

INFLUÊNCIA DA VAZÃO DE ÁGUA SOBRE O RENDIMENTO DE UM COLETOR SOLAR PLANO CONSTRUÍDO EM TERMOPLÁSTICODoi: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n4p665-675/2015>**RODRIGO A. JORDAN¹, OMAR SEYE², ANAMARI V. DE A. MOTOMIYA³**

RESUMO: Avaliou-se o rendimento térmico de um coletor solar plano construído em termoplástico, em condições reais de operação, registrando as temperaturas de entrada e de saída de água na placa, mediante quatro distintas vazões mássicas de água: $0,026 \text{ kg s}^{-1}$; $0,04 \text{ kg s}^{-1}$; $0,054 \text{ kg s}^{-1}$; e $0,068 \text{ kg s}^{-1}$. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Termodinâmica e Energia da Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp. Com base nos valores de temperatura da água na entrada e na saída das placas, foram calculados os valores de potência térmica [W m^{-2}]. O maior valor médio diário de potência térmica (753 W m^{-2}) foi obtido para a vazão de $0,054 \text{ kg s}^{-1}$. Para a maior vazão ($0,068 \text{ kg s}^{-1}$), o valor de potência térmica foi similar ao obtido para a vazão de $0,04 \text{ kg s}^{-1}$ (715 W m^{-2}), mostrando a existência de uma vazão ótima de operação.

PALAVRAS-CHAVE: aquecimento solar, rendimento térmico, coletor solar plano, vazão de água.

WATER FLOW INFLUENCE ON PERFORMANCE OF A FLAT SOLAR COLLECTOR BUILT IN THERMOPLASTIC

ABSTRACT: It was evaluated the thermal performance of a flat solar collector built in thermoplastic in actual operating conditions, recording the temperatures of inlet and water outlet plate by four distinct flows of water: 0.026 kg s^{-1} , 0.04 kg s^{-1} , 0.054 kg s^{-1} and 0.068 kg s^{-1} . The tests were performed in the Laboratory of Thermodynamics and Energy, Faculty of Agricultural Engineering of Unicamp. Based on the values of water temperature at the inlet and outlet plates, were calculated values of thermal power [W m^{-2}]. The highest daily average thermal power (753 W m^{-2}) was obtained for the flow of 0.054 kg s^{-1} . For higher flow (0.068 kg s^{-1}) thermal power was similar to that obtained for the flow 0.04 kg s^{-1} (715 W m^{-2}), showing the existence of a great flow operation.

KEYWORDS: solar heating, thermal efficiency, flat solar collector, water flow.

INTRODUÇÃO

O sol é, indiscutivelmente, o combustível mais econômico para aquecimento de água, sendo uma fonte diariamente renovável de energia (WEISS et al., 2011). Além da questão ecológica, de acordo com OLIVEIRA et al. (2008), a energia solar traz benefícios econômicos, tendo em vista o considerável consumo residencial de energia elétrica para aquecimento de água (NASPOLINI et al., 2010; KALOGIROU, 2009). MARTINS & PEREIRA (2011) citam também os benefícios sociais para as populações mais remotas, onde o custo da eletrificação pela rede convencional é proibitivo, caso de inúmeras propriedades rurais.

O Brasil, devido a sua localização predominantemente tropical, possui grande disponibilidade de recursos de energia solar em todo o seu território. A média anual de irradiação solar global horizontal diária, em qualquer região do Brasil, é muito maior do que na maioria dos países da União Europeia, onde os projetos para aproveitar os recursos solares são muito divulgados (MARTINS et al., 2012). Na região Sul e na região Nordeste, verificam-se respectivos níveis de

¹ Engº Agrícola, Prof. Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, Dourados - MS, Fone: (67) 3410-2412, rodrigojordan@ufgd.edu.br

² Engº Físico, Prof. Doutor, Faculdade de Engenharia da UFGD, Dourados - MS, omarseye@ufgd.edu.br

³ Engº Agrônomo, Prof. Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD, Dourados - MS, anamarimotomiya@ufgd.edu.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 26-8-2013

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 19-6-2015

irradiação média de 4,2 e 5,9 kWh m⁻² dia⁻¹ e, mesmo as regiões com clima mais temperado apresentam considerável potencial econômico e técnico para aquecimento solar de água (NASPOLINI & RÜTHER, 2011).

No meio rural, a questão do aquecimento de água via emprego de resistências elétricas (chuveiro elétrico) ainda tem um complicador, que é baixa potência dos transformadores rurais. Por questão de custo e cumprimento das metas do “Plano Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos”, opta-se, na maioria dos casos, por transformadores monofásicos de potência inferior a 5 kVA (SILVA, 2006), com a finalidade de fornecer ao morador rural o mínimo para ter conforto. Porém, a potência mínima de um chuveiro elétrico, comumente encontrado no mercado, é de 4 kW, sendo quase a capacidade da maioria dos transformadores encontrados no meio rural.

Neste caso, a contribuição do aquecimento solar seria muito grande, pois a demanda de aquecimento requerida do transformador seria liberada para uso em tarefas produtivas, agregadoras de valor, como transformação de produtos agrícolas, refrigeração, etc.; ou mesmo para uso em outros equipamentos domésticos destinados ao aumento de conforto e de qualidade de vida do produtor rural.

A tecnologia de aquecimento solar tem-se popularizado nos últimos anos, devido à redução de custos, através do emprego de materiais alternativos na construção dos coletores e reservatórios. Hoje, várias empresas fabricantes disponibilizam no mercado uma gama de modelos de coletores solares para aquecimento de água, construídos com materiais variados (plástico, alumínio, cobre, vidro, etc.).

Dentre os materiais, o plástico tem ganhado espaço na fabricação de coletores, por ser um material leve e possibilitar a fabricação de um número muito maior de peças num período relativamente curto de tempo, se comparado à fabricação dos antigos coletores, que eram serpentinas de cobre acondicionadas no interior de caixilhos metálicos tampados com vidro. O processo de fabricação dos coletores planos, em plástico, resume-se, simplesmente, na injeção de plástico aquecido em moldes. Com isto, a produtividade é elevada, reduzindo custos de produção, barateando assim o produto.

Se por um lado a introdução do plástico reduziu peso e custos dos coletores solares, por outro lado, houve redução na eficiência dos mesmos. Pois os coletores tradicionais, por possuírem um invólucro protetor das serpentinas com cobertura de vidro, proporcionam um efeito estufa, retendo melhor o calor, reduzindo a transferência para o ar circundante. Sendo assim, são menos suscetíveis as perdas por convecção, causadas pelo contato do vento com as placas coletoras (PENNEREIRO et al., 2011).

Assim, este trabalho buscou avaliar o efeito da vazão de água no rendimento de um coletor solar plano, construído em plástico. Pois, como não temos a disponibilidade de sol durante as 24 horas do dia e, em todos os dias do ano, o sistema de aquecimento solar necessita de um aquecimento de apoio, geralmente, uma resistência elétrica que atua quando a geração de água quente não é suficiente (OLIVEIRA et al., 2006). Desta forma, aumentar a geração de água através da melhoria do rendimento, mesmo com o consumo de energia para circulação de água, pode ser mais interessante frente ao consumo de energia elétrica do sistema de apoio.

MATERIAL E MÉTODOS

O coletor solar foi alocado em uma estrutura metálica com inclinação de 33 graus em relação à horizontal, sendo apoiado sobre uma chapa de compensado de madeira com espessura de 5 mm (Figura 1), para a proteção do lado inferior, objetivando-se minimizar a perda térmica devido à ação do vento.



FIGURA 1. Fixação do coletor solar na estrutura metálica. **Attaching the solar collector on the metallic structure.**

Para o ajuste da vazão de água no coletor, foi empregado um registro do tipo gaveta instalado na saída deste (Figura 2). O registro também teve a função de proporcionar a pressurização do coletor, evitando a formação de bolhas de ar no interior deste.



FIGURA 2. Registro para controle de vazão e pressurização. **Registration for flow control and pressurization.**

Para a medição da temperatura da água na entrada e na saída do coletor, foram empregados sensores de temperatura do tipo PT-100, com faixa de medição de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $570\text{ }^{\circ}\text{C}$ e precisão de $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Os sensores de temperatura foram devidamente inseridos no interior das tubulações, de modo a estar diretamente em contato com a água (Figura 3).



FIGURA 3. Sensores de temperatura do tipo PT-100 inseridos nas tubulações. **PT-100 temperature sensors inserted in the pipes.**

Para a circulação de água no coletor, foi empregada uma bomba centrífuga, marca Schneider, Modelo BC-98 SC (Potência de 186,42 W, 220 V, 60 Hz). Para a medição e o controle da vazão de água, empregaram-se medidores do tipo rotâmetro, Fabricante Blue White, Marca Flowmeter, Modelo F-44276LH-8, com faixa de medição de 0,8 a 8,0 L min⁻¹ e precisão de +/- 2%. Os medidores de fluxo foram instalados verticalmente na descarga da bomba de água, conforme mostra a Figura 4. Para a conversão da vazão volumétrica em vazão mássica (kg s⁻¹), os valores lidos no rotâmetro foram convertidos para metro cúbico por segundo e multiplicados pelo valor da densidade da água. Considerando a temperatura da água na entrada no coletor, adotou-se a densidade de 1.000 kg m⁻³ (BORGNAKKE & SONNTAG, 2009).



FIGURA 4. Conjunto bomba de água e medidores de fluxo. **Set pump and flow meter.**

Para manter a entrada de água no coletor mais ou menos constante, evitando-se possíveis influências relacionadas à temperatura de entrada da água, optou-se por não trabalhar com recirculação entre o reservatório e o coletor. Assim, após passar pelo coletor, a água era descartada. Sendo assim, para suprir a quantidade de água necessária para cada ensaio, foi empregado reservatório de fibra de vidro com volume de 5 mil litros.

Os ensaios foram realizados no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, na cidade de Campinas, Estado de São Paulo, latitude: 22° 48' 57" sul, longitude: 47° 03' 33" oeste e altitude: 640 metros. A base metálica com o coletor foi posicionada com orientação Norte, devidamente nivelada em local sem obstáculos que interferissem na insolação. O período de testes compreendeu os dias 15; 16; 17 e 19 do mês de junho de 2006, com as vazões de 0,068 kg s⁻¹, 0,054 kg s⁻¹, 0,04 kg s⁻¹ e 0,026 kg s⁻¹, respectivamente.

Todos os ensaios tiveram o tempo de duração de 8 horas diárias, iniciando-se às 9 horas e encerrando-se às 17 horas. Não houve qualquer controle da temperatura da água no reservatório (aquecimento ou resfriamento), ou seja, para ambos os ensaios, a temperatura da água na entrada dos coletores foi determinada pelas condições climáticas a que estava submetido o reservatório no dia do ensaio.

Para coleta e armazenamento dos dados de temperatura, foi empregado um registrador eletrônico da Jonhis, Modelo R Logger 2008 (precisão com PT100: +/- 0,2%). O tempo de integralização das leituras foi de 10 minutos.

Os dados de temperatura ambiente, velocidade do vento e radiação incidente foram fornecidos pela estação do CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura), localizada a 200 metros do experimento, nas coordenadas 22° 49' 07,40" S e 47° 03' 43,64" W.

O cálculo da potência térmica desenvolvida pelo coletor para aquecimento de água foi realizado por meio da [eq.(1)].

$$P_c = \frac{\dot{m}_{\text{água}} \cdot C_{p_{\text{água}}} \cdot (T_{\text{saída}} - T_{\text{entrada}}) \cdot 1000}{A_c} \quad (1)$$

em que,

P_c : Potência térmica desenvolvida pelo coletor [W m⁻²];

$\dot{m}_{\text{água}}$: Vazão mássica de água [kg s⁻¹];

$C_{p_{\text{água}}}$: Calor específico da água a pressão constante [kJ kg⁻¹ K⁻¹];

$T_{\text{saída}}$: Temperatura da água na saída do coletor [°C];

T_{entrada} : Temperatura da água na entrada do coletor [°C],

A_c : Área do coletor [m²].

Para o poder calorífico da água a pressão constante, foi empregado o valor de 4,187 kJ kg⁻¹ K⁻¹ (BORGNAKKE & SONNTAG, 2009). A área superficial calculada para o coletor foi de 0,84 m².

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 mostra o comportamento da potência térmica no período compreendido entre as 9 e as 17 horas para cada vazão adotada.

As Figuras 6 e 7 mostram, respectivamente, os dados da estação do CEPAGRI para o comportamento da temperatura ambiente e da velocidade do vento durante cada ensaio. As menores temperaturas ambientes foram verificadas durante os ensaios para as vazões de 0,026 e 0,054 kg s⁻¹. De acordo com a Figura 7, verifica-se que a velocidade do vento apresentou grande oscilação durante o período de realização dos ensaios e que os maiores picos foram registrados durante o ensaio para a vazão de 0,054 kg s⁻¹.

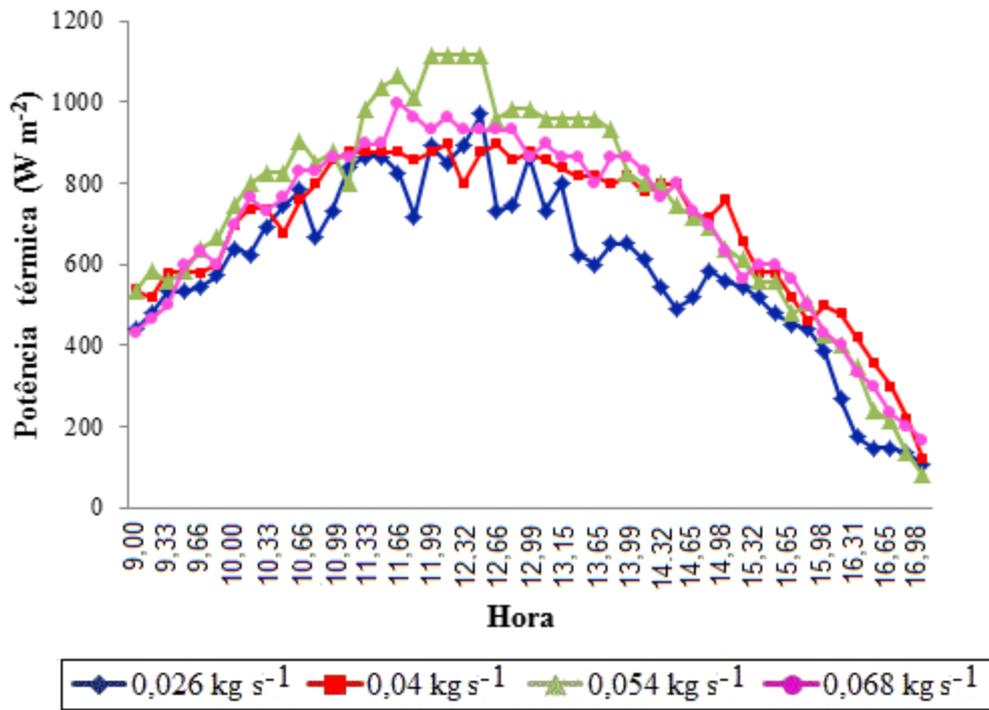


FIGURA 5. Variação da potência térmica para cada vazão mássica ensaiada. **Variation of thermal power for each particular test mass flow.**

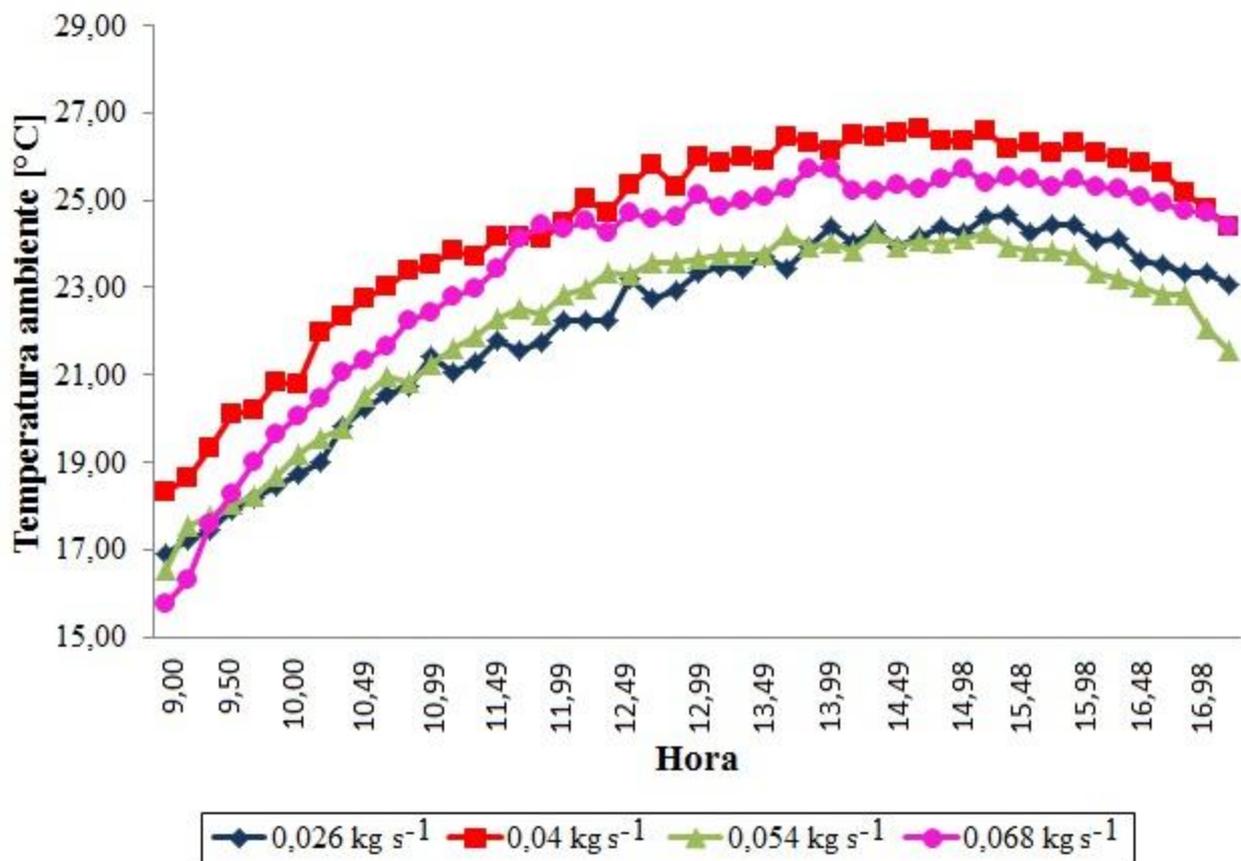


FIGURA 6. Variação da temperatura ambiente ao longo dos ensaios (Dados: CEPAGRI). **Variation of temperature along the assays (Data: CEPAGRI).**

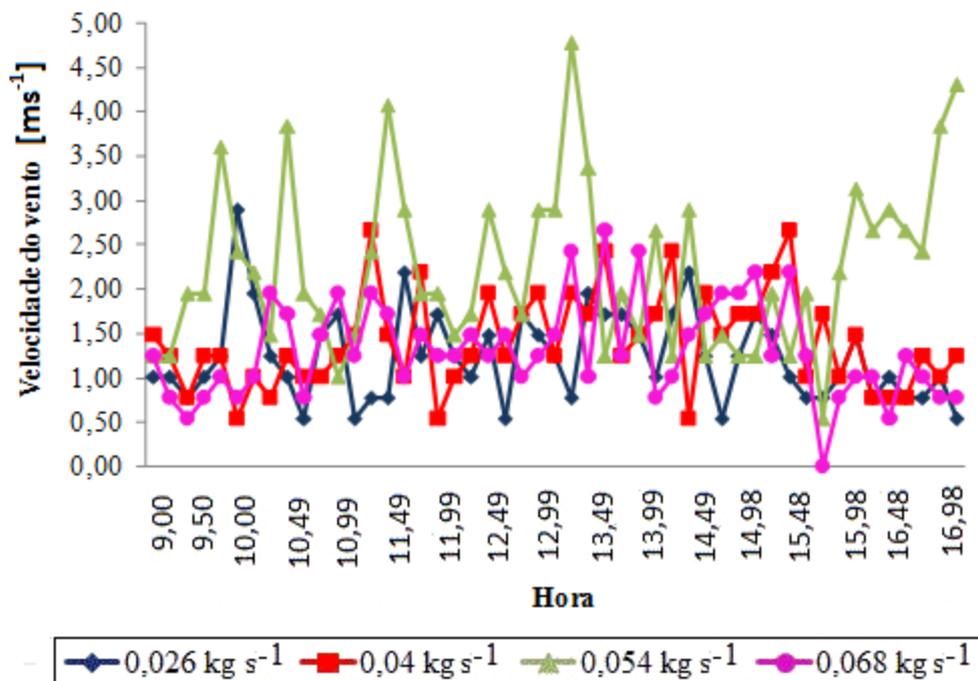


FIGURA 7. Variação da velocidade do vento ao longo dos ensaios (Dados: CEPAGRI). **Wind speed variation over the trials (Data: CEPAGRI).**

A Tabela 1 mostra a síntese dos resultados dos ensaios para cada vazão de água, com os dados médios diários de potência térmica, velocidade do vento e temperatura ambiente. Os valores médios de potência térmica foram determinados integrando-se as curvas de rendimento térmico instantâneo (Figura 6) e dividindo os valores obtidos pelo tempo total de operação.

TABELA 1. Valores médios diários de potência térmica do coletor, velocidade do vento e temperatura ambiente. **Daily average values of thermal power collector, wind speed and ambient temperature.**

Vazão mássica (kg s^{-1})	Potência térmica (W m^{-2})	Velocidade do vento (m s^{-1})	Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
0,026	608	1,18	21,43
0,040	719	1,30	23,54
0,054	753	2,11	21,30
0,068	715	1,25	22,44

Conforme mostra a Tabela 1, verifica-se que o maior valor de potência térmica foi obtido para a vazão de $0,054 \text{ kg s}^{-1}$, mesmo com menor temperatura média ambiente e maior velocidade média do vento, fatores que contribuem para a elevação das perdas do coletor por emissão e convecção. O menor valor de potência térmica foi registrado para a vazão de $0,026 \text{ kg s}^{-1}$. Por outro lado, no ensaio com a vazão de $0,068 \text{ kg s}^{-1}$, com velocidade do vento relativamente baixa e temperatura ambiente relativamente alta, houve redução no valor da potência térmica média, o que demonstra a influência da vazão.

BASSO et al. (2010) concluíram, em seu trabalho de avaliação de um sistema de aquecimento solar, que não houve interferência do vento sobre as temperaturas de entrada e saída da água da placa solar. No entanto, estes autores trabalharam com um coletor plano com caixa e cobertura de vidro, o que cria um efeito estufa, reduzindo a troca convectiva com o ambiente pela ação do vento.

Na comparação feita por PENEREIRO et al. (2011) a respeito do efeito da velocidade dos ventos ($1,00\text{-}1,50 \text{ m s}^{-1}$; $1,51\text{-}2,00 \text{ m s}^{-1}$ e $2,01\text{-}2,75 \text{ m s}^{-1}$) sobre um coletor convencional (com caixilho de metal de cobertura de vidro) e um coletor de baixo custo, construído com PVC e sem

cobertura, ao contrário de BASSO et al. (2010), verificou-se que o vento atuou de forma negativa sobre a eficiência dos dois modelos de coletores, sendo que o efeito foi mais pronunciado no coletor de baixo custo, por não possuir invólucro protetor e cobertura de vidro. Neste trabalho, verificou-se, também, que o aumento da diferença de temperatura entre o ambiente e a água de entrada no coletor atuou no sentido de aumentar ainda mais as perdas ocasionadas pelo aumento da velocidade do vento. Até porque, segundo estes autores, as perdas estão diretamente ligadas à diferença de temperatura entre a água que circula pelo coletor e o ambiente.

Com relação aos valores médios diários de potência térmica apresentados na Tabela 1, se comparados ao valor obtido por PENEREIRO et al. (2011), estes foram relativamente elevados, mesmo para o ensaio com a menor vazão ($0,026 \text{ kg s}^{-1}$). Com base nos dados apresentados por PENEREIRO para um ensaio de 8 horas, realizado no período entre 9 e 17 horas, foi possível estimar a potência térmica média de $391,45 \text{ W m}^{-2}$, para a vazão média estimada de $39,41 \text{ L h}^{-1}$, cerca de $0,011 \text{ kg s}^{-1}$, resultando na diferença média de temperatura entre a água de entrada no coletor e o ambiente, de $14,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Com base nos dados da Tabela 2, que mostra os valores das temperaturas médias de entrada e de saída da água do coletor para cada vazão e a diferença entre estas e a temperatura ambiente, é possível explicar os valores tão elevados de potência térmica, pois ao analisar os valores das diferenças entre a temperatura da água do coletor e a do ambiente, verifica-se que estas foram bem menores do que o valor estimado para o trabalho de PENEREIRO et al. (2011). Isto foi devido a dois fatores: o emprego da circulação forçada, com maior vazão e a não recirculação, mantendo uma temperatura baixa para a água na entrada do coletor durante o tempo de realização de todos os ensaios. O fato de ter empregado um coletor industrial, com melhor tecnologia de fabricação, também colaborou para um resultado melhor do que o obtido por PENEREIRO et al. (2011).

TABELA 2. Dados de temperaturas médias de entrada (T_e) e de saída do coletor (T_s) e das diferenças médias entre estas e a temperatura ambiente (T_{amb}). **Average temperatures input data (T_e), collector outlet (T_s) and the average differences between these and the ambient temperature (T_{amb}).**

Vazão mássica (kg s^{-1})	T_e ($^\circ\text{C}$)	T_s ($^\circ\text{C}$)	$T_e - T_{amb}$ ($^\circ\text{C}$)	$T_s - T_{amb}$ ($^\circ\text{C}$)
0,026	20,7	25,2	-0,7	3,8
0,04	20,4	24,9	-3,1	1,4
0,054	21,4	23,2	0,1	1,9
0,068	20,9	23,2	-1,5	0,8

Com base na Tabela 2, verifica-se que a menor vazão resultou em maior temperatura média para a água na saída do coletor, ocasionando maior diferença entre esta e a temperatura ambiente. Já a maior vazão proporcionou a menor diferença de temperatura entre a água na saída do coletor e o ambiente.

Analisando a Figura 8, fica mais clara a influência da vazão sobre a potência térmica desenvolvida pelo coletor. Verifica-se um comportamento crescente em função do aumento da vazão até o valor de $0,054 \text{ kg s}^{-1}$. A partir desse valor, a potência térmica decresceu com o incremento de vazão.

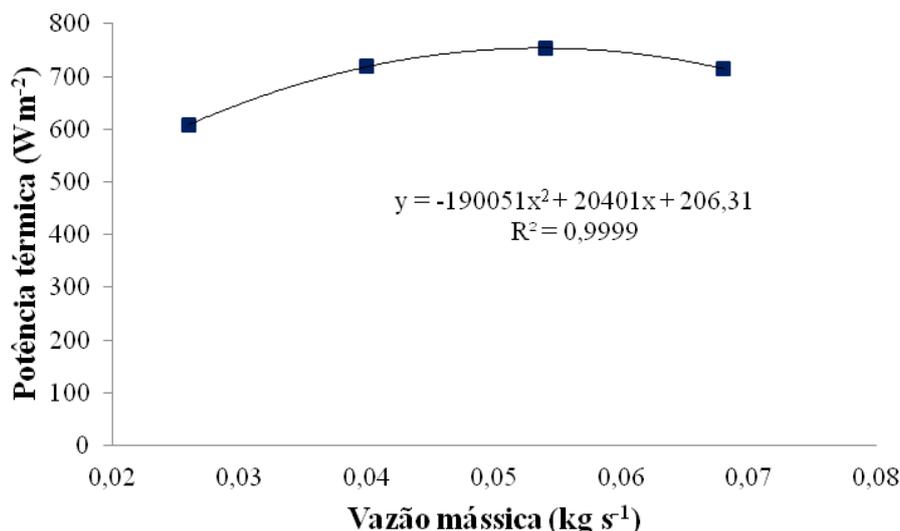


FIGURA 8. Comportamento da potência térmica média diária do coletor em função da vazão de trabalho. **Behavior average daily thermal power collector depending on the work flow.**

Tal comportamento pode ser explicado com base nos dados da Tabela 2, quando analisados os mecanismos de troca de calor, considerando que a temperatura de saída da água seja bem próxima da temperatura do coletor. Pois, da radiação incidente, o balanço de energia entre o que é absorvido pelo coletor e o que é emitido para o ambiente é função direta da diferença entre a temperatura do coletor e a temperatura ambiente, ambas elevadas à quarta potência (BORGNAKKE & SONNTAG, 2009). Assim, maior vazão de água ocasiona maior resfriamento da placa coletora, reduzindo a diferença de temperatura entre esta e o ambiente, resultando em menor perda por emissão; assim, também há redução na perda por convecção externa devido à ação do vento sobre a placa coletora, que também é função direta dessa diferença de temperatura (PENNEREIRO et al., 2011).

Por outro lado, se o mecanismo de troca de energia entre a atmosfera e a placa coletora ocorre por radiação, o mesmo não ocorre entre a placa e a água que circula por esta. Neste caso, tem-se condução pela parede da placa e convecção entre a superfície interna da placa e o fluido (água). A condução é diretamente influenciada pela condutividade térmica do material. Já a convecção está relacionada ao coeficiente convectivo e a diferença de temperatura entre a placa e o fluido (BORGNAKKE & SONNTAG, 2009). Maior vazão propicia maior coeficiente convectivo interno, melhorando a troca de calor entre o fluido (água) e a placa. Por outro lado, também favorece a troca de calor com o ambiente externo, aumentando as perdas. Isto explica o fato de a vazão mássica de 0,068 kg s⁻¹ ter resultado em potência térmica inferior ao obtido para a vazão mássica de 0,054 kg s⁻¹ e praticamente igual à obtida para a vazão de 0,04 kg s⁻¹.

Provavelmente, pode ter havido alguma influência da condução de calor, relacionada ao comportamento do material do coletor. Porém, o fato de não ter sido registrado os valores de temperatura da superfície do coletor, impossibilitou a realização de uma discussão a esse respeito.

Em termos de ganho, se comparada a menor vazão, a vazão mássica de 0,054 kg s⁻¹ proporcionou um incremento de 23,8% na potência térmica. Considerando que a geração de água quente por aquecedores de apoio (geralmente elétricos) em sistemas comerciais de aquecimento solar, variam, dependendo da região e estação, entre 30 e 50% do total gerado (SÁLES, 2008), o aumento da potência térmica gerada pelo aumento da vazão pode resultar em significativa economia de energia.

Deve ser levada em consideração a necessidade de uma bomba d'água para prover a circulação forçada. Porém, já existem no mercado alguns modelos de bombas, de pequena potência, capazes de fornecer boas vazões. Algumas, inclusive, são disponíveis em corrente contínua, o que abriria possibilidade de acoplamento a um sistema solar fotovoltaico.

Tomando por base um sistema de aquecimento solar para uma família com 5 pessoas, com um “boiler” de 250 L, considerando a menor necessidade de aquecimento elétrico de apoio indica por SÁLES (2008) (30% do total gerado) e, um diferencial de temperatura para água de 30 °C entre o início e final do aquecimento, a redução no consumo de energia elétrica para aquecimento de apoio, devido ao ganho de rendimento (23,8%), seria superior a 50%, considerando o uso de microbomba de 40 W, operando 8 h dia⁻¹. Isto representaria uma economia de energia elétrica de 42 kWh mês⁻¹.

Cabe ressaltar que os ensaios foram conduzidos em condições de operação com temperatura de entrada da água mais ou menos constante, em torno de 20 a 21 °C, resultando em baixas temperaturas de saída, o que colaborou para bons resultados de potência térmica em todas as vazões, quando comparados aos valores encontrados na bibliografia consultada (PENEREIRO et al., 2011). Porém, se o ganho de rendimento com a vazão se repetir em condições normais de operação, este poderia sobrepor a diferença de eficiência térmica existente entre o coletor de plástico sem cobertura e o coletor de metal com caixilho e cobertura de vidro, que segundo PENEREIRO et al. (2011) foi de aproximadamente 18% em seu trabalho, onde a operação dos coletores foi por circulação natural (termosifão).

Deve-se também avaliar os aspectos econômicos, uma vez que os coletores de plástico são mais baratos que os coletores de metal com cobertura de vidro. De acordo com dados extraídos e adaptados de PEREIRA et al. (2006) e SÁLES (2008) o valor do metro quadrado do coletor convencional (construído em metal com cobertura de vidro) é três vezes superior a um de um coletor de baixo custo, construído em plástico e sem cobertura.

CONCLUSÕES

O aumento da vazão de água favoreceu o aumento da potência térmica do coletor solar. Foi possível determinar uma vazão “ótima”, a qual maximizou a potência térmica. Acima dessa vazão houve queda da potência térmica, onde a redução das perdas para o ambiente, pela redução da temperatura da placa, pode ter sido sobrepujada por uma deficiência de troca de calor entre a placa e o fluido.

O ganho de potência térmica entre a menor vazão e a vazão “ótima” foi superior a diferença de eficiência térmica entre um coletor de plástico sem cobertura e um coletor de metal com cobertura de vidro, mostrando que tal deficiência perante o coletor convencional pode ser eliminada ou reduzida com o ajuste de vazão.

Para uma melhor avaliação da influência da vazão sobre a potência térmica do coletor, estimativa de todas as perdas e balanço energético, devem ser monitorados também os valores de temperatura da superfície do coletor.

REFERÊNCIAS

- BASSO, L. H.; SOUZA, S. N. M.; SIQUEIRA, J. A. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; SANTOS, R. F. Análise de um sistema de aquecimento de água para residências rurais, utilizando energia solar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.14-21, jan./fev. 2010.
- BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R E. **Fundamentos da termodinâmica**. 7. ed., São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2009. 454 p.
- KALOGIROU, S. Thermal performance, economic and environmental life cycle analysis of thermosiphon solar water heaters. **Solar Energy**, Phoenix, v. 83, p 39-48, 2009.
- MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. Estudo comparativo da confiabilidade de estimativas de irradiação solar para o sudeste brasileiro obtidas a partir de dados de satélite e por interpolação/extrapolação de dados de superfície. **Revista Brasileira de Geofísica**, São José dos Campos, v. 29, n. 2, p. 265-276, 2011.
- MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. **Energy Policy**, New York, v. 48, p. 640-649, sep. 2012.

- NASPOLINI, H. F.; MILITÃO, H. S. G.; RÜTHER, R. The role and benefits of solar water heating in the energy demands of low-income dwellings in Brazil. **Energy Conversion and Management**, v. 51, p. 2835-2845, 2010.
- NASPOLINI, H. F.; RÜTHER, R. The impacts of solar water heating in low-income households on the distribution utility's active, reactive and apparent power demands. **Solar Energy**, Phoenix, v. 85, p. 2023-2032, 2011.
- OLIVEIRA, M. P. D. L.; MARTINS NETO, J. H.; VIDAL, A. M. A.; BARBIERE, P. E. L. Análises técnica e econômica de um sistema de aquecimento solar com bomba de calor. In: POSMEC - SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, 16., 2006, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: FGMEC/UFU, 2006.
- OLIVEIRA, L. F. C.; FERREIRA, R. C.; ALMEIDA, R. A.; LOBATO, E. J. V.; MEDEIROS, A. M. M. Potencial de redução do consumo de energia elétrica pela utilização de aquecedores solares. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.3, p.406-416, jul./set. 2008.
- PENEREIRO, J. S.; FERREIRA, D. H. L.; SILVA, L. L.; MESCHIATTI, M. C. Estudo comparativo entre um aquecedor solar de baixo custo e um comercial: as eficiências térmicas experimentais sob a influência dos ventos. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Nova Iguaçu, v. 11, n. 3, p. 7-28, dez. 2011.
- SÁLES, I. C. F. **Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar: uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.
- SILVA, M. R. **Avaliação de alternativa para eletrificação rural no contexto dos programas de universalização do atendimento de energia no Brasil**. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- WEISS, W.; BERGMANN, I.; FANINGER, G. **Solar heat worldwide: markets and contribution to the energy supply 2009** (Edition 2011). Gleisdorf: Institute for Sustainable Technologies, 2011.