

DESENVOLVIMENTO DE UM COLETOR SOLAR FLEXÍVEL E DE BAIXO CUSTO**Dallegrave C.P. *, Warikoda L.T.*, Scaramelli D.S. *, Oliveira M.A. de*, Ribeiro L.M.F.***,*****

* Engenharia Industrial, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, 5300-253, Bragança, Portugal, cleberpd.9@gmail.com, matheusatdeoliveira@gmail.com, douglascaramelli@gmail.com, lincoln.tadashi@gmail.com.

** Departamento de Tecnologia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, 5300-253, Bragança, Portugal, frolen@ipb.pt

*** INEGI – Laboratório Associado de Energia, Transporte e Aeronáutica, 4200-465, Porto, Portugal

<https://doi.org/10.34637/cies2020.1.2061>

RESUMO

Esse trabalho reporta o desenvolvimento numérico de um coletor solar flexível e de baixo custo e a posterior fabricação de protótipos, em filme de poliuretano (PU). Foram projetados quatro modelos de coletores solares no software SolidWorks® e realizadas simulações no software ANSYS/Fluent™ 18.2; os estudos de fabricação dos modelos foram realizados em conjunto com uma empresa de construção de insufláveis. O desempenho do sistema foi simulado para um coletor e depois para dois coletores, nas condições de inverno das cidades do Porto e de Fortaleza. O coletor forneceu água quente para uso a temperaturas próximas a 40°C. Foi fabricado um protótipo que é flexível e de baixo custo para ser testado o seu desempenho térmico.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento de água, Termossifão, Energia Solar.

ABSTRACT

This paper reports the development of a flexible and low-cost solar collector and posterior prototype manufacturing, in polyurethane film. Four models of solar collectors were designed in SolidWorks® software and simulated in ANSYS/Fluent™ 18.2 software; the manufacturing studies of the models were carried out together an inflatable construction company. The systems were simulated for a collector and for two collectors in the winter conditions in the cities of Porto and Fortaleza. The collector provided hot water for use at approximately 40°C. A low-cost and flexible prototype was manufactured and its thermal performance will be tested.

KEYWORDS: Water heating, Thermosiphon, Solar Energy.

INTRODUÇÃO

Em eventos de curta duração, como em festivais ou acampamentos temporários, a água aquecida para banho nem sempre está disponível, ou quando existe requer a instalação de estruturas complexas. Além disso, em comunidades carentes, especialmente as de países como o Brasil, que usa chuveiros elétricos para aquecer água, o simples conforto de tomar banho quente não é possível para todas as pessoas. Muitos consideram o ato de tomar banho uma necessidade básica, e o fornecimento de água aquecida é fundamental para se obter um banho confortável. A água que sai do chuveiro deve ser de aproximadamente 40 °C para que um banho tenha o mínimo de conforto (Belinazo e Belinazo, 2004).

Um coletor solar é um tipo de permutador de calor que transforma energia solar em energia térmica. Essa energia é transferida ao fluido de trabalho que circula no seu interior, aquecendo-o. Um dos modos de funcionamento desse sistema é através de termossifão, sendo um sistema de aquecimento solar composto pelos seguintes elementos: coletor solar, reservatório térmico e tubagens, além das conexões hidráulicas.

O desempenho de coletores solares de baixo custo, submetidos às mesmas condições operacionais de um coletor convencional similar apresentam valores de temperatura e eficiência similares em, respectivamente, 96,76% e 93,68% (Mendes e Vieira, 2008). O estudo mostrou que o coletor solar de baixo custo é tecnicamente viável para o aquecimento doméstico de água, uma vez que, posto nas mesmas condições operacionais de um coletor solar convencional, apresentou valores temperatura de 41,8 °C, enquanto para o convencional foi de 43,2 °C, e eficiência de aquecimento, respectivamente, de 47,4 % e 50,6%.

Leephakpreeda (2010) estudou a eficiência da conversão da energia solar em energia térmica num coletor solar. Para a radiação solar de 800W/m² e temperatura na entrada do coletor de 33°C, obtendo a temperatura na saída de 43°C, enquanto o valor da temperatura no reservatório mais alto obtido foi 38°C. Leephakpreeda concluiu em seu trabalho que a eficiência de conversão é máxima quando a razão entre a diferença de temperaturas do fluido de trabalho e do ambiente pela radiação solar incidente $\left(\frac{T_f - T_a}{I}\right)$, aproxima-se de zero.

Cristofari et al. (2002) modelaram e desenvolveram um coletor solar para aquecimento de água fabricado com material copolímero. Analisaram a influência de diferentes parâmetros do sistema, nomeadamente, a espessura do isolamento, o caudal mássico, a espessura da camada do fluido e a velocidade do vento. Dentre os principais resultados encontrados, teve-se a eficiência média anual de 56,5% sem influência do vento e de 49,9% com vento incidindo a uma velocidade de 5m/s e a média anual de produção diária de energia foi, respectivamente, de 5,03 kWh e de 4,38 kWh.

Jordan, Seye e Motomiya (2015) buscaram avaliar o efeito do caudal de água no rendimento térmico de um coletor solar plano, construído em termoplástico, para quatro caudais mássicos de água: 0,026 kg/s; 0,04 kg/s; 0,054 kg/s e 0,068 kg/s. Através desse experimento foi possível mostrar que há um caudal ótimo de operação, uma vez que para o caudal de 0,054 kg/s obteve-se o maior valor de potência térmica de 753 W/m² e, para a maior caudal (0,068 kg/s) a potência térmica se equiparou com o do menor caudal (0,026 kg/s), 715 W/m².

Os estudos anteriores incidem sobre coletores de baixo custo e indicam que a perda de eficácia é reduzida. Diante disso, apresenta-se um coletor solar modular, com materiais de baixo custo e flexível para facilitar o transporte e a montagem, ampliar a variedade de superfícies em que pode ser instalado e reduzir os gastos de aquisição. Este trabalho reporta o desenvolvimento deste tipo de coletor solar através de estudos numéricos e da construção de protótipos não funcionais para a obtenção de um protótipo funcional.

METODOLOGIA

O trabalho consistiu no desenvolvimento de vários modelos numéricos de coletores solares flexíveis de baixo custo para um sistema de aquecimento de água pelo efeito de termossifão. A modelação dos coletores foi feita através do software SolidWorks®, as simulações do comportamento do sistema no software ANSYS/Fluent™ e o estudo de fabricação dos modelos foi feita em conjunto com uma empresa de construção de insufláveis. Para cada modelo de coletor desenvolvido foram feitos dois conjuntos de simulações: com apenas um coletor e com dois coletores ligados em série ou em paralelo. Após cada simulação do coletor, realizavam-se simplificações em seu design para elaboração de um modelo seguinte. Então, este modelo era simulado nas mesmas condições de seu antecessor, sendo analisado a temperatura de uso da água. O modelo seguinte era aprovado caso a temperatura analisada não apresentasse diferenças significativas em relação aos resultados do modelo antecessor.

Para que o coletor seja flexível e de baixo custo o material adotado foi o filme de poliuretano (PU), devido ao seu preço, maneabilidade e proteção contra raios ultravioletas (UV). O coletor solar possui três partes: a camada

absorvedora por onde passa o fluido, uma cobertura transparente para propiciar o efeito estufa e uma camada isolante na parte inferior para diminuir as perdas térmicas do coletor. Para facilitar a manutenção e substituição dos componentes, utilizou-se uma fixação rápida em material têxtil em todo o perímetro da cobertura transparente e da camada isolante para fixá-las à placa absorvedora.

Para as simulações no ANSYS/FluentTM, o coletor foi simulado num sistema de aquecimento com as tubagens de 15 mm de diâmetro externo e um reservatório térmico com capacidade de 150 litros, sendo desprezado o consumo de água durante o dia. O reservatório do sistema consiste em dois depósitos cilíndricos posicionadas concentricamente e, no espaço entre elas, inseriu-se isolamento térmico, cujo material selecionado foi o poliestireno expandido (EPS). Os sistemas foram simulados nas condições de inverno de Porto e de Fortaleza, localizados, respectivamente, numa zona temperada e noutra tropical. A estação de inverno foi escolhida por ser a mais extrema. A inclinação do coletor solar foi 41,2° para Porto e 27,2° para Fortaleza, de acordo com a latitude adoptada.

Nas simulações no software ANSYS/FluentTM, foi gerada automaticamente uma malha tetraédrica. Para reduzir tempo e complexidade do processamento, adotaram-se as seguintes simplificações: irradiações direta e difusa transformadas em fluxo de calor global; fluxo de calor uniforme na face superior do coletor, variando apenas em relação ao tempo, de acordo com a trajetória solar de cada local; tubos, reservatório e isolamentos inferior e lateral adiabáticos; a perda de carga na tubagem foi desprezada; fluido incompressível; escoamento laminar e fluxo de ar paralelo à superfície de 0 m/s para simular a atmosfera entre o coletor e a camada de cobertura. A eficiência foi calculada com a Equação (4).

$$\eta = \frac{\int Q_u dt}{A_c \int G dt} \quad (1)$$

onde η é a eficiência do coletor; Q_u é a potência calorífica, em Watt (W); A_c é a área do coletor exposta à radiação, em m² e G é a radiação solar global, em W/m².

Para coleta de dados de temperatura foram inseridos cinco pontos no sistema. A Fig. 1 mostra o posicionamento destes pontos, sendo que três estão localizados em diferentes níveis dentro do reservatório para calcular a temperatura média de uso, um à entrada do coletor e outro à saída para medir a temperatura à saída e o seu caudal mássico.

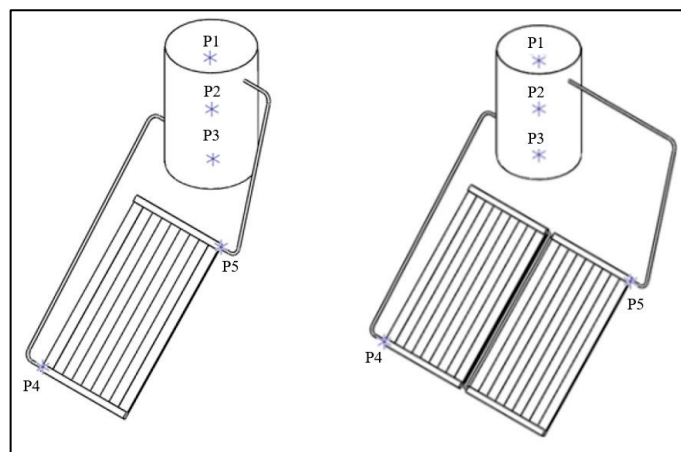
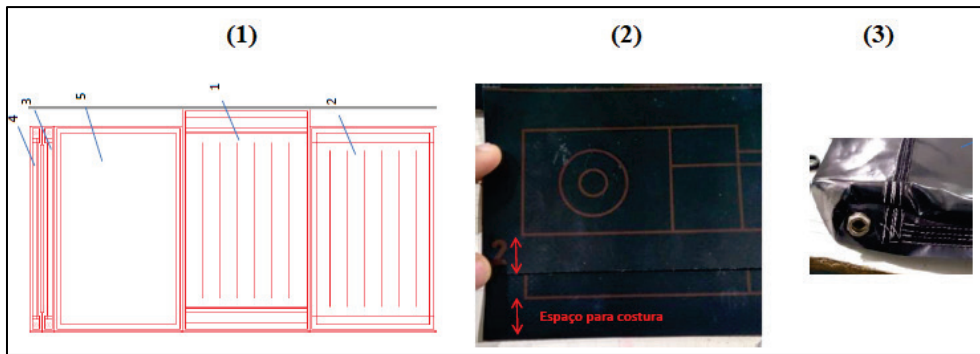


Fig. 1. Posição dos pontos de coleta de dados de temperatura no sistema analisado

O modelo demonstrativo foi fabricado para identificação das possíveis oportunidades de optimização do processo de fabrico. Sua produção ocorreu em três etapas: planificação (1), que é a conversão do modelo em 3D para 2D; corte e marcação, como os locais a serem unidos e indicação onde colocar a fixação rápida em material têxtil (2) e fixação (3). As etapas do processo de fabrico são representadas na Fig. 2.



ANÁLISE DOS RESULTADOS

No total foram projetados quatro modelos de coletores solares e foi construído um protótipo não funcional. O desenvolvimento de um modelo em relação ao outro levou em consideração os resultados das simulações do processo de fabrico do coletor. A Fig. 37 mostra a evolução dos modelos dos coletores, sendo que o modelo (1) apresenta nove canais de aquecimento, o modelo (2) possui sete e os modelos (3) e (4) possuem cinco.

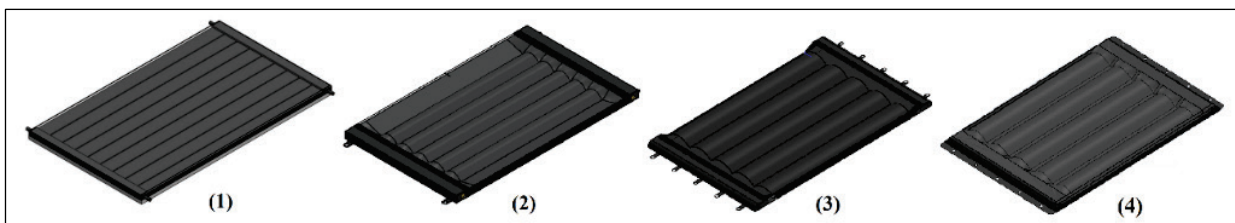


Fig. 3. Evolução dos coletores desenvolvidos

O protótipo não funcional foi fabricado com o objetivo de analisar os processos e os problemas de fabrico tendo por base o modelo 2. A Fig. 38 apresenta o protótipo não funcional do coletor solar insuflado, em fase de testes de construção.

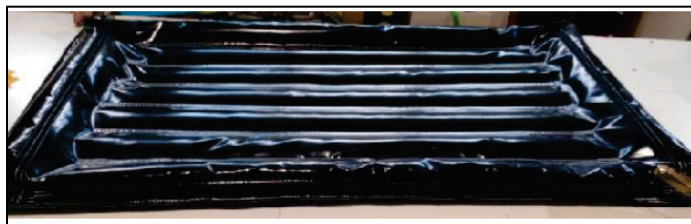


Fig. 4. Protótipo não funcional do coletor solar insuflado

Os resultados de temperatura de uso e de saída e do caudal mássico das simulações realizadas, assim como o número de canais e o volume de água dos coletores estão indicados nas Tabelas 1 e 2. Na Tabela 1 estão dispostos os resultados da simulação do sistema com um coletor e na Tabela 2 estão os resultados para o sistema com dois coletores em paralelo.

Tabela 1. Dados coletados da simulação do sistema com 1 coletor

	Modelo	Nº de canais	Volume de água [L]	T de uso [°C]	T de saída [°C]	Caudal mássico [kg/s]
Porto	1	9	0,75	30,90	50,30	0,00363
	2	7	1,8	30,66	38,89	0,00754
	3/4	5	1,8	30,61	37,62	0,00621
Fortaleza	1	9	0,75	35,30	59,10	0,00409
	2	7	1,8	37,10	46,48	0,00783
	3/4	5	1,8	38,12	47,76	0,00868

Tabela 2. Dados coletados da simulação do sistema com 2 coletores

	Modelo	Nº de canais	Volume de água [L]	T de uso [°C]	T de saída [°C]	Caudal mássico [kg/s]
Porto	1	9	1,5	40,20	72,40	0,00405
	2	7	3,6	40,08	49,63	0,00944
	3/4	5	3,6	39,77	48,96	0,00852
Fortaleza	1	9	1,5	49,10	91,10	0,00495
	2	7	3,6	49,26	60,93	0,00801
	3/4	5	3,6	49,72	63,54	0,00905

Não foram realizadas simulações para o último modelo, pois este sofreu pequenas modificações em relação ao terceiro modelo devido a alguns ajustes necessários para seu processo de fabrico, mantendo-se a estrutura interna dos canais e zona de aquecimento.

Todos os modelos de coletores possuem uma área útil aproximada de 0,7 m². A redução de canais foi feita para facilitar a construção, não prejudicando o seu desempenho. Apesar desta redução, a temperatura de uso apresentou pequenas variações entre os modelos simulados. Como mostrado na Tabela 1, a maior variação para Porto foi de 0,29°C entre os modelos 1 e 3, e a maior variação para Fortaleza foi de 2,82°C entre os modelos 1 e 3. Já para o sistema com 2 coletores, mostrado na Tabela 2, a maior variação para Porto foi de 0,29°C entre os modelos 1 e 3, e a maior variação para Fortaleza foi de 2,82°C entre os modelos 1 e 3.

Além disso, é possível observar na Tabela 2 que a temperatura de saída do modelo 1 é superior aos modelos 2 e 3. Isso se deve ao facto de que os coletores da simulação do primeiro modelo foram dispostos em série, e dos demais modelos em paralelo. A disposição em paralelo foi adotada para evitar que a temperatura da água ultrapasse o limite de uso de 70°C do material (TELFOR, 2019).

O protótipo não funcional construído a partir do modelo 2 será adaptado para ser testado num sistema de aquecimento de água, situado na cidade de Bragança, Portugal. Para a realização dos testes, uma bancada metálica foi construída para suportar o coletor solar e o reservatório de água. Essa bancada permite que a inclinação do coletor seja variável para a analisar a influência da inclinação no desempenho do coletor e ampliar as superfícies em que pode ser instalado.

CONCLUSÃO

O desenvolvimento de vários protótipos através de simulações numéricas permitiu otimizar o produto sem comprometer o seu desempenho.

Através dos dados obtidos nas simulações realizadas, tendo em vista as simplificações adotadas e desprezando o consumo de água, constata-se que no Porto é necessário um sistema de montagem paralela com dois coletores, que permitirá aquecer a água para uso até 39,77 °C ao fim do dia no inverno. Já para Fortaleza, o sistema com dois coletores seria o suficiente para abastecer a residência, visto que se atingiu a temperatura de uso da água de 38,12 °C no fim do dia. Contudo, num cenário mais realista, onde existem perdas de calor e consumo de água durante o dia, torna-se necessário o emprego de três coletores para Porto e dois coletores para Fortaleza.

A partir da fabricação do primeiro protótipo, foram identificadas oportunidades de melhoria e incorporadas no modelo 3. Este modelo foi posteriormente submetido a novas simulações numéricas. Com base nisso, ajustes relacionados ao processo de fabrico foram implementados no modelo 4. Este modelo será utilizado para a fabricação do protótipo funcional. Este protótipo será testado na Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal, para validar os dados obtidos numericamente com os dados experimentais.

REFERÊNCIAS

BELINAZO, M.; BELINAZO, H. **Parâmetros do Aquecimento de Água em Chuveiros: Conforto e Energia.** Vidya, n. 41, p. 175-192, 2004.

CRISTOFARI, C. et al. **Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector.** Solar Energy, [s.l.], v. 72, n. 2, p.99-112, fev. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0038-092x\(01\)00092-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0038-092x(01)00092-5).

JORDAN, Rodrigo A.; SEYE, Omar; MOTOMIYA, Anamari V. de A. Influência da Vazão de Água sobre o Rendimento de um Coletor Solar Plano Construído em Termoplástico. Journal Of The Brazilian Association Of Agricultural Engineering. Jaboticabal, p. 665-675. ago. 2015.

JURADO, D. **Modelagem Dinâmica de um Sistema Solar Termossifão Usando Coletores Atmosféricos de Plástico**. Mestrado – Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

LEEPHAKPREEDA, T. **Study of conversion efficiency of tube-type solar thermal collectors**. Thammasat International Journal of Science and Technology, Oxford, v. 15, n. 2, p. 10-16, 2010.

MENDES, Ana Cláudia F.; VIEIRA, Luiz Gustavo Martins. **Comparação de Desempenho entre um Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC) e seu Similar Convencional**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

PATKÓ, I.; SZEDER, A.; PATKÓ, C. **Evaluation the Impact Tilt Angle on the Sun Collectors**, Energy Procedia. v. 32, p. 222-231, 2013.

TELFOR. Coberturas/Capotas. Têxteis técnicos, 2019. Disponível em: <http://www.telfor.pt/_coberturas_capotas>. Acesso em: 30 nov. 2019.