



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **SISTEMA DE APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR PARA AQUECIMENTO DE ÁGUA**

**Marcelo Noboro Ralim Miyazaki, marcelonouha@gmail.com<sup>1</sup>**

**André Luiz Souza Santana, andresantana.mec@gmail.com<sup>1</sup>**

**Leonardo Maia Nogueira, leo.nog88@gmail.com<sup>1</sup>**

**Douglas Bressan Riffel, dougbr@ufs.br<sup>1</sup>**

**Paulo Mário Machado Araujo, paubamma@yahoo.com<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia Mecânica, Av. Marechal Rondon S/N, Bairro Rosa Elze, Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos, CEP: 49100-000, São Cristóvão-SE.

**Resumo:** *O presente trabalho visa analisar o uso de um novo material em aquecedores solares de água para atender as características específicas da demanda de água quente residencial do nordeste brasileiro, considerando as condições específicas do clima e radiação solar da região. Os coletores solares foram testados seguindo as normas de instalação e de processamento dos dados NBR 12269 (1992) e NBR 10184 (1988), respectivamente. Como material foi utilizada a fibra de vidro, material inovador na confecção de aquecedores solares, devido ao seu baixo custo e suas propriedades físicas que conferem ao protótipo boa resistência aos esforços mecânicos e à corrosão em geral. Os testes demonstraram uma eficiência térmica entre 40% e 55%, dentro de toda a faixa de operação do coletor.*

**Palavras-chave:** *Aquecedor de água energia solar; rendimento térmico; novos materiais.*

### **1. INTRODUÇÃO**

Diferentes sistemas de aquecimento de água através do uso da energia solar têm sido desenvolvidos nas últimas décadas. Empresas, ONGs e universidades como a Universidade Federal de Campina Grande, a do Rio Grande do Sul e a de Santa Catarina em seus respectivos Laboratórios de Energia Solar, a Universidade de São Paulo com a equipe Sociedade do Sol, têm efetuado diversas frentes de pesquisas para elaboração de novos protótipos de aquecedores solares de água.

O Brasil por ser um país tropical possui alta incidência de radiação solar. Isso o transforma em um país com grande potencial na utilização dessa energia. De acordo com Colle et al (1998 apud ABREU, 2000), a média anual da energia solar incidente é de  $7,3 \cdot 10^9$  J/m<sup>2</sup> que representa  $4,9 \cdot 10^4$  vezes o consumo de energia elétrica do país, ou seja, aproximadamente  $1,5 \cdot 10^5$  J/m<sup>2</sup> (MME, 2006).

A radiação solar tem sido aproveitada para vários fins como a geração de energia elétrica, o aquecimento/refrigeração de ambientes, a desinfecção de água, a dessalinização, etc. Para o aquecimento de água a partir dessa energia existem vários tipos de equipamentos, desde os mais sofisticados com estruturas de alumínio e placas de vidro, até os mais simples com estruturas em PVC ou PET. Aquecedores solares mais simples podem ser empregados em aplicações a temperaturas próximas a ambiente, especialmente em regiões onde a intensidade de radiação solar é alta, como acontece na região nordeste do Brasil. Grande parte deles funciona a partir do fenômeno natural conhecido como termossifão, onde a água aquecida nos coletores tende a subir naturalmente no sistema fechado até o reservatório térmico (boiler), devido a diferença de densidade do fluido mediante a exposição de calor. Este artigo foi idealizado para um regime de circulação forçada e tem como objetivo apresentar um protótipo de aquecedor solar de baixo custo com um material ainda não utilizado na literatura especializada. Altas resistências a tração na ruptura e cisalhamento interlaminar são inerentes a fibra de vidro como mostra o estudo de Franco et al (2006). Esse material ainda apresenta alta resistência à corrosão, ao impacto e a flexão, além de ser um isolante elétrico/ térmico e possuir baixa densidade. Com essas características o material em estudo torna-se um material apto e inovador para aplicação em aquecedores solares de água.

Este trabalho propõe efetuar uma análise da eficiência de operação de um aquecedor solar de água, confeccionado com fibra de vidro, seguindo as normas de instalação e de processamento dos dados coletados: NBR 12269 (1992) e NBR 10184 (1988), respectivamente.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a produção do coletor solar foram utilizadas placas fibra de vidro, espaçadas por placas de aço em seu interior, visando à possibilidade do escoamento de água e a não junção dessas placas mediante a exposição à energia solar. Na produção do boiler (reservatório de água) foram utilizadas duas placas, uma externa e outra interna, com preenchimento de poliestireno entre elas para formar as paredes isolantes do mesmo. O boiler possui a capacidade de armazenar 350 litros de água.

Para montagem do sistema foram utilizados:

- Sensores PT-100 classe B;
- Um medidor de vazão SIGNET 2551 com exatidão de  $32 \mu\text{A}$ ;
- Uma bomba de diafragma SHURFLO 8000;
- Um piranômetro SP-Lite Kipp & Zonen com exatidão de aproximadamente 5%;
- Um datalogger com resolução de 12 Bits do conversor, produzido na Universidade Federal da Bahia (UFBA)
- Um sensor de temperatura ambiente MDITU-A;
- Tubulações de PVC e mangueiras com isolamento térmico.

A montagem do sistema fora realizada de maneira progressiva e seguindo uma lógica de experimentalismo a fim de determinar a melhor maneira da instalação, contudo todas as instalações realizadas sempre estiveram de acordo com a norma NBR 12269. O diagrama da Fig. (1) mostra o sistema completo, e a Fig. (2) o sistema montado em campo.

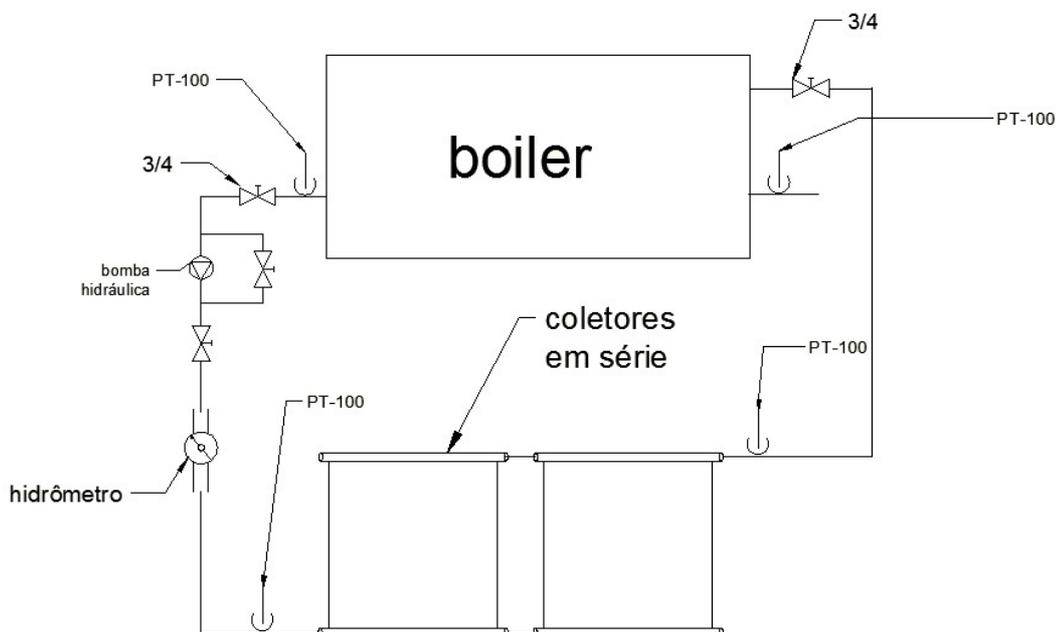


Figura 1. Ilustração do sistema final do aquecedor solar de fibra de vidro.



Figura 2. Sistema de aquecimento de água por energia solar (bancada de teste).

Para um melhor aproveitamento da incidência da radiação solar sobre os coletores, os mesmos foram posicionados com angulação que corresponde à soma de 10° e a latitude no município de Aracaju do estado de Sergipe, ou seja, 23° em relação à horizontal.

A bomba hidráulica fora utilizada respeitando a norma NBR 10184, visando o estabelecimento de uma vazão fixa de fluido pelas placas coletoras solares.

Os processamentos dos dados foram feitos como segue a descrição da norma NBR 10184. Para filtro, extrapolação dos dados e plotagem dos gráficos foram utilizadas ferramentas de cálculos dos softwares Microsoft Excel e EES (Equation Engineering Solver).

No procedimento de medição das variáveis monitoradas (temperatura de entrada, de saída e do ambiente e a radiação solar), os sensores operaram em um regime contínuo por um período de 9 horas, ligados ao datalogger, com intervalos de medidas de 36 segundos, resultando em um total de 900 medidas diárias sequenciais (limite de memória) e com início as 8hr com termino as 17hr.

Para o devido uso da norma técnica brasileira a fim de determinar o rendimento do coletor solar, um regime quase permanente deve estar presente, um período de ensaio é considerado como operação em regime quase permanente quando as seguintes condições forem obtidas:

- Não houver uma diferença entre picos de fluxo de radiação solar total sobre o plano do coletor solar superior a 50 W/m<sup>2</sup>;
- A variação da temperatura de entrada do fluido no coletor não pode exceder um valor de 0,3°C;
- Não pode haver flutuação da temperatura ambiente superior a 1°C;
- A flutuação máxima da vazão mássica média do fluido não pode ser superior a 2% do valor fixado para a área total de superfície em estudo;
- A diferença de temperatura do fluido entre as seções de entrada e saída do coletor solar deve ser no máximo de 0,6°C;

Tendo as condições especificadas pela norma, de regime quase permanente, é possível a análise de eficiência do coletor solar através da seguinte equação:

$$\eta = \frac{\rho \cdot V \cdot c \cdot (T_s - T_e)}{A \cdot G} \quad (1)$$

Onde:

V = volume de fluido que circulou pelo coletor solar durante a execução do ensaio;

C = calor específico do fluido a uma temperatura de 0,5(T<sub>s</sub> - T<sub>e</sub>);

ρ = densidade do fluido na temperatura de fluxo.

T<sub>e</sub> = temperatura da água na seção de entrada do coletor.

T<sub>s</sub> = temperatura da água na seção de saída do coletor.

(T<sub>s</sub> - T<sub>e</sub>) = diferença entre temperatura do fluido entre as seções de saída e entrada do coletor.

G = energia solar incidente total sobre o plano do coletor durante o tempo de ensaio.

A = área do coletor.

Com a Eq. (1), conseguimos determinar diversos pontos de rendimento que serão obtidos durante os ensaios. Esses valores serão apresentados graficamente em função do parâmetro apresentado na Eq. (2) (abscissa do gráfico).

$$\chi = \frac{T_e - T_a}{G} \quad (2)$$

Onde:

T<sub>a</sub> = temperatura do ar ambiente no ensaio considerado.

### 3. RESULTADOS

Por um período de três meses o protótipo funcionou sob diferentes condições climáticas, de instalações, de posicionamento e funcionamento. Contudo apenas vinte e seis dias, do período total de funcionamento do protótipo, estavam aptos a serem estudados segundo a norma NBR 10184. Com base nesses dias de operação controlada, foram realizados os tratamentos de dados adquiridos pelos sensores e posteriormente uma série de cálculos normatizados destinados a avaliar o comportamento energético do protótipo.

Fazendo-se um balanço energético do protótipo, verificou-se a ocorrência de uma repetitividade de suas características energéticas durante os dias estudados. A eficiência dos gráficos gerados a partir dos dados filtrados, por exemplo, permaneceu entre 35% e 55%. As temperaturas máximas na seção de saída de água quente do aquecedor permaneceram sempre em um mesmo patamar, com temperaturas de saída na faixa de 44°C a 55°C.

Um gráfico típico do rendimento do aquecedor e com uma baixa dispersão de pontos está mostrado na Fig. (3), demonstrando melhor o comportamento habitual do rendimento térmico do coletor em função do parâmetro adotado pela norma brasileira. Os pontos filtrados pelo software (Excel) estão representados na forma de losangos e a reta preta representa a reta média dos pontos. Na Fig. (3) está a equação da reta média, os pontos dispersos no gráfico devem-se às mudanças na intensidade de irradiação solar e na variação de temperatura devido a chuva, nuvens, vento ou tempo chuvoso com sol, fato que ocorre comumente na região onde os coletores foram testados. Isso ocorre, principalmente, devido ao tipo de coletor testado que é aberto, sem isolamento. Nesse caso, portanto, com a chuva ou uma rajada de vento, há influência significativa de parâmetros descritos na Eq. (1), como  $T_e$  e  $T_s$ .

Aplicando uma análise estatística oriunda dos gráficos de rendimento obtidos, fora então traçada uma reta média, com intuito de padronizar o funcionamento do coletor e estabelecer seus valores teóricos máximos e mínimos. As duas retas na vertical mostram o intervalo onde houve a maior concentração dos pontos amostrais dos gráficos obtidos experimentalmente, o que representa a faixa de operação desse coletor. O procedimento de determinação desse rendimento médio deu-se a partir da extrapolação dos dados que estiveram condizentes com todas as especificações necessárias. O gráfico do comportamento médio do coletor está representado na Fig. (4).

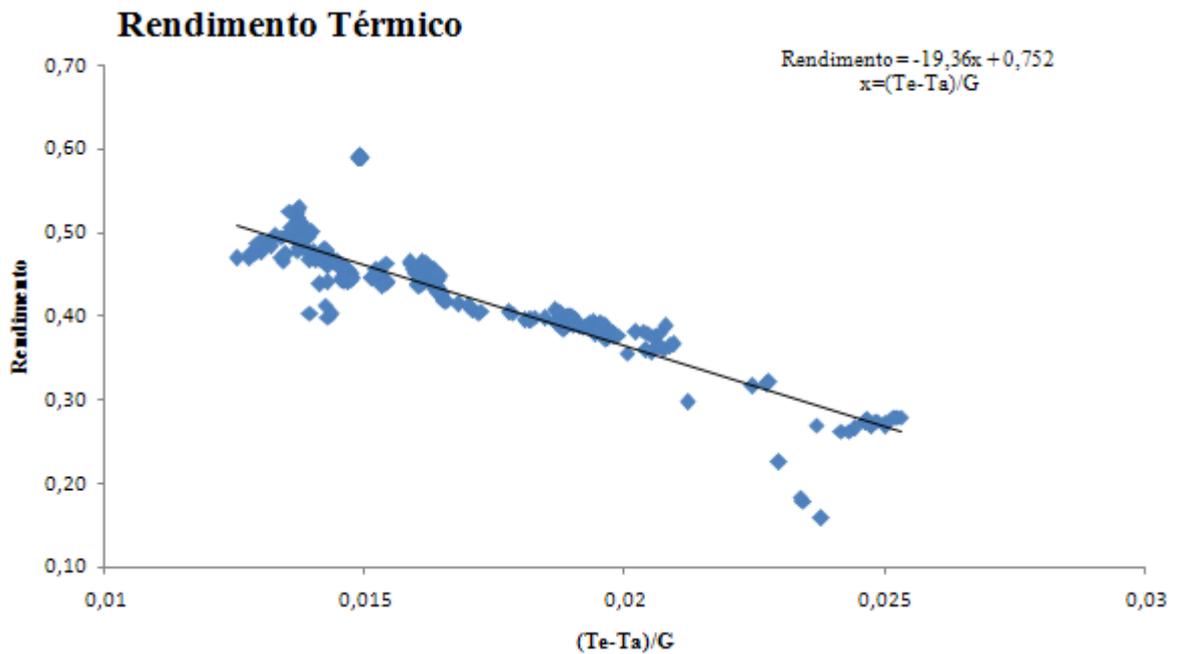


Figura 3. Curva de eficiência do coletor solar de fibra de vidro do dia 30/10/2009.

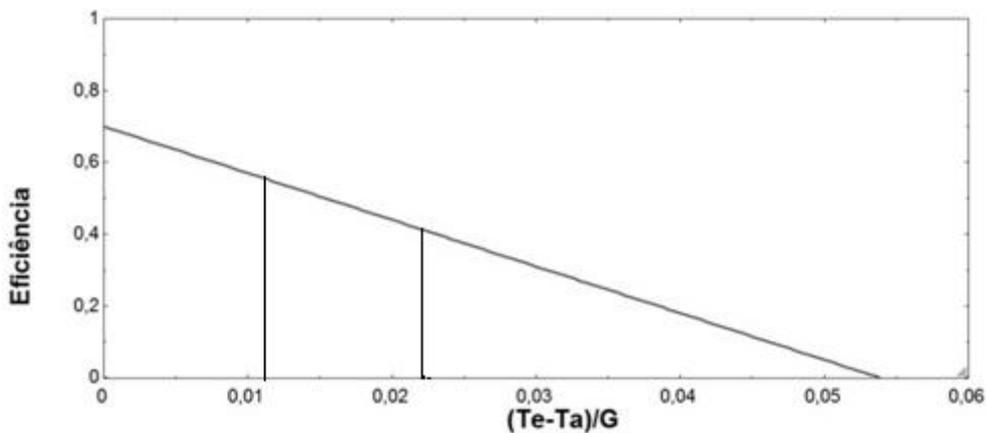


Figura 4. Curva média de eficiência do coletor solar de fibra de vidro.

Na faixa de operação do coletor testado, delimitado pelas retas verticais da Fig. (4), observa-se que a eficiência térmica que ficou entre 40% e 55%, valor compatível com coletores semelhantes (Kürklü, 2002).

#### 4. CONCLUSÕES

A resistência mecânica e resistência a degradação, por fatores físico-químicos ambientais, do coletor solar estudado mostraram-se satisfatórias, afinal mediante o tempo total de seis meses operando em campo aberto, não foram apresentadas degradações visíveis em sua estrutura física.

Quanto ao rendimento térmico, sua faixa de operação é condizente às suas características de fabricação e materiais, por não possuir proteção com vidro e ser fabricado a partir de um material com propriedades de um isolante térmico, pode-se dizer que o mesmo possui um bom desempenho em sua função. Segundo Seewald (2004), que fez uma análise comparativa entre aquecedores solares de água e estudou o comportamento do aquecedor solar feito de PVC, podemos comparar o aquecedor solar de água de fibra de vidro com o aquecedor de baixo custo feito de PVC desenvolvido e proposto pela Sociedade do Sol. Sendo o aquecedor solar de fibra de vidro mais eficiente que o de PVC. Esse fato é notório devido à semelhança de projeto entre os aquecedores. Um aquecedor solar de água feito à base de parafina, como fora proposto por Kürklü et al (2001), possui características também similares ao aquecedor solar de água feito de fibra de vidro, porém com eficiência média de operação superior.

Para um aumento em sua eficiência térmica é possível a aplicação de uma camada transparente de vidro que possa proteger o coletor solar da ação do vento que por convecção dissipa o calor superficial da placa e faz com que sua transferência de calor não seja ainda maior. Essa solução é indicada para regiões que possuam altas incidências de vento e uma temperatura ambiente não tão elevada.

Devido à propriedade de isolante térmico da fibra de vidro o boiler mostrou-se bastante eficiente na manutenção da temperatura da água durante os testes, aquecida durante o dia, e conservada temperatura ao longo da noite. Do mesmo modo que o coletor solar o reservatório térmico apresenta alta resistência mecânica, isso se apresenta como vantagem no sistema, devido a sua capacidade de armazenamento e manutenção da temperatura da água.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À FAPITEC pelo apoio recebido, pelas orientações quanto aos procedimentos a serem adotados para finalizar este projeto; aos alunos de iniciação científica imprescindíveis para o sucesso do projeto; ao Prof. Dr. Gabriel Francisco da Silva pela gentileza em ceder seu laboratório (Laboratório de Tecnologias Alternativas) na UFS para instalação da bancada de teste; e as contribuições dos colegas da engenharia mecânica da Universidade Federal de Sergipe.

#### 6. REFERÊNCIAS

ABREU, S. L., “Utilização da Energia Solar em Substituição a Chuveiros Elétricos, Fontes Não-Convencionais de Energia – As Tecnologias Solar, Eólica e de Biomassa”, Laboratório de Energia Solar, UFSC, Florianópolis – SC, Brasil, 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10184: “Coletores solares planos para líquidos – Determinação do rendimento térmico”, 25p, 1988.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12269: “Execução de instalações de sistemas de energia solar que utilizam coletores solares planos para aquecimento de água”, 25p, 1992.

Colle, S. e Pereira, E. B., “Atlas Irradiação Solar do Brasil”, Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR/EMC/UFSC, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Brasília – DF, Brasil, Outubro de 1998 apud Abreu, L. A., 2000.

Franco, L.A.L., Botelho, E.C., Cândido, G.M, Rezende, M.C. – “Avaliação Factográfica de Compósitos de Fibra de Vidro/Epóxi após Ensaios de Tração e Cisalhamento Interlaminar”, 17º CBECIMat- Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Brasil, 2006.

Kürklü, A., Özmerzi, A. e Bilgin, S. – “Thermal performance of a water-phase change material solar collector”, Renewable Energy 26 (2002) 391–399.

MME, Ministério de Minas e Energia, “Mercado de Energia Elétrica”, Disponível em: < [http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/projetos/Documentos\\_Projetos/Cap2.pdf](http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/projetos/Documentos_Projetos/Cap2.pdf) >. Acesso em 22/03/2010.

Seewald, A. – “Caracterização de Coletores Solares de Baixo Custo” – Monografia do Engenheiro – Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – RS, Brasil, 2004.

#### 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluídos no seu trabalho.



**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
*August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil*

## **INNOVATIVE SYSTEM FOR THE UTILIZATION OF SOLAR ENERGY FOR WATER HEATING**

**Marcelo Noboro Ralim Miyazaki, marcelonouha@gmail.com<sup>1</sup>**  
**André Luiz Souza Santana, andresantana.mec@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Leonardo Maia Nogueira, leo.nog88@gmail.com<sup>1</sup>**  
**Douglas Bressan Riffel, dougbr@ufs.br<sup>1</sup>**  
**Paulo Mário Machado Araujo, paubamma@yahoo.com<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Universidade Federal de Sergipe, Núcleo de Engenharia Mecânica, Av. Marechal Rondon S/N, Bairro Rosa Elze, Cidade Universitária Professor José Aloísio de Campos, CEP: 49100-000, São Cristóvão-SE.

**Abstract:** *The following work analyses the use of a new material in solar water heaters to attend the demand of hot water for residences in the Brazilian's northeast, considering the specific weather conditions and the solar radiation in the region. The solar collector was tested following the rules of installation and data processing NBR 12269 (1992) e NBR 10184 (1988), respectively. The material used was fiber glass, an innovative material in the manufacturing of solar heaters, because of its low cost and its physical properties that gives to the prototype a good resistance against mechanical stress and corrosion. The tests demonstrated a thermal efficiency between 40% and 55%, within the entire operation range of the collector.*

**Keywords:** *Water heating, solar energy, thermal efficiency, innovative material.*

### **RESPONSIBILITY NOTICE**

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.