente em absorver a radiação solar e transferi-la para um reservatório térmico na fora de calor.

Um corpo que recebe energia solar, pode ser dosado em frações de: absorbância (A), refletância (R) e transmitância (T). A primeira parte é a fração absorvida, a segunda parte é a fração refletida e a última parte é a transmitida. A soma dessas três frações gera o índice 1. As substâncias que possuem absorbância unitária, são o negro de fumo, a platina negra e o bismuto negro, absorvendo de 0,98 a 0,99 da radiação total incidente. Um corpo que possui refletância e transmitância nulas, é considerado um "corpo negro". (Kern,1980).

O efeito estufa ocorre quando a luz penetra numa região cuja fronteira, obviamente transparente para a luz, não é transparente para o calor. Nesse caso, os corpos internos à região absorvem parte da luz nela incidente e se aquecem, passando a irradiar o calor como onda eletromagnética, que, não podendo atravessar fronteira, volta a incidir sobre esses corpos, aquecendo-os cada vez mais, enquanto dura o processo.

O componente do sistema dedicado a captura dos raios solares é denominado de "coletor solar". Os coletores solares para aquecimento de água, se projetam em cor escura. A cor negra predomina, comprovando a teoria da absorção de energia, segundo um corpo negro. Neste elemento pode-se potencializar o calor, promovendo o acúmulo do mesmo se ocorrer o efeito estufa. Para isto cria-se uma passagem transparente que pode ser de vidro, fechando-se hermeticamente com o coletor.

Basicamente, o princípio de funcionamento de um aquecedor solar é o mesmo que se verifica quando deixamos, sob a ação do sol, um veículo fechado e estacionado por algumas horas na via pública. A ação da radiação solar se faz cada vez mais presente a medida em que o interior do veículo se aproxima da cor preta. Você pode estar curioso com essa comparação. Se levarmos em consideração o efeito térmico que ocorre entre ambos, esta comparação faz sentido.

Vamos inicialmente imaginar uma caixa de forma geométrica retangular, hermeticamente fechada, tendo dentro dela uma chapa preto fosco e cobertura de vidro plano transparente. Então, coloquemos esta caixa sob a ação da luz solar visível e da respectiva radiação infravermelho as quais podem atuar juntas ou separadamente, dependendo das condições atmosféricas locais. A radiação solar atravessará o vidro e ao encontrar a chapa preta sofre uma nova emissão em um outro comprimento de onda, o que a torna impotente para atravessar o vidro (de volta), dando origem a uma re-emissão desta radiação no sentido vidro/chapa/vidro. Como a caixa se encontra hermeticamente fechada ocorre o efeito estufa, responsável pelo aumento progressivo da temperatura da chapa preta enquanto durar a ação da radiação solar. A chapa deve ser da cor preta, pois é a cor que absorve toda a radiação nela incidente, nos mais diferentes comprimentos de onda do espectro solar.

Para aproveitar todo esse calor de dentro do coletor, basta colocar tubos em contato direto com a chapa preta, por onde possa correr a água. Como a chapa preta está sendo aquecida pela radiação solar e estando os tubos em contato direto com a respectiva chapa,

verifica-se uma transferência de calor (temperatura da chapa), para os tubos e desta para a água que se encontra em seu interior.

Numa aplicação residencial, a necessidade de água quente é bem maior do que o volume de água existente no interior dos tubos. Para aquecer a água de uma casa, é necessário ligar, por meio de tubos, o coletor solar a um reservatório termicamente isolado.

Nos sistemas de aquecimento de água através do sol, para que o fenômeno da convecção ocorra, é necessário de fato que as massas diferenciais em temperatura que realizam o fenômeno, fiquem em desnível.

Os coletores operando no Hemisfério Sul devem ser orientados para o Norte verdadeiro. Pois quando é verão no Hemisfério Sul, como mostrado na figura 1, os raios incidem perpendicularmente a superfície da Terra no Solstício de verão (22 de dezembro).

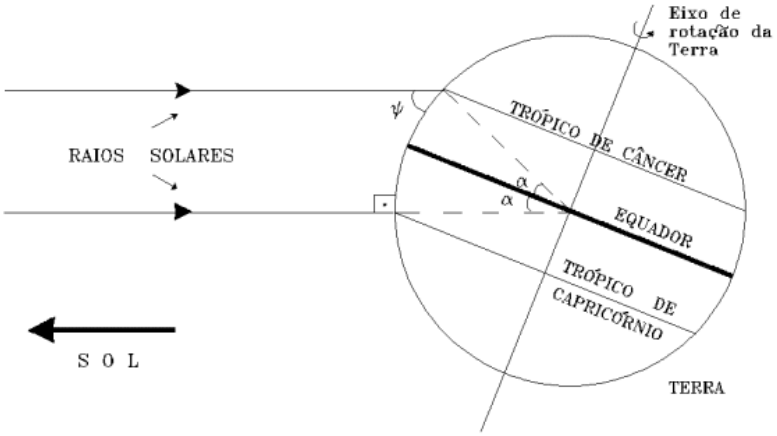
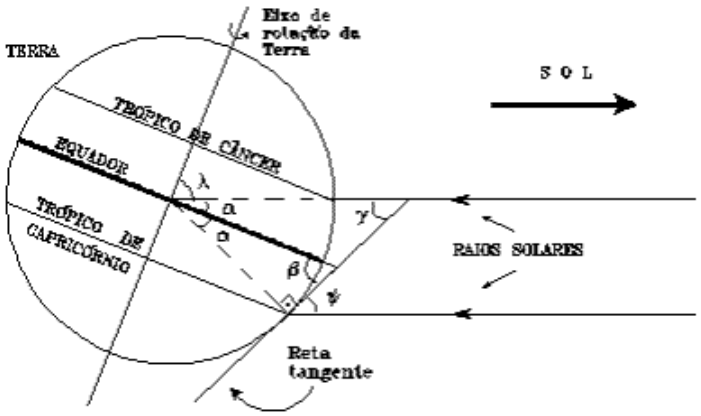


Fig. 1: O verão no Hemisfério Sul (22 de dezembro).

Quando é inverno no Hemisfério Sul, como mostrado na figura 2, os raios incidem com outro ângulo na superfície da Terra. No dia 21 de junho, ao meio dia local, a luz solar incide perpendicularmente sobre o Trópico de Câncer, enquanto que, no Trópico de Capricórnio o ângulo de incidência é de aproximadamente 43 graus com a superfície, calculado facilmente por trigonometria.



λ = Ângulo de inclinação do eixo terrestre de rotação

$\lambda = 66{,}5°$

$\alpha = 90° - \lambda = 90° - 66{,}5°$

$\alpha = 23{,}5°$

$\alpha + \beta + 90° = 180°$

$\beta = 90° - \alpha = 90° - 23{,}5°$

$\beta = 66{,}5°$

$\beta = \alpha + \gamma$

$\gamma = \beta - \alpha$

$\gamma = 66{,}5° - 23{,}5°$

$\gamma = 43°$

$\psi = \gamma$

$\psi = 43°$

Fig. 2: O inverno no Hemisfério Sul (21 de junho).

No caso de sistema de circulação forçada (bombas), o ângulo de inclinação do coletor poderá ser igual ao da latitude do lugar. Para sistema de circulação natural (termossifão), o ângulo de inclinação do coletor será igual ao da latitude acrescido de aproximadamente 10°, segundo Bezerra [1] e [2]. Esse aumento dado ao ângulo da latitude permite ainda um aproveitamento melhor da radiação incidente em virtude da variação anual da declinação solar, observado nas figuras 1 e 2.

MONTAGEM EXPERIMENTAL E MATERIAL

Os materiais utilizados na construção do coletor e na coleta de dados foram:

- Caixa de isopor (volume = 5L) revestida por cartolina preta fosca;
- Cano de plástico com 6 m de comprimento e 0,4 cm de diâmetro interno;
- Lämina de vidro plano transparente;
- Termopar tipo K;
- Garrafa térmica com água e gelo para referëncia do termopar.

No interior da caixa de isopor revestida por cartolina preta, fixamos o cano de plástico formando um zigue-zague e tampamos a caixa com a lâmina de vidro, como mostrado na figura 3.

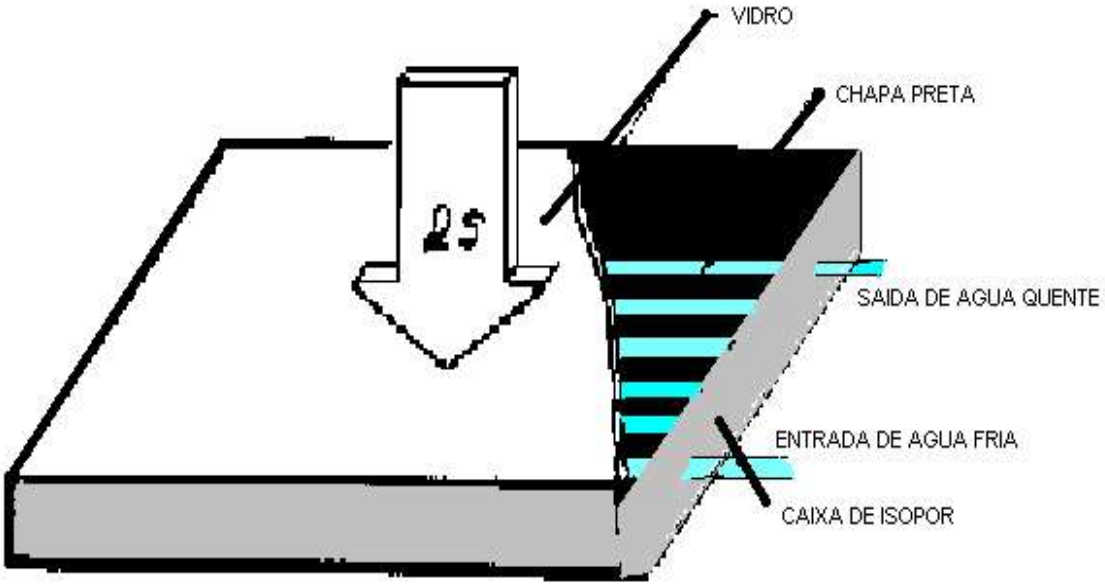


Fig. 3: Esquema do coletor de energia solar.

DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO E RESULTADOS

A energia que emana do sol em direção à Terra se propaga na forma de raio com diferentes comprimentos de onda. Grande parte desses raios, antes de chegar à superfície terrestre é filtrada pela estratosfera que possui gases com possibilidade de depurá-los.

Os raios visíveis que chegam até a superfície, tem comprimentos de onda entre 400nm a 800nm. Acima dessa fração visível de raios estão os infravermelhos, responsáveis pelo calor e abaixo estão os ultravioletas, que são apesar de constituir somente 10% de toda radiação que chega ao planeta, são os mais perigosos à saúde humana porque afetam a pele.

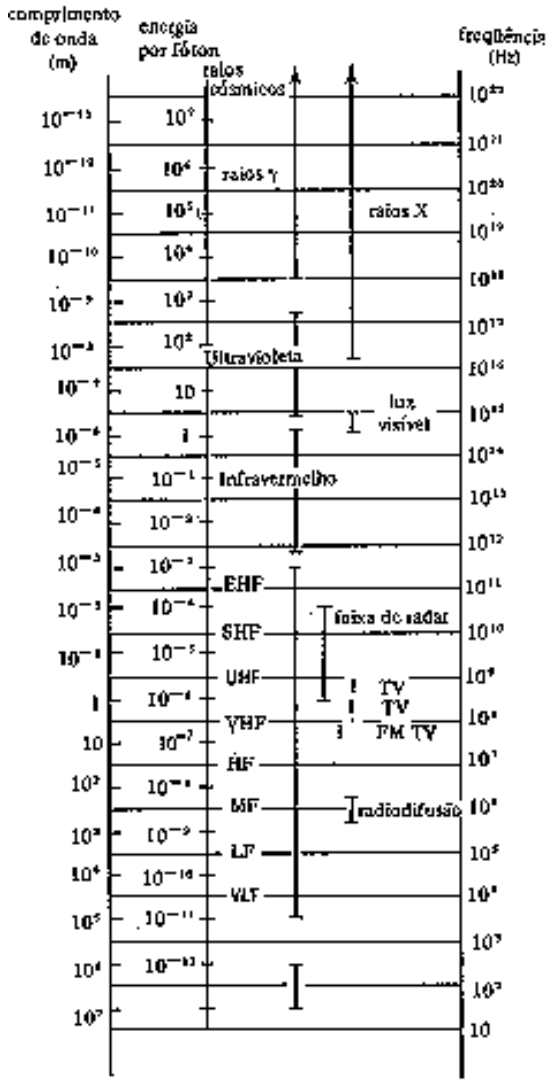


Fig. 4: Espectro eletromagnético, mostrando o comprimento de onda, a freqüência e a energia por fóton em escala logarítma.

Existem sites na internet, que apresentam as condições climáticas no mundo analisadas por satélites. Para o Brasil, o instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), divulga na rede diariamente a irradiação solar média rastreada por satélite. A figura 5, mostra a situação de irradiação média diária para o mês de novembro de 2003. Mês em que foram feitas as medidas experimentais.

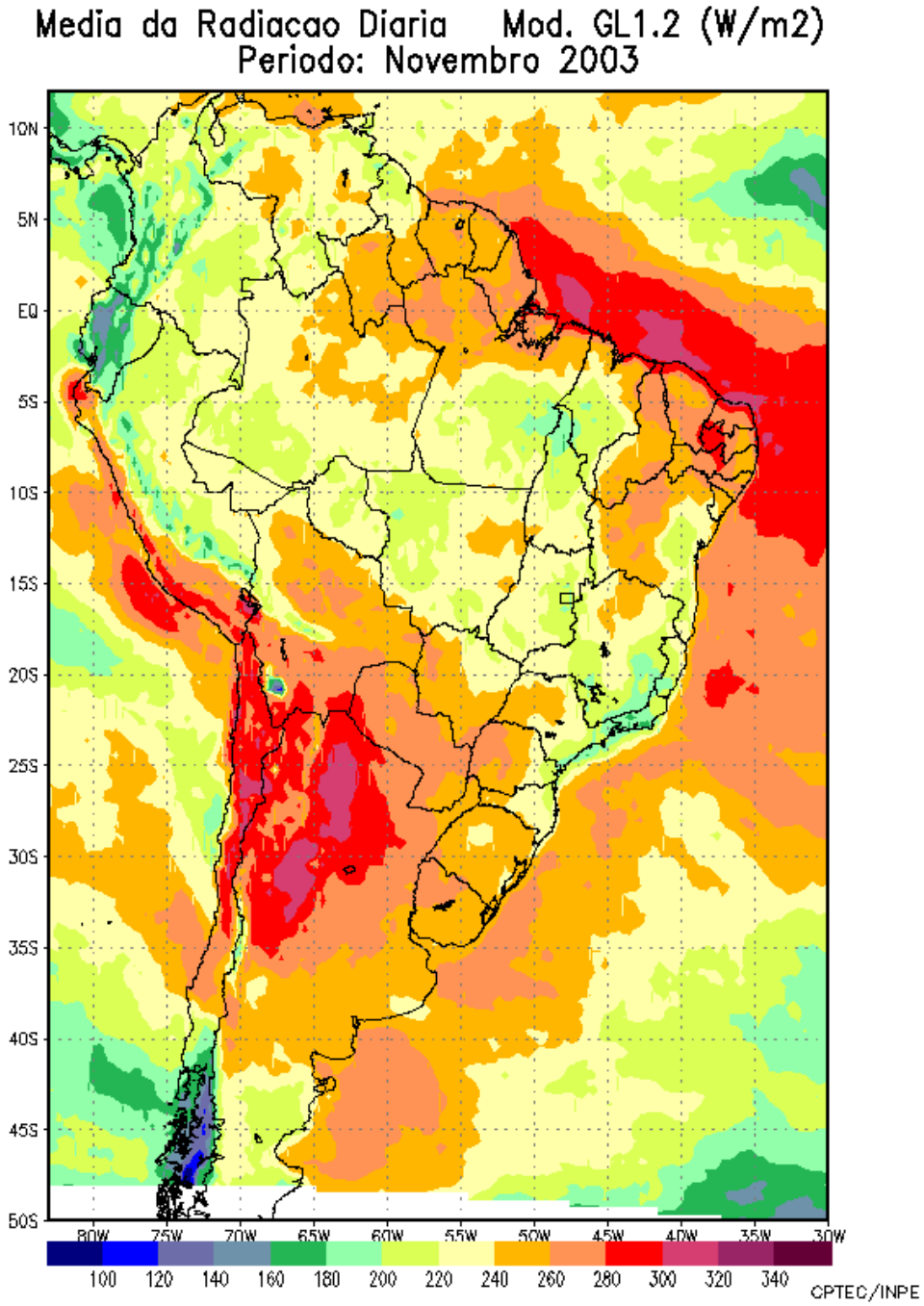


Fig. 5: Irradiação Solar no Brasil em novembro de 2003.

MODELO DO PROCESSO

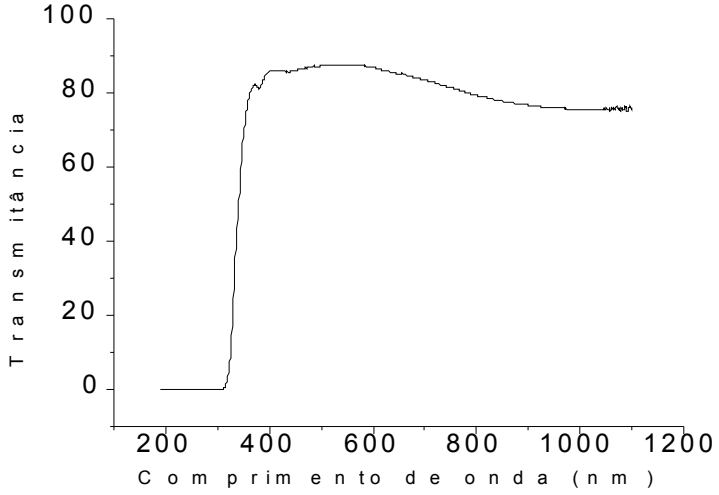
Sabe-se que existe uma faixa de comprimentos de onda para os quais o vidro é transparente. Fora desta faixa ele é opaco, refletindo de volta ao meio a luz incidente.

O corpo negro perfeito absorve todos os comprimentos de onda incidentes e os emite em outro comprimento de onda, que é função da temperatura deste. Com a constante incidência de luz, o corpo negro vai aumentando sua temperatura até atingir um ponto de equilíbrio. Esse ponto ocorre quando toda energia que passa pelo vidro atinge o corpo negro e é devolvido ao meio externo passando novamente pelo vidro.

Com um espectrofotômetro, analisamos a lâmina de vidro que cobria o coletor solar, a fim de determinarmos experimentalmente qual a faixa de comprimento de onda que o vidro tem alta transparência.

Para o primeiro gráfico utilizamos o equipamento HP 8457 Espectrofotômetro Diode Array. Este media radiação eletromagnética na faixa de 200 nm até 1200 nm. Isto é, na faixa do visível, um pouco do ultravioleta e um pouco do infravermelho.

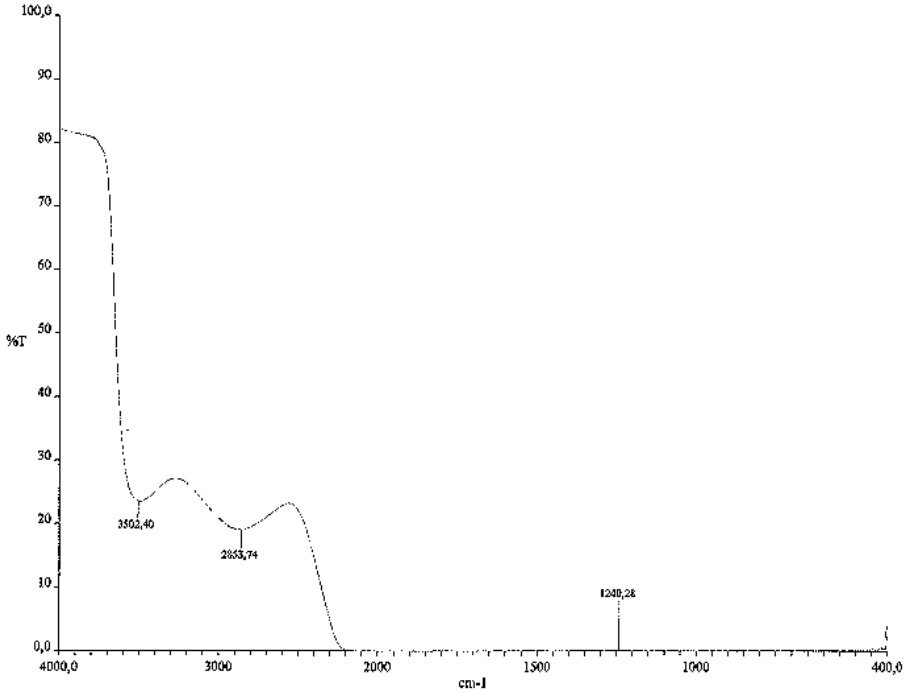
Gráfico 1:Transmitância do vidro em função do comprimento de onda em nm.



Com outro espectrofotômetro, continuamos analisando a lâmina de vidro para comprimentos de onda maiores, isto é, na região do infravermelho. O equipamento

utilizado foi PERKIN ELMER 16PC-FTIR que mede na faixa do infravermelho, a partir de 2500nm até 25000nm.

Gráfico 2: Transmitância do vidro em função do número de onda (λ^{-1}) em cm^{-1}.



Submetendo o coletor solar (com a tampa de vidro) à radiação solar, observa-se que a cartolina preta vai gradativamente aumentando de temperatura ao mesmo tempo em que começa a emitir calor na forma de radiação infravermelha cuja emissão cresce com a quarta potência da temperatura da cartolina preta. Esta é a Lei de Stefan, enunciado pela primeira vez em 1879 sob a forma de uma equação empírica.

$$\mathbf{R=\sigma T^4} \qquad \mathbf{(1)}$$

Onde σ=5,67 10^{-8} W/m^2 K^4 é a constante de Stefan-Boltzmann.

A radiação emitida pela cartolina ao encontrar o vidro é reemitida de volta à placa, num processo contínuo enquanto permanece aquecida.

A temperatura da cartolina define o comprimento de onda de emissão de radiação, sendo este tanto menor quanto maior a temperatura da cartolina. Este resultado é chamado de lei do deslocamento de Wien.

$$\boldsymbol{\lambda_{máx} \text{ x } T = \text{constante} = 2{,}898\ 10^{-3}\ m\ K} \qquad \mathbf{(2)}$$

onde λ é o comprimento de onda máximo para o qual a radiação atinge o seu valor máximo e T é a temperatura da cartolina preta.

O nosso vidro, como levantado em nos gráficos acima, é transparente para uma faixa de comprimento de onda de aproximadamente 320 nm a 2688 nm. Essa faixa de comprimentos de onda passa através do vidro, entrando no coletor e atingindo a superfície

da cartolina preta. A cartolina preta ao absorver essa faixa de comprimentos de onda, aquece e emite outra faixa de comprimentos de onda. A temperatura do coletor solar irá aumentar até que a faixa dos comprimentos de onda emitidos pela cartolina preta, invada a faixa de comprimentos de onda que atravessam o vidro. Neste ponto, teremos a quantidade de energia que entra pelo vidro igual a quantidade de energia que sai do vidro, estabilizando a temperatura interna do coletor.

A temperatura estabilizada no interior do coletor atingiu 83 °C. Utilizando a equação (2) podemos encontrar o comprimento de onda máximo emitido pela cartolina. Consideramos a temperatura da cartolina a mesma do interior do coletor, isto é, 83°C. Então substituindo em (2), encontramos $\lambda_{máx} = 8{,}14\ 10^{-6}$ metros.

Através da equação 1, determinamos a radiação emitida pela cartolina preta a temperatura de 83°C, R = 910,72 W/m^2.

Dados experimentais do coletor solar, medidos em dia ensolarado e sem nuvens, no mês de novembro:

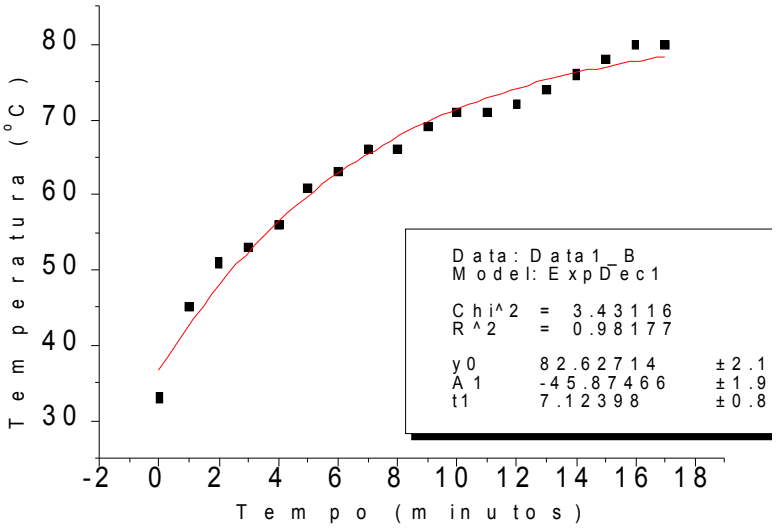
Volume de água = 90 mL
Volume de ar = 5031 mL
Área da superfície = 1290 cm^2
Variação da temperatura do ar no interior do coletor = 33ºC - 80 ºC
Variação da temperatura da água = 23,9ºC - 73 ºC
Temperatura ambiente (à sombra) = 32ºC

Antes de colocarmos o coletor solar ao sol, verificamos a posição em que este absorveria maior radiação solar. A melhor inclinação é a latitude do lugar acrescido de 10 graus, segundo Bezerra [1]. A latitude em Campinas é 22°53'20"S, portanto, inclinamos o coletor aproximadamente 30°S, voltado para a direção Norte.

Assim, com o coletor ao sol, medimos a temperatura do ar no interior da caixa, com o termopar tipo K. As medidas foram feitas a cada minuto, e estão mostradas no gráfico 3.

O experimento foi realizado num dia ensolarado e sem nuvens. Para Campinas poderemos considerar uma radiação média de 0,86 cal/cm^2.min, um valor perfeitamente aceitável.

Gráfico 3: Temperatura no interior do coletor em função do tempo.



Na figura 6, temos a foto do experimento. Onde junto ao coletor solar está o reservatório de água, para o aquecimento pelo processo de convecção da água.

Fig. 6: Foto do coletor solar e reservatório térmico.

IMPORTÂNCIA DIDÁTICA

Através desse experimento, pudemos estudar as propriedades de transparência do vidro em função do comprimento de onda da luz e a teoria de "corpo negro". Verificamos, na prática, como pode ser simples entender e confeccionar um coletor solar. Neste experimento, pudemos mostrar resultados práticos da obtenção de energia solar para aquecimento da água, economizando assim outras fontes de energia.

Esse experimento contribui para o aprendizado prático, utilizando conhecimentos adquiridos anteriormente na escola. Esse experimento realça o aprendizado escolar, uma vez que os alunos poderão reproduzi-los em sua vida.

CONCLUSÕES

Concluímos que com um material de fácil acesso e de custo razoável, podemos construir experimentos de grande importância didática e prática. Em nosso experimento foram gastos cerca de 20 reais em materiais, e não foram tidos gastos com aparelhos de medidas. Para fazer esse experimento comprando multímetro e termopar, o acréscimo no custo seria próximo de 60 reais.

Observando os grafico 1 e 2 do vidro,obtidos experimentalmente, podemos concluir que o vidro comum funciona como um filtro que deixa passar uma determinada faixa de comprimentos de onda. Para o nosso vidro essa faixa foi de aproximadamente 320 nm a 2688 nm. Na faixa de 2857 nm até 4000 nm, o vidro deixa passar apena 20% da luz incidente.

Observando o gráfico acima, percebemos que a temperatura interna do coletor se estabiliza em torno de 83ºC, através de uma curva exponencial num curto intervalo de tempo. Esta temperatura é suficiente para ser aproveitada, por exemplo, para o aquecimento de água.

Independente do rendimento, não o torna inviável, pois a energia solar nos é fornecida naturalmente, sem nenhum custo. Esse rendimento poderia ser melhorado, utilizando tubos de metal de maior diâmetro. Porém, a maior importância do experimento foi mostrar a facilidade de se obter aquecimento por meio de energia solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BEZERRA, Arnaldo Moura. Aplicações Praticas da Energia Solar. São Paulo, Livraria Nobel S.A. 1990.

[2] BEZERRA, Arnaldo Moura. Energia Solar – Aquecedor Solar. São Paulo, Livraria Nobel S.A. 1990.

[3] EISBERG, Robert.; RESNICK, Robert. Fisica Quantica. Rio de Janeiro, Editora Campos Ltda 17ª. tiragem 1979.

[4] HANDBOOK OF OPTICAL CONSTANTS OF SOLIDS

[5] HANDBOOK OF CHEMISTRY AND PHYSICS

[6] AMERICAN INSTITUTE OF FISICS HANDBOOK

[7] Estudo do aproveitamento da energia solar para aquecimento de edificaçãoes unifamiliares de baixa renda; Gatica Rispoli, Ítalo Alberto; Dissertação (mestrado)-UNICAMP-Engenharia Civil

[8] Eduardo (UT Piratininga) aubatrois@ig.com.br (colaborador)

• Sites consultados em novembro de 2003:

http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/aprendendo-basico/estacoes-do-ano/estacoes-do-ano.htm

Estações do Ano

Para um observador, na superfície terrestre, muitos são os fenômenos astronômicos que ele pode ver e acompanhar. Ele, após olhar a evolução do fenômeno, pode estabelecer muitas questões no sentido de entender o acontecido. Nesse ponto, o observador procura definir um modelo que justifique a sua observação. Desse modo, o astrônomo estabelece convenções e procura explicar o fenômeno em termos de todas as ferramentas por ele disponível. Essas ferramentas devemos compreender todos os outros campos do conhecimento humano que o auxiliem na construção de um mecanismo para o processo observado.

Desarmados de qualquer instrumento, a alternância entre claridade (dia) e escuridão (noite) nos permite estabelecer uma noção de tempo. Em conjunto com essa alternância, nós podemos correlacioná-la com a posição do Sol no horizonte e o trajeto dele ao longo do céu.

A Evolução do Sol na Linha de Horizonte

A observação do nascimento ou ocaso do Sol na linha de horizonte nos conduz ao seguinte resultado:

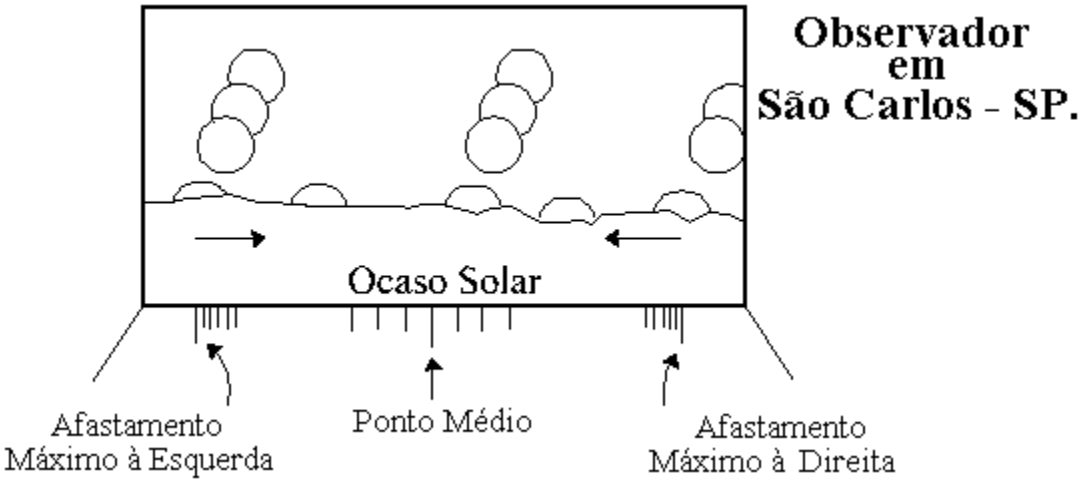


Figura :Movimento do Sol ao longo da Linha de Horizonte

Desse resultado, nós verificamos que o Sol desloca-se regularmente ao longo do horizonte entre dois extremos máximos, tanto no horizonte do ocaso como no horizonte do nascente. No ocaso solar, nós vemos que o Sol desce com uma inclinação à direita e no caso do nascente, nós verificamos que a inclinação de descida do Sol está à esquerda. A regularidade do deslocamento permitiu ao homem definir um intervalo de tempo designado como **ano**. O intervalo de um **ano**, corresponde ao Sol sair de sua posição máxima a esquerda passar pelo ponto médio e atingir o extremo máximo a direita para então retornar ao ponto médio e atingir finalmente o ponto máximo a esquerda. Os pontos extremos máximos e o ponto médio são definidos como:

Solstício [Do latim: solstitiu = Sol Parado]: São correspondentes aos extremos máximos do deslocamento do Sol, o qual inverte o seu sentido de deslocamento, portanto o Sol precisa parar seu movimento para retornar.

Equinócio [Do latim: aequinoctiu = noite igual; aequale = igual + nocte = noite]: Corresponde ao ponto médio do intervalo de deslocamento, instante no qual o intervalo de duração do período de claridade se iguala ao de escuridão.
Durante o intervalo de um ano nós temos dois solstícios e dois equinócios desse modo nós podemos dividir o intervalo de um ano em quatro períodos, a saber: Primavera, Verão, Outono e Inverno. Esses períodos são chamados de Estações do Ano. Os nomes foram dados em funções das condições climáticas gerais do período dos habitantes das zonas temperadas, tais como:
Primavera [Do latim: primo vere `no começo do verão']; Representa a época primeira, a estação que antecede o Verão.
Verão [Do latim vulgar: veranum, i.e., veranuns tempus, `tempo primaveril ou primaveral' semelhante a vernal, isto é, relativo a primavera. Estação que sucede a Primavera e antecede o Outono.
Outono [Do latim: autumno] Usualmente conhecida como o tempo da colheita
Inverno [Do latim: hibernu, i.e., tempus hibernus `tempo hibernal']; Associado ao cilco biológico de alguns animais ao entrar em hibernação e, se recolherem durante o período de frio intenso. Estação que sucede o Outono e antecede a Primavera.
Essas características das estações conduziram a uma simplificação didática no ensino básico de: Primavera é a estação das flores, o verão é a época do calor, o outono é a época das frutas e finalmente o inverno é a época do frio. Muito adequado para a zona temperada, mas na zona tropical tal característica não se verifica na prática. Pôr exemplo é possível termos dentro do Inverno um veranico, ou seja um período de aquecimento momentâneo. Devemos lembrar que as características climáticas de cada região dependem da proximidade de massas oceânicas, elevações montanhosas, planícies, etc, as quais modificam a característica local e global do clima. Um desses fatores, pôr exemplo é o fenômeno El Niño: mudança climática global decorrente do nível de aquecimento do oceano pacífico e que modifica o fluxo de calor através das correntes marítimas e altera o aquecimento da atmosfera terrestre.
Cada uma das Estações do Ano possui uma data específica que marca o seu início. A partir do deslocamento do Sol, ao longo da linha de horizonte, nós definimos esses quatro instantes como sendo:

Hemisfério Sul	**Data de Início entre os Dias**	**Hemisfério Norte**
Equinócio de Primavera	22 e 23 de setembro	Equinócio de Outono
Solstício de Verão	22 e 23 de dezembro	Solstício de Inverno
Equinócio de Outono	20 e 21 de março	Equinócio de Primavera
Solstício de Inverno	22 e 23 de junho	Solstício de Verão

Tabela : Datas das Estações do Ano para os Hemisfério Terrestres

Para o ano de 1996 e para o hemisfério sul as Efemérides das Estações do Ano são:

Efemérides (1996)	Data	Horário	Duração / Estação
Equinócio de Primavera	22/09	14:59h	89,84dias / ***Primavera***
Solstício de Verão	21/12	11:04h	88,99dias / ***Verão***
Equinócio de Outono	20/03	05:05h	92,76dias / ***Outono***
Solstício de Inverno	21/06	23:22h	93,65dias / ***Inverno***

Tabela : Efemérides das Estações do Ano para 1996 e o seu tempo de duração.

A Evolução dos Períodos de Claridade e Escuridão

Um segundo fator associado as estações do ano, corresponde a duração dos períodos de claridade e de escuridão.

Efemérides (1996)	Data	Sol - Visibilidade
Equinócio de Primavera	22/09	12h08m
Solstício de Verão	21/12	13h31m
Equinócio de Outono	20/03	12h08m
Solstício de Inverno	21/06	10h49m

Tabela : Duração do intervalo de visibilidade do Sol nos dias de início das estações do ano para a localidade de São Carlos - SP.

A duração dos períodos de claridade e de escuridão variam desde as latitudes do Equador até os pólos. No Equador a diferença entre o dia e a noite não é tão significativa quanto para um habitante numa latitude próxima dos círculos polares. No entanto, todos percebem que há uma diferença entre dia e noite nos solstícios.

A Evolução das Sombras ao Longo de um Ano.

Uma terceira característica que nos permite definir os instantes de início de cada uma das Estações do Ano é acompanhar a evolução de uma sombra produzida por uma vareta fincada na vertical de uma superfície plana e nivelada. Esse instrumento, a vareta, formalmente é o GNÔMON [1] [Do grego gnómon e do latim gnomon] e permite marcar a altura do Sol em função de sua sombra. Costuma-se designá-lo também como RELÓGIO SOLAR por permitir marcar a hora verdadeira do Sol.

De início, nós vamos descrever a evolução da sombra do gnômon para a localidade de São Carlos - SP (22^0 01 Sul e 47^0 54^m Oeste). Se observarmos desde o nascer até o pôr do Sol, nós vamos obter algo parecido com a seguinte seqüência de sombras em uma determinada época do ano:

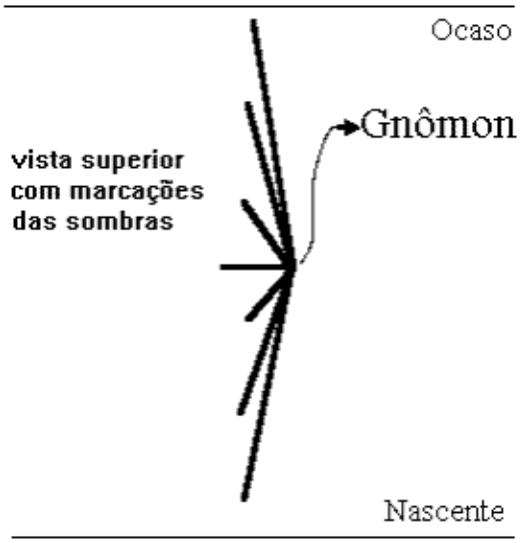


Figura : A Sombra de um Gnômon

Observemos, por exemplo, que as sombras sempre estiveram de um mesmo lado, ou seja, o Sol esteve sempre do lado oposto. Dessa nossa observação, nós podemos afirmar que:

O Sol descreveu um arco no céu e, em nenhum momento, o plano que passa pelo arco contém a reta que passa pela vareta. O único ponto em comum é a base da vareta, ou seja, é a intersecção entre a reta e o plano. Finalmente esse arco esta num plano o qual se encontra inclinado em relação ao plano do horizonte.

O Movimento Anual do Sol

Olhando agora para as sombras produzidas pela nossa vareta dentro de um ano, nós vamos constatar variações nas dimensões e disposições das sombras. Em particular, nós vamos representar os resultados para os solstícios de verão e de inverno e os equinócios de outono e de primavera, ou seja, o aspecto das sombras no dia em que começa cada uma das estações do ano: Primavera, Verão, Outono e Inverno.

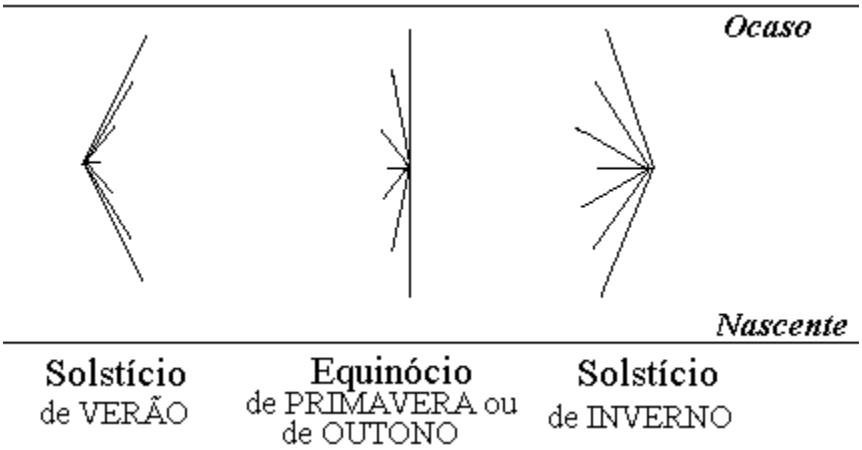


Figura : A sombra do Gnômon nos Equinócios e Solstícios (São Carlos)

Concluímos então, que, ao longo do ano, as sombras refletem o seguinte comportamento do Sol, conforme a representação da figura que segue e com a seguintes observações:

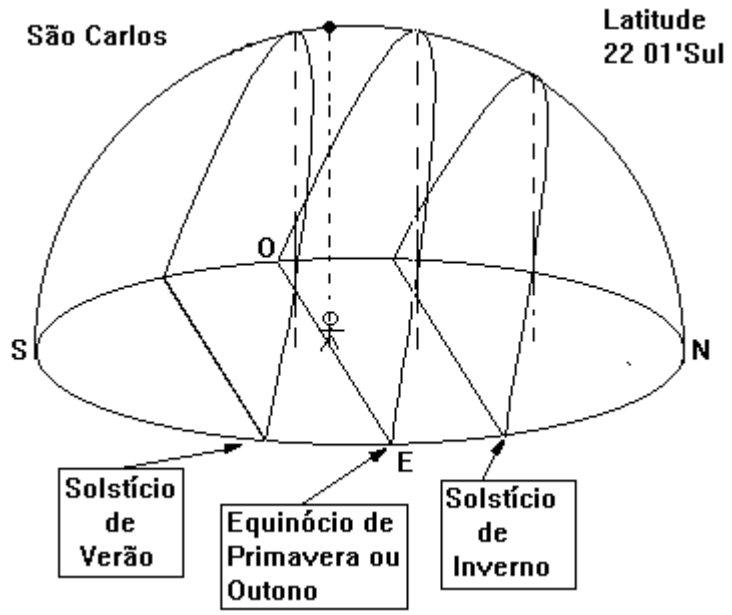


Figura : A trajetória do Sol para São Carlos

O Sol produz uma sombra de direção coincidente nos dias de equinócio nos instantes do nascer e do ocaso solar. Qualquer outro data do ano tal fato não acontece. Nesse dia nós temos a marcação da direção Leste - Oeste e portanto a perpendicular a base do gnômon estabelece a direção Norte - Sul.
A menor sombra do dia ocorre sempre na passagem do Sol no ponto mais alto do céu, ou seja o Sol passa pela linha meridiana local.
O Sol nos solstícios produz a sombra com maior inclinação possível em relação a direção coincidente das sombras nos equinócios no instante do seu nascimento ou ocaso.
O Sol descreve arcos inclinados e paralelos entre si, que se deslocam dentro do ciclo de um ano.
O Sol passará duas vezes por ano sobre nossas cabeças em São Carlos. Esses dias serão 03 de dezembro e 10 de janeiro.
O Sol descreve um MOVIMENTO PENDULAR ao longo da linha de horizonte, ou seja, ele oscila para o norte e para o sul em relação a direção geográfica Este ou Oeste.
Os diferentes arcos de trajeto do Sol ao longo do ano refletem maiores e menores permanências desse astro no céu a cada dia:

Solstício de Verão	**período de claridade mais longo do ano.** **(13h31m** de Sol visível - São Carlos**)**
Solstício de Inverno	**menor período de claridade do ano.** **(10h49m** de Sol visível - São Carlos**)**
Equinócio de Primavera	**igual período de claridade e de escuridão.** **(12h08m** de Sol visível - São Carlos**)**
Equinócio de Outono	**igual período de claridade e de escuridão.** **(12h08m** de Sol visível - São Carlos**)**

Comentários e Observações

Lembrando-se que nós estamos sobre um paralelo no hemisfério Sul do globo terrestre, o arco que o Sol descreve em um dia está inclinado para o Norte. Quando maior for a latitude do local, maior será a inclinação do arco para o hemisfério Norte.

Considerando-se que o eixo de rotação terrestre tem uma inclinação fixa de 23 27', durante a rotação e translação terrestre, os paralelos de Capricórnio e de Câncer correspondem ao limite máximo de deslocamento do Sol entre os dois hemisférios da esfera celeste.

Das duas afirmações dos parágrafos anteriores, nós podemos deduzir que nos trópicos uma vareta não apresentará sombra quando da passagem do Sol na linha meridiana nos dias de solstício de verão. Para o habitante que esteja residindo sobre um dos trópicos, esse acontecimento ocorrerá uma vez pôr ano Para qualquer outro habitante dentro da zona tropical, ele verá o Sol ter passagem meridiana sobre sua cabeça em duas ocasiões do ano. Em particular, para o habitante que esteja sob a linha do Equador, ele verá o Sol nessa condição a cada seis meses (equinócios). E para as latitudes intermediárias entre o Equador e um dos trópicos, o intervalo variará de três dias até quase seis meses. Isto se considerarmos em relação a data do solstício mais próxima, ou seja, para uma latitude Sul entre os trópicos, nós deveremos tomar o período que abrange o solstício de verão. Lembre-se que para a cidade de São Carlos, essa situação ocorre entre os dias 3 de dezembro e 10 de janeiro, o que corresponde a um intervalo de 39 dias.

Para um habitante da zona temperada, sua latitude será sempre maior que o valor da inclinação do eixo terrestre, então esse habitante jamais verá o Sol sob sua cabeça em qualquer época do ano.

Por último o morador da região polar encontra-se numa situação especial. Lá há extremos de visibilidade do Sol por até seis meses e igual período sem vê-lo.

Existem ainda procedimentos mais complexos de observação e interpretação das sombras do Sol, por exemplo: se fixarmos um horário e a cada dia marcarmos a posição da ponta da vareta, após um ano, nós veremos formar a figura de um oito, o ANALEMA SOLAR.

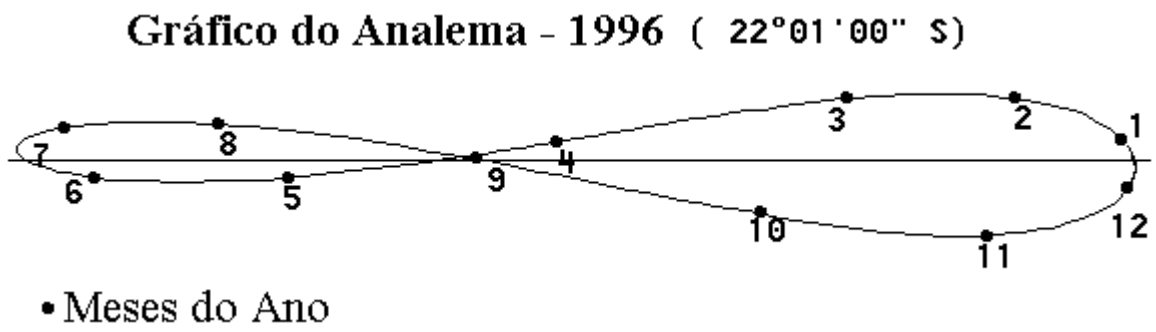


Figura : O Analema Solar

A partir do analema solar, nós podemos constatar o efeito da excentricidade da órbita terrestre e a mudança da velocidade orbital terrestre. De maneira simples o analema representa o tempo de atraso ou de adiantamento do Sol em relação a sua passagem meridana. O resultado final é representado pela Equação do Tempo, a qual estabelece a diferença entre o tempo solar verdadeiro e o tempo solar médio.

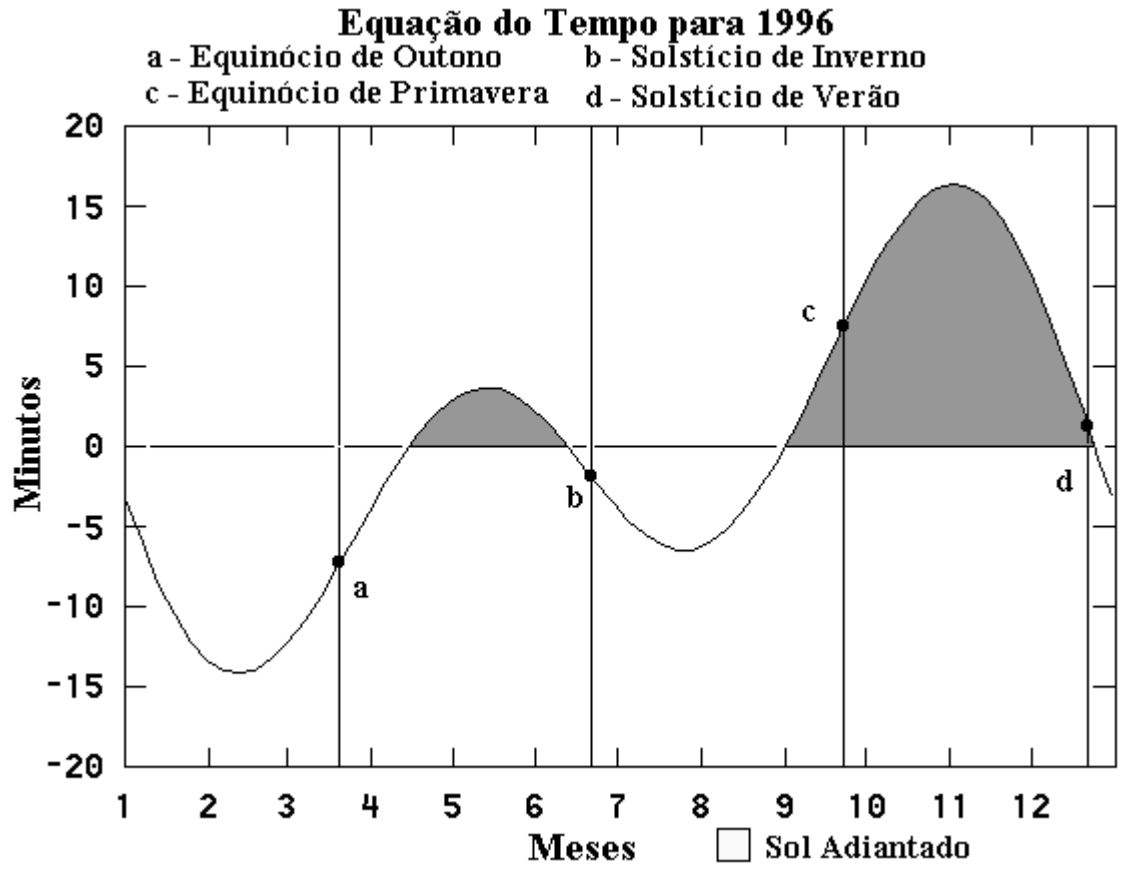


Figura : Gráfico da Equação do Tempo

Determinação dos Pontos Cardeais pelo Gnômon

Para determinados os pontos cardeais, o gnômon pode ser empregado para essa finalidade em vista do que foi discutido anteriormente. O procedimento prático consiste em:

* Posicionar o gnômon em um local adequado para acompanhar a sombra do Sol ao longo do dia.
* Num determinado horário da manhã marcar a posição da ponta da sombra (H_1) e o horário da medida (h_1).
* Traçar a partir da base do gnômon (B) uma circunferência (b) centrada em B com raio BH_1.
* Marcar a evolução da ponta da sombra até que ela venha a tocar novamente a circunferência b, nesse instante, marcar o novo ponto de coincidência (H_2) e o horário (h_2).
A partir desse momento, nós podemos retirar a haste e proceder a seguinte construção geométrica:
* Traçar o segmento BH_1 e o segmento BH_2 e determinar a bissetriz do ângulo H_1BH_2.

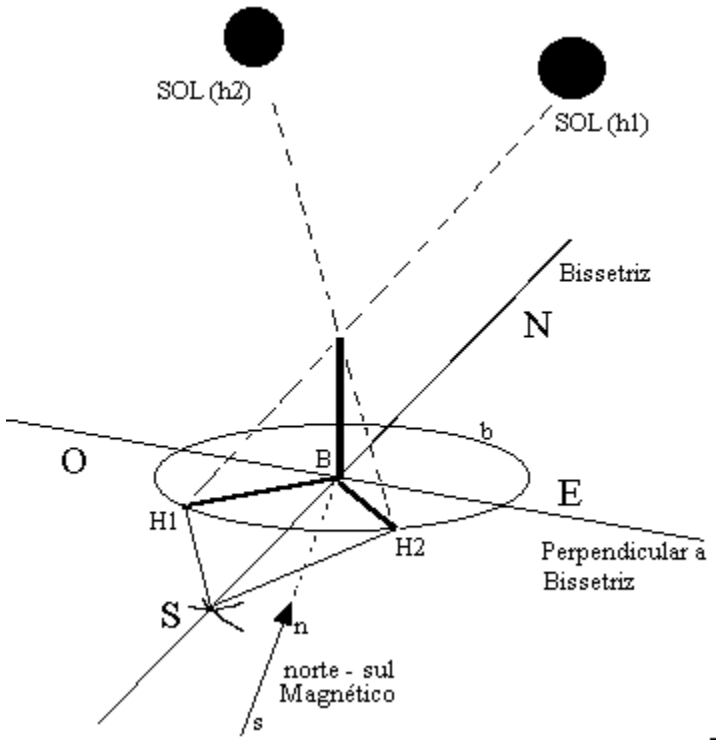


Figura : O Gnômon e os Pontos Cardeais.

Resultado:

A bissetriz traçada corresponde a direção Norte - Sul. Se traçarmos a perpendicular a direção N-S pelo ponto B, nos determinaremos a direção Leste - Oeste. Pelo movimento do Sol, nós sabemos onde está o nascente e o poente. Pela trajetória do arco que o Sol descreve, nós sabemos para onde está o Norte e portanto o Sul. Desse modo, nós determinamos os pontos cardeais.
Caso resolvamos colocar a direção Norte - Sul de uma bússola em coincidência com a direção Norte - Sul obtida pela bissetriz, nós notaremos que a direção magnética norte - sul da bússola não coincide com a direção Norte - Sul

geográfica. No caso de São Carlos, nós podemos verificar que há um desvio do norte magnético para o lado do horizonte Oeste de cerca de 12 graus. Convém observarmos aqui, que nem sempre a direção norte - sul magnética coincide com a direção Norte - Sul astronômica ou geográfica.

O Mecanismo das Estações do Ano

A Terra executa um movimento de revolução ao redor do Sol numa órbita elíptica (excentricidade e=0,0167), a qual é muito próxima de uma circunferência. O plano que contém essa órbita é chamado Plano da Eclíptica. Nosso planeta também realiza um movimento de rotação, ou seja, nós podemos colocar imaginariamente nele um eixo em torno do qual o nosso planeta dá uma volta a cada dia. Esse eixo faz com o plano da eclíptica um ângulo de 66° 33'. Por esse motivo, os raios solares atingem um mesmo ponto do planeta com diferentes inclinações em diferentes épocas do ano.

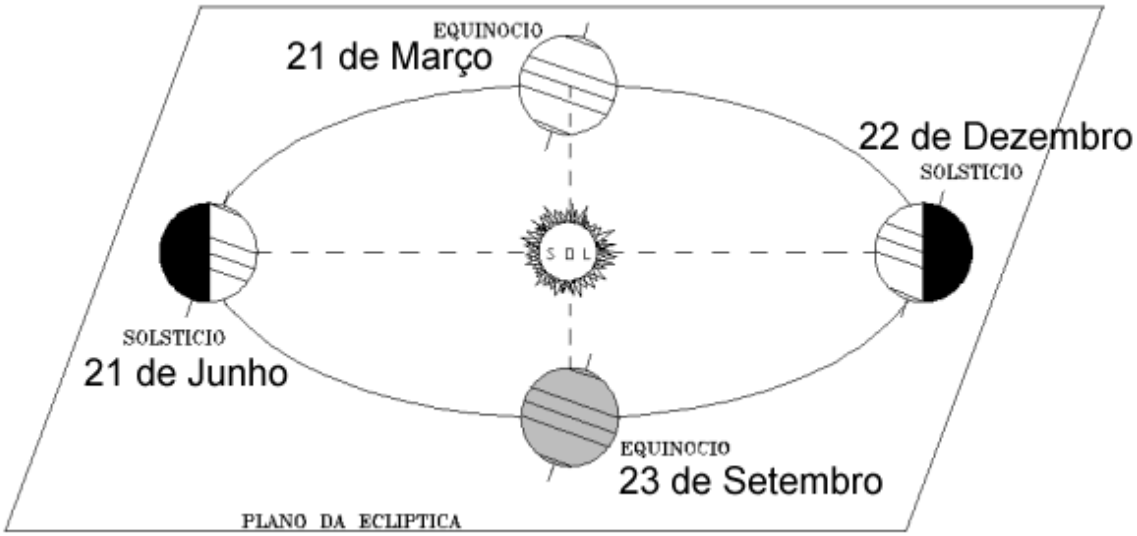
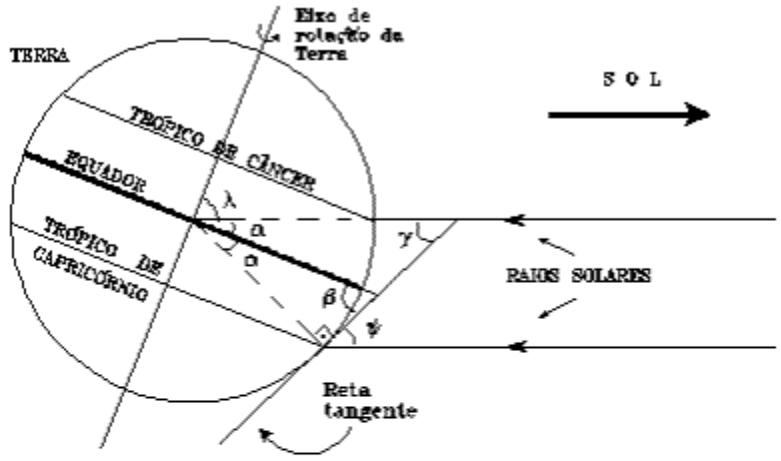


Figura : As Estações do Ano.

No dia 21 de junho, ao meio dia local a luz solar incide perpendicularmente sobre o Trópico de Câncer, enquanto que, no Trópico de Capricórnio o ângulo de incidência é de aproximadamente 43 graus com a horizontal. Com isso, o Hemisfério Norte estará sendo mais aquecido que o Hemisfério Sul (inverno para nós -).



λ = Ângulo de inclinação do eixo terrestre de rotação

$\lambda = 66{,}5°$

$\alpha = 90° - \lambda = 90° - 66{,}5°$

$\alpha = 23{,}5°$

$\alpha + \beta + 90° = 180°$

$\beta = 90° - \alpha = 90° - 23{,}5°$

$\beta = 66{,}5°$

$\beta = \alpha + \gamma$

$\gamma = \beta - \alpha$

$\gamma = 66{,}5° - 23{,}5°$

$\gamma = 43°$

$\psi = \gamma$

$\psi = 43°$

Figura : O Inverno no Hemisfério Sul (21 de junho).

No dia 22 de dezembro, , a luz solar incide perpendicularmente sobre o Trópico de Capricórnio enquanto que no Trópico de Câncer o ângulo com a horizontal é de 43 graus com a superfície, ou seja, a situação agora é contrária e por isso é verão no Hemisfério Sul (Brasil) e inverno no Hemisfério Norte (Europa).

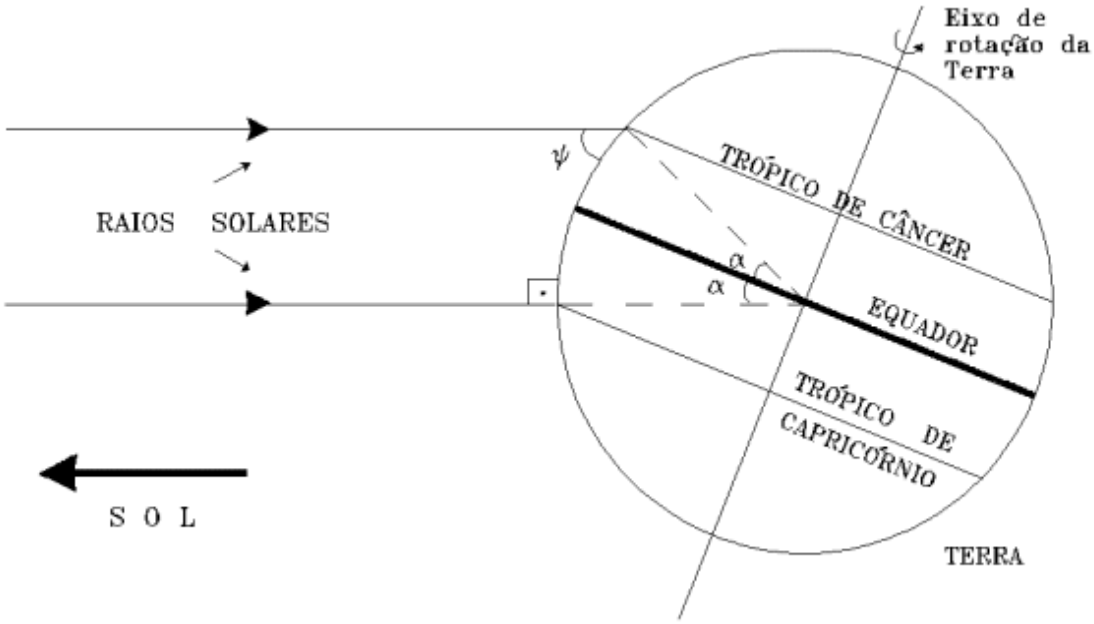


Figura : O Verão no Hemisfério Sul (22 de dezembro).

As duas situações em que a luz incide perpendicularmente sobre os trópicos chamam-se de Solstício. No caso do Hemisfério Sul nós temos o Solstício de Verão (22 de dezembro) o e Solstício de Inverno (21 de junho). Nos dias 21 de março e 23 de setembro, , nós temos a situação em que a luz solar incide perpendicularmente sobre o Equador. Então ambos os hemisférios são igualmente iluminados durante esses dois dias e tal situações chamam-se de Equinócio. No caso do Hemisfério Sul tem-se o Equinócio de Outono (21 de março) e o Equinócio de Primavera (23 de setembro).

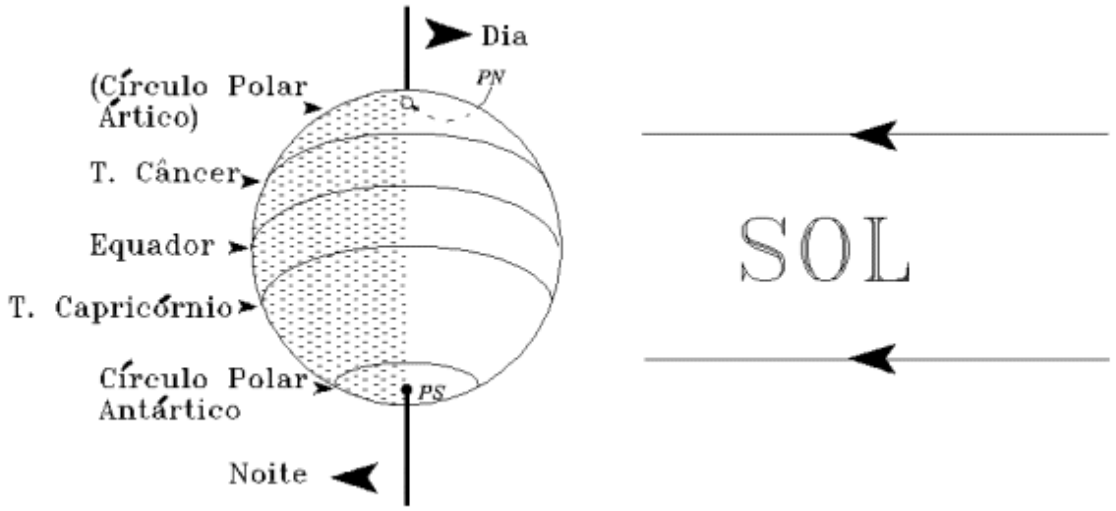


Figura : O Outono (21 de março) e a Primavera (23 de setembro) no Hemisfério Sul.

É fácil notar que na região dos pólos a luz incide de forma rasante. Ao longo de todas as estações climáticas que a Terra apresenta durante sua revolução essa região não é muito aquecida e, por isso apresenta-se com esse aspecto que conhecemos. No dia 21 de junho (inverno no hemisfério sul) a região do Círculo Polar Antártico não se encontra iluminada, ao passo que a região do Círculo Polar Ártico está totalmente iluminada. Esta situação se inverterá após seis meses de translação do nosso planeta, quando o Hemisfério Sul estiver mais exposto a luz solar em 23 de dezembro (verão no hemisfério sul). Na nós temos indicada a "noite eterna" para a região do Circulo Polar Antártico em 21 de junho.

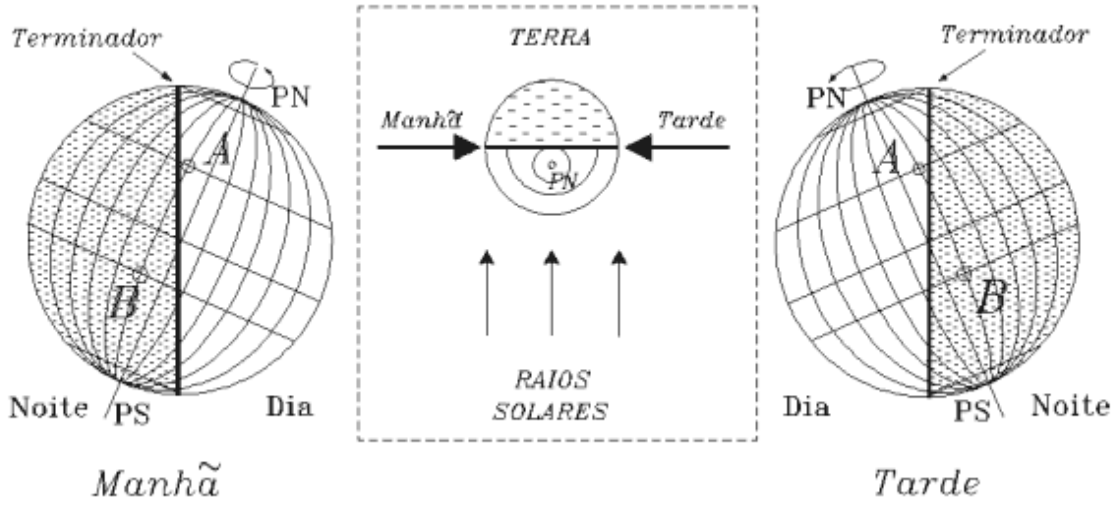


Figura : A iluminação da Terra em 21 de junho.

Além das mudanças climáticas que a Terra sofre devido a inclinação do seu eixo e de sua revolução ao redor do Sol, nós também podemos perceber as diferenças da alternância de claridade e escuridão que se sucedem ao longo delas. Pela as linhas imaginárias que ligam o Pólo Norte ao Pólo Sul chamam-se meridianos. Se duas pessoas A e B estiverem sobre dois pontos distintos ao longo de um mesmo meridiano, e se lhes perguntarmos as horas ambos dirão a mesma coisa. Por exemplo se para alguém no ponto A são 6:00 horas da manhã então para o ponto B também o será. Mas para A já é dia, enquanto que para B ainda é noite. Será necessário o planeta girar mais um pouco para que B possa ver a luz do Sol. Quando chegar a tardinha, o ponto B entrará na região de escuridão (não iluminada pelo Sol) antes que A. Portanto, A que está no verão tem um período de claridade mais longo em relação a B que se encontra no inverno. Somente nos equinócios, os observadores A e B verão o Sol nascer e se por no mesmo horário, e portanto nesse dia em particular a noite e o dia terão o mesmo período de duração.

Como nós vemos, a duração de um dia (período de claridade) e de uma noite (período de escuridão), o movimento pendular do Sol e o seu deslocamento ao longo do céu, atavés da sua sombra, podem ser explicados simplesmente devido à inclinação do eixo de rotação da Terra com relação ao seu plano de órbita durante a sua revolução.Outros fatores climáticos podem ser associados as Estações do Ano, mas, não representam a característica mais importante de um local ou região, pois vários fatores geográficos alteram o clima.

CDA - CDCC - USP/SC 16/06/2000

---

http://mourabezerra.sites.uol.com.br/vamoscalcular.htm

Energia Solar

Arnaldo Moura Bezerra

Textos Desenvolvidos

VAMOS CALCULAR UM AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA?

Nós já tivemos a oportunidade de mostrar como funciona um aquecedor solar e como construi-lo. Vamos agora mostrar como se calcula um aquecedor solar de água e apesar de termos de lançar mão de algumas fórmulas matemáticas, garanto que elas serão facilmente entendidas.

Antes de entrarmos no cálculo propriamente dito, vamos recordar alguns conceitos de Física que tivemos a oportunidade de ver quando estudávamos lá no primeiro e no segundo grau. Podemos não estar lembrados mas algumas vezes ouvimos falar em pequena e grande caloria ou também conhecida como quilocaloria.

Por definição a caloria ou também pequena caloria, cuja origem está ligada aos conceitos de calor e calor específico, é a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 grama de água de 14,5 para 15,5 °C.

A grande caloria ou também mais conhecida como Quilocaloria (Kcal), é a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura de 1 Kg de água de 14,5 para 15,5 °C.

O calor específico representado por c ou C_p é definido como sendo a quantidade de calor que cada grama de uma substância necessita trocar para variar a sua temperatura de 1 °C. Quanto menor o calor específico de uma substância mais rapidamente poderá ela variar a sua temperatura.

Você poderá pensar, para que me serve tudo isto se o que eu quero realmente é substituir o meu chuveiro elétrico por um aquecedor solar ou mesmo instalar o meu próprio sistema solar de aquecimento de água, que além de me proporcionar economia na minha conta mensal de energia elétrica elimina a possibilidade de um acidente decorrente de eventuais vazamentos de corrente elétrica, como pode ocorrer, mesmo eventualmente, no caso do aquecimento tradicional com o chuveiro elétrico .

Ora, como eu estou propondo ensinar como calcular um sistema solar de aquecimento de água para fins residenciais principalmente, o conhecimento destes parâmetros é de fundamental importância para que você possa compreender o processo de cálculo. É claro que se você contatar um vendedor de sistema solar de aquecimento

http://mourabezerra.sites.uol.com.br/vamosconstruir.htm

Textos Desenvolvidos

VAMOS CONSTRUIR UM AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA?

Como funciona um aquecedor solar de água você já sabe pois já tive a oportunidade de dize-lo. Agora eu vou mostrar como construí-lo, porém antes de tudo eu quero dizer que isto só será possível se você tiver paciência e habilidade manual já que trata-se de um trabalho artesanal.

É claro que nem tudo você irá fazer pois alguma coisa depende de uma oficina com máquina de furar, máquina de soldar etc, porém uma vez solucionado estes problemas você poderá dar continuidade ao seu projeto montar o seu sistema solar de aquecimento de água.

Foi assim que aconteceu comigo! Mandei furar, cortar e soldar os tubos que formam a grade do coletor. Depois eu iniciei a montagem e com um pouco de criatividade eu terminei concluindo o meu aquecedor. Como eu moro no Nordeste, uma única placa coletora de 2 m^2 foi suficiente para aquecer diariamente 200 litros de água a uma temperatura de 70 ºC em dias claros e sem nuvens. Como o coletor trabalha segundo a absorção da radiação solar, ele também é operacional nos dias nublados pois o infravermelho atravessa as nuvens e aquece o coletor, só que com menor intensidade em relação aos dias ensolarados porém o suficiente para produzir água quente. O sistema solar de aquecimento de água só não é operacional em dias chuvosos.

É evidente que um coletor assim construído não terá o acabamento de um coletor fabricado industrialmente, porém no nosso caso o que interessa é que tenhamos água quente disponível, além da satisfação que sentiremos por termos construído o nosso próprio sistema solar de aquecimento de água.

Um sistema solar de aquecimento de água consta basicamente de uma placa plana onde se verifica a captação da energia solar e sua conversão em energia térmica, um reservatório termicamente isolado e as devidas tubulações com os respectivos pontos de consumo de água.

PLACA PLANA

A placa plana ou o coletor de placa plana como é chamado, consta de uma associação de dois tubos horizontais de maior diâmetro do que os sete tubos verticais, formando uma grade de tubos, cuja grade será recoberta por uma placa metálica solidamente ligada aos respectivos tubos por meio de solda branca ou outra forma de fixação.

Os tubos horizontais podem ser de uma polegada ou de uma polegada e um quarto de diâmetro e os tubos verticais podem ser de três oitavos ou de meia polegada de diâmetro.

Usando tubo horizontal de uma polegada, os tubos verticais serão de três oitavos de polegada de diâmetro. Usando tubo horizontal de uma polegada e um quarto de diâmetro, os tubos verticais serão de meia polegada de diâmetro.

Os tubos podem ser de ferro galvanizado ou de cobre. Poderíamos usar tubos de aço inox ou tubo de alumínio porem o tubo de inox é caro e o de alumínio além de díficil de soldar pode ser atacado pelo cloro da água, danificando-se. O tubo de ferro galvanizado é mais barato e mais fácil de soldar porem está sujeito ao ataque do óxido de ferro. O mais indicado é o tubo de cobre.

Vamos usar tubos de cobre de uma polegada e de três oitavos de diâmetro. Corte dois pedaços de tubo de uma polegada de diâmetro, com 1,20 metros de comprimento. Corte agora 7

http://www.aondevamos.eng.br/textos/texto04.htm

AONDE VAMOS
Textos e Diagramas

**Este trabalho teve sua reprodução, nesta página, gentilmente autorizada pelo autor*

VOCÊ SABE COMO FUNCIONA UM AQUECEDOR SOLAR DE ÁGUA?

Eng. ARNALDO MOURA BEZERRA, M.Sc.

O funcionamento de um aquecedor solar é muito simples! Basicamente o princípio de funcionamento é o mesmo que se verifica quando deixamos, sob a ação do sol, um veículo fechado e estacionado por algumas horas na via pública. A ação da radiação solar se faz cada vez mais presente a medida em que a pintura do veículo se aproxima da cor preta, ocorrendo o mesmo com o seu interior.

Você poderá perguntar o que tem a ver um carro com um aquecedor solar? A comparação não terá o mínimo sentido se visualizar-mos o carro e o aquecedor solar pelo prisma da forma geométrica e da utilidade que ambos possam ter ! Mas se levarmos em consideração o efeito térmico que ocorre entre ambos, esta estranha comparação faz sentido, realmente.

Vamos inicialmente imaginar uma caixa de forma geométrica retangular, hermeticamente fechada, tendo dentro dela uma chapa plana ou ondulada pintada de preto fosco, apoiada no fundo da caixa, tendo esta como cobertura uma lâmina de vidro plano transparente. Figura 1.

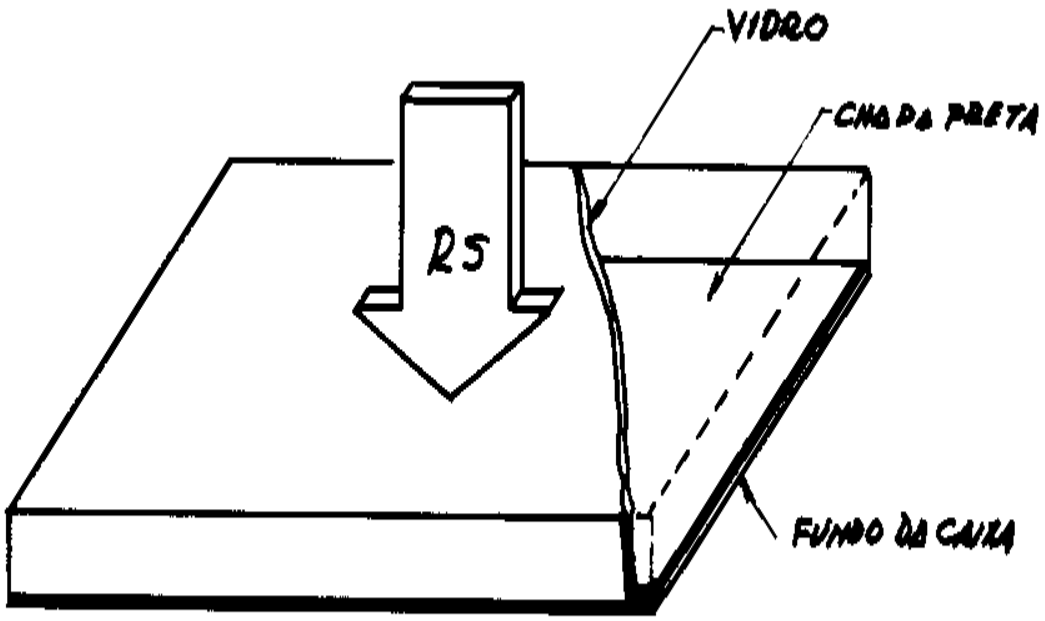


FIGURA 1

Coloquemos agora esta caixa sob a ação da luz solar visível e da respectiva radiação infravermelho as quais podem atuar juntas ou separadamente, dependendo das condições atmosféricas locais. O que ocorrerá então? A radiação solar atravessará o vidro de cobertura e ao encontrar a chapa preta sofre uma alteração no seu comprimento de onda (um aumento), o que a torna impotente para atravessar, **de volta**, o vidro e a partir daí tem origem uma reemissão desta radiação no sentido vidro/chapa/vidro. Como a caixa se encontra hermeticamente fechada ocorre um fenômeno conhecido por **efeito estufa**, portanto responsável pelo aumento progressivo da temperatura da chapa pintada de preto fosco enquanto durar a ação da radiação solar. Você poderá perguntar, por que a chapa deverá ser pintada de preto fosco e não de outra cor qualquer? Ora, nada impede que a pintura da chapa tenha outra cor qualquer dentro da escala cromática, porém sabe-se que a cor preta é a que praticamente absorve toda a radiação nela incidente nos mais diferentes comprimentos de onda do espectro solar, a exceção das superfícies seletivas, cuja absorção é quase que total.

Você deverá estar estranhando todo este "papo" de **chapa preta, efeito estufa** etc, mas como isto poderá aquecer a água que é o principal objetivo do coletor solar? É muito simples!

Imagine agora que sob esta chapa e em contato direto com ela, tenhamos colocado uma grade de tubos paralelos ligados nas extremidades por dois tubos de maior diâmetro, contendo água em seu interior conforme a figura 2.

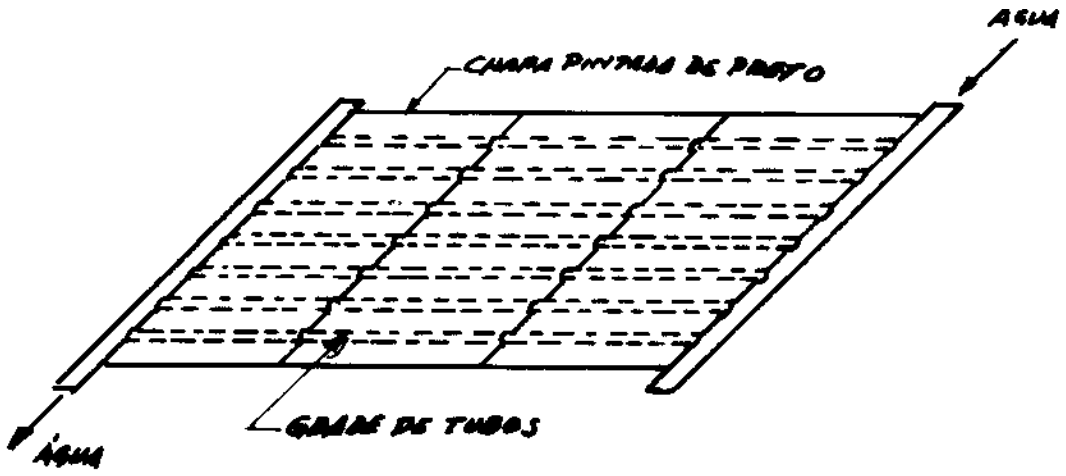


FIGURA 2

O que ocorrerá então? Como a chapa preta está sendo aquecida pela radiação solar e estando a grade de tubos em contato direto com a respectiva chapa, verifica-se uma transferência de calor (temperatura da chapa), para a grade de tubos e desta para a água que se encontra em seu interior. Simples não é? Será mesmo? Mas isto não é tudo!

Numa aplicação residencial a necessidade de água quente é bem maior do que o volume de água existente no interior da grade de tubos já referida! Então como fazer para aquecer diariamente por exemplo, 200 litros de água que é basicamente a necessidade de água quente de uma residência de 5 pessoas?

Para que isto possa ser possível vamos ligar, por meio de tubos, o coletor solar a um tanque termicamente, isolado o qual contém os 200 litros de água a ser aquecido. Figura 3.

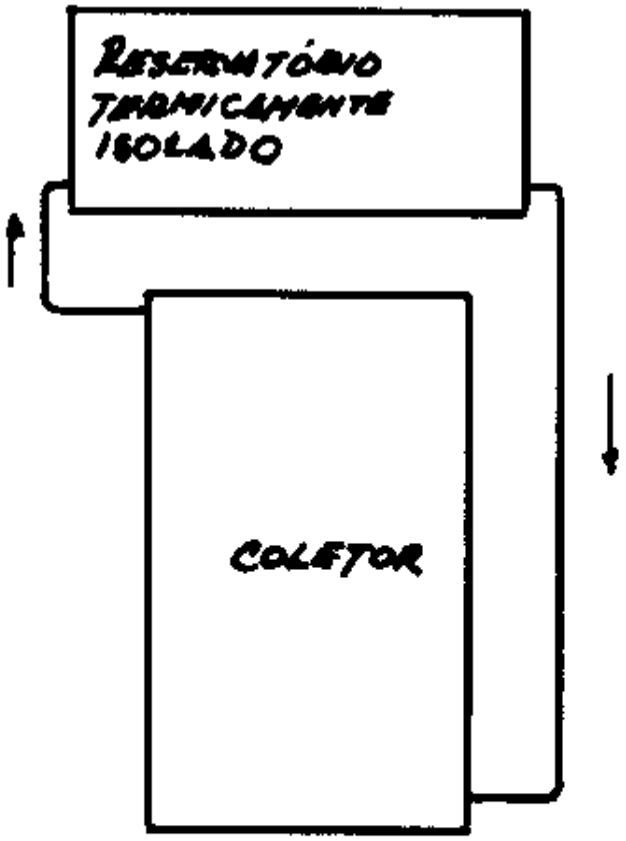


FIGURA 3

Você poderá agora indagar: Se é na chapa preta do coletor solar que ocorre a conversão da **energia solar** em **energia térmica**, como pode a água contida no reservatório termicamente isolado ser aquecida ?

Para responder a esta pergunta vamos antes imaginar o que ocorre dentro de uma chaleira quando a colocamos, com água, na chama do fogão para obter a água quente para fazer o nosso café da manhã!

Ao aquecermos água em uma chaleira as moléculas da água em contato direto com o fundo da chaleira vão paulatinamente sendo aquecidas tornando-se mais

leves e por consequência tendem a subir na massa líquida ao tempo em que as moléculas de água das camadas superiores (de maior densidade), vão tomando o lugar das moléculas mais aquecidas dando origem ao que se chama de **movimento convectivo**, movimento este que só é interrompido quando toda a massa líquida atinge a mesma temperatura, isto é 100ºC, (na pressão atmosférica). O calor transferido à água até que ela chegue aos 100ºC é o que se chama de **calor sensível**.

Voltemos agora ao caso do aquecedor solar!. Assim como ocorre no interior da chaleira o calor coletado pela chapa preta devido a ação da radiação solar, e transferido à grade de tubos a qual por sua vez o transfere para a água existente no interior da citada grade tornando-a mais leve, (menos densa), dando início a **convecção natural**, exatamente como ocorre com a chaleira, ajudada ainda pela pressão da coluna de água existente no reservatório térmico, já que este está em posição superior em relação ao coletor solar.

Este movimento convectivo ou **convecção natural** é também conhecido como **termo-sifão** e ele só será interrompido quando toda a massa de água entrar em equilíbrio térmico.

No caso da **convecção natural** o deslocamento das moléculas de água se faz com menor intensidade , portanto com baixa velocidade de deslocamento das respectivas moléculas.

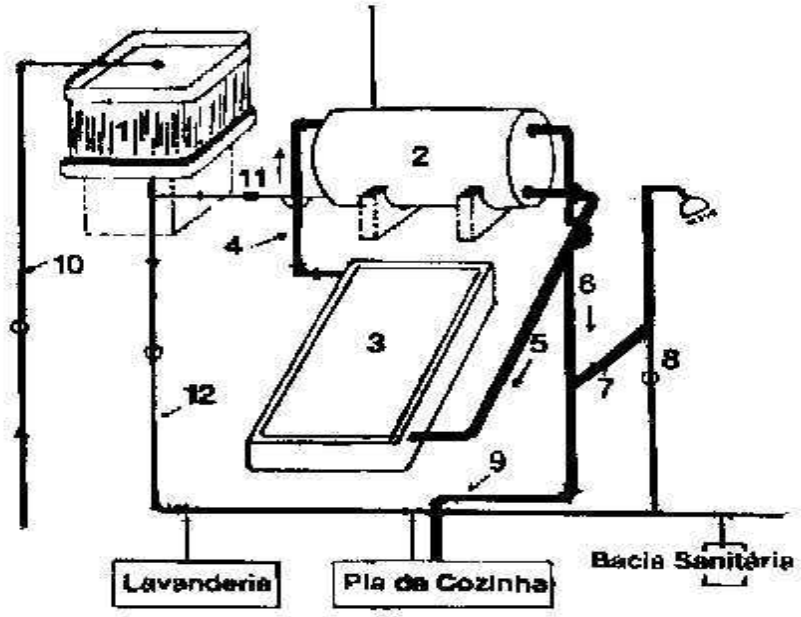
No caso do coletor solar o calor sensível é de no máximo 80ºC em um dia ensolarado e sem nuvens, condição esta normalmente observada nas regiões Norte e Nordeste brasileiros.

Vamos admitir agora que toda a água existente no sistema solar de aquecimento (coletor e reservatório termicamente isolado), esteja a uma mesma temperatura, portanto em equilíbrio térmico. Se nesta situação um certo volume de água quente é retirado para consumo, imediatamente igual volume de água, à temperatura ambiente, entra no reservatório termicamente isolado, já que este está diretamente ligado à caixa de água da residência. Nesta situação o equilíbrio térmico é desfeito restabelecendo o movimento convectivo, ou seja a convecção natural, e assim por diante.

Fácil, não é? Aquecer água com o emprego da energia solar não tem nenhum mistério e nem é "bicho de sete cabeças"com apregoam alguns. O que é preciso é que alguns cuidados sejam tomados ao se construir um sistema solar de aquecimento de água com base na conversão térmica desta radiação onde a absorção desta radiação se faz por meio de uma superfície enegrecida. Na literatura especializada este tipo de conversão térmica é obtida com o emprego de coletores conhecidos como **coletores de baixa concentração,** já que a conversão térmica da radiação solar em níveis mais elevados de temperatura (entre 1.000 e 3600ºC), é possível porém nestes casos empregam-se sistemas que operam segundo a reflexão desta radiação.

Logo um sistema solar de aquecimento de água é composto basicamente de um **coletor solar** onde se verifica a conversão desta energia em energia térmica, um **reservatório termicamente isolado** e respectiva **tubulação** de alimentação do sistema e distribuição de água quente.

Um esquema de montagem de um sistema solar de aquecimento de água empregado em uma residência pode ser mostrado na figura 4 onde as linhas em negrito representam as tubulações onde circulam a água aquecida. Observe que no reservatório de água quente existe um tubo vertical cuja extremidade superior deverá ficar acima do nível de água da caixa d e água da residência. A finalidade deste tubo é a de evitar o transbordamento já que os reservatórios de água fria e de água quente funcionam como vasos comunicantes, ligados por um tubo onde existe uma válvula de retenção (11). Esta válvula tem por finalidade evitar que a água quente existente no reservatório de água quente entre em contato com a água da caixa de água da residência.



SOBRE O AUTOR

Exerceu os cargos de professor da UFPB; pesquisador do LES - UFPB e engenheiro de Transporte do DER - PB. É ainda autor de vários livros, entre eles; "Aplicações Práticas da Energia Solar" e "Aplicações Térmicas da Energia Solar"

Home-page: http://www.netwaybbs.com.br/arnaldo/

Email : mourabezerra@uol.com.br

http://www.cefetsp.br/edu/sinergia/andre2.html

AQUECIMENTO DE ÁGUA POR ENERGIA SOLAR

André Ricardo Quinteros
Tecnólogo Mecânico, Professor do CEFET-SP
Especialista em Ensino de Física pela Universidade de São Paulo

Diariamente o sol transmite uma grande quantidade de energia através das ondas eletromagnéticas, e é essa energia que gera todos os processos naturais, como a fotossíntese que combina energia luminosa do sol com o dióxido de carbono da atmosfera para armazenar energia nas plantas em forma de hidrocarbonos. O aquecimento de água para fins pessoais é um dos grandes problemas atuais de energia que o Brasil está enfrentando, ou seja, o chuveiro elétrico é considerado o vilão no consumo de energia elétrica. Só para se ter uma idéia, 67,6% dos domicílios possuem chuveiro elétrico, totalizando 18 milhões de unidades. O Brasil é um dos poucos países que ainda utilizam o chuveiro elétrico para o aquecimento de água. Nos países do primeiro mundo, o uso da energia solar está completamente difundido, totalizando mais de 80% das residências, tanto para aquecimento quanto para geração de energia elétrica. O papel do governo é fundamental para divulgar o uso da energia solar como também a conscientização da população quanto às vantagens dessa energia abundante que é o sol. Com relação ao custo de uma instalação de aquecimento solar, houve uma queda considerável nos últimos anos. Atualmente, possuir esse tipo de aquecimento não é privilégio apenas das classes altas, também a classe média já é favorecida, o que torna o aquecimento solar uma tendência a crescer praticamente em todas as camadas sociais.

INTRODUÇÃO

O conceito de energia solar nada mais é que a aplicação direta das leis da Física presente praticamente em todos os fenômenos naturais do universo.

CONSTANTE SOLAR

A constante solar é o fluxo de energia por unidade de área, medida num plano normal à radiação solar, ao nível das mais altas camadas da atmosfera. Segundo medidas de satélites, equivale a 1350 w/m2.

INSOLAÇÃO

A terra revoluciona ao redor do sol numa trajetória aproximadamente circular, com o sol posicionado no centro do círculo. A distância média da terra ao sol é de cerca de 150.000 km. Em janeiro a terra está mais próxima do sol para o hemisfério sul (solstício de verão) e mais longe em julho (solstício de inverno). O eixo de rotação da terra possui um ângulo de 23,5º com relação a sua

órbita em torno do sol. No seu movimento de translação, a terra conserva o seu eixo orientado sempre na mesma direção. Basicamente, é o eixo de inclinação que nos dá as estações do ano e a distribuição da radiação solar durante todo o ano.

DISPONIBILIDADE DA ENERGIA SOLAR

Podemos determinar a intensidade de energia solar que chega a um determinado ponto do planeta em uma determinada época do ano, através da seguinte expressão:

$$I = I_0 \cdot \cos i$$

Onde: **I** = intensidade da energia solar em W/m2

I_0 = constante solar (1350W/m2)

i = ângulo de declinação em grau

Exemplo: determinar a intensidade da energia solar incidente em Porto Alegre em 21 de junho e 21 de dezembro.

$I_{dez} = 1350 \cdot \cos 6{,}5 = 1350 \cdot 0{,}99 = 1345\ W/m^2$

$I_{jun} = 1350 \cdot \cos 53{,}45 = 1350 \cdot 0{,}6 = 804\ W/m^2$

Comparando os dois resultados, é de se esperar que no verão a intensidade da radiação solar seja maior.

Capital	Temperatura média anual (ºC)	Radiação solar incidente (kwh/m2.ano)
Porto Velho	26,2	1604
Manaus	27,4	1663
Boa Vista	27,8	1938
Belém	26,9	1783
Macapá	26,8	1714
São Luís	27,4	1929
Teresina	28	1982
Fortaleza	26,7	1992
Natal	25,9	2013
João Pessoa	25,7	1968
Recife	25,9	1956
Maceió	25,5	1959
Aracaju	25,5	1892
Salvador	25,1	1830
Belo Horizonte	21,5	1896
Vitória	24,4	1675
Rio de Janeiro	23,7	1602
São Paulo	23	1674
Curitiba	17,6	1656
Florianópolis	20,8	1495
Porto Alegre	20,1	1594
Cuiabá	26,8	1775
Goiânia	22,7	1928
Brasília	21,4	1934

tabela 1: Radiação Solar nas Capitais Brasileiras

AQUECIMENTO DE ÁGUA

O princípio de funcionamento do aquecimento solar de água é bastante simples, é baseado na transmissão de calor através dos materiais que compõem o sistema. É composto por dois itens básicos: o reservatório térmico *(boiler)* e o coletor solar (placas).

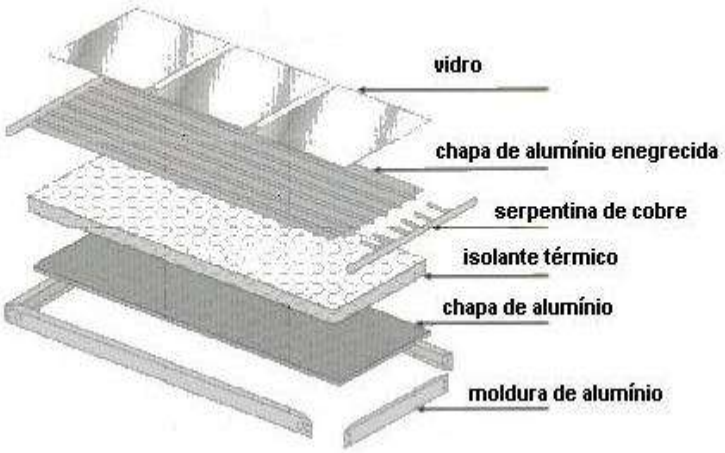


Figura 1: Esquema de Construção de um Coletor Solar

Como indica a figura 1, ele é composto pelos seguintes materiais:
Vidro: impede que entrem, no coletor, água de chuva, materiais sólidos, poeira etc. Tem como finalidade principal provocar o efeito estufa. Ou seja, a luz do sol, incidindo diretamente no vidro, faz

com que parte dela penetre no interior do coletor, refletindo outra parcela de luz. Na reflexão, a luz é composta basicamente de raios infravermelhos que não conseguem ultrapassar a camada de vidro, provocando assim um aquecimento interno que ajudará no aquecimento da água que está circulando na tubulação de cobre.

Tubo de cobre: serve para conduzir a água que captará o calor do sol. O cobre, sendo um ótimo condutor de calor, absorverá todo esse calor do coletor e o transmitirá para a água que está circulando.

Chapa de alumínio enegrecida: tem por finalidade auxiliar no aquecimento do coletor. Pela sua cor negra, absorve melhor o calor da luz solar, transmitindo-o para os tubos de cobre e consequentemente para a água.

Poliuretano expandido ou lã de vidro: é um material que isola termicamente o coletor, impedindo que o calor captado pela luz solar escape para o ambiente.

Figura 2: *BOILER*

O *boiler* serve para armazenar água quente para consumo. É fabricado por fora de alumínio e por dentro de cobre ou aço inox. Internamente, a água quente se mistura com a fria ficando a água quente sempre na parte superior. O boiler possui resistência elétrica que aquece a água em dias em que não há luz solar suficiente. Comandada por um termostato, ela liga e desliga de acordo com a temperatura da água. Aqui também temos o poliuretano expandido, revestindo toda a parede interna do *boiler*. Em dias com grande luminosidade, a água quente pode ficar armazenada por várias horas sem precisar acionar a resistência elétrica. Existem *boilers* de alta pressão e de baixa pressão. Os de baixa pressão trabalham com até 5mca e os de alta pressão com até 20 mca. Os *boilers* podem ser de nível (colocado no mesmo nível da caixa fria) ou de desnível (abaixo da caixa fria). A escolha vai depender da altura da cumeeira da residência .

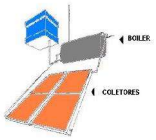


Figura 3: Ligação *Boiler*-Coletores

CIRCULAÇÃO DA ÁGUA

A água sai da caixa d'água fria e vai para o *boiler*, seguindo depois para as placas que estão no telhado da casa. A água é aquecida ao passar pelas placas, a água quente retorna para o *boiler*, ficando armazenada até o seu consumo. A água pode circular pelos coletores através de duas maneiras: natural (termosifão) ou forçada.

Termosifão: a circulação ocorre devido à diferença de densidade entre a água fria e a quente. A água fria, sendo mais pesada, acaba empurrando a água quente que é mais leve, realizando a circulação. Sua vantagem é de não precisar de energia elétrica para a movimentação da água, dispensando qualquer tipo de manutenção. Para haver esse tipo de circulação, é necessário que as placas estejam no mínimo 30 cm mais baixas que a base do *boiler*, como indica a figura 4.

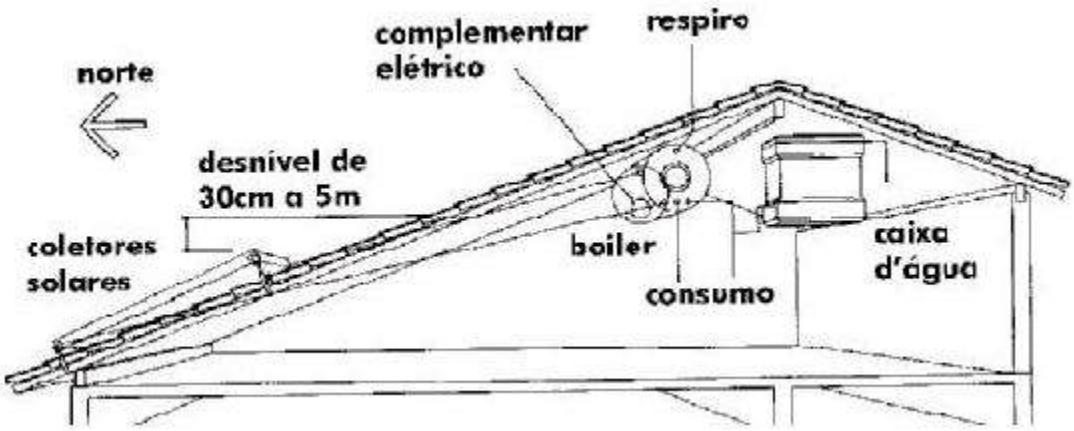


Figura 4: Instalação através do Sistema de Termosifão

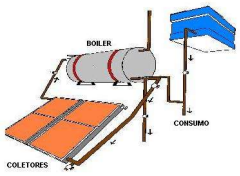


Figura 5: Vista em perspectiva de uma Instalação de Termosifão

A distância máxima entre o boiler e as placas tem que ser de 5m, caso contrário a circulação por termosifão pode não ocorrer.

Forçada: nesse caso a circulação da água não ocorre sozinha e sim por auxílio de uma microbomba instalada no circuito. As desvantagens nesse tipo de instalação é a dependência da eletricidade (110 ou 220 v) e a possibilidade de ocorrerem problemas na microbomba. O *boil*er sempre ficará abaixo dos coletores como indica a figura 6.

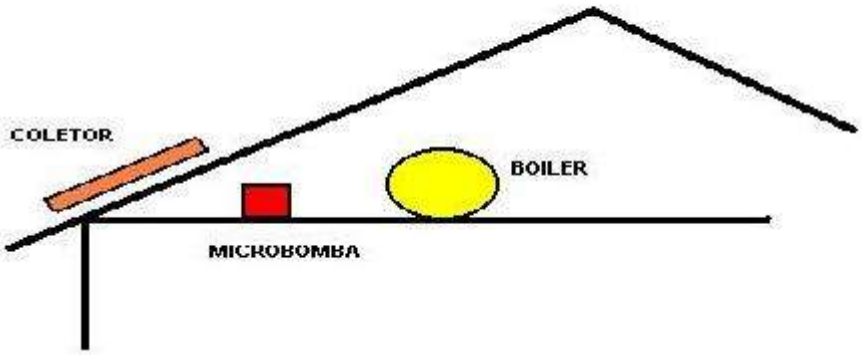


Figura 6: Circulação Forçada

DISPOSIÇÃO DO BOILER

Existem duas maneiras de se posicionar o *boiler* de acordo com a caixa d'água. São elas:

De desnível: nesse modo o *boiler* se encontra abaixo da caixa d'água, situação que acontece quando temos espaço de folga entre a laje e a cumeeira (figura 5).
De nível: nessa situação *o boiler* se encontra no mesmo nível que a caixa d'água, caso em que o espaço entre a laje e a cumeeira é muito baixo (figura 7).

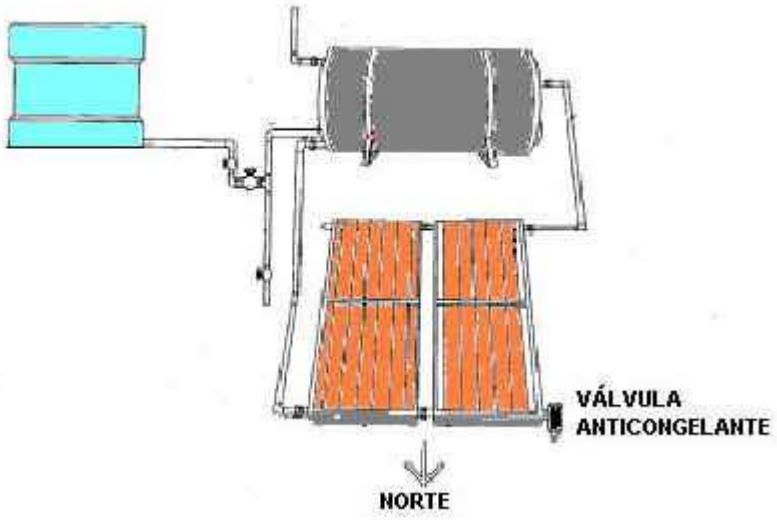


Figura 7: Instalação de um *Boiler* de Nível

COMO DIMENSIONAR UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR

O dimensionamento correto de um sistema de aquecimento solar evita a falta de água quente para o consumo ou também o superdimensionamento que encarece a instalação. Para dimensionar-se um sistema, deve-se levar em conta o volume de água de consumo, como indica a tabela 2.

Componentes	Consumo Diário
Ducha normal	40 litros por pessoa para banho de 10 min.
Lavatório	5 litros por pessoa
Bidê	7 litros por pessoa
Cozinha	20 litros por pessoa
Lavanderia	20 litros por kg de roupa seca
Banheira simples	100 litros por banho
Banheira dupla	200 litros por banho

Tabela 2: Volume de água quente de acordo com o consumo

Os cálculos são considerados para pressão de trabalho de 4 m.c.a entre o topo da caixa d'água e a saída de água quente. É aconselhável uma reserva de 100 litros para atender possíveis excessos ou emergências.

Exemplo: vamos dimensionar um aquecedor solar para uma residência com cinco moradores. A casa terá água quente na cozinha, chuveiros (2 banheiros), lavatório, e uma banheira de hidromassagem simples.

Resolução: preenchendo a tabela abaixo, vamos determinar o volume de água quente necessária:

Componentes	Consumo	Consumo total (litros)
Ducha	40 x 5	200
Lavatório	5 x 5	25
Cozinha	20 x 5	100
Banheira	100 litros 1 vez ao dia	100
Reserva		**100**
Consumo total diário		**525**

ESPECIFICAÇÃO DOS COLETORES

No caso dos coletores, normalmente utiliza-se um para cada 100 litros de água quente. No exemplo anterior, teríamos que utilizar cinco ou seis coletores, caso escolhêssemos um *boiler* de 500 ou 600 litros. No mercado existem vários tipos de construção de coletores, vai depender da opção do comprador querer o que melhor se encaixe a suas exigências.

ESCOLHA DO LOCAL DE INSTALAÇÃO

Para que os coletores tenham um ótimo aproveitamento da luz solar, é recomendado o seu posicionamento ao norte geográfico. Para a sua localização correta é necessária a utilização de uma bússola. O norte geográfico está situado sempre à direita do norte magnético e varia de acordo com o local. Para a cidade de São Paulo, o norte geográfico está a 18º à direita do norte magnético. Em geral, ele se encontra aproximadamente a 20º para o Brasil.

INCLINAÇÃO DOS COLETORES

A inclinação dos coletores requer muito cuidado na hora de serem instalados. Para sabermos a inclinação ideal, utilizaremos a seguinte regra:
Latitude do local + 10º

Cidade	Latitude (grau)	Inclinação (grau)
São Paulo	24	34
Porto Alegre	30	40
Curitiba	25	35
Florianópolis	28	38
Rio de Janeiro	23	33
Campo Grande	20	30
Belo Horizonte	20	30
Salvador	13	23
Fortaleza*	4	14
Brasília	16	16
Manaus*	2	12
Cuiabá	16	26
Natal*	6	16
Recife*	8	18

Tabela 3: Latitudes de algumas Cidades Brasileiras e a Inclinação dos Coletores.

*Quando a inclinação for menor que 20º é recomendada a instalação de um suporte, pois a inclinação mínima é de 20º para garantir o fluxo adequado de água.

CUIDADOS NA INSTALAÇÃO

Fixação dos coletores: os coletores devem ser fixados no telhado através de fios de cobre presos nos caibros pelas uniões.

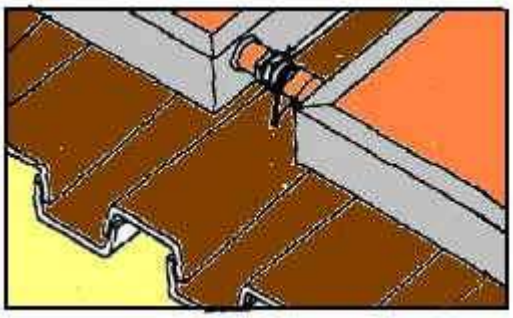


Figura 8: Fixação dos Coletores

Interligação dos coletores: os coletores devem ser interligados com uniões de cobre que serão soldadas umas nas outras.

Figura 9: Interligação dos Coletores

Ligação hidráulica: toda interligação hidráulica do sistema deve ser feita com tubos e conexões de cobre.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

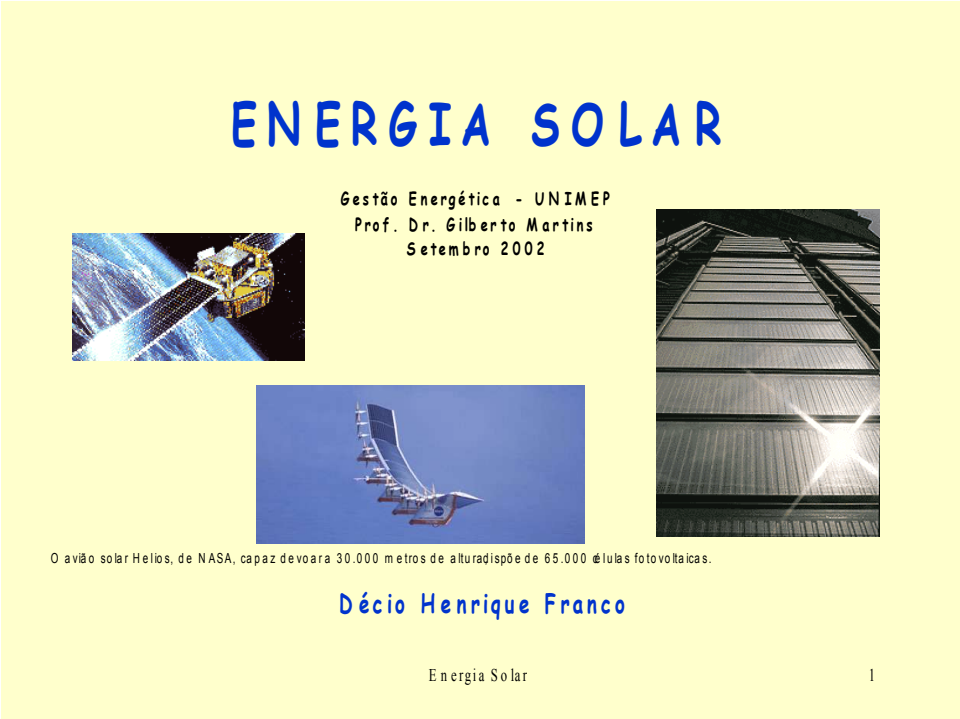
SILVA, R. B. *Ar Condicionado*. Departamento de Livros e Publicações do Grêmio Politécnico. 1969.

SOLETROL. *Aquecedores solares*. 2000.

Para contato com o autor:

panesi@cefetsp.br

http://www.unimep.br/~gmartins/gener02/apresent/enersolar.ppt



http://www.cptec.inpe.br/satelite/metsat/radsol/portal/radiacao_new.htm

América do Sul
- campo NOAA 14 (ITPP5)
- campo NOAA 16 (NCEP)
- campo GOES - 15Z - 21Z

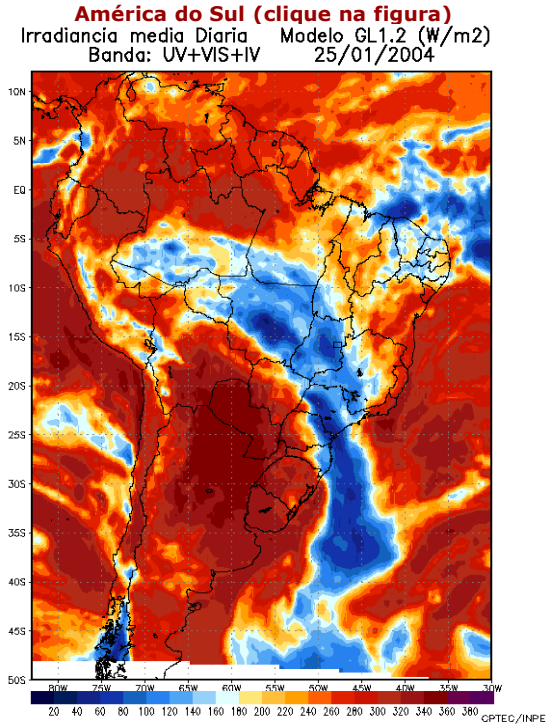
notas
- O modelo GL
- Radiação: Glossário
- a estimativa de ROL

Campos diários global e visível

América do Sul - Sul-Sudeste - Amazônia - Nordeste

Radiação solar e terrestre - GOES

América do Sul (clique na figura)



Irradiância média em watt/m².
(potência média/área durante o dia)
informações, sugestões
satelite@cptec.inpe.br

Médias mensais - América do Sul

	2002		2003		2004	
	méd	dpa	méd	dpa	méd	dpa
jan						
fev						
mar						
abr						
mai						
jun						
jul						
ago						
set						
out						
nov						
dez						

méd = média | dpa = dpadrão

Campos anteriores radiação global

Versões GL1.0, GL1.1

SulSudeste (RJ+SP+PR+SC) 1998 - 2000

Radiação de Onda Longa Emerg (ROL)

http://www.soletrol.com.br

SOLETROL AQUECEDORES SOLARES DE ÁGUA

Lançamentos 2003: Coletores Solares e Aquecedores Solares Compactos

COLETOR SOLAR PARA AQUECIMENTO DE AR SOLAR AIR SOLETROL

É um coletor solar inédito no Brasil e serve para aquecer o ar do ambiente em regiões mais frias ou em épocas mais frias.

COLETOR SOLAR PARA INSTALAÇÃO EM PAREDE SOLAR WALL SOLETROL

É um coletor solar inédito no mercado. Sua instalação ocorre fixada em parede lateral da casa que esteja em face adequada para captação do calor do sol. A vantagem técnica é para telhados muito baixos ou ainda para atender as exigências arquitetônicas.

COLETOR SOLAR COM SUPERFÍCIE SELETIVA SOLAR BLUE SOLETROL

É o mesmo produto da linha que tem acabamento em inox nos tamanhos de 1,03m , 1,45m e 1,6m , porém ele recebe aletas de cobre com um tratamentoque é chamado de superfície seletiva de cor azul importado da Europa.

O resultado é que o produto aquece bem mais, pois este tratamento faz com que ele absorva muito mais o calor do Sol e reflita de volta muito menos. Por isto aquece mais.

INFORMATIVO

ENERGIA SOLAR

Conheça a linha de
Aquecedores Solare
Soletrol

© 1993-2001 Sybase, Inc. a Cisco Unit. Todos os direitos reservados.