

INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL UTILIZANDO COLETOR SOLAR DE ABSORÇÃO DIRETA COM NANOFLUÍDOS DE PRATA

Adonis Menezes, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, adonis.ifsc@gmail.com

Carolina Lau Lins Beicker, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, carol_beicker@hotmail.com

Enio Pedone Bandarra Filho, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, bandarra@mecanica.ufu.br

Resumo. O trabalho investigou experimentalmente as características de nanopartículas de prata, em condições reais de conversão foto-térmica. Nanofluidos estáveis de prata foram obtidos através da homegenização em alta pressão de nanopartículas de prata e água destilada e os testes foram realizados sob irradiação solar direta durante todo o dia. Foram testadas várias concentrações de nanopartículas nos nanofluidos, buscando verificar a influência de tal variável no processo de absorção de energia. Os resultados mostram que as partículas de prata têm excelente capacidade de conversão foto-térmica, mesmo em concentrações muito baixas. O desempenho da conversão térmica ficou acentuado na primeira hora de experiência. Foi registrado um acréscimo na temperatura do nanofluido com concentração de 6,5ppm de nanopartículas de prata maior que 40% em relação a temperatura da água.

Palavras chave: Nanofluidos, coletor solar, absorção direta, conversão foto-térmica.

1. INTRODUÇÃO

Coletores solares convencionais, conforme Figura 1, são amplamente utilizados para a conversão fototérmica, principalmente para o aquecimento de água em residências. Geralmente o coletor contém superfícies com grande capacidade de absorção de calor, a qual absorve a radiação solar e por condução transmite para tubulação onde circula o fluido. O resultado disso é que no centro do tubo nós tem-se a menor temperatura do sistema e entre o fluido que chega ao mecanismo de aquecimento final e meio externo existem resistências térmicas entre a superfície receptora, o tubo e o fluido de trabalho. Desta maneira, na década de 1970, o conceito de absorção direta surge como uma simplificação de projeto do coletor convencional tendo como principal característica a capacidade de aumentar a eficiência de absorção da energia solar dentro do volume de fluido (Arai *et al.*, 1984).

Experimentos com nanopartículas absorvendo energia solar diretamente no volume de líquido são recentes. Nesses estudos, os nanofluidos funcionam como coletores solares de absorção direta, onde a energia solar é absorvida diretamente no interior do volume de fluido e nas nanopartículas por radiação o que transforma o processo de aquecimento em um fenômeno volumétrico e não mais superficial. Comparando-se com as partículas de tamanho convencional, as nanopartículas oferecem o benefício adicional de aumento exponencial da superfície de contato (“razão de aspecto”) para o mesmo volume de partículas. Estas características nos permitem visualizar uma nova concepção de coletores solares, onde poderíamos simplificar o sistema térmico convencional através da substituição de tubos metálicos por tubos de vidro transparente, melhorando, assim, a eficiência de conversão fototérmica.

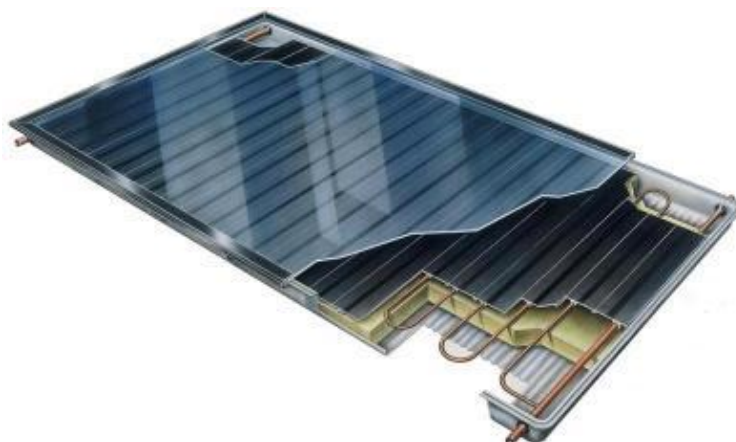


Figura 1. Coletor foto-térmico convencional. Fonte: site da empresa THERMO/SOLAR Žiar s.r.o

Nos últimos anos, as propriedades de radiação de uma série de nanomateriais foram investigadas experimentalmente (Sani e Otanicar, 2010, Taylor et al 2011, Lenert e Wang 2012, He et al. 2013) e algumas teorias foram propostas para

maximizar a eficiência de conversão fototérmica sob concentrações otimizadas de partículas(Tyagi 2007, Otanicar 2009 e 2010). A maioria dos estudos baseou-se em condições de laboratório – radiação solar simulada – e utilizando-se pequeno volume de nanofluidos - poucos mililitros. Este trabalho irá investigar a utilização de nanopartículas de prata como absorvedoras de luz solar em uma placa coletora transparente. Os ensaios serão realizados sob condições realistas, ou seja, com o aquecimento solar direto sem focagem, duração de um dia inteiro e volume considerável de fluido – cerca de 0,6 litros - sendo analisada a influência da concentração de partículas na eficiência da conversão fototérmica.

2. METODOLOGIA

Nanopartículas de prata com tamanho aproximado 10 η m foram misturadas em água destilada, com o auxílio do homogeneizador de alta pressão (até 600bar). O homogeneizador é composto por dois microcanais de diâmetro interno de 75 μ m que dividem o fluxo de alimentação em duas partes, as quais são depois recombinadas na câmara de mistura. No homogeneizador ocorre um processo contínuo de quebra das aglomerações, o que propicia a obtenção de nanofluidos estáveis e homogêneos.

Foram testadas três concentrações diferentes de nanofluidos de prata, variando entre 0,00065% em volume e 0,0001625% em volume. Foram utilizadas amostras com porcentagem pequena de nanopartículas para verificar se realmente a transmitância é significativa em termos de perda de conversão, como sugere Quinbo et al.,2013.

Um diagrama esquemático do sistema experimental utilizado no presente estudo é mostrado na Figura 2. O sistema é composto por estrutura em alumínio com as extremidades devidamente isoladas termicamente onde foram alocadas quatro placas teste. As placas foram feitas essencialmente de lâminas de acrílico transparente de dimensões 400x400x5mm, distantes 5mm uma da outra. Como a maior incerteza do sistema experimental é relativa ao posicionamento do termopar, para reduzi-la, foram projetados hastes em material acrílico transparente, de dimensões 410x15x5mm, onde foram fixados os termopares, garantindo seu correto posicionamento e permitindo que os mesmos sejam inseridos e removidos nas placas teste. Para monitorar o gradiente de temperatura foram instalados dois termopares em cada haste: um a 10 cm de distância da parte superior e o outro a 10 cm da parte inferior do nível do líquido da amostra. Foram utilizados termopares do tipo T, devidamente calibrados e com precisão de $\pm 0,01$ °C. Todos os termopares foram conectados a um sistema de aquisição de dados ligado a um computador em ambiente LabVIEW.



Figura 2. Aparato experimental a) visão esquemática e b) foto do sistema no dia do teste

Para os testes, cada placa foi preenchida com 0,6 litros de fluido – nanofluidos prata-água em diferentes concentrações e água destilada em um deles, para comparação - a um volume de 0,6 litros. Quatro amostras foram testadas por dia, que incluem o fluido base (água destilada) e três concentrações de nanofluidos de prata em água. Para testar a influência da concentração, foram utilizadas três concentrações de nanofluidos: 0,00065%, 0,000325% e 0,0001625% em volume. Todo o sistema experimental foi colocado em local de grande incidência solar, onde as faces dos painéis foram posicionadas perpendicularmente à direção leste-oeste e mantidas fixas durante todo o teste, garantindo condições de contorno iguais para todas as placas. Todos os sinais de temperatura foram registradas na frequência de 1 Hz para todo o dia.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O maior problema encontrado para realização do experimento foi a variação do climática diária, por vezes o céu estava nublado, e apresentando grande variação da temperatura média diária. Muitos testes foram realizados, e este

trabalho analisa os resultados de um dia (06/09/2013), incluindo três concentrações, 0,0001625%, 0,000325% e 0,00065% em volume.

Os perfis de temperatura provenientes da radiação solar direta, durante nove horas de experimento são mostradas na Figura 3, e as condições de tempo locais correspondentes são listados na Tabela 1. O teste foi iniciado nas primeiras horas da manhã e encerrado no período da tarde.

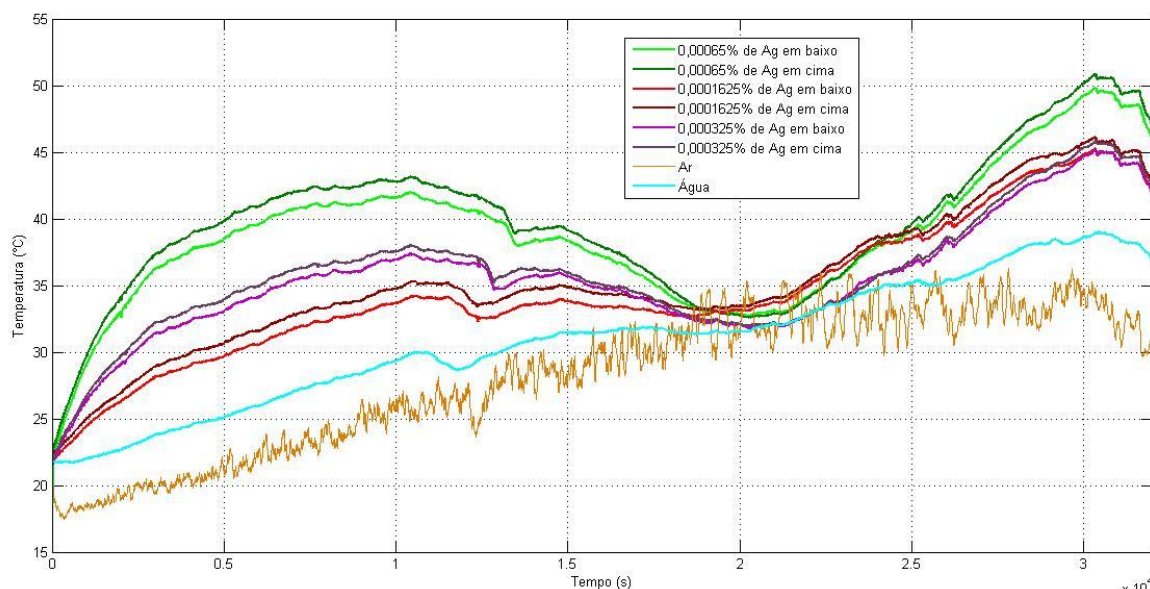


Figura 3. Análise do perfil de temperatura – Duração: 9 horas em 06/09/2013

Tabela1. Condições locais do clima. Fonte: site INMET – Instituto Nacional de Metereologia

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Ponto de Orvalho (C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kJ/m²)	Chuva (mm)
		Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir.	Raj.		
06/09/2013	09:00	15.9	16.8	15.9	86	86	82	13.5	13.7	13.4	920.6	920.6	920.0	2.4	58°	6.9	-3.54	0.0
06/09/2013	10:00	16.5	16.5	15.8	83	86	83	13.6	13.7	13.4	921.3	921.3	920.6	3.2	77°	5.8	62.01	0.0
06/09/2013	11:00	18.1	18.2	16.5	75	83	75	13.7	14.0	13.6	921.5	921.5	921.2	4.9	72°	9.1	715.9	0.0
06/09/2013	12:00	20.6	20.6	18.1	65	76	65	13.7	14.0	13.4	922.2	922.2	921.4	4.2	67°	9.6	1647.	0.0
06/09/2013	13:00	23.5	23.5	20.5	52	65	52	13.0	13.9	12.7	922.5	922.6	922.2	3.7	51°	9.8	2393.	0.0
06/09/2013	14:00	24.6	25.0	23.2	44	52	44	11.6	13.0	11.6	922.2	922.5	922.2	4.1	28°	9.8	2943.	0.0
06/09/2013	15:00	26.2	26.4	24.6	40	46	39	11.4	12.9	11.0	921.4	922.2	921.4	3.5	54°	8.3	3257.	0.0
06/09/2013	16:00	28.6	28.6	25.9	32	41	32	10.0	11.8	9.4	920.2	921.4	920.2	2.3	72°	7.8	3339.	0.0
06/09/2013	17:00	28.1	28.8	27.2	29	33	29	8.6	10.1	8.2	919.1	920.2	919.1	2.7	14°	6.9	3158.	0.0
06/09/2013	18:00	28.9	29.5	28.1	27	30	26	7.8	9.2	7.6	918.3	919.1	918.3	1.9	51°	5.1	2653.	0.0
06/09/2013	19:00	28.6	30.2	28.3	27	27	25	7.9	8.7	7.1	918.0	918.4	918.0	1.1	130°	3.8	1877.	0.0
06/09/2013	20:00	29.0	29.6	28.1	25	28	25	7.2	7.8	6.9	918.0	918.0	917.9	1.5	151°	5.6	924.3	0.0
06/09/2013	21:00	27.5	29.1	27.5	27	27	25	7.0	7.4	6.4	918.0	918.0	917.9	1.9	120°	4.5	205.6	0.0
06/09/2013	22:00	25.7	27.5	25.7	32	32	27	7.7	7.7	7.0	918.3	918.3	918.0	1.8	117°	4.8	-0.43	0.0

Notou-se que os nanofluidos atingiram as maiores temperaturas, mesmo em concentrações volumétricas baixas. Na primeira hora de testes verificou-se um aumento de temperatura dez vezes maior para o nanofluido com concentração 0,00065% quando comparado ao fluido base (água). Analisando a figura 3, foi notado que o perfil de temperatura atingiu dois picos em momentos diferentes do dia, sendo que, no primeiro – após cerca de três horas de teste - as temperaturas máximas atingidas foram de e 30°C, 35°C, 38°C e 43°C para água e nanofluidos de prata em concentrações de 1.6, 3.2 e 6.5 ppm, respectivamente. O vale exposto na figura 3 ocorreu em decorrência à posição solar em relação à estrutura do experimento nesse momento do teste – posição solar paralela às faces das placas testadas – e também a não utilização de isolamento térmico nas placas de teste, o que gerou perda de calor para o meio externo e em consequência a queda de temperatura. No segundo pico de temperatura, notou-se que as temperaturas máximas alcançadas foram de aproximadamente 39°C, 46°C, 45°C e 51°C para água e nanofluidos de prata em concentrações de 1.6, 3.2 e 6.5 ppm, respectivamente. A temperatura ambiente e da água destilada mostraram uma tendência geral de aumento gradativo ao longo do teste. Não foi notada estratificação significativa nos perfis de temperatura obtidos.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho investigou experimentalmente a converção fototérmica de nanofluidos de prata em água. Nanofluidos estáveis foram obtidos com um homogeneizador de alta pressão e os experimentos foram realizados sob radiação solar direta com teste realizado durante todo o período solar de um dia. Os resultados mostram que é possível alcançar elevações acentuadas de temperaturas, mesmo em baixas concentrações de nanopartículas de prata, o que é correlacionado com a variação da transmitância solar, como sugere Quinbo et al.(2013), apesar de que essa elevação é maior para a concentração de 6,5 ppm, quando a transmitância é muito baixa.

O valor máximo de temperatura foi de aproximadamente 46°C, 45°C e 51°C para a concentração de partículas de prata de 1,62, 3,25 e 6,5 ppm, respectivamente, o que representa um aumento total de temperatura 39%, 33% e 66% maior do que do fluido base, respectivamente. O desempenho de conversão fototérmica é melhor alcançado na fase inicial da radiação solar. Nos próximos trabalhos, será utilizado um seguidor solar, com o objetivo de manter a face do trocador com o máximo de radiação possível, também utilizaremos concentrações maiores que 100 ppm, para verificarmos o quanto a diminuição da transmitância solar incidirá na elevação da temperatura.

5. REFERÊNCIAS

- Arai N, Itaya Y e Hasatani M.(1984) Desenvolvimento de um volume do tipo heat-armadilha coletor solar utilizando uma suspensão líquida semitransparente com partículas finas como um veículo de calor e meio de armazenamento de calor. *Energia Solar*, 32, 49-56
- He Q, Wang S, Zeng S and Zheng Z.(2013) Experimental investigation on photothermal properties of nanofluids for direct absorption solar thermal energy systems. *Energy Conversion and Management*. 73 (2013), 150-157
- Lenert A. and Wang E. N.(2012), Optimization of nanofluid volumetric receivers for solar thermal energy conversion, *Solar Energy*, 86(2012):253-265.
- Otanicar T, Phelan PE, Prasher RS, Rosengarten G, Taylor RA.(2010) Nanofluid-based direct absorption solar collector. *J Re-newable Sustainable Energy* 2010;2:033102.
- Quinbo He, Shuangfeng Wang, Shequan Zeng, Zhaozhi Zheng.(2013) Experimental investigation on photothermal properties of nanofluids for direct absorption solar thermal energy systems. *Energy Conversion and Management* 73 (2013) 150–157.
- Said, Z, Sajid MH, Saidur R, Kamalisarvestani M and Rahimz NA(2013). Radiative properties of nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 46 (2013) 74–84
- Sani E. et al.(2010), Carbon nanohorns-based nanofluids as direct sunlight absorbers, *Optics Express*, 2010(18): 5179-5187.
- Sani E. et al.(2011), Potential of carbon nanohorn-based suspensions for solar thermal collectors, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 95(2011):2994–3000
- Taylor, Robert A., Phelan, Patrick E., Otanicar, Todd P., Tyagi, H., Trimble, S.(2010) - Applicability Of Nanofluids In Concentrated Solar Energy Harvesting - Proceedings of the ASME 2010 4th International Conference on Energy Sustainability, Phoenix, Arizona, USA.
- Tyagi, H., Phelan, P. E., and Prasher, R. S.(2007), “Predicted Efficiency of a Nano-Fluid Based Direct Absorption Solar Receiver”, accepted as Paper No. ES2007-36139, ASME 1st International Conference on Energy Sustainability, Long Beach, CA, to appear in the *Journal of Solar Energy Engineering*. 2007.
- Tyagi H, Phelan P, Prasher R. (2009) Predicted efficiency of a low-temperature nanofluid based direct absorption solar collector. *J Sol Energy Eng*.
- Wang, Evelyn N.,Lenert, A. (2011) - Optimization of nanofluid volumetric receivers for solar thermal energy conversion.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.