

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO ENTRE UM AQUECEDOR SOLAR DE BAIXO CUSTO (ASBC) E SEU SIMILAR CONVENCIONAL

¹Ana Cláudia F. Mendes, ²Luiz Gustavo Martins Vieira

¹Orientanda de Iniciação Científica PIBIC/FAPEMIG/UFU, discente do curso de Engenharia Química

²Professor da Faculdade de Engenharia Química da UFU/MG

^{1,2} Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia. Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K, Campus Santa Mônica, Uberlândia - MG, CEP 38408-100).

e-mail: anaclaudia_88@equi.ufu.br

RESUMO - Sabe-se que o Sol é uma fonte de energia renovável. Transmitida por radiação, a energia solar se caracteriza por não poluir o meio ambiente, pois não libera gases tóxicos durante a sua coleta. Uma forma comum de aproveitamento desse potencial energético se dá através do uso de energia térmica para aquecimento de água em chuveiros, sendo comum o uso de aquecedor solar com coletores metálicos (aquecedores convencionais). Um aquecedor solar é composto basicamente pela placa coletora e um reservatório (*boiler*) e em dias ensolarados, com condições favoráveis pode facilmente promover o aquecimento da água para o consumo doméstico ou comercial a temperaturas superiores a 50°C. Nos últimos anos, a ONG Sociedade do Sol tem proposto a utilização de um aquecedor solar alternativo, intitulado **Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC)**. O ASBC tem o coletor solar confeccionado a partir de materiais não metálicos (poliméricos), cujo desempenho é similar ao aquecedor convencional. Apesar da eficiência de aquecimento do ASBC ser geralmente menor quando comparada à de um sistema convencional, é também possível obter temperaturas do fluido em níveis que garantem um banho confortável aos seus usuários. Diante disto, o objetivo desse trabalho foi comparar o desempenho de um ASBC (coletor de PVC) nas mesmas condições operacionais de um aquecedor convencional (coletor de Cobre). Para tanto, medidas experimentais foram realizadas nas duas modalidades de aquecedores, ambos sujeitos ao escoamento do tipo termossifão, em que foram analisadas a eficiência, a distribuição de temperaturas e o tempo de resposta para se alcançar as melhores condições de consumo. De acordo com o estudo realizado, foi possível verificar que o ASBC possui potencialidade de utilização, posto que nas mesmas condições operacionais do aquecedor convencional, apresentou praticamente os mesmos valores de temperatura e eficiência de aquecimento. Foi possível concluir ainda que o ASBC é tecnicamente viável para o aquecimento doméstico de água. Já sob o enfoque econômico, este equipamento apresenta menores custos de construção e instalação quando comparado ao similar convencional.

Palavras-chave: termossifão, energia solar, ASBC.

INTRODUÇÃO

A energia solar é capaz de satisfazer a demanda energética quando se fala em aquecimento de água e fornecimento de calor para processos químicos industriais, além da possibilidade de ser convertida em energia elétrica através de processos fotovoltaicos. (Jurado, 2008).

O Brasil, por ser um país tropical, possui condições climáticas e atmosféricas favoráveis para

difundir a tecnologia termossolar. Segundo o Atlas Brasileiro de Energia Solar publicado pelo INPE, praticamente todas as regiões brasileiras recebem mais de 2200 horas de insolação, o que equivale a uma captação energética de 15 trilhões de MWh correspondente a 50 mil vezes o consumo nacional de eletricidade no ano. A Figura 1 mostra a média anual de insolação diária no país.

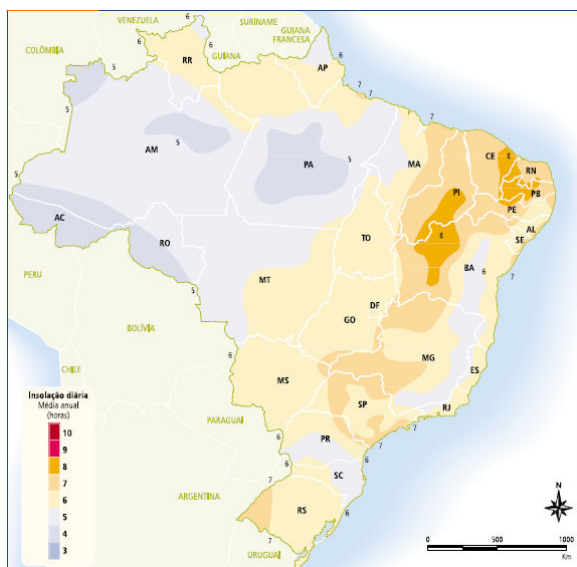


Figura 1: Média anual de insolação diária no Brasil (horas)

Fonte: ATLAS Solarimétrico do Brasil. Recife : Editora Universitária da UFPE, 2000. (adaptado).

Visando o aproveitamento desse potencial energético, inicia-se na década de 70 no Brasil, a comercialização dos aquecedores solares convencionais, confeccionados a partir de materiais metálicos, que são bons condutores de calor. Atualmente utiliza-se o mesmo em clubes, hotéis, hospitais, creches e residências.

O uso do coletor solar para aquecimento de fluido em edificações mostra-se viável por ser uma tecnologia de aproveitamento energético sustentável. Os benefícios atingidos podem ser visualizados nos âmbitos econômico, social e ambiental. Além de reduzir o valor na despesa doméstica das famílias brasileiras, utilizar o aquecedor solar representa uma alternativa não danosa ao meio ambiente, pois o seu uso não emite gases tóxicos para a atmosfera, além de não deixar resíduo radioativo.

Objetivando popularizar os sistemas de aquecimento solar, foi mobilizada em 1999 no CIETEC (Centro Incubador de Empresas Tecnológicas/USP/IPEN), uma equipe multidisciplinar para elaborar um conjunto de aquecedores solares econômicos o suficiente para se usufruído pelas famílias brasileiras de baixa renda. Estes equipamentos foram denominados **Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC)** e se caracterizam por serem 10% do valor de um aquecedor solar tradicional de mesma capacidade. Por fim, vale mencionar que a socialização dos ASBC atualmente está sob a responsabilidade da ONG Sociedade do Sol e demais parceiros que acreditam nas potencialidades desse aquecedor solar.

Aquecedores Solares

Um sistema de aquecedor solar possui dois componentes básicos: a placa coletora e o

reservatório térmico (*boiler*). Alguns equipamentos incorporam a esse sistema, uma fonte elétrica auxiliar de energia, que poderá ser acionada em dias chuvosos, ou em períodos em que a conservação da água quente não for efetiva.

A operação do aquecimento da água em circulação natural é chamada termossifão e utiliza como princípio o processo de convecção provocado entre a diferença de densidade da água aquecida e em temperatura ambiente.

A água de alimentação (fria) entra no boiler, escoo pelas placas coletoras, onde será aquecida e em seguida retorna para o reservatório térmico. Por ser menos densa, a água quente ficará na seção superior do boiler até seu consumo. Sendo assim, a água fria que está na seção inferior, desce para as placas coletoras retomando o ciclo conforme ilustrado na Figura 2.

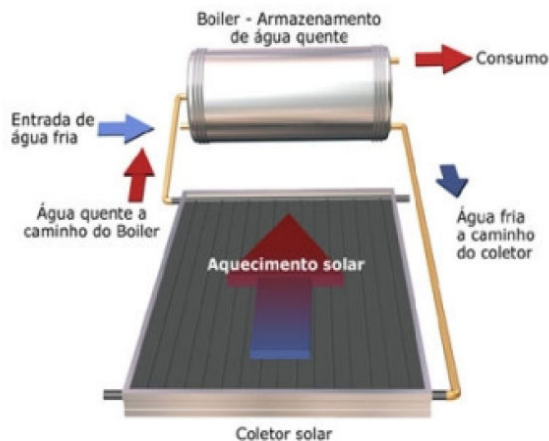


Figura 2 - Sistema de aquecimento de água

MATERIAIS E MÉTODOS

Para criar condições de comparação de desempenho entre um ASBC (PVC) e um aquecedor convencional, montaram-se os sistemas nas mesmas condições geométricas sob a modalidade de circulação (termossifão) na Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQ/UFU).

Cada coletor foi montado numa inclinação de 28° com relação à horizontal, sendo 18° relativo à latitude da cidade de Uberlândia (MG) e os outros 10° para compensar as variações do eixo da Terra ao longo do ano em relação ao Equador. As placas coletoras foram direcionadas para o norte geográfico, visando maior absorção da luz solar ao longo do dia. A unidade experimental foi composta por 2 ASBC (com placas coletoras de PVC e outro de Polipropileno - PP) e 1 sistema de aquecimento convencional (com placa coletora de Cobre) conforme ilustrado na Figura 3. Apesar das figuras a seguir também apresentarem o ASBC de polipropileno, este

trabalho apenas apresentará os resultados relativos ao ASBC de PVC. (Siqueira. 2009)

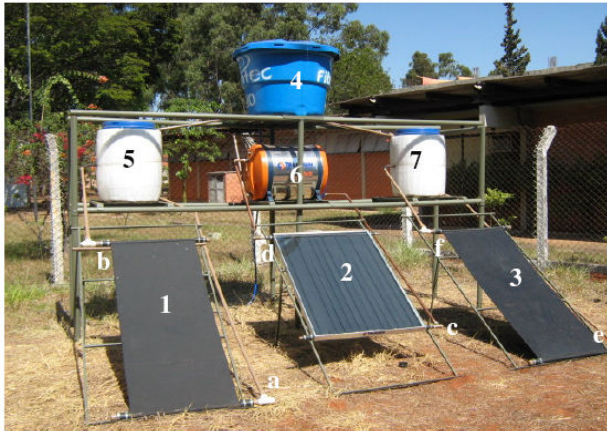


Figura 3: Unidade experimental localizada na FEQ/UFU: 1) Coletor solar de PVC. 2) Coletor solar convencional. 3) Coletor solar de PP. 4) Caixa d'água; 5) Reservatório de água quente do coletor de PVC. 6) Reservatório Convencional. 7) Reservatório de água quente do coletor de PP.

No sistema ASBC as superfícies absorvedoras e os tubos plásticos de PVC foram pintados com esmalte sintético preto e fosco, mas não possuem cobertura de vidro. Os reservatórios alternativos foram confeccionados utilizando um tambor de polietileno, isolados na lateral e parte superior com isopor e recobertos por uma lâmina de papel Kraft. Como pode ser visto na Figura 4, o boiler ASBC é composto por uma torneira bóia (que controla a entrada de água fria), por um tubo vertical (que leva a água fria para o fundo do reservatório, evitando turbulência), e o pescador, que retira água quente para consumo, comportando 90 L de água.

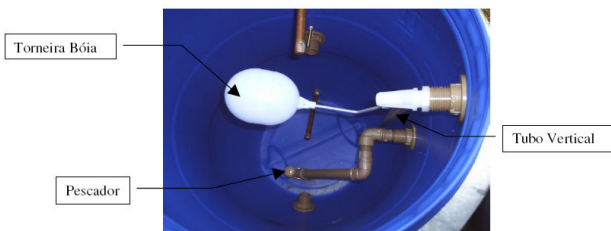


Figura 4: Vista do interior de um reservatório alternativo.

No sistema de aquecimento tradicional, as placas coletoras são confeccionadas usando serpentinas de cobre, chapas de alumínio que envolvem a grade de cobre e auxiliam no aquecimento do coletor; cobertura de vidro, que irá promover o efeito estufa no interior do coletor; uma caixa retangular; além de um isolamento térmico que irá reduzir perdas de calor por condução na lateral e no fundo. O reservatório térmico convencional utilizado é formado por aço inoxidável (acabamento

em alumínio) e isolado termicamente por poliuretano expandido rígido.

Foi instalado, junto aos aquecedores solares, um sistema de monitoramento e aquisição de dados, para se obter precisamente as temperaturas atingidas na entrada e saída das placas absorvedoras e nas três secções no interior do reservatório térmico. Utilizaram-se 15 termopares tipo-T para a realização da aquisição de dados. A disposição desses termômetros está indicada na Figura 5.

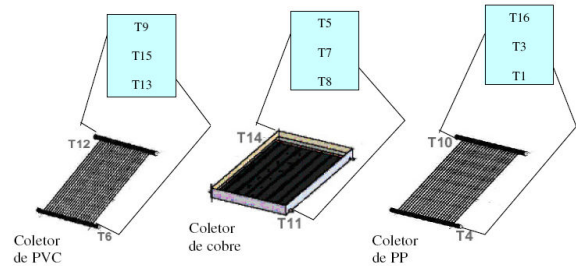


Figura 5: Disposição dos 15 termopares.

As medidas de temperatura dentro dos reservatórios foram feitas em três pontos: a 5 cm do fundo, a 29 cm do fundo e a 49 cm do fundo.

Para a obtenção do fluxo de radiação solar incidente na superfície utilizou-se como instrumento de medição o piranômetro. Este equipamento permite a leitura de dados de radiação solar total numa superfície horizontal. Ele estava localizado no campus Santa Mônica da UFU, junto ao anemômetro (medidas de velocidade dos ventos). Os dados são monitorados pelo Instituto de Geografia da UFU e também são divulgados na internet pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

Foram realizados 4 ensaios no último trimestre de 2008, sendo que os mesmos foram feitos em dias ensolarados, com poucas nuvens. A medição das temperaturas em cada aquecedor foi feita entre 9h e 16h.

Ter acesso a estas informações é importante para efetuar o cálculo da eficiência térmica alcançada pelos reservatórios e do desempenho térmico atingido pelos coletores.

Geralmente os tanques possuem estratificações em seu interior, apresentando três secções com temperaturas diferentes, sendo o topo mais quente que fundo. Sendo assim, o balanço energético é realizado em cada estratificação, nas posições intermediária, fundo e topo do boiler. Com a temperatura obtida em cada secção foi possível calcular a energia armazenada no reservatório ao longo do dia pela Eq. (1):

$$Q_s = mc_p \Delta T_s \quad (1)$$

As perdas térmicas podem ser estimadas através do coeficiente global de perdas U_R , denotado pela Equação 2.

$$U_R = \frac{Q_P}{A_R (T_{RM} - T_a)} \quad (2)$$

$$A_R = 2\pi r h \quad (3)$$

Cabe ressaltar ainda que, para calcular a eficiência nos coletores, foram adotados os seguintes procedimentos de acordo com NBR 10184:

1. Durante a realização dos ensaios o ângulo de incidência sobre a área de abertura do coletor solar deve ser inferior a 30°;
2. O fluxo de radiação solar total sobre a área de abertura tem que ser superior a 600 W/m^2 ;
3. A velocidade do vento durante o ensaio deve manter-se inferior a 4,5 m/s;
4. A vazão do fluido deve ser inferior ao valor de 1 L/min para cada m^2 de área do absorvedor;
5. O coletor solar deve ser ensaiado para várias condições de temperatura do fluido na seção de entrada do coletor solar desde a temperatura ambiente até a máxima temperatura admissível para o coletor em ensaio, ou até eficiência zero;
6. No mínimo quatro condições diferentes para a temperatura do fluido na seção de entrada do coletor solar devem ser selecionadas sobre a faixa de operação do coletor. Um destes valores deve ser igual ou diferir no máximo em 2°C da temperatura ambiente;
7. Os ensaios devem ser conduzidos antes e após o meio dia solar (ângulo horário igual a zero) e, se possível, de maneira simétrica.

Dados como a radiação solar incidente na superfície do coletor e o calor absorvido pelo coletor são importantes para determinar a eficiência atingida nas placas.

RESULTADOS

Sabe-se que num sistema termossifão, quanto maior for a radiação solar incidente nas placas, maior será a temperatura da água aquecida e por consequência mais elevada será a sua vazão no sistema de aquecimento.

Foram realizados 4 ensaios no último trimestre de 2008, tendo destaque o ensaio dos dias 02, 03 e 04 de dezembro, período com maior incidência de radiação solar perante os outros experimentos. Estes valores podem ser visualizados na Figura 6.

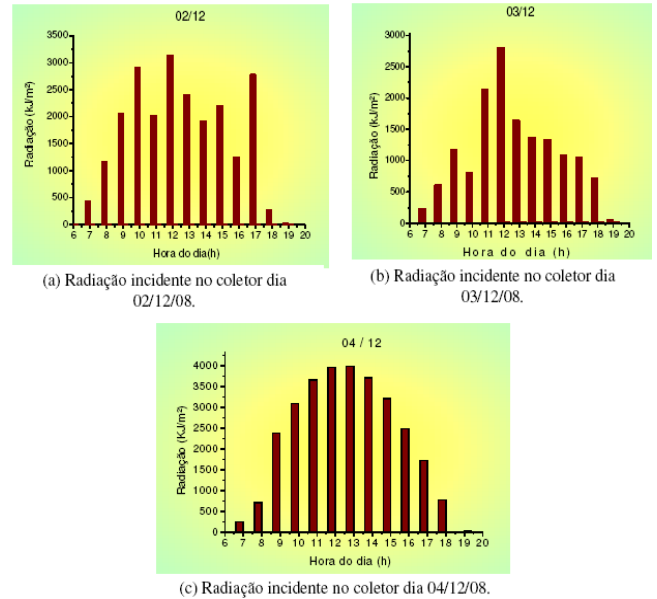


Figura 6: Radiação incidente em Uberlândia entre os dias 02 e 04 de Dezembro de 2008 – Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

No monitoramento realizado neste período, os três reservatórios atingiram os valores mais altos de temperatura, dentre os registrados nos outros ensaios.

No dia 02/12/08, o reservatório de PVC levou aproximadamente 7h para elevar a temperatura média da água de 23,28°C para 41,88°C, e no dia 04/12/08 alcançou uma temperatura máxima média de 46,64°C às 16:00h, como pode ser observado na Figura 7.

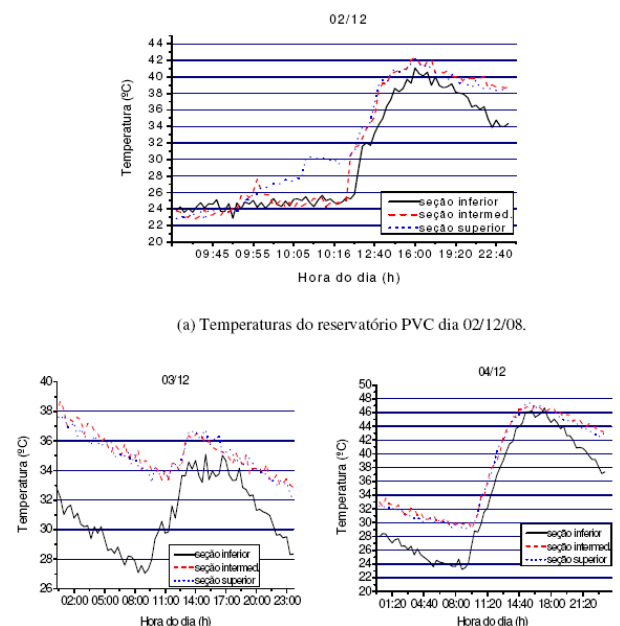
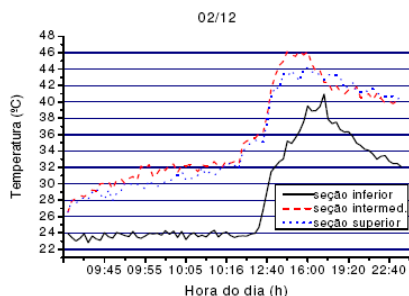


Figura 7: Temperatura do reservatório PVC nos dias 02,03 e 04 de Dezembro de 2008.

O reservatório Convencional no dia 02/12/08 levou aproximadamente 7h para elevar a temperatura média da água de 25,39 °C para 43,25 °C e no dia 04/12/08 alcançou uma temperatura máxima média de 51,17°C às 16:00h, como pode ser visto na Figura 8.



(a) Temperaturas do reservatório Convencional dia 02/12/08.

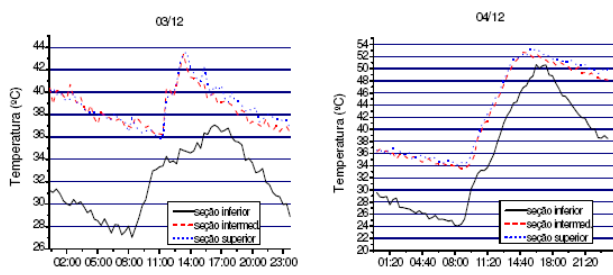


Figura 8: temperaturas do boiler convencional nos dias 02,03 e 05/12/08.

Analisando as figuras 7 e 8, vê-se que disposição das temperaturas no interior dos reservatórios teve um comportamento proporcional a quantidade de radiação registrada no mesmo período. Outra observação a ser feita é sobre a presença da estratificação; existiram três níveis de temperatura registrados, mas que no presente as seções intermediária e superior praticamente apresentaram os mesmos níveis de temperatura.

Com os resultados adquiridos pelos sistemas de aquecimento neste ensaio, pode-se elaborar a Tabela 1, onde estão explícitas as eficiências atingidas em cada reservatório térmico. Eficiência esta, relacionada à qualidade da estratificação provocada no boiler, à temperatura máxima alcançada no mesmo, além do tempo necessário para atingir e manter o fluido aquecido.

Tabela 1: eficiência atingida pelos reservatórios térmicos em escoamento termossifão no dia 02/12/08:

Reservatório	$T_{inicial}$ [°C]	T_{final} [°C]	$Q_{acumulada}$ [kJ]	A_c [m ²]	ΣI [kJ/m ²]	ΣI_T [kJ/m ²]	η [%]	η_r [%]
PVC	23,2	41,8	6988	1	16670	14719	41,9	47,4
Convencional	25,3	43,2	7457	1	16670	14719	44,7	50,6

Para complementar o cálculo da eficiência atingida nos reservatórios térmicos calculou-se também o Coeficiente Global de Troca Térmica (U_R) atingido nos reservatórios convencional e alternativo. Com esses valores é possível saber a quantidade de calor que cada boiler perdia para o meio ambiente. (Siqueira, 2009).

Foi feita uma aquisição de dados entre a noite do dia 02/12/08 e a madrugada do dia 03/12/08, para calcular a energia dissipada para o ambiente nesse período. A partir desses resultados encontrou-se o fluxo de calor para o ambiente e, conseqüentemente, o coeficiente global de troca térmica do reservatório.

A coleta de dados ocorreu neste período, pois se tratava do tempo em que não havia radiação solar nas placas coletoras. Para o reservatório alternativo (ASBC) o valor encontrado foi de 3,468 W/m²°C, enquanto que para o aquecedor solar convencional o valor foi 2,456 W/m²°C.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no ensaio citado acima demonstram que no sistema termossifão, circulação natural, o aquecedor solar de baixo custo (coletor de PVC) apresentou valores de eficiência do boiler e temperatura final próximo ao resultado atingido pelo sistema tradicional. Os coeficientes globais de troca térmica atingidos pelos aquecedores foram parecidos e dentro de valores admitidos satisfatoriamente na literatura. Isso significa que as perdas térmicas no sistema alternativo também são baixas. Sendo assim, pode-se efetuar a socialização do ASBC com coletor de PVC entre as famílias de baixa renda, visto que os aquecedores de baixo custo apresentam desempenho similar à tecnologia termossolar convencional. É importante ressaltar, que as placas coletoras do ASBC possuem uma vida útil menor quando comparada com seu similar convencional (de cobre). A placa coletora de PVC é mais sensível aos efeitos da radiação solar incidente, se degradando mais rápido.

NOMENCLATURA

- Ar – área do boiler (m²)
- Cp – calor específico (kJ/kg °C)
- h – altura do cilindro do boiler (m)
- I - irradiação horária (kJ.m⁻²)
- m – massa (kg)
- η - eficiência térmica
- Qp – taxa de transferência de calor (kJ)
- Qs – energia armazenada no reservatório (kJ)
- r – raio do cilindro do boiler (m)

T_a - temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{m--} - temperatura média no reservatório
($^{\circ}\text{C}$)
 ΔT_s - variação da temperatura dentro do
reservatório ($^{\circ}\text{C}$)
 U_r - perda térmica ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10184: "Coletores solares planos para líquidos" Determinação do rendimento térmico, 1983. 25p.
- ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento – www.portalabrava.com.br
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, "Atlas de Energia Elétrica do Brasil" – www.aneel.gov.br
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia – www.inmet.gov.br
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia. Normalização e Qualidade Industrial. Programa Brasileiro de Etiquetagem – Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água – Coletores Solares para banho. Edição de Maio de 2008.
- JURADO, D. A. J. Modelagem dinâmica de um sistema solar termo-sifão usando coletores atmosféricos de plástico. Dissertação de Mestrado, Uberlândia, FEMEC-UFU, 2004, 102p.
- Laboratório de Energia Solar/ UFRGS – www.solar.ufrgs.br
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. ELETROBRÁS. Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Brasília, 1985. Disponível em: www.eletobras.gov.br/procel.
- SIQUEIRA, D.A. Estudo de desempenho do aquecedor solar de baixo custo. Dissertação de Mestrado, Uberlândia, FEQUI-UFU, 2009, 143p.