

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA UTILIZAÇÃO DE NANOFLUIDOS DE PRATA E NANOTUBOS DE CARBONO EM COLETOR SOLAR DE ABSORÇÃO DIRETA

Carolina Lau Lins Beicker, Laboratório de Energia Sistemas Térmicos e Nanotecnologia,
carol_beicker@hotmail.com

Enio Pedone Bandarra Filho, Laboratório de Energia Sistemas Térmicos e Nanotecnologia,
bandarra@mecanica.ufu.br

Resumo. O presente trabalho investigou experimentalmente o comportamento de nanopartículas de prata e de nanotubos de carbono dispersos em água destilada quando submetidos a condições reais de conversão foto-térmica utilizando-se coletores solares de absorção direta. Um aparato foi construído para os testes, sendo constituído de um suporte, recipientes em acrílico com pequena espessura livre, sensores de temperatura e sistema de aquisição de dados. Utilizou-se o processo de homogeneização em alta pressão para obtenção de nanofluidos estáveis de prata e de nanotubos de carbono em baixas concentrações – 0,05%, 0,005% e 0,0005% em volume. Os testes foram realizados sob radiação solar direta – não concentrada. Os resultados mostraram que, apesar das baixas concentrações, as nanopartículas estudadas possuem excelente capacidade de conversão foto-térmica e proporcionam elevada velocidade de variação da temperatura dos nanofluidos. Para as concentrações mais altas testadas – 0,05% em volume – foi registrado um acréscimo na temperatura dos nanofluidos maior que 150% em relação à temperatura da água. Na comparação entre o comportamento dos nanofluidos de prata e nanotubo de carbono com mesma concentração volumétrica, ambos apresentaram comportamentos de aquecimento muito semelhantes, com velocidades de variação de temperatura muito próximas, bem como temperatura máxima atingida (diferença menor que 1°C). Na análise da taxa de absorção específica (“SAR”) os nanofluidos de menor concentração apresentaram melhores resultados e, na comparação entre os nanofluidos diferentes, o de nanotubo de carbono em água apresentou resultados cinco vezes superiores ao do de prata em água.

Palavras chave: nanofluidos, absorção direta, conversão foto-térmica, comparação.

1. INTRODUÇÃO

Fluidos considerados tradicionais para processos que envolvem transferência de calor tais como água, etileno-glicol e certos tipos de óleo tem papel fundamental em processos industriais de geração de energia, de aquecimento e resfriamento e processos químicos. No entanto, esse tipo de fluido possui limitações térmicas associadas a condutividade térmica relativamente baixa. Dessa maneira, em 1995, U. S. Choi utilizou pela primeira vez o termo “nanofluido” para definir uma nova classe de fluidos que se apresentariam como uma forma de ultrapassar as barreiras de transferência de calor inerentes aos fluidos tradicionais. Os nanofluidos são compostos de partículas sólidas em escala nanométrica (0 - 100nm) dispersos em um fluido convencional de transferência de calor, o que possibilitaria a melhora da condutividade térmica dos mesmos.

Uma das aplicabilidades dessa nova classe de fluidos está no ramo de sistemas de aquecimento solar. Nessa vertente, alguns pesquisadores investigaram o aumento da eficiência desse tipo de sistema. Em estudos realizados, alguns autores já concluíram ser possível um aumento na eficiência de coletores solares que utilizassem nanofluidos como meio absorvedor em coletores solares (E. Natarajan, 2009, H. Tyagi et al., 2009, Otanicar et al., 2010, Yousefi et al., 2012, Wang et al., 2012).

Portanto, visando estudar a melhora da conversão foto-térmica de nanofluidos em relação ao seu fluido base foi construído um aparato experimental para, utilizando-se radiação solar, realizar o aquecimento de nanofluidos de nanotubo de carbono e de prata em água – concentrações volumétricas de 0,05%, 0,005% e 0,0005% - e da água pura para estabelecer uma comparação entre as temperaturas, bem como de um parâmetro de eficiência de conversão foto térmica, a taxa de absorção específica (“SAR”).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Aparato experimental

Para desenvolvimento do presente trabalho foi construído um aparato experimental constituído dos seguintes elementos:

- 1) quatro recipientes acrílicos de dimensões 400x400x15mm, com 5mm de espessura livre para armazenamento e exposição dos fluidos estudados ao sol;
- 2) estrutura de base em alumínio com as áreas de contato devidamente isoladas termicamente;
- 3) hastes em acrílico para fixação dos sensores de temperatura quando imersos nos fluidos estudados;
- 4) termopares do tipo T devidamente calibrados para as condições do experimento;
- 5) sistema de aquisição de dados;

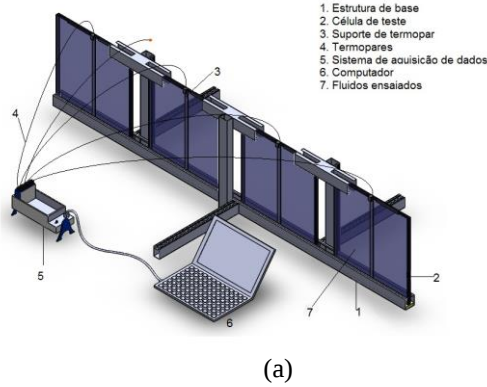


Figura 1. Bancada de testes. (a) Representação esquemática. (b) Foto de um dos dias de teste.

2.2. Condições de teste

Em cada recipiente acrílico foi adicionado 600ml de fluido, equivalente a, aproximadamente, 30cm de coluna de fluido. Foram colocados três termopares, a 5, 15 e 25 cm do fundo do recipiente, visando verificar a estratificação da temperatura e foi fixado na vizinhança da estrutura um termopar para medição da temperatura do ar. A estrutura foi exposta ao sol de forma que a face frontal dos recipientes estivesse voltada para o leste, tendo a face oposta isolada termicamente para evitar perdas de calor por convecção nessa face. Os recipientes foram expostos à radiação solar às 7:00AM e cada teste durou cerca de seis horas. Os testes foram realizados nos dias 14, 15 e 16/8/2014.

2.3. Cálculo do SAR

A eficiência de conversão foto-térmica das nanopartículas pode ser caracterizado pela taxa de absorção específica (“SAR”), que descreve a capacidade de absorção de energia da nanopartícula por unidade de massa e pode ser calculada conforme Eq.(1):

$$SAR = \frac{(m_a c_a + m_p c_p) \Delta T_n - m_a c_a \Delta T_a}{1000 m_p \Delta t} \quad (1)$$

Onde:

- SAR : taxa de absorção específica (kW/g)
- m : massa (g);
- C : calor específico (kJ/g°C);
- ΔT : variação na temperatura (°C);
- Δt : variação no tempo (s).

E os subscritos representam:

- a : água
- p : partícula em escala nanométrica
- n : nanofluido

Sabendo-se que a massa de nanopartículas adicionada para as concentrações propostas para esse trabalho é extremamente pequena quando comparada à massa de água presente no nanofluido, e que o calor específico das nanopartículas são menores que o da água pode-se simplificar a Eq. (1) da seguinte maneira::

$$SAR = \frac{m_a c_a}{1000 m_p} \left(\frac{\Delta T_n}{\Delta t} - \frac{\Delta T_a}{\Delta t} \right) \quad (2)$$

3. RESULTADOS

Para o presente trabalho, optou-se por focar a discussão nos resultados obtidos para as temperaturas medidas na altura média da coluna de fluido, deixando a análise da estratificação observada na temperatura para trabalhos futuros. Assim sendo, a Fig. (2) apresenta os resultados comparativos dos perfis de temperatura apresentados pelas diferentes concentrações de nanofluido de nanotubo de carbono em água com seu fluido base para o termopar na posição média do recipiente.

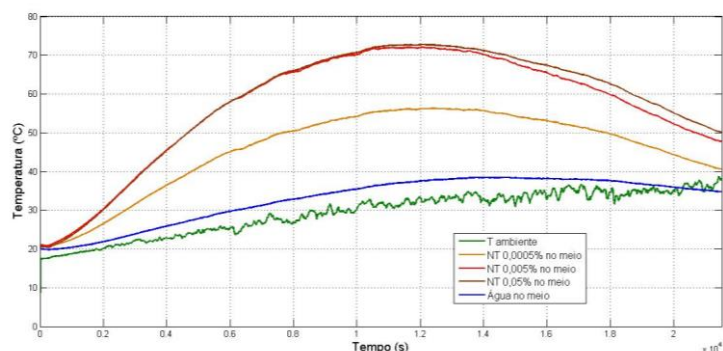


Figura 2. Comparação entre a temperatura na posição média dos recipientes para as diferentes concentrações de nanofluido de nanotubo de carbono em água e seu fluido base.

A Fig. (3) apresenta os resultados comparativos dos perfis de temperatura apresentados pelas diferentes concentrações de nanofluido de prata em água com seu fluido base para o termopar na posição média do recipiente.

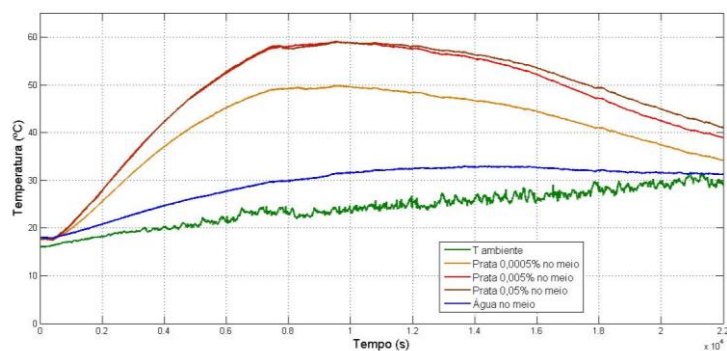


Figura 3. Comparação entre a temperatura na posição média dos recipientes para as diferentes concentrações de nanofluido de prata em água e seu fluido base.

Nota-se pelo exposto na Fig. (2) e Fig. (3) que os nanofluidos (de nanotubo de carbono em água e de prata em água) apresentaram um perfil de aquecimento aproximadamente exponencial nos primeiros instantes de teste, posteriormente se assemelhando a um perfil parabólico. Há um considerável aumento na velocidade de aquecimento dos nanofluidos quando comparados à água, bem como na temperatura máxima atingida, correspondendo a mais que o dobro da atingida pelo fluido base para concentrações maiores.

Nota-se ainda, para ambos os tipos de nanofluido testados, a semelhança nos perfis de aquecimento das amostras com concentrações mais altas (0,05% e 0,005% em volume), e a sutil diferença na forma em que os mesmos perdem calor e, conseqüentemente, reduzem suas temperaturas – para esse caso, os nanofluidos de média concentração apresentam velocidade de queda na temperatura maior que o de alta. As diferenças mais consideráveis se dão entre a concentração de 0,0005% em volume e as superiores a ela, onde é notável a queda na velocidade de aquecimento e na temperatura máxima atingida com a redução da concentração de nanopartículas.

A seguir, a Fig. (4) mostra a comparação dos perfis de temperatura entre os nanofluidos de prata em água e de nanotubo de carbono em água – ambos com concentração volumétrica de 0,05% - com seu fluido base para o termopar na posição média do recipiente. Nota-se que a diferença na natureza das nanopartículas adicionadas ao fluido base (água destilada) não causa diferenças significativas nos perfis de temperatura apresentados pelos nanofluidos quando consideramos concentrações volumétricas iguais e analisamos a velocidade de aquecimento e a temperatura máxima atingida. Esse comportamento nos leva a crer que a influência da adição de nanopartículas à água em testes de aquecimento por exposição à radiação solar está mais relacionada ao volume ocupado pelas nanopartículas, que impedem a passagem da radiação solar através do recipiente, do que às propriedades térmicas do material.

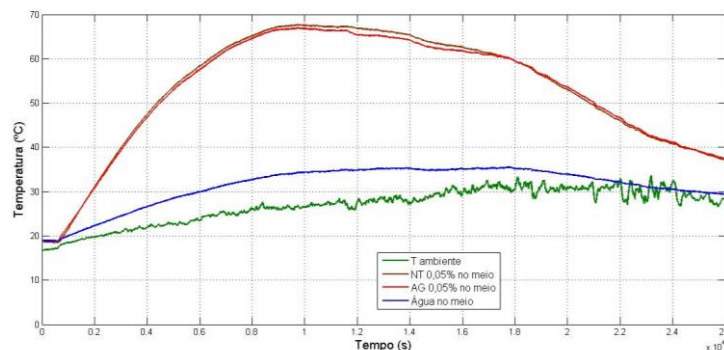


Figura 4. Comparação entre a temperatura na posição média dos recipientes para os nanofluidos de nanotubo de carbono em água, prata em água e seu fluido base.

Tabela 1. Resultados para o parâmetro calculado “SAR” para os diferentes dias de teste.

Dia de teste	Nanofluido testado	SAR [kW/g] (ponto de máximo)
14/8/2014	Nanotubo de carbono em água 0,0005% em volume	2.243168 e+00
	Nanotubo de carbono em água 0,005% em volume	2.824880 e-01
	Nanotubo de carbono em água 0,05% em volume	2.913483 e-02
15/8/2014	Prata em água 0,0005% em volume	3.763018 e-01
	Prata em água 0,005% em volume	4.887697 e-02
	Prata em água 0,05% em volume	6.011205 e-03
16/8/2014	Nanotubo de carbono em água 0,05% em volume	3.026021 e-02
	Prata em água 0,05% em volume	6.140844 e-03

Nota-se a partir da Tab. (1) que os nanofluidos de menor concentração (0,0005% em volume) apresentam os maiores valores de “SAR”, seguidos dos de média (0,005% em volume) e dos de alta (0,05% em volume), nessa ordem.

Para o dia de teste comparativo entre nanofluidos de materiais diferentes (16/8/2014), o nanofluido de nanotubo de carbono em água apresentou valor de “SAR” quase cinco vezes maior que o do nanofluido de prata em água. Tal fato se torna explicável a partir do ponto de vista da massa de nanopartículas presente em cada um. Lembrando-se da relação de proporcionalidade inversa do “SAR” com a massa de nanopartículas e, sabendo-se que a densidade da prata é cerca de cinco vezes maior que a dos nanotubos de carbono, tendo ambos os nanofluidos apresentado padrões de aquecimento muito semelhantes, é possível compreender a diferença apresentada pelo parâmetro “SAR” para o caso analisado.

4. CONCLUSÕES

A partir dos testes realizados com o intuito de verificar a capacidade de conversão foto-térmica de nanofluidos em coletores solares de absorção direta e comparar os resultados com os obtidos entre os fluidos estudados, concluiu-se que não houve uma diferença substancial na máxima variação de temperatura apresentada pelos nanofluidos com maior concentração volumétrica (0,05%) quando comparados com os de média concentração (0,005%).

Notou-se ainda que não houve diferença entre os perfis de temperatura apresentados pelos nanofluidos de nanotubo de carbono em água e prata em água com mesma concentração volumétrica (0,05% em volume), o que é um indício que a influência da adição de nanopartículas à água em testes de aquecimento por exposição à radiação solar está mais relacionada à redução da transmitância do fluido do que às propriedades térmicas do material.

Conclui-se ainda, baseado nos valores apresentados para o “SAR”, que há uma relação inversamente proporcional entre a quantidade de nanopartículas e a eficiência com que cada grama de nanopartícula absorve energia proveniente da radiação solar. Assim sendo, faz-se necessário estudo mais aprofundado para determinar a quantidade ideal de nanopartículas a ser adicionada à água - para que se obtenha ganho na energia armazenada e velocidade de aquecimento - acima da qual não se torna viável a adição de quantidades extras, visto que não se obterá benefícios na mesma proporção dos gastos.

5. REFERÊNCIAS

- Choi, U.S., 1995, “Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles”, ASMEFED Vol.231 pp. 99-103.
- Natarajan E., Sathish R., 2009, “Role of nanofluids in solar water heater. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology”, Julho.
- Otanicar, T., Phelan, P.E., Prasher, R.S., Rosengarten, G., Taylor, R.A., 2010, “Nanofluid-based direct absorption solar collector. Journal of Renewable Sustainable Energy 2”, id 033102.

- Tyagi H, Phelan P, Prasher R., 2009, “Predicted efficiency of a low-temperature nanofluid based direct absorption solar collector”, Journal Solar Energy Engineering.
- Wang, E. N., Lenert, A., 2012, “Optimization of nanofluid volumetric receivers for solar thermal energy conversion”, Solar Energy Vol.86 pp. 253–265.
- Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh, E., Zinadini, S., 2012, “An experimental investigation on the effect of Al_2O_3/H_2O nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors”, Renewable Energy Vol.39 pp. 293-298.

4. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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