

SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DIDÁTICO

JORGE ROBERTO PIMENTEL, EDISON AUGUSTO LUCIANO e
MARTA BUENO DE MORAES

Departamento de Física

UNESP - "Campus" Rio Claro, 13500 Rio Claro, SP

RESUMO

Neste artigo descrevemos a construção de um aquecedor solar didático, desenvolvido de modo a ser facilmente montado, permitindo assim um melhor entendimento de seus princípios de funcionamento.

Sugerimos, ainda, alguns experimentos para verificar, por exemplo, a importância da cobertura transparente e do ângulo de inclinação do coletor, no desempenho do sistema.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta disponibilidade de energia solar bastante grande, devido à sua localização geográfica [1,2]. Esse potencial vem sendo utilizado há alguns anos e vários dispositivos solares têm seu uso difundido [3], entre eles os coletores solares planos, empregados principalmente no aquecimento de água para uso doméstico.

A instalação desses aquecedores nos telhados de residências serve para aguçar a curiosidade dos alunos, quanto à sua estrutura e funcionamento.

Com o intuito de esclarecer estes e outros aspectos, desenvolvemos um sistema de aquecimento solar didático. Ele foi elaborado de modo a permitir que seus constituintes sejam desmontados propiciando um melhor entendimento das funções de cada um deles, possibilitando o exame de particulari

dades e materiais empregados em sua construção.

II. O COLETOR

Um coletor solar plano é um dispositivo que serve para captar a radiação solar, transferindo-a para um fluido que circula em seu interior, possibilitando que se obtenha energia térmica (a temperaturas em geral menores do que 100°C) para utilização imediata ou para armazenamento em reservatórios adiabáticos, visando seu uso posterior.

A figura 1 mostra os componentes principais de um coletor do tipo construído para nosso conjunto didático. Nele usamos tubos de latão para a circulação do fluido, no formato de uma grade, soldada numa chapa de cobre, com a finalidade de prover um bom contato térmico (figura 2). O absorvedor foi pintado com tinta preto-fosco, para melhorar suas características de absorção de radiação, após o que teve sua capacidade volumétrica medida, resultando no valor de 125 cm^3 .

A caixa de proteção foi construída de madeira compensada (8 mm de espessura) com dimensões compatíveis para abrigar os componentes. Em sua parte superior foi feito um canal, que permite a colocação e retirada da cobertura transparente (como uma tampa de estojo), para que se possa examinar os constituintes do coletor.

Na cobertura transparente empregamos vidro liso, com 3 mm de espessura e tanto no fundo quanto nas laterais da caixa utilizamos isopor de 5 mm de espessura, para isolamento térmico.

III. AJUSTE E MEDIDA DO ÂNGULO DE INCLINAÇÃO

Para sustentar a caixa e permitir que o ângulo de inclinação do coletor fosse modificado, instalamos um guia cilíndrico na parte superior da mesma. Uma haste de ferro, que funciona como suporte, desliza dentro desse guia e pode ser travada em qualquer posição, de forma que os ajustes podem ser facilmente efetuados.

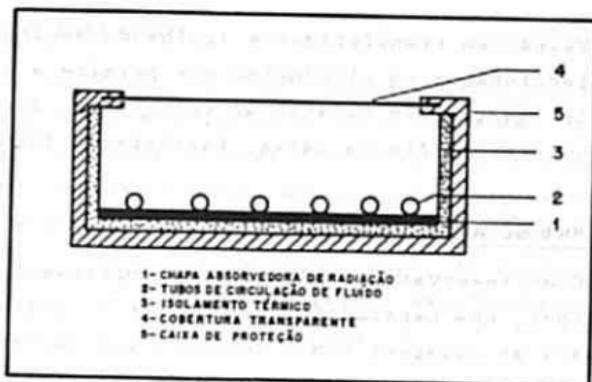
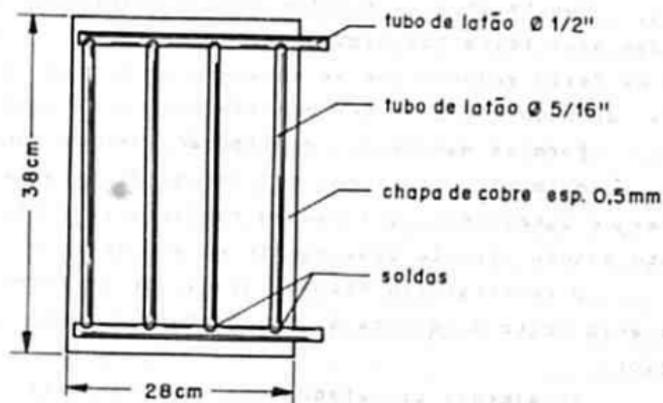
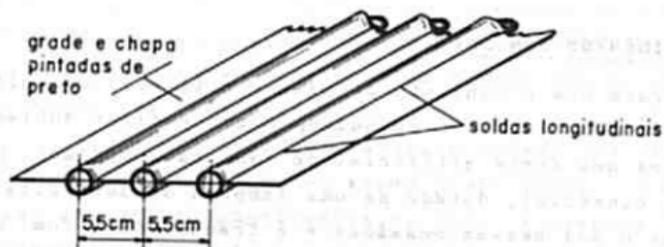


Fig. 1- Corte transversal de um coletor solar plano.



A. Grade de tubos retos .



B. Fixação da grade na chapa .

Fig. 2 - Dimensões e fixação da grade na chapa absorvedora de radiação.

Usando um transferidor e agulha de seringa de injeção, confeccionamos um clinômetro que permite a medida do ângulo de inclinação, em relação ao solo. Esse dispositivo é instalado lateralmente na caixa, facilitando sua leitura.

IV. SISTEMA DE ARMAZENAMENTO

Como reservatório adiabático, empregamos um recipiente de isopor, com capacidade para 2 litros. Instalamos duas saídas para as ligações com o coletor, uma lateral, próxima à borda superior e a outra no fundo do reservatório. Elas foram feitas a partir de flanges de PVC e tubos de latão, de modo a facilitar a ligação entre o coletor e o reservatório.

Construímos um suporte para o reservatório a partir de uma base feita com cantoneira de ferro. Ele é dotado de 3 pés de ferro redondo que se encaixam em buchas soldadas na base, de modo que pode ser montado com facilidade.

Para as mangueiras de ligação, usamos tubos de borracha, normalmente utilizados no sistema de expansão dos radiadores de automóveis, que mantêm resistência e flexibilidade, mesmo quando circula água quente em seu interior.

O reservatório dispõe, ainda, de um termômetro para que seja feita a leitura da temperatura da água em seu interior.

Finalmente projetamos uma maleta, feita de madeira compensada, cujas dimensões permitem o acondicionamento do equipamento, facilitando seu transporte e acomodação.

V. EXPERIMENTOS SEM SOL

Para que o conjunto possa ser utilizado em aulas noturnas, em dias chuvosos ou quando o céu estiver nublado, introduzimos uma fonte artificial de radiação. Optamos por um refletor comercial, dotado de uma lâmpada de 300 watts, que substitue o Sol nessas ocasiões e é transportado com os demais componentes.

VI. MANUAL DE INSTRUÇÃO

Complementando o projeto desenvolvemos um manual de instrução que integra o conjunto. Nele são dadas informações sobre o Sol, coletores solares concentradores e planos, estrutura dos coletores planos, bem como instruções para montagem, desmontagem e acondicionamento dos componentes. Além disso é discutido o mecanismo de aquecimento do fluido no reservatório térmico e são sugeridos vários experimentos que podem ser executados com o equipamento.

VII. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A seguir, discutimos alguns experimentos que foram realizados. A análise foi desenvolvida a partir dos gráficos da variação da temperatura média do reservatório adiabático, em função do tempo.

a) Ação da Cobertura Transparente. Fonte de Radiação: Sol

Usando um mesmo equipamento, fizemos medidas em dois dias consecutivos no final do mês de agosto, tendo o Sol como fonte de radiação. Foram mantidos semelhantes o horário de coleta dos dados, a inclinação do coletor, o volume de água no sistema e a posição do bulbo do termômetro no reservatório térmico. A variação da temperatura no reservatório com e sem a presença da cobertura transparente, está representada na figura 3.

Verificamos um aumento maior da temperatura, para a situação em que temos a presença da cobertura no coletor. Tal resultado evidencia a ação do vidro de duas formas: na retenção de radiação infra-vermelho e na diminuição da transferência de calor por convecção.

Sabe-se que o vidro transmite quase toda radiação situada entre $0,2 \mu\text{m}$ e $2,7 \mu\text{m}$, sendo praticamente opaco para radiação de outros comprimentos de onda. A energia irradiada pela superfície do Sol, situa-se praticamente na faixa para a qual o vidro é transparente. Assim, o vidro transmitirá qua

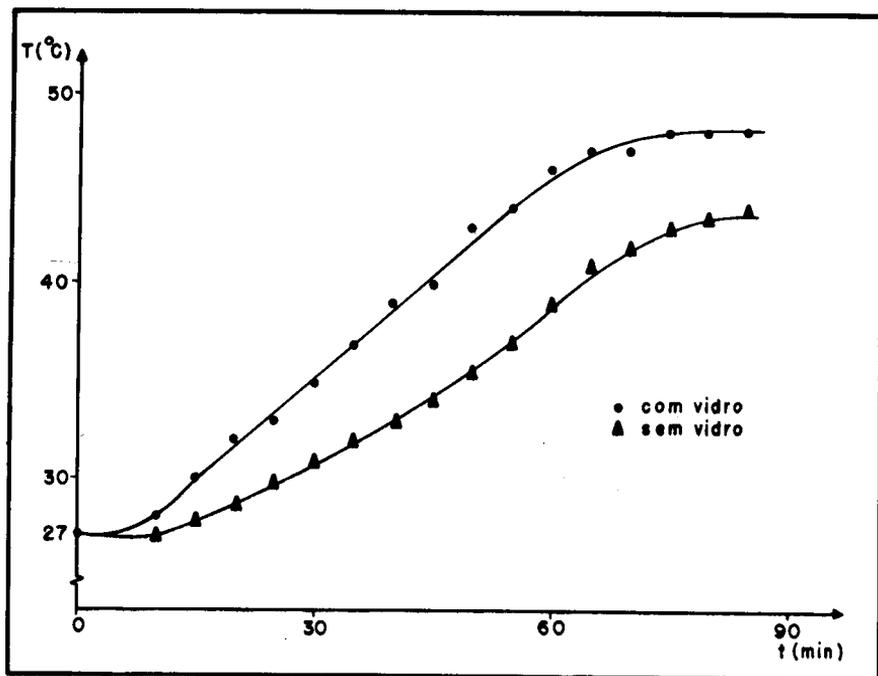


Fig. 3-Cobertura transparente eo efeito da estufa. Fonte de radiação : Sol

se toda a radiação solar incidente (descontando-se as perdas por reflexão e absorção), o que contribuirá para elevar a temperatura do absorvedor. Este quando aquecido, irradia quase toda a energia na faixa do infra-vermelho. Essa energia fica retida no interior do coletor uma vez que a cobertura de vidro é opaca para essa radiação. Esse fenômeno (efeito estufa) gera um aumento da temperatura interna do coletor, e, conseqüentemente, da temperatura do absorvedor.

Por sua vez, o aumento da temperatura do absorvedor gera uma maior quantidade de calor transferido por convecção para o ar circundante. A presença da cobertura transparente, estabelece agora uma barreira física que interpõe-se ao deslocamento ascendente das moléculas aquecidas de ar, de modo que elas ficam confinadas no interior da caixa do coletor.

Dessa forma, a ação desses mecanismos provoca uma elevação na taxa de transferência de calor entre o absorvedor e a água presente no interior dos tubos. Com isso a temperatura do reservatório térmico aumenta, conforme constatado.

b) Ação da Cobertura Transparente. Fonte de Radiação: Lâmpada Incandescente

O mesmo experimento anterior foi feito, agora usando uma lâmpada de 300 watts como fonte de radiação, ao invés do Sol. As medidas foram feitas no interior do laboratório, num mesmo equipamento, em dias consecutivos com e sem a cobertura transparente no coletor.

O resultado (figura 4) mostrou que a ausência da cobertura facilita a elevação da temperatura no reservatório térmico. Sua interpretação requer a análise das perdas introduzidas pela cobertura transparente, quando empregamos uma fonte artificial de radiação.

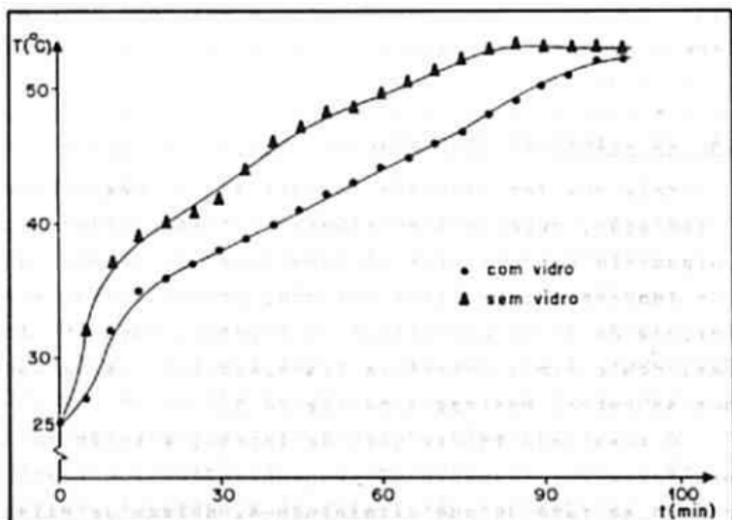


Fig. 4 - Influência da cobertura transparente como barreira de radiação infravermelha. Fonte de radiação: Lâmpada incandescente.

Da radiação proveniente da lâmpada, uma parcela é absorvida pela cobertura transparente, provocando um aumento em sua temperatura e a outra é refletida. A porcentagem da energia incidente que é refletida, depende do ângulo de incidência da radiação, sendo minimizada quando esse ângulo for de 0° . Em nosso experimento a fonte artificial estava colocada bem próxima do coletor, em posição tal, que o ângulo de incidência era certamente maior do que 0° .

Por outro lado, a distribuição espectral da energia irradiada pelo filamento da lâmpada, devido a sua temperatura superficial, revela que boa parcela dessa energia situa-se na região do infra-vermelho (condição diferente do Sol, por exemplo, cuja maior parcela situa-se na faixa visível do espectro). O envoltório da lâmpada e a cobertura transparente do coletor apresentam transmissividade muito baixa para o infra-vermelho médio e distante, de modo que muito pouco da radiação dessa faixa, atravessa a cobertura transparente.

Desse modo, a combinação desses fatores, diminui a quantidade de energia transmitida pela cobertura transparente, quando se emprega a lâmpada incandescente como fonte de radiação. Portanto, como verificado, a ausência da cobertura favorece o aumento da temperatura da água no reservatório térmico.

c) Ação da Cobertura Transparente. Convecção Forçada

Mais uma vez usando a lâmpada de 300 watts como fonte de radiação, repetimos em laboratório as medidas num mesmo equipamento em dois dias consecutivos. Empregando um ventilador funcionando em baixa rotação, provocamos a circulação forçada de ar na superfície do coletor, para as duas situações, com e sem a cobertura transparente. Com os dados obtivemos as curvas mostradas na figura 5.

O resultado infere que, de início, a ausência da cobertura favorece o aumento da temperatura no reservatório. Isso deve-se ao fato de que eliminando-a, deixam de existir as perdas ópticas já discutidas quando da análise do resultado apresentado na figura 3.

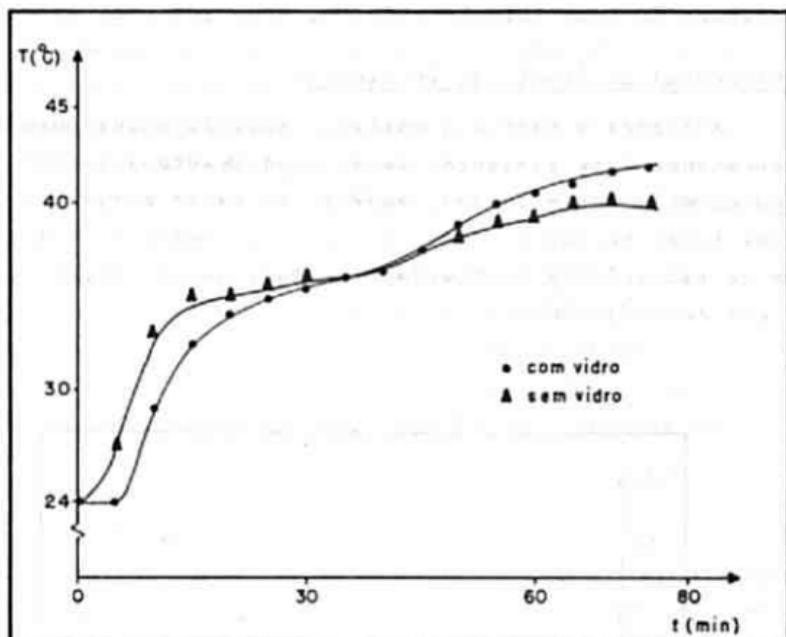


Fig. 5- Influência da cobertura transparente nas perdas convectivas do coletor. Fonte de radiação: Lâmpada incandescente.

Transcorrido algum tempo, ocorre uma mudança nessa tendência, com a presença da cobertura transparente melhorando o rendimento do sistema. Aí temos uma manifestação da diminuição do calor, transferido por convecção, do interior da caixa do coletor para o meio ambiente. Sem a cobertura transparente o fluxo de ar sobre a superfície do absorvedor faz aumentar o gradiente de temperatura existente entre este e o meio circundante, aumentando a taxa de transferência de calor entre eles. Assim a energia transferida do absorvedor para o líquido existente no interior dos tubos diminui, reduzindo a temperatura no reservatório térmico.

Nessa situação de convecção forçada, as perdas ópticas, devidas à presença do vidro, são suplantadas pela vantagem que a mesma introduz, diminuindo a taxa de transferência de calor convectiva para o meio externo. O efeito é uma maior

temperatura no reservatório térmico, como foi constatado.

d) Influência do Ângulo de Inclinação

A figura 6 mostra a variação térmica quando usamos si multaneamente dois conjuntos (esse experimento pode ser realizado em dias consecutivos, empregando um só conjunto). As medidas foram feitas no final de agosto, usando o Sol como fonte de radiação. A declividade do Sol, medida usando um gnô mon, era cerca de 30° .

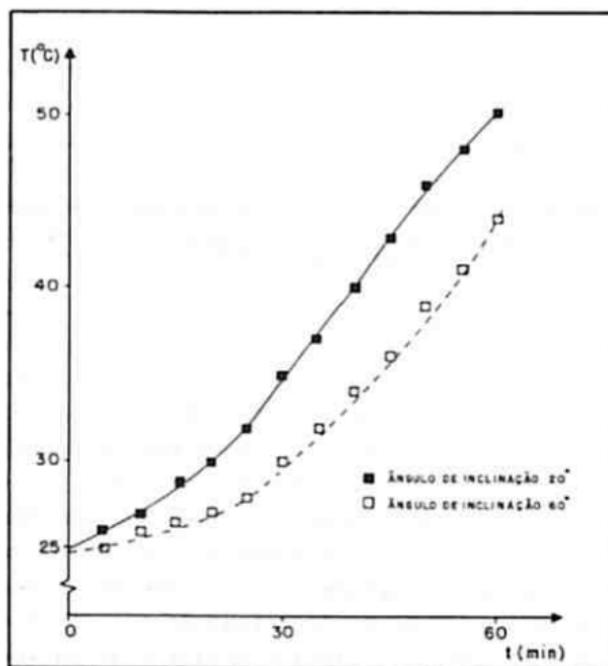


Fig. 6 - Influência do ângulo de inclinação do coletor em seu desempenho. Fonte de radiação: Sol.

O resultado mostra que o coletor inclinado de 20° em relação ao solo apresentou melhor desempenho do que aquele

inclinado de 60° .

Nesse teste, a principal variável é a refletividade da cobertura transparente. Seu valor é função do ângulo de incidência da radiação, conforme já registramos anteriormente. Assim, quanto mais afastada da situação de incidência normal estiver a radiação, maiores serão as perdas devido à reflexão.

Para a inclinação de 20° , os raios solares incidem mais perpendicularmente à superfície do coletor, do que para a inclinação de 60° . Com isso, a energia transmitida através da cobertura transparente é menor para a inclinação de 60° , o que resulta, como o obtido, em valores menores para a temperatura do reservatório térmico.

VIII. CONCLUSÃO

Os equipamentos desenvolvidos têm sido utilizados tanto por estudantes de 2^o grau quanto por universitários, mostrando-se adequados em ambos os casos, bastando selecionar os experimentos e dar o enfoque apropriado.

Nas ocasiões em que os conjuntos têm sido empregados, é nítido o interesse com que os alunos examinam e discutem os elementos constituintes do sistema. Durante a discussão dos experimentos surgem perguntas sobre a potencialidade e o aproveitamento da Energia Solar, bem como sobre o desenvolvimento e aplicações de dispositivos solares diversos, de maneira que o equipamento tem se mostrado adequado também para despertar o interesse por fontes alternativas de energia.

A fotografia a seguir mostra o equipamento desenvolvido.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BRASIL. MIC/STI. Manual de Energia Solar. Brasília, 1978, 53 p.
- [2] LUIZ, A.M. e SANTOS, J.C. Disponibilidade de energia solar no Brasil. Anais Acad. Bras. Cienc., 44(1):1-7, 1972.
- [3] TORRES, C.C. Perspectivas de utilização da Energia Solar. Revista Telebrás, 2:3-12, 1978.

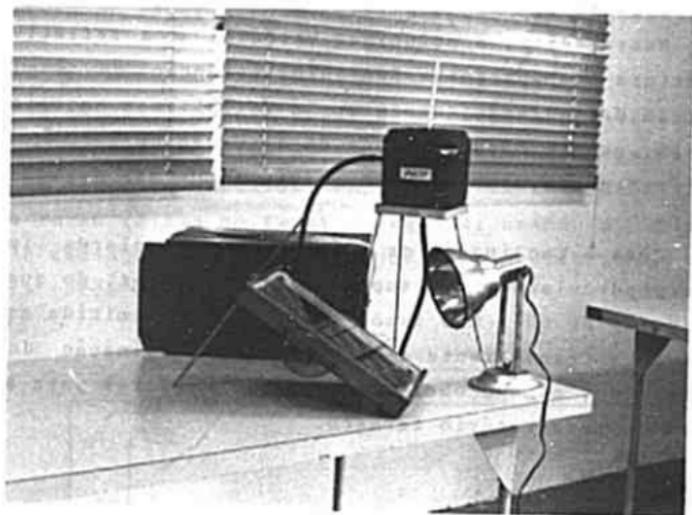


Figura 7 - Fotografia do equipamento