

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE DESEMPENHO DE UM COLETOR SOLAR DE TUBOS DE VIDRO A VÁCUO

Tiago Francisco Manea – tiagomanea@mecanica.ufrgs.br
 Fábio Niemezewski da Rosa – fabio.rosa@mecanica.ufrgs.br

Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br

Laboratório de Energia Solar, PROMEC - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,
 Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo. A disponibilidade de coletores que utilizam tubos a vácuo do tipo frasco de Dewar é crescente no mercado brasileiro. Contudo, os efetivos benefícios deste tipo de coletor para os nossos diferentes climas ainda estão sendo estudados. Para analisar o comportamento em diferentes climas é preciso conhecer os parâmetros de desempenho deste coletor. Pois este trabalho além de trazer algumas informações sobre este tipo de coletor, também mostra resultados de dois ensaios experimentais realizados com um coletor solar para aquecimento de água, constituído por vinte tubos de vidro a vácuo que utilizam o princípio de transferência direta. Um dos ensaios foi realizado para determinar a curva de eficiência deste coletor, e outro, para mensurar sua constante de tempo. A curva de eficiência obtida e os parâmetros de desempenho foram determinados sob condições de regime permanente. Houve diferença entre os valores dos parâmetros obtidos e os fornecidos pelo fabricante. Verificou-se também, a necessidade de um período longo para o ensaio do coletor, decorrente da demora do sistema para atingir o regime permanente. O valor da constante de tempo do coletor ensaiado foi de 40 minutos. Este valor é bastante superior se comparado ao da maioria dos coletores planos, o que evidencia a sua alta capacidade térmica.

Palavras-chave: coletor solar, tubo a vácuo, eficiência.

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento de água residencial para banho no Brasil consome uma importante parcela de energia elétrica gerada no país. Grande parte desta energia poderia ser suprida com energia solar, o que traria vantagens socioeconômicas e ambientais.

A utilização de coletores solares para aquecimento de água é, sem dúvida, um meio de obter energia térmica a um custo razoável e evitar maiores danos ao meio ambiente. Os coletores solares tradicionais, fabricados com chapa e tubos metálicos, conhecidos como coletores de placa plana, atendem às necessidades de aquecimento de água para a maior parte das aplicações domésticas. Por este motivo, durante um bom tempo, o uso de outros tipos de coletores, como os que utilizam tubos a vácuo, ficou reservado exclusivamente para a aplicação industrial. Porém, nos últimos anos, o uso destes coletores tem se proliferado, principalmente a partir da participação massiva de países como a China na sua fabricação e utilização, conforme pode ser observado na Fig.1. Isso o tornou competitivo no mercado voltado ao aquecimento de água para uso doméstico.

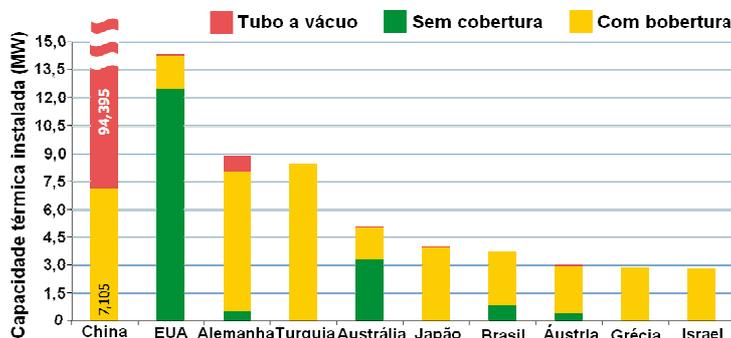


Figura 1 – Capacidade instalada de geração solar térmica até o final de 2009. Adaptado de IEA (2011).

Tendo em vista a penetração deste tipo de coletor no mercado de muitos países, o que já está ocorrendo em escala significativa, é importante realizar um amplo estudo que avalie aspectos técnicos deste conceito de coletor. Deste modo, este trabalho tem como objetivo principal analisar o desempenho térmico de um coletor do tipo tubo de vidro a vácuo, que utiliza o princípio de extração de calor por transferência direta, traçando-se sua curva de eficiência. Para tanto será utilizado o método de ensaio sob regime permanente de coletores cobertos (SST), descrito na norma brasileira NBR 15747-2 (ABNT, 2009).

2. COLETOR SOLAR DE TUBOS DE VIDRO A VÁCUO

Coletores solares que utilizam o tubo a vácuo minimizam a troca de calor por convecção e condução colocando a superfície absorvedora em um ambiente quase totalmente evacuado de matéria. A troca de calor por radiação também é minimizada devido à superfície absorvedora ter baixa emissividade. Estas características põem este tipo de coletor em vantagem aos coletores planos quanto às perdas térmicas.

Os coletores deste tipo se diferenciam por utilizar formas diferentes para a extração do calor de dentro dos tubos a vácuo, algumas das formas mais comuns são: a utilização de tubos de calor, tubo em “U” e por transferência direta.

2.1. Aspectos construtivos do tubo

O primeiro coletor solar utilizando tubo de vidro a vácuo foi proposto por Speyer em 1965 (Duffie e Beckman, 1991). No seu modelo, o absorvedor é plano e está envolto por um único tubo de vidro evacuado e selado nos extremos.

Outro modelo de tubo a vácuo é construído segundo o princípio do frasco de Dewar. Este modelo tem como princípio a construção de um frasco com dois tubos concêntricos unidos nas extremidades e com vácuo entre si. Este frasco é semelhante ao utilizado em recipientes popularmente conhecidos como “garrafas térmicas” utilizados para armazenagem de líquidos aquecidos ou resfriados. O desenho esquemático da Fig. 2 mostra as partes componentes de um tubo de vidro a vácuo do tipo frasco de Dewar, o qual foi abordado neste trabalho.

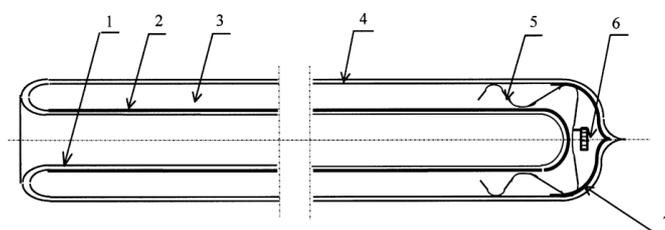


Figura 2 – Desenho esquemático de um tubo a vácuo. Fonte: Zhiqiang (2005).

As numerações descritas na Fig. 2 representam: (1) tubo de vidro interno, (2) superfície seletiva, (3) espaço evacuado, (4) tubo de vidro externo, (5) grampo, (6) captador e (7) camada capturadora.

O captador e a camada capturadora são responsáveis pela manutenção do vácuo removendo pequenas quantidades de gás do espaço evacuado que causariam troca de calor por convecção.

Nestes modelos de tubos, uma superfície seletiva é depositada na parte externa do tubo de vidro interno. Esta é classificada como superfície de Absorção/Reflexão por possuir uma alta absorção nas bandas do espectro solar e alta reflexão na banda do infravermelho, o que corresponde a uma baixa emitância para as temperaturas do absorvedor.

Segundo Zhiqiang (2005), superfícies seletivas utilizando Al-N/Al são depositadas no tubo interno utilizando a técnica “single-cathode cylindrical magnetron-sputtering”, na qual envolve um tratamento térmico em vácuo por uma hora a uma temperatura superior a 400 °C durante a evacuação dos tubos. Segundo este autor, três gerações desta técnica têm sido desenvolvidas na Universidade de Tsinghua (Beijing, China), tendo a última alcançado valores de absorptância 0,95 (AM 1,5), e emitância de 0,06 a 80 °C.

A Fig. 3 mostra os dois tipos de camadas seletivas mais utilizadas nos tubos a vácuo. Em 3(a) uma camada de nitrato de alumínio (responsável pela absorção da radiação solar) é sobreposta a uma de aço inoxidável que por sua vez está sobre uma camada de cobre. Em 3(b) a camada de nitrato de alumínio é depositada sobre uma camada de alumínio.



Figura 3 – (a) Camada de Al-N/SS/Cu; (b) Camada de Al-N/Al. Fonte: adaptado de apricus.com.

Cardoso *et al*, 2011, desenvolveram metodologias experimentais para avaliação individual do tubo a vácuo. Os autores aplicaram estas metodologias a tubos com os dois tipos de superfícies citadas e verificaram um desempenho superior do tubo que utiliza três camadas em relação ao que utiliza duas.

2.2. Formas de extração de calor

A Fig. 4 (a) mostra a forma de extração de calor em que um tubo de calor (*heat pipe*) é inserido dentro do tubo a vácuo, estes são unidos com um selo entre o vidro e o metal. Na Fig. 4 (b) um tubo metálico em formato de “U” conduz

o fluido a ser aquecido pelo interior do tubo a vácuo. O método de extração de calor do tipo transferência direta (*water-in-glass*), representado esquematicamente na Fig. 4(c), é o mais utilizado dentre os citados devido sua simplicidade e seu baixo custo de fabricação (Morrison *et al.*, 2004). Neste tipo de extração o aquecimento provocado pela incidência de radiação solar faz a água aquecer e ascender ao reservatório pela parte superior do tubo, enquanto acontece a reposição desta pela parte inferior.

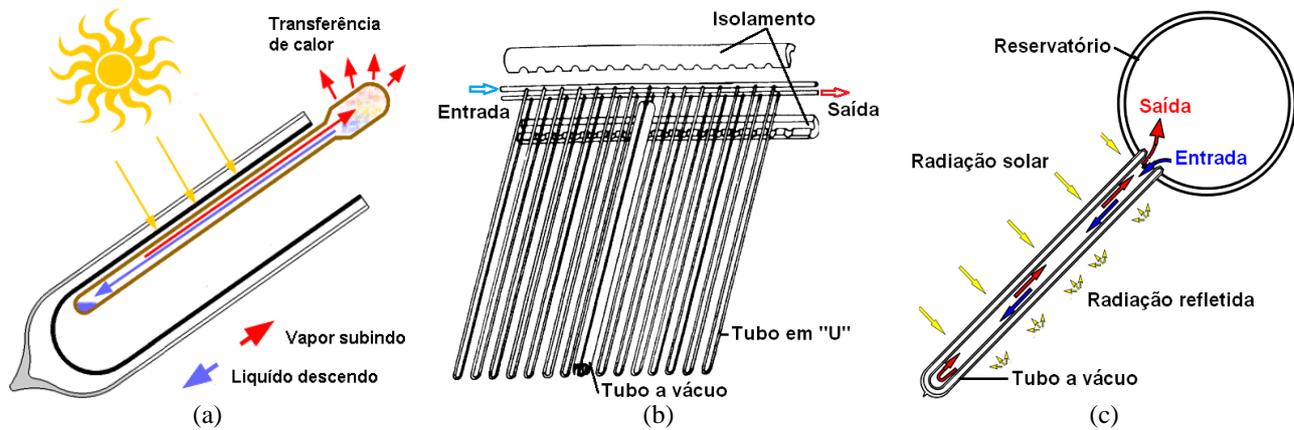


Figura 4 – Formas de extração de calor: (a) Tubo de calor; (b) Tubo em “U”; (c) Transferência direta. Fonte: modificado de Morrison *et al.* (2004).

3. MODELO SIMPLIFICADO DO COLETOR SOLAR

A teoria descrita a seguir é de autoria de Hottel, Whillier e Bliss, mencionada e descrita por Duffie e Beckman (1991). Esta é uma das mais aceitas e aplicáveis a coletores planos com cobertura. Segundo os autores que a mencionam, esta teoria pode ser aplicada a diferentes modelos de coletores, inclusive aos de tubos a vácuo.

A potência entregue pelo coletor ao fluido de trabalho, denominada de potência útil, pode ser descrita por um balanço de energia que indica a distribuição da energia solar incidente neste coletor em: potência útil, perdas térmicas e perdas ópticas, como indica a Eq. (1).

$$Q_u = A_c [G_t (\tau\alpha)_e - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (1)$$

sendo $(\tau\alpha)_e \cong 1,02(\tau\alpha)$

onde Q_u é a potência útil, A_c é a área do coletor, G_t é irradiância solar total no plano do coletor, τ é a transmitância da cobertura, α é a absorptância do absorvedor, U_L é o coeficiente global de transferência de calor do coletor, T_{pm} é a temperatura média do absorvedor e T_a é a temperatura ambiente.

A temperatura média do absorvedor é difícil de ser estimada ou mensurada, sendo esta uma função da geometria do coletor, da radiação solar incidente e das condições do fluido de trabalho na seção de entrada do coletor. Devido a este fato a Eq. (1) pode ser reformulada e expressa em termos da temperatura média do fluido (T_m) e de um fator denominado fator de eficiência (F').

Desta forma, para uma radiação solar com incidência normal ao plano do coletor, a potência absorvida por este é dada pela Eq. (2).

$$Q_u = A_c F' [G_t (\tau\alpha)_e - U_L (T_m - T_a)] \quad (2)$$

sendo: $T_m = (T_s + T_e)/2$

onde T_e é a temperatura do fluido na seção de entrada do coletor e T_s na seção de saída.

Eficiência é a razão entre a energia útil pela disponível, assim, dividindo-se a energia útil (Eq. (2)) pela energia solar incidente no plano do coletor, obtém-se a eficiência em função da temperatura média do fluido, como mostra a Eq. (3).

$$\eta_m = \frac{Q_u}{G_t A_c} = F' (\tau\alpha)_e - F' U_L \frac{(T_m - T_a)}{G_t} \quad (3)$$

onde η_m é a eficiência do coletor solar em função da temperatura média do fluido.

Se os valores de eficiência (η_m) forem representados graficamente em um plano cartesiano “versus” os correspondentes valores de $(T_m - T_a)/G_t$, resultará, para cada vazão, em uma reta onde o coeficiente linear será $F'(\tau\alpha)_e$ e o coeficiente angular $F'U_L$.

3.1. Determinação da eficiência em regime permanente

Há três áreas possíveis de considerar quando estimada a eficiência do coletor, são elas: área total (A_G), a qual considera a área plana máxima projetada pelo coletor, área de abertura (A_a) definida como a área plana projetada pela cobertura transparente e área do absorvedor (A_A) definida como a área plana projetada pelo absorvedor.

A norma brasileira NBR 15747-2 (ABNT, 2009) recomenda a utilização da área de abertura para determinação da eficiência, porém, não a define com clareza. Já a norma ASHRAE 93-2003 (ASHRAE, 2003) define área de abertura de um coletor de tubos de acordo com a Eq. (4).

$$A_a = LdN \quad (4)$$

onde L é o comprimento do tubo, d o seu diâmetro externo e N o número de tubos.

Em um escoamento estacionário e uniforme de água através do coletor a energia útil é determinada pela primeira lei da termodinâmica, como descrito na Eq. (5).

$$Q_u = \dot{m}C_p(\Delta T) \quad (5)$$

sendo $\dot{m} = V\rho$

onde \dot{m} é a taxa mássica, V é a vazão de água, ρ a sua massa específica e ΔT a diferença de temperatura da água entre as seções de entrada e de saída do coletor.

Substituindo-se as Equações (4) e (5) na (3), obtém-se a Eq. (6). Esta equação é utilizada para estimar a eficiência do coletor em um determinado ponto de operação. Com a tomada experimental de valores de eficiência em vários pontos de operação é possível traçar a sua curva de eficiência, obtendo assim, seus parâmetros de desempenho $F'(\tau\alpha)_e$ e $F'U_L$.

$$\eta_m = \frac{\dot{m}C_p(\Delta T)}{G_t(LdN)} \quad (6)$$

4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Realizaram-se neste trabalho os ensaios experimentais com um coletor de tubos de vidro a vácuo para determinação de sua constante de tempo e dos parâmetros da sua curva de desempenho.

4.1. Descrição da bancada de ensaio

Os ensaios foram realizados sob uma bancada instalada no Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Esta bancada, descrita por Rosa *et al.*, 2011, foi montada com base nas condições determinadas pela norma NBR 15747-2 (ABNT, 2009).

A bancada está instrumentada com um piriômetro modelo NIP da marca Eppley para a medição de radiação direta, um piranômetro modelo CM11 da marca Kipp&Zonen para medir a radiação total, a velocidade do vento é medida com anemômetro de conchas e a vazão de água é obtida através de um medidor de vazão tipo turbina da marca Signet, modelo 2000. Todas as temperaturas são tomadas através de sensores de platina do tipo Pt-100 classe A. A medida da diferença de temperatura entre a entrada e a saída dos coletores é feita com um dispositivo baseado na ponte de Kelvin, desenvolvido por Manea *et al.* (2011) que permite medidas da diferença de temperatura com incerteza inferior a 0,05 °C.

4.2. Descrição do coletor ensaiado

O coletor ensaiado, mostrado na foto da Fig. 5, possui área de abertura 1,93 m² e área total 3,04 m². O coletor é composto por vinte tubos a vácuo com superfície seletiva de nitrato de alumínio sobre alumínio (Al-N/Al), os quais utilizam o princípio de extração de calor do tipo transferência direta.

Os tubos concêntricos são de vidro borossilicato 3.3 com espessura de 1,5 mm. Os diâmetros, interno e externo medem, respectivamente, 44 mm e 58 mm. O comprimento total do tubo de vidro é de 1800 mm, e o da superfície absorvedora é de 1713 mm. Entre os tubos concêntricos tem-se um ambiente com pressão inferior a 5×10^{-3} Pa.



Figura 5 – Foto do coletor de tubos a vácuo ensaiado.

O cabeçote instalado na parte superior dos tubos é revestido com uma camada de 50 mm de poliuretano expandido, e possui as conexões para entrada e saída de água do coletor. Sua ligação com os tubos é selada através de um selo plástico sob pressão. Este cabeçote tem como função apenas conduzir o fluido aquecido, sem armazená-lo.

O ensaio foi realizado com o coletor montado sobre sua própria estrutura, fornecida pelo fabricante para manter os tubos em posição conforme são comercializados e instalados na região sul do Brasil, com inclinação de 45°.

4.3. Ensaio para determinação da constante de tempo

Foi utilizado o procedimento descrito pela norma ASHRAE 93-2003 (ASHRAE, 2003) como base para a determinação da constante de tempo (T) do coletor. Os passos deste ensaio são os seguintes:

- Cobre-se o coletor com uma cobertura refletora, bloqueando-o da radiação solar no seu plano;
- Ajusta-se a taxa mássica para 0,02 kg/s por metro quadrado da área de abertura;
- Ajusta-se a temperatura na seção de entrada do coletor para $\pm 1^\circ\text{C}$ da temperatura ambiente;
- A irradiância solar total deve ser maior que 790 W/m²;
- Quando a diferença de temperatura da água entre as seções de entrada e saída do coletor for menor que 0,1 °C define-se o instante t_0 , no qual se retira a cobertura refletora e inicia-se o ensaio;
- Aguarda-se o sistema entrar em regime permanente.

Segundo a norma citada, o regime permanente é alcançado no momento em que a temperatura na seção de saída do coletor variar menos que 0,05 °C por minuto. Neste momento, determina-se a diferença de temperatura da água entre as seções de saída e entrada do coletor em regime permanente. A constante de tempo é o intervalo de tempo necessário para que a diferença de temperatura entre as seções de entrada e saída do coletor atinja 63,2% do seu valor de regime permanente. As condições de manutenção do ensaio são as seguintes:

- Flutuação máxima da temperatura na seção de entrada do coletor de 0,1 °C do valor médio;
- Flutuação máxima da taxa mássica de 2 % do valor médio.
- Flutuação máxima do fluxo de radiação solar total sobre o plano do coletor de 50 W/m² do valor médio.

4.4. Ensaio externo de eficiência em regime permanente

Os procedimentos utilizados para determinação dos parâmetros da curva de desempenho do coletor foram baseados no método de ensaio externo de eficiência em regime permanente para coletores cobertos, descrito na norma brasileira NBR 15747-2 (ABNT, 2009). Nestes procedimentos a norma exige as seguintes condições:

- A taxa mássica deve ser ajustada para 0,02 kg/s por metro quadrado da área de abertura;
- São permitidas variações na vazão entre diferentes ensaios de no máximo $\pm 10\%$;
- A velocidade do escoamento de ar sobre o coletor deve ser em (3 ± 1) m/s para garantir uma perda térmica constante provocada por convecção externa. Recomenda-se a utilização de um ventilador;
- Devem ser obtidos pontos com ao menos quatro temperaturas de entrada do fluido espaçadas sobre o intervalo de temperatura de operação do coletor. É recomendado um ponto com temperatura média de $\pm 3^\circ\text{C}$ da temperatura ambiente e outro com temperatura de entrada do fluido próxima a 80 °C;
- Irradiância solar total no plano do coletor deve ser superior a 700 W/m²;
- Irradiância solar difusa deve ser inferior a 30 % da irradiância solar total;
- Ângulo máximo entre a normal do plano do coletor e a incidência direta da radiação solar de 20°.

O período de ensaio para obtenção de um ponto em regime permanente deve incluir um período de pré-condicionamento de quatro vezes a constante de tempo com a temperatura de entrada do fluido determinada, somado a um período de medida dos dados de pelo menos quatro vezes a constante de tempo.

Durante os ensaios o coletor foi constantemente apontando em direção à radiação direta. Com isto elimina-se o erro de leitura angular do piranômetro e mantém-se a condição de ângulo menor que 20° entre a normal do plano do coletor e a radiação solar direta, estabelecida pela norma.

Para garantir que o ensaio seja realizado em condições de regime permanente, a norma define os seguintes critérios de estabilidade:

- Irradiância solar total (G_t) pode variar no máximo em $\pm 50 \text{ W/m}^2$ do valor médio;
- A temperatura de entrada (T_e) pode variar no máximo em $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ do valor médio;
- A temperatura ambiente (T_a) pode variar no máximo em $\pm 1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ do valor médio;
- A taxa mássica (\dot{m}) pode variar no máximo em $\pm 1\%$ do valor médio.

Os instrumentos de medição devem atender requisitos mínimos de precisão e resolução descritos abaixo:

- As temperaturas de entrada (T_e) e de saída (T_s) devem ser medidas com precisão melhor que $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ e com resolução mínima de $0,02 \text{ }^\circ\text{C}$;
- A temperatura ambiente (T_a) deve ser medida com precisão melhor que $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- A diferença de temperatura da água entre as seções de entrada e saída do coletor (ΔT) deve ser medida com uma precisão melhor que $0,05 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Piranômetro para medida da irradiância solar total (G_t) Classe I de acordo com a norma ISO 9060;
- Precisão na medida da taxa mássica (\dot{m}) de 1% ;
- Precisão na medida da velocidade do vento de $0,5 \text{ m/s}$.

5. RESULTADOS

5.1. Constante de tempo

O gráfico da Fig. 6 mostra a evolução da temperatura da água na seção de saída do coletor mantendo-se a temperatura de entrada, vazão e irradiância solar com pequenas variações.

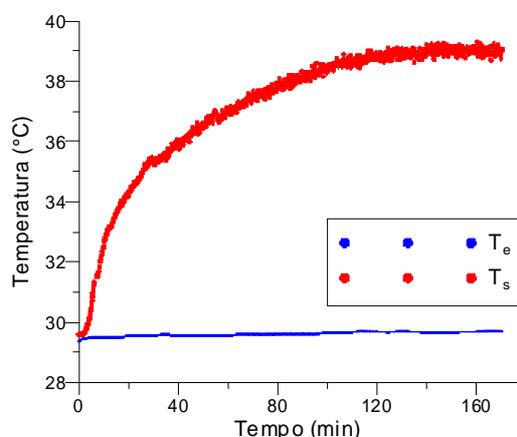


Figura 6 – Temperatura da água nas seções de entrada e saída do coletor durante o ensaio para determinação da constante de tempo.

O valor da constante de tempo do coletor de tubos de vidro a vácuo ensaiado foi de 40 minutos. Este valor é superior ao da maioria dos coletores planos, o que indica que para atingir o regime permanente ele necessita de um tempo mais longo. O alto valor da constante de tempo indica uma alta capacidade térmica deste coletor, que ocorre devido, principalmente, à quantidade de água contida no interior dos tubos.

5.2. Eficiência em regime permanente

Realizaram-se as medidas de dezesseis pontos de eficiência térmica do coletor de tubos a vácuo. O ensaio estendeu-se entre os meses de novembro de 2011 a janeiro de 2012, portanto por um período de três meses e vinte dias. A incerteza para todos os pontos medidos é inferior a $\pm 3\%$.

O período de ensaio foi bastante extenso se comparado ao necessário para ensaiar a maioria dos coletores planos. Isto porque a grande parte dos coletores planos tem uma constante de tempo inferior a 15 minutos, ou seja, a estabilidade do regime permanente ocorre muito antes do coletor de tubos a vácuo ensaiado neste trabalho.

A condição descrita pela norma brasileira para duração do ensaio é impraticável com o tipo de coletor utilizado neste trabalho, devido às grandes variações das condições meteorológicas durante o período de ensaio, principalmente da radiação solar.

Assim, foi considerado para obtenção de cada ponto um período igual a duas vezes a constante de tempo do coletor somado a um período de 15 minutos para obtenção da média dos dados. Observou-se durante o período de cada ensaio uma evolução assintótica da temperatura da água na seção de saída do coletor em direção à temperatura de estabilização, como o que ocorre no gráfico da Fig. 6. Também se observou a condição de variação na temperatura da água na seção de saída do coletor menor que $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ para garantir o regime permanente.

Segundo a norma EN 12975-2 (CEN, 2006) o ajuste dos pontos de eficiência medidos deve ser feito com uma curva quadrática, porém, neste caso o mesmo resulta em um coeficiente negativo para o termo quadrático. Nesta situação deve-se utilizar um ajuste linear coincidindo então com o modelo, previamente citado na Eq.(4), de Hottel, Whillier e Bliss,. A Fig. 7 mostra graficamente os pontos de eficiência obtidos em regime permanente e a reta de ajuste para área de abertura, que resultou nos parâmetros $F'(\tau\alpha)_e = 0,755$ e $F'U_L = 1,848$.

Os desvios máximos e mínimos que ocorreram durante o período de uma constante de tempo para cada ponto de eficiência estão compreendidos dentro daqueles exigidos pela norma.

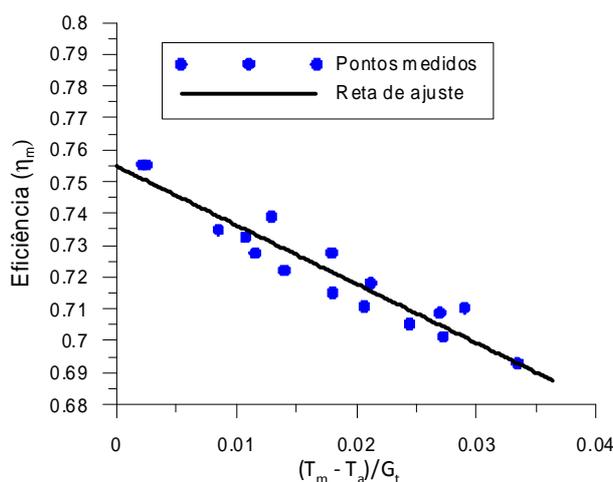


Figura 7 – Ensaio de eficiência do coletor de tubos a vácuo.

Segundo o fabricante do coletor ensaiado os parâmetros da curva de desempenho citados anteriormente são 0,765 e 1,660, respectivamente. O laboratório que o certificou utilizou o método Quase Dinâmico (QDT) para caracterização deste coletor. Este método é descrito pela norma europeia EN 12975-2 (CEN, 2006) e também pela norma brasileira NBR 15747-2 (ABNT, 2009). O método QDT permite avaliar o coletor operando em regime transiente, desta forma, traz uma aceitabilidade de condições climáticas muito mais abrangentes que o método em regime permanente. Sua abrangência é tamanha que o fato de haver cobertura completa de nuvens durante o ensaio não o invalida. Com isto é possível obter o desempenho de coletores em um intervalo de tempo muito menor (Kratzenberg, 2005).

Fisher *et al.* (2001) ensaiaram nove coletores com os métodos QDT e SST e encontraram pequenas diferenças entre os coeficientes, para um mesmo coletor. A diferença entre o coeficiente $F'(\tau\alpha)_e$ foi atribuída ao fato de que o ângulo de incidência médio durante o ensaio SST ter sido maior do que no QDT. Com relação ao coeficiente $F'U_L$ não houve diferença significativa entre os métodos.

Porém, neste trabalho houve uma diferença entre o coeficiente correspondente às perdas térmicas ($F'U_L$) fornecido pelo fabricante e o no ensaio. O valor mais alto deste coeficiente significa que houve maior troca de calor entre o coletor e o meio externo. Entre outros fatores esta diferença pode ter ocorrido devido à diferença entre as condições meteorológicas que envolvem os ensaios. O método QDT é realizado em grande parte do tempo com céu parcialmente encoberto ao contrário do ensaio SST que é necessariamente realizado com céu claro. Isto implica em uma diferença da temperatura equivalente do céu entre estes métodos, o que pode ser um fator relevante para este tipo de coletor, já que sua troca de calor com a vizinhança se dá em grande parte por radiação térmica.

6. CONCLUSÕES

Com a crescente entrada no mercado nacional de coletores de tubos a vácuo fabricados principalmente na China é necessário estudar e testar efetivamente esta tecnologia para verificar a correta aplicação no país. Considerando isto, um coletor de tubos com extração de calor do tipo transferência direta foi avaliado, traçando sua curva de eficiência e determinando seus parâmetros de desempenho. O ensaio foi realizado utilizando condições de regime permanente (SST), diferentemente do ensaio realizado pelo laboratório que o certificou, que foi em regime transiente (QDS). A

diferença das condições de ensaio, entre outros fatores, pode ter levado a uma diferença no parâmetro que diz respeito às perdas térmicas do coletor.

Verificou-se também que a condição de tempo de ensaio para obtenção de um ponto de eficiência em regime permanente conforme descrito na norma brasileira é de difícil aplicação para este tipo de coletor. Isto se deve a sua alta capacidade térmica, característica do coletor que ficou evidente no resultado do ensaio para obtenção da sua constante de tempo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro em auxílio à pesquisa e em bolsas por parte do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil (CNPq). O LABSOL é um laboratório associado ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis e Eficiência Energética da Amazônia (INCT - EREEA).

REFERÊNCIAS

- ABNT, 2009. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15747-2 - Sistemas Solares Térmicos e Seus Componentes - Coletores Solares Parte 2 - Métodos de Ensaio, Rio de Janeiro.
- ASHRAE, 2003. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. ASHRAE 93-2003 - Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, Atlanta.
- apricus.com, site, acessado em 14/04/2012.
- Cardoso, I. A., Rosa, F. N., Manea, T. F., Krenzinger, A., 2011. Comparação de parâmetros de desempenho entre tubos de coletores solares tubulares a vácuo, X CIBEM - 10º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Porto.
- CEN, 2006. European Committee for Standardization. EN 12975-2 - Thermal Solar Systems and Components - Solar collectors. Bruxelas.
- Duffie, J. A., Beckman, W. A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley & Sons.
- Fisher, S., Müller-Steinhagen, H., Peres, B., Bergquist, P., 2001. Collector Test Method Under Quasi-dynamic Conditions According to the European Standard EN 12975-2, ISES - Solar World Congress. Adelaide.
- Kratzenberg, M. G., 2005. Método para Avaliação de Incertezas de Ensaio de Coletores Solares Baseados nas Normas CEN 12975 e ISO 9806, Dissertação de mestrado, POSMCI, UFSC, Florianópolis.
- Manea T. F., Rosa F., Perin A., Krenzinger A., 2011. Dispositivo para Medir o Diferencial de Temperatura em Coletores Solares para Aquecimento de Água, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, v. 15, p. 08.61 - 08.66.
- Manea T. F., 2012. Determinação experimental dos parâmetros de desempenho térmico de um coletor solar de tubos de vidro a vácuo, Dissertação de Mestrado, PROMEC, UFRGS, Porto Alegre.
- Morrison, G. L.; Budihardjo, I.; Behnia, M., 2004. Water-in-glass Evacuated Tube Solar Water Heaters. Solar Energy, v. 76, p. 135–140.
- IEA, 2011. International Energy Agency. Solar Heat Worldwide - Markets and Contribution to the Energy Supply 2009, Gleisdorf.
- Rosa, F. N., Manea, T. F., Perin, A. L. & Krenzinger, A., 2011. Projeto e montagem de uma bancada de testes para coletores solares no LABSOL-UFRGS, ASADES - XXXIV Reunión de Trabajo de Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, San Diego Del Estero.
- Zhiqiang, Y., 2005. Development of solar thermal systems in China. Solar Energy Materials & Solar Cells, v. 86, p. 427–442.

DETERMINATION OF PERFORMANCE PARAMETERS OF A WATER-IN-GLASS EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTOR

Abstract. *The availability of collectors that use vacuum tubes of the Dewar flask type is growing in the Brazilian market. However, the actual benefits of this collector type to our different climates are still being studied. To analyze the behavior in different climates it is necessary to know the performance parameters of this kind of collector. This work provides some information about this type of collector and shows results of two experimental tests carried out with a water heating solar collector, consisting of twenty water-in-glass tubes. A test was conducted to determine the efficiency curve of the collector, and one to measure its time constant. The efficiency curve obtained and the performance parameters were determined under steady state conditions. There was a difference between the values of the parameters obtained and provided by the manufacturer. It was found a long time for the collector test due to the delay of the system to achieve steady state condition. The value of the collector time constant was 40 minutes. Its value is higher than most of the flat-plate collectors type, which shows its high thermal inertia.*

Key words: *solar collector, evacuated tube, efficiency.*