II Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana

ABORDAGEM SISTÊMICA, ESCALAS E INTERSETORIALIDADE:
DESAFIOS E POTENCIAIS DO DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL

Estudo comparativo entre o desempenho de sistemas de aquecimento solar de água para residências com coletor solar plano e coletor solar de tubos a vácuo¹

Evaluation study among the performance of solar water heating systems for residences with flat solar collector and solar collector of vacuum tubes

Machado Márquez Zampiva, Marcelo¹; Schmitt Schuster, Bruna²; Fernandes Viotto, Hugo Gabriel³; Taboni Junior, Luiz Roberto⁴; Cruz Siqueira, Jair Antônio⁴; De Angelis Neto, Generoso⁵.

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 1619, Brasil, marcelozampiva@hotmail.com;

² Universidade Estadual de Maringá, Avenida Colombo, 5790, Brasil, brunaschuster@hotmail.com;

³ Universidade Estadual de Maringá, enghugo.orbe@gmail.com;

⁴ Universidade Estadual de Maringá, junior_lrt@hotmail.com;

⁵ Universidade Estadual do Oeste do Paraná, jair.siqueira@unioeste.br;

⁶ Universidade Estadual de Maringá, ganeto@uem.br.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar o potencial de aquecimento de água entre um aquecedor solar com coletores planos e outro aquecedor solar com tubos a vácuo em diferentes estações do ano, na cidade de Cascavel, Paraná. Comparou-se a temperatura da água de entrada e saída de dois sistemas de aquecimento solar de água. Os valores de temperaturas foram armazenados em um *datalogger*. Registrou-se, também, a irradiância solar no plano inclinado por meio de um piranômetro, também conectado ao *datalogger*. A irradiação solar atingiu maiores valores para o mês de março, consequentemente, a temperatura de saída média diária também foi maior. A energia térmica produzida pelo coletor tubular a vácuo, durante todo o período de levantamento de dados, foi superior à produzida pelo coletor plano. O sistema de aquecimento solar tubular a vácuo se demonstrou mais eficiente quanto ao aquecimento de água, produzindo maior quantidade de energia térmica e, consequentemente, uma maior temperatura de saída da água para todas as estações. Sendo aquela: 18,6% (março); 22,9% (junho); e 67,5% (setembro).

Palavras-chave: Energia solar, Coletor solar, Radiação solar.

¹ MACHADO MARQUEZ ZAMPIVA, Marcelo; SCHMITT SCHUSTER, Bruna; FERNANDES VIOTTO, Hugo Gabriel; TABONI JUNIOR, Luiz Roberto; CRUZ SIQUEIRA, Jair Antonio; DE ANGELIS NETO, Generoso. Avaliação do potencial de produção de Biogás por meio do lixo doméstico em edifícios residências. In: II SIMPÓSIO NACIONAL DE GESTÃO E ENGENHARIA URBANA: SINGEORB, 2019, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2019.

ABSTRACT

This article aims to compare the potential of water heating between a solar heater with flat collectors and another solar heater with vacuum tubes in different seasons of the year, in Cascavel, Paraná. The temperature of the water inlet and outlet was compared in two solar water heating systems. The temperature values were stored in a data logger. The solar irradiance was also registered in the inclined plane through a pyranometer, also connected to the datalogger. The solar irradiation reached the highest values in March, consequently, the average daily output temperature was also higher. The thermal energy produced by the vacuum tubular collector was higher than that produced by the flat collector. The vacuum tubular solar heating system has been shown to be more efficient in heating water, producing a greater amount of thermal energy and, consequently, a higher outlet temperature of water for all seasons. This may be seen in: 18.6% (March); 22.9% (June); and 67.5% (September).

Keywords: Solar energy, Solar collector, Solar radiation

1 INTRODUÇÃO

Manea et al. (2013) apontam que o sistema de aquecimento solar de água é um recurso utilizado para obter energia térmica a um custo razoável, evitando-se extração de recursos naturais de fontes não renováveis.

Segundo Pereira (2006), o aquecimento de água é responsável por 25% ou mais do total de energia elétrica consumida em uma residência brasileira. Tal demanda de energia elétrica poderia ser reduzida em grande parte com a exploração da energia solar no aquecimento de água.

Além de incentivos voltados à geração de energia elétrica proveniente de fontes renováveis, há outros movimentos em sentido semelhante, como aqueles voltados ao incentivar a utilização de aquecimento de água por meio de coletores solares. Como é o caso da Lei nº 19.477/2018, sancionada em 25 de abril de 2018 no estado do Paraná. Esta lei instituiu a obrigatoriedade da instalação de aquecedor solar para o aquecimento de água em projetos de habitação popular, sendo aplicada em novas edificações financiadas pelo Poder Público do estado do Paraná.

Atualmente, no Brasil há diversas opções de sistemas de aquecimento solar de água, com uma grande variedade de preços e marcas. Cada um deles com suas especificidades como: forma de instalação, eficiência e desempenho para diferentes localizações no Brasil. O presente estudo propõe avaliar as diferenças dos dois sistemas e as eficiências de ambos no aproveitamento da irradiação solar para o aquecimento da água.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização do experimento

A pesquisa foi realizada utilizando dois sistemas de aquecimento solar de água, instalados próximos ao laboratório Centro de Análise de Sistema Alternativos de Energia (CASA) na Unioeste, Campus Cascavel, com Latitude 24°59' Sul, Longitude 53°27' Oeste e altitude média de 758 metros.

2.2 Sistemas de aquecimento solar

O sistema de aquecimento solar com coletores planos, é composto por um reservatório térmico (*boiler*) com capacidade de 200 litros e três placas coletoras de 1,5 m² cada (Figura 1).

Figura 1 – Coletor solar plano fechado instalado na UNIOESTE, campus Cascavel.

Fonte: Os autores

O sistema de aquecimento solar com tubos a vácuo é composto por um *boiler* com capacidade de 170 litros e 20 tubos de vidro que são acoplados diretamente ao *boiler*. Ambos os sistemas estão orientados para o norte e inclinados em relação à horizontal a um ângulo de 36°. Na Figura 2, apresenta-se o coletor solar tipo tubular a vácuo.

Figura 2 – Coletor solar tubular a vácuo tipo *all-glass* instalado na UNIOESTE, campus Cascavel.

Fonte: Os autores

3.3 Determinação da energia térmica dos coletores e irradiância solar global no plano dos coletores

Para armazenamento dos dados foi utilizado um *Datalogger CR1000*, da *Campbell Scientific*. No *Datalogger* foram conectados os terminais de quatro termopares do tipo J, que foram instalados em determinados locais, para a determinação dos valores de temperatura da água de entrada e saída de ambos os sistemas.

Para a determinação da irradiância solar incidente sobre os coletores solares foi instalado um piranômetro CMP3 KIPP & ZONEN, na mesma orientação e inclinação dos coletores solares.

3.4 Avaliação da eficiência dos sistemas de aquecimento solar de água

Baseados nos critérios da NBR 7198:1992, foi realizada uma simulação de consumo de água. Segundo a norma o consumo de água por banho, ou seja, 45 litros durante 15 minutos. Supondo-se que há três pessoas na residência e que cada uma tome apenas um banho por dia, resulta-se em um total de 135 litros de água consumidos. O consumo de água foi feito por meio da abertura do registro dos *boilers* dos sistemas de aquecimento solar. Assim, deixou-se escoar a quantidade de água calculada, medindo-se a temperatura de saída da água de ambos os sistemas.

Para as três estações, pelo período de 10 dias, foram abertos os registros dos *boilers* para escoar a quantidade de água previamente calculada a fim de verificar o comportamento de ambos os sistemas de aquecimento quando submetido ao consumo de água aquecida. Simulando-se, assim, o consumo diário de água para banho.

3.5 Determinação da energia térmica produzida

Para determinar a quantidade de energia térmica produzida, por ambos os sistemas, utilizou-se a equação fundamental da calorimetria, Equação (1).

$$Q = m.c.t \quad (1)$$

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 Avaliação da radiação solar global incidente sobre o plano dos coletores

A irradiância solar apresentou seu valor máximo, normalmente, entre os horários de 12:00 e 15:00 horas, sendo o momento que os coletores solares absorvem maior quantidade de energia na forma de calor térmico. No pôr do sol a irradiância diminui até alcançar um valor nulo no período noturno, voltando a aparecer com o nascer do sol. Isto pode ser observado na Figura 3, onde foi escolhido um dia típico de céu aberto. Ainda, na Figura 3 é apresentada a variação da temperatura ambiente ao longo deste mesmo dia.

Figura 3 – Irradiância solar incidente sobre o plano dos coletores solares e a temperatura ambiente registrada no dia 08/06/2018

Fonte: Autores (2018)

A energia solar disponível, conforme pode ser observado nas Figuras 4, 5 e 6, apresentou o valor máximo de irradiação solar diária: 6,52; 6,89 e 6,84 kWh/m²/dia para os meses de março, junho e setembro, respectivamente. Ainda, o valor máximo da temperatura média diária do ambiente foi de 28,13, 21,55 e 26,54 °C, para os meses de março, junho e setembro respectivamente.

Figura 4 – Valores da irradiação solar e da temperatura ambiente média, para o mês de março

Fonte: Os autores

Figura 5 – Valores da irradiação solar e da temperatura ambiente média, para o mês de junho

Fonte: Os autores

Figura 6 – Valores da irradiação solar e da temperatura ambiente média, para o mês de setembro

Fonte: Os autores

A variação de temperatura ao longo do dia está relacionada à radiação solar, ou seja, os maiores valores da temperatura média estão relacionados aos maiores valores de radiação solar, conforme pode ser observado na Figura 3 ao associar à resposta da temperatura ao comportamento da irradiância solar.

4.2 Avaliação da radiação solar global incidente sobre o plano dos coletores

Na Figuras 7, 8 e 9 apresentam-se os registros de temperatura média da água de saída dos sistemas de aquecimento solar durante a simulação de consumo, a temperatura média da água fria, ou de entrada, que abasteceu os sistemas de aquecimento solar durante a simulação de consumo, assim como a temperatura média diária do ambiente e da média diária da irradiância.

Figura 7 – Valores de temperatura da água na entrada e na saída dos coletores plano e tubular, para o mês de março

Fonte: Os autores

Figura 8 – Valores de temperatura da água na entrada e na saída dos coletores plano e tubular, para o mês de junho

Fonte: Os autores

Figura 9 – Valores de temperatura da água na entrada e na saída dos coletores plano e tubular, para o mês de setembro

Fonte: Os autores

O sistema de aquecimento solar tubular atingiu uma temperatura média de água aquecida para consumo no valor de 62,40 °C para o mês de março, 36,69 °C para o mês de junho e 59,69 °C em setembro, com um coeficiente de variação igual à 10,72, 20,07 e 24,24 % para os meses de março, junho e setembro, respectivamente. Já o sistema de aquecimento solar plano fechado atingiu uma temperatura média de água aquecida para o consumo no valor de 52,48 °C para o mês de março, 30,95 °C em junho e 39,67 °C para setembro, com um coeficiente de variação de 8,87, 32,78 e 29,28 % para os meses de março, junho e setembro, respectivamente.

Em março, os coeficientes de variação de ambos os sistemas obtiveram resultados aproximados; entretanto, o sistema de aquecimento com tubos a vácuo obteve maiores valores de temperatura para todas as estações, final do verão, em março, final do outono, em junho, e o começo da primavera em setembro.

Por meio da equação fundamental da calorimetria, equação (1), foi calculado a energia térmica produzida por cada um dos sistemas de aquecimento solar de água, conforme as Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Energia produzida pelo sistema de aquecimento solar de água com coletor plano fechado

Data	kWh	Data	kWh	Data	kWh
12/03/2018	5,42	06/06/2018	1,33	19/09/2018	2,62
13/03/2018	5,05	07/06/2018	4,71	20/09/2018	1,79
14/03/2018	6,54	08/06/2018	8,12	21/09/2018	6,70
15/03/2018	4,35	09/06/2018	3,25	22/09/2018	7,29
16/03/2018	7,38	10/06/2018	1,96	23/09/2018	8,8
17/03/2018	6,92	11/06/2018	1,58	26/09/2018	1,64
18/03/2018	6,78	12/06/2018	2,3	27/09/2018	0,52
19/03/2018	4,86	13/06/2018	5,53	28/09/2018	4,36
20/03/2018	4,77	14/06/2018	0,84	29/09/2018	5,44
21/03/2018	6,4	15/06/2018	0,31	30/09/2018	1,63
Média	5,85	Média	2,99	Média	4,08

Fonte: Os autores

Tabela 2 – Energia produzida pelo sistema de aquecimento solar de água com coletor tubular a vácuo

Data	kWh	Data	kWh	Data	kWh
12/03/2018	8,21	06/06/2018	2,42	19/09/2018	6,98
13/03/2018	8,99	07/06/2018	4,13	20/09/2018	5,14
14/03/2018	7,20	08/06/2018	6,96	21/09/2018	8,38
15/03/2018	5,11	09/06/2018	5,44	22/09/2018	10,20
16/03/2018	7,09	10/06/2018	3,62	23/09/2018	12,19
17/03/2018	7,33	11/06/2018	2,47	26/09/2018	3,67
18/03/2018	7,82	12/06/2018	2,27	27/09/2018	3,20
19/03/2018	5,65	13/06/2018	4,64	28/09/2018	6,29
20/03/2018	5,39	14/06/2018	2,79	29/09/2018	7,15
21/03/2018	6,53	15/06/2018	2,04	30/09/2018	5,1
Média	6,59	Média	3,68	Média	6,83

Fonte: Os autores

A energia térmica produzida pelo coletor tubular é cerca de 18,6% maior que a energia produzida pelo coletor plano fechado para o mês de março, 22,9% para o mês de junho e 67,5% para o mês de setembro. A energia produzida pelo coletor tubular é maior, em especial

para o mês de setembro, devido a maior capacidade de absorver a radiação solar mesmo em dias nublado ou chuvosos, como ocorreu em diversos dias do mês de setembro.

Por fim, o sistema de aquecimento solar com coletores a vácuo produziu uma quantidade maior de energia térmica para aquecimento solar de água, para o verão, outono e primavera. Sendo, assim, o sistema de aquecimento solar escolhido para o estudo de caso.

5 CONCLUSÃO

O sistema de aquecimento solar tubular a vácuo se apresentou mais eficiente em relação ao aquecimento solar de água, submetidos às mesmas condições, para o mês de março com um percentual de 19%, para o mês de junho com um percentual de 18% e com um percentual de 82% para o mês de setembro. Assim, a energia térmica produzida pelo sistema de aquecimento solar com tubos a vácuo foi superior nas quatro estações do ano.

A grande variação da temperatura do coletor plano fechado está relacionada à sua elevada troca de calor com o meio, devido ao material utilizado em suas tubulações, absorvendo e liberando calor muito facilmente. Diferentemente do coletor tubular a vácuo, que é revestido por várias camadas que absorvem e convertem o máximo de radiação solar em calor, influenciando, de forma direta, na sua eficiência superior ao sistema de coletores planos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7198**: Projeto e Execução de Instalações Prediais de Água Quente. Rio de Janeiro, 1992.

BRASIL, Lei n. 19.447, de 25 de abril de 2018. **Institui a obrigatoriedade de instalação de aquecedor solar para aquecimento de água em projetos de habitação popular no estado do paran e d outras providncias**. Curitiba – PR, abr 2018.

MANEA, T. F. et al. **Determinao de parmetros de desempenho para coletores solares tubulares a vcuo**. LABSOL – Laboratrio de energia solar – PROMEC – UFRGS. 2013.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. So Jos dos Campos: INPE. p. 60 2006.

ROSA, F. N. et al. **Estudo comparativo da utilizao de coletores solares planos e tubulares para aquecimento de gua**. Revista brasileira de energia solar, Rio Grande do Sul. v. 4, n. 2, p. 93-100. dez. 2013.