ANÁLISE EXPERIMENTAL DE UM SISTEMA SOLAR TÉRMICO UTILIZANDO NANOFLUIDO HÍBRIDO DE PRATA E DIÓXIDO DE TITÂNIO.

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF A SOLAR HEAT SYSTEM USING HYBRID SILVER NANOFLUID AND TITANIUM DIOXIDE.

AMORIM NETO, Juarez Pompeu de^{1*}; LIMA, Ricardo José Pontes²; ROCHA, Paulo Alexandre Costa³; MARINHO, Felipe Pinto⁴; SILVA, Maria Eugênia Vieira da⁵

^{1,2,3,4,5} Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Energia Solar e Gás Natural, Fortaleza – CE, Brasil.

* Autor correspondente

e-mail: juarezneto33@hotmail.com

Received 09 January 2020; received in revised form 20 February 2020; accepted 16 March 2020

RESUMO

A população mundial está cada vez mais atenta com as questões ambientais que envolvem nosso planeta. Em busca de soluções que venham contribuir para conservação do meio ambiente está o uso das energias renováveis que estão em grande expansão sendo o uso da energia solar uma solução para esse propósito. O trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade de absorção energética de um nanofluido híbrido de prata e dióxido de titânio utilizados para absorção solar direta em uma "Parede Solar". Os experimentos realizados foram expostos por um período de 16 horas por vários dias. Várias concentrações foram analisadas, onde fixou-se uma concentração de 23,2 ppm de dióxido de titânio e variou a prata em 0,40625 ppm, 0,8125 ppm, 1,625 ppm e 3,25 ppm correspondendo a uma fração molar de 3%, 6%, 12% e 25% respectivamente. Uma análise no perfil de temperatura foi feito, onde observou-se uma melhor aproveitamento da amostra com fração molar de 12% que obteve um ganho de temperatura de 8,3°C correspondendo a 14,9% de ganho. Uma análise na razão de energia armazenada foi analisada, observando um boa resposta dos nanofluidos no início da incidência solar e um máximo de energia armazenada para a amostra de 6%. Outra métrica analisada foi a taxa de absorção específica que alcançou valor máximo de 0,009293 KW/g. O trabalho mostrou que para o preparo do nanofluido híbrido, nem sempre aumentar a concentração da prata implicou em melhores resultados e através das análises de perfil de temperatura e métricas de análise, concluiu-se que uma concentração de prata de 0,8125 ppm juntamente com uma concentração de 23,2 ppm (fração molar de 6%) consegue-se melhores ganhos para uso do nanofluido na parede solar.

Palavras-chave: *Energias Renováveis, Energia Solar, Parede Solar, Nanopartículas*

ABSTRACT

The world population is increasingly aware of environmental issues involving our planet. In search of solutions that will contribute to the conservation of the environment, you can use the renewable energies that are in great expansion, being the use of solar energy a solution for this purpose. This study aimed to evaluate the energy absorption capacity of a hybrid silver nanofluid and titanium dioxide used for direct solar absorption in a "Solar Wall." The experiments performed were exposed for 16 hours for several days. Various concentrations were analyzed, where a concentration of 23.2 ppm titanium dioxide was set, and silver varied to 0.40625 ppm, 0.8125 ppm, 1.625 ppm, and 3.25 ppm corresponding to a 3% molar fraction. 6%, 12% and 25% respectively. An analysis of the temperature profile was made, which showed a better utilization of the sample with a 12% molar fraction that obtained a temperature gain of 8.3 ° C corresponding to a 14.9% gain. An analysis of the stored energy ratio was analyzed, observing a good response of nanofluids at the early solar incidence and a maximum stored energy for the sample of 6%. The other metric analyzed was the specific absorption rate that reached a maximum value of 0.009293 KW / g. The work showed that for the preparation of hybrid nanofluid, not always increasing the silver concentration implied better results and through temperature profile analysis and energy analysis metrics, it was concluded that a silver concentration of 0.8125 ppm together With a concentration of 23.2 ppm (6% molar fraction) better gains are obtained for the use of nanofluid in the solar wall.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Solar Wall, Nanoparticles.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente há uma grande preocupação com as questões ambientais que envolvem a população mundial, já que existe uma alta degradação em virtude do uso de combustíveis fósseis, a geração de energia proveniente de fontes convencionais causou uma degradação ambiental que pode ser vista através de poluição, chuva ácida, aquecimento global, etc (Suman *et al.*, 2015). Em virtude desse problema, a busca por energias renováveis vem aumentando significativamente nos últimos anos, onde tem sido um objeto de estudo por cientistas e profissionais (Bazdidi-Tehrani *et al.*, 2018). A energia solar é umas das principais fontes de energia renovável e ela pode contribuir para conservação do meio ambiente de duas maneiras, tanto para conversão de energia térmica em eletricidade como para aquecimento de água através de várias tecnologias, Além disso é uma das fontes de energia renovável mais abundante do mundo e disponível de forma gratuita (Gorji e Ranjbar, 2017; Choudhary *et al.*, 2020).

O aproveitamento de energia térmica para aquecimento de águas se dá por meio do uso de coletores solares, onde a eficiência de um coletor é um parâmetro de estudo muitas vezes limitado (Bandarra Filho *et al.*, 2014). O processo de aquecimento em coletores solares tradicionais não é tão eficiente devido a existência de resistências térmicas no processo, onde o conceito de absorção direta da radiação solar promete aumentar a capacidade de absorção e assim reduzir as perdas térmicas para o ambiente (Beicker *et al.*, 2018). Diversos coletores solares estão sendo testados para melhorias em seu funcionamento, dentre as pesquisas recentes pode-se encontrar resultados para o desempenho térmico de um coletor solar de placa plana em Choudhary *et al.* (2020). Qin *et al.* (2019) analisou o desempenho de um coletor solar parabólico. Natividade *et al.* (2019) avaliou a eficiência de um coletor solar de tubo evacuado. Wang *et al.* (2018) e Hatami e Jing (2017) fizeram um estudo para coletores solares de absorção direta. Sahota e Tiwari (2017) analisaram um coletor solar híbrido fotovoltaico/térmico.

Outro fator limitante para a eficiência de trabalho de um coletor solar, além do tipo de geometria, é o tipo de fluido utilizado, onde a utilização de nanofluidos é uma solução viável para substituição dos fluidos convencionais, buscando assim a alta performance desses coletores (Ebrahimi-Moghadam *et al.*, 2018; Raj e Subudhi, 2018; Vakili *et al.*, 2017; Zayed *et al.*,

2019). Os nanofluidos são fluidos com nanopartículas dispersas, onde essas partículas variam de tamanho (1 – 100 nm). Essas nanopartículas podem ser de diversos materiais, tais como o metal, não metal, óxido, carboneto, mistura de nanopartículas (fluido híbrido), etc. Devido ao seu pequeno tamanho em uma superfície considerável, o nanofluido apresenta uma vantagem na capacidade de absorção de calor e assim as perdas em coletores podem ser minimizadas (Mehrali *et al.*, 2015)

Atualmente, diversas pesquisas vêm sendo realizadas para mostrar as melhorias do uso de nanofluidos em coletores solares. O nanotubo de carbono foi usado em Mahbubul *et al.* (2018) e mostrou uma melhoria de 66% na eficiência de um coletor solar de tubo evacuado, o óxido de zinco foi utilizado em Kaya *et al.* (2018) mostrando uma melhoria de 62,87% na eficiência de um coletor solar evacuado de tubo em U, o CeO_2 que aumentou a temperatura do nanofluido em 37,3% em relação à água em Sharafeldin e Gróf (2018), o óxido cuproso que aumentou em 24% a condutividade térmica em Wei *et al.* (2009) e a prata que obteve um aumento máximo de 99,7% na eficiência de conversão fototérmica em comparação com o fluido base (Amjad *et al.*, 2018). Também foram realizados estudos com nanofluidos híbridos, que são novos tipos de nanofluidos que podem ser preparados utilizando duas ou mais nanopartículas, tais como o óxido de grafeno que foi misturado com o ouro e melhorou em 10,8% a eficiência de geração de vapor em Fu *et al.* (2017). Outro trabalho que apresentou resultados positivos foi sobre o nanofluido híbrido alumina-cobre que melhorou em 12,11% a condutividade térmica (Suresh *et al.*, 2011). Karami (2018) mostrou que a utilização do nanofluido híbrido Fe_3O_4/SiO_2 aprimorou a eficiência de um coletor solar para 21,7%.

Além do tipo de nanofluido estudado, muitas melhorias nas eficiências de coletores solares são encontradas quando se modificam a concentração das nanopartículas no fluido base, resultando em uma conversão fototérmica diferente (Javadi *et al.* 2013), onde a eficiência de um coletor solar está diretamente relacionada com a concentração de nanofluidos (Ozsoy e Corumlu, 2018). Mas algumas pesquisas realizadas por Yu *et al.* (2017) mostraram que esse aumento de concentração dos nanofluidos podem ter algumas limitações. Os inconvenientes mais comuns citados por Sreekumar *et al.* (2019) são os custos elevados, processo demorado para síntese do nanofluido, menor estabilidade e maior viscosidade, onde a estabilidade tem um impacto

direto na absorção óptica.

Esse trabalho busca analisar o estudo do nanofluido híbrido de dióxido de titânio (TiO_2) juntamente com a prata, buscando assim a melhor concentração de trabalho na absorção solar direta em um aparato denominado “Parede Solar”.

2. MATERIAIS E MÉTODOS:

2.1. Preparação dos nanofluidos

Existem diversas técnicas de preparação dos nanofluidos como exposto em Rocha *et al.* (2019). Entre elas podem ser citadas a sonificação (Sen *et al.*, 2019), redução química (Mohammadpoor *et al.*, 2019), síntese por líquidos iônicos (Thaokar *et al.*, 2013), pirólise a laser (Huminic *et al.*, 2015), método poliol (Becerra *et al.*, 2015), microemulsão reversa (Foroughi *et al.*, 2015), síntese hidrotérmica assistida por micro-ondas (Hu *et al.*, 2011) e rota sonoquímica para síntese de nanofluidos (Jeong *et al.*, 2004). O preparo do dióxido de titânio foi por dispersão de nanopartículas por meio de sonificação e o de prata foi por redução química de nitrato de prata para formar as nanopartículas dentro do próprio nanofluido.

2.2. Configuração Experimental

Um aparato denominado “Parede Solar” como em Amorim Neto *et al.* (2019) foi construído para captação dos dados, onde o mesmo apresenta uma estrutura de alumínio com quatro placas de vidro na célula inferior (duas internas e duas externas) e mais quatro na célula superior de forma análoga. Os vidros externos possuem 4 mm de espessura, 8 mm de espessura para os vidros internos, comprimento de 1000 mm e altura de 1000 mm, a Figura 1 detalha a Parede Solar.

Na célula inferior do experimento foi inserida água destilada na quantidade de 3,5 L e na célula superior foi inserido o nanofluido de estudo também no mesmo volume. Para aferição das temperaturas dos fluidos foram utilizados 6 termopares do tipo K com precisão de $0,1^\circ\text{C}$, onde três foram colocados na célula inferior e mais três na superior, conforme coloração amarela na Figura 1. Além da temperatura dos fluidos, foram coletadas as temperaturas ambiente e de sensação térmica, sendo representada pela coloração vermelha e preta respectivamente, onde também foram usados sensores do tipo K com mesma precisão. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Energia e Gás

Natural (LESGN) da Universidade Federal do Ceará na cidade de Fortaleza (Latitude: $03^\circ 43' 02''$ Sul, Longitude: $38^\circ 32' 35''$ Oeste) entre os dias 20/06/2019 e 16/10/2019 no período de 5:30 até 21:30, já que nesse intervalo de tempo ainda se conseguia verificar um diferencial de temperatura do nanofluido em comparação com a água destilada. O experimento tinha uma de suas faces voltadas para leste e outra para oeste de tal forma que o aproveitamento da radiação solar fosse aproveitado antes e depois de 12:00.

Os nanofluidos foram utilizados em diversas concentrações. A prata foi testada com 0,40625 ppm ($3,86 \times 10^{-5}$ mol/l), 0,8125 ppm ($7,71 \times 10^{-5}$ mol/l), 1,625 ppm ($1,54 \times 10^{-4}$ mol/l), 3,25 ppm ($3,09 \times 10^{-4}$ mol/l) e 6,5 ppm ($6,17 \times 10^{-4}$ mol/l), e de TiO_2 nas concentrações de 1,45 ppm ($7,71 \times 10^{-5}$ mol/l), 2,9 ppm ($1,54 \times 10^{-4}$ mol/l), 5,8 ppm ($3,07 \times 10^{-4}$ mol/l), 11,6 ppm ($6,17 \times 10^{-4}$ mol/l) e 23,2 ppm ($1,23 \times 10^{-4}$ mol/l). Como as partículas de prata e dióxido de titânio apresentam densidades diferentes foi preferível comparar a performance dos mesmos em função da sua concentração molar, já que os valores são iguais quando se compara os nanofluidos da menor para maior concentração.

Buscando ainda a melhor performance dos nanofluidos, foi feito uma análise híbrida da prata e do titânio, fixando a concentração de TiO_2 em 23,2 ppm e dopando com diversas concentrações de prata (0,40625 ppm – 0,8125 ppm – 1,625 ppm e 3,25 ppm), correspondendo a fração molar de aproximadamente 3%, 6%, 12% e 25% respectivamente, similar a pesquisa de Yu e Xuan (2018) que usou o nanofluido de prata disperso na superfície do óxido de cobre. A concentração do dióxido de titânio se manteve constante pois experimentos anteriores foram feitos de forma isolada para a prata e para TiO_2 mostrando a superioridade da prata, e assim buscou-se melhorar gradativamente o TiO_2 fazendo a dopagem com prata. Alguns trabalhos fizeram esse estudo de nanofluidos híbridos e mostrou a melhoria deles (Lenert; Wang, 2012; Duan *et al.*, 2018; Farajzadeh *et al.*, 2018).

2.3 Taxa de Absorção Específica (SAR) e Energia Armazenada (SER)

Identificando a concentração ideal de nanopartículas, é possível identificar a capacidade da nanopartícula de gerar energia térmica por unidade de massa e assim evitar o uso de concentrações elevadas de forma desnecessária. A taxa de absorção específica (SAR) vai descrever esse comportamento (Zeiny *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2014). A Equação 1

descreve o cálculo de SAR.

$$SAR = \frac{m_{fb}c_{fb}}{1000m_{np}} \left(\frac{\Delta T_{nf}}{\Delta t} - \frac{\Delta T_{fb}}{\Delta t} \right) \quad (1)$$

onde m representa a massa, c o calor específico, T a temperatura e t o tempo. Os subscritos fb , np e nf representam o fluido base, nanopartícula e nanofluido respectivamente. A Equação 1 descreve o cálculo de SAR.

Outra métrica de avaliação da nanopartícula foi avaliada nesse trabalho, a taxa de energia armazenada (SER) mostrado em Peng., *et al.* (2011), que avalia a energia absorvida devido à presença de nanopartícula, por meio da Equação 2.

$$SER = \frac{T_{nf}(t) - T_{nf}(0)}{T_{fb}(t) - T_{fb}(0)} \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES:

3.1 Análise do perfil de temperatura

A melhoria analisada no início desse trabalho foi o quanto o nanofluido conseguiu superar a água destilada em temperatura de aquecimento durante toda exposição à radiação solar. A figura 2 mostra o resultado da diferença de temperatura entre o nanofluido híbrido e a água, onde percebe-se que quanto maior a fração molar de prata inserida no dióxido de titânio, maior é ganho de temperatura, resultados similares mostraram que uma maior fração em volume implicava em uma maior condutividade térmica dos nanofluidos (Ranga Babu *et al.*, 2017). A fração molar de 3% (0,40625 ppm de prata – 23,2 ppm de TiO_2) conseguiu um ganho de 6,4°C em comparação com a água, onde esse ganho representa uma melhoria de 11,6%, já uma fração molar de 25% (3,25 ppm de prata – 23,2 ppm de TiO_2) conseguiu um ganho de 9,9°C, sendo representado por uma melhoria de 18,3%. Além de mostrar o ganho de temperatura do nanofluido, a Figura 2 mostra o perfil de temperatura que o experimento apresenta ao longo do dia, onde percebe-se uma alta queda de temperatura por volta de meio dia, isso se deve a inclinação dos raios solares em relação às células que contém o nanofluido.

A Tabela 1 mostra todos os comparativos entre as concentrações dos nanofluidos isolados e do híbrido. Quando se aumenta a fração molar de prata no dióxido de titânio, o ganho de

temperatura sempre melhora, partindo de 11,6% até 18,3%, o mesmo acontece com os nanofluidos isolados. Outro fator relevante que se pode destacar da Tabela 1 é que o nanofluido híbrido sempre se torna melhor que a prata, com exceção da fração molar de 25%, onde a prata supera o nanofluido híbrido, tornando desnecessário o preparo do mesmo quando se deseja um ganho de temperatura e assim a fração molar de 12% se torna ideal para essa situação, onde pode-se destacar que a fração molar de 12% obteve um ganho de 8,3°C e a fração molar de 6% obteve um ganho de 7,8°C podendo-se considerar ganhos bem similares. Algumas pesquisas também foram realizadas com os nanofluidos de dióxido de titânio e prata. Said *et al.*, (2015) utilizou o nanofluido TiO_2 para melhorar a eficiência de um coletor solar variando a concentração do nanofluido e fluxo de massa. Kiliç *et al.* (2018) Utilizou o mesmo nanofluido (TiO_2) para avaliar o desempenho de um coletor solar de placa plana, onde chegou-se em uma eficiência de 48,67% contra uma de 36,20% para a água pura. Gan *et al.* (2018) utilizou o nanofluido TiO_2 para melhorar o desempenho de um coletor solar de tubo evacuado aumentando sua eficiência em 16,5%. Chaji *et al.* (2013) utilizou TiO_2 para avaliar o desempenho de um coletor solar de placa plana, onde obteve uma melhoria na eficiência de 15,8%. O nanofluido de prata também foi estudado por Lazarus *et al.* (2015) visando melhorias em um coletor solar de placa plana, onde conseguiu um aumento no coeficiente de transferência de calor por convecção de 18,4%. Comparando com os resultados desse trabalho, pode-se verificar que os nanofluidos de prata e TiO_2 obtêm resultados superiores que o da água para diversas aplicações, sendo elas para absorção direta ou em uso de coletores solares diversos. Em função disso combinou-se as duas melhorias alcançando resultados mais eficientes com a mistura dos nanofluidos.

3.2 Análise de SER

Resultados foram analisados para verificar a quantidade de energia que foi absorvida devido à presença das nanopartículas, que é a taxa de energia armazenada (SER). A Figura 3 mostra como varia SER em função do tempo, onde o resultado deixa claro a grande capacidade do nanofluido em absorver energia nas primeiras horas do dia, mas logo em seguida essa capacidade cai para todas as amostras. Os pontos mais altos de SER são observados no início do dia, pois é nesse momento que há uma maior variação de temperatura do nanofluido em relação

à água. Outro resultado observado é que a fração molar de 6% obteve os melhores índices de energia absorvida, e para o SER mostrou-se superior aos demais experimentos.

A Figura 4 mostra como variou essa razão de energia armazenada em função da fração molar do nanofluido. Esse resultado mostra que nem sempre acrescentar uma quantidade a mais de prata implica em uma maior energia armazenada, sendo desnecessário uma fração de molar de 12% e 25% para o nanofluido híbrido quando se deseja um maior SER.

3.3 Análise de SAR

Outra métrica relevante para analisar a capacidade fototérmica do nanofluido híbrido foi o SAR (Taxa de absorção específica), que calcula a capacidade de absorção energética que cada partícula tem além de mostrar a eficiência de conversão fototérmica em função da concentração de nanopartículas imersa no fluido base. A Figura 5 mostra como varia SAR em função da fração molar do nanofluido híbrido, onde percebe-se que a quantidade SAR aumenta para a amostra de 6% e logo em seguida reduz tendendo a uma estabilidade por volta de 0,009 KW/g. Os resultados de Beicker *et al.* (2018) e Bandarra Filho *et al.* (2014) mostraram que SAR diminui com a concentração até o momento de se estabilizar, mas esses resultados foram encontrados em amostras de nanofluidos isolados. O nanofluido híbrido de prata com dióxido de titânio obteve um aumento em SAR e logo em seguida uma redução, isso pode ser devido ao fato das interações de partículas diferentes. A fração molar de 6% mais uma vez apresentou melhores resultados.

4. CONCLUSÕES:

O trabalho mostrou o a capacidade fototérmica do nanofluido híbrido de dióxido de titânio e prata, onde foram analisados o ganho de temperatura do nanofluido em relação à água, razão de energia armazenada (SER) e taxa de absorção específica (SAR).

Com relação ao ganho de temperatura, foram analisadas 4 frações molares (3%, 6%, 12% e 25%), onde a fração molar de 25% apresentou um maior ganho de temperatura sendo representado por 18,3% esse ganho, mas a prata isoladamente nas mesmas concentrações apresentou um ganho de 19,3%, mostrando assim a inviabilidade do nanofluido híbrido para essa concentração molar, em contrapartida as frações

molares de 6% e 12% conseguiram resultados superiores ao da prata, obtendo ganhos de 14,3% e 14,9%. Nessas condições de perfil de temperatura, o nanofluido híbrido apresentou os melhores resultados com uma fração molar de 6% (0,8125 ppm de prata e 23,2 ppm de dióxido de titânio) e de 12% (1,625 ppm de prata e 23,2 ppm de dióxido de titânio).

Na análise de SER observou-se uma maior razão de energia absorvida para a fração molar de 6%, onde o nanofluido apresentou boa resposta nas primeiras horas de experimento.

A análise da taxa de absorção específica comprovou mais uma vez o bom comportamento do nanofluido híbrido com fração molar de 6%, onde essa amostra mostrou uma melhor resposta para o SAR, apresentando uma máxima de 0,009293 KW/g.

A escolha da melhor concentração de prata no nanofluido híbrido foi de 0,8125 ppm em uma concentração de 23,2 ppm de TiO_2 , onde outras concentrações não apresentaram ganhos superiores.

Esse estudo mostrou como buscar melhorias em nanofluidos, onde uma junção entre duas nanopartículas ainda sim pode alcançar resultados mais expressivos. Algo que pode ser analisado em trabalhos futuros seria uma análise de viabilidade econômica dos nanofluidos em função do ganho que os mesmos podem obter.

5. AGRADECIMENTOS:

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código financeiro 001, e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), órgãos governamentais brasileiros. O suporte recebido é reconhecido com gratidão.

6. REFERÊNCIAS:

1. Amjad, M. et al. Experimental photothermal performance of nanofluids under concentrated solar flux. *Solar Energy Materials And Solar Cells*, v. 182, p.255-262, ago. **2018**.
2. Amorim Neto, J. P. et al. Analysis and comparison between regression models for temperature estimation of solar collectors operating with nanofluids. *XL cilmace ibero-latin american congress on computational methods in engineering*. **2019**, Natal.

3. Bandarra Filho, E. P. et al. Experimental investigation of a silver nanoparticle-based direct absorption solar thermal system. *Energy Conversion and Management*, v. 84, p.261-267, ago. **2014**.
4. Bazdidi-Tehrani, F., Khabazipur, A., Vasefi, S. I. Flow and heat transfer analysis of TiO₂/water nanofluid in a ribbed flat-plate solar collector. *Renewable Energy*, v. 122, p.406-418, jul. **2018**.
5. Becerra, A. et al. Preparation of poly (vinyl chloride)/copper nanocomposite films with reduced bacterial adhesion. *Procedia Materials Science*. **2015**.
6. Beicker, C. L. I. et al. Experimental study of photothermal conversion using gold/water and MWCNT/water nanofluids. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 188, p.51-65, dez. **2018**.
7. Chaji, H. et al. Experimental Study on Thermal Efficiency of Flat Plate Solar Collector Using TiO₂/Water Nanofluid. *Modern Applied Science*, v. 7, n. 10, 24 set. **2013**.
8. Choudhary, S; Sachdeva, A; Kumar, P. Investigation of the stability of MgO nanofluid and its effect on the thermal performance of flat plate solar collector. *Renewable Energy*, v. 147, p.1801-1814, mar. **2020**.
9. Duan, H. et al. Effect of plasmonic nanoshell-based nanofluid on efficiency of direct solar thermal collector. *Applied Thermal Engineering*, v. 133, p.188-193, mar. **2018**.
10. Ebrahimi-Moghadam, A., Mohseni-Gharyehsafa, B., Farzaneh-gord, M. Using artificial neural network and quadratic algorithm for minimizing entropy generation of Al₂O₃-EG/W nanofluid flow inside parabolic trough solar collector. *Renewable Energy*, v. 129, p.473-485, dez. **2018**.
11. Farajzadeh, E; Movahed, S; Hosseini, R. Experimental and numerical investigations on the effect of Al₂O₃/TiO₂H₂O nanofluids on thermal efficiency of the flat plate solar collector. *Renewable Energy*, v. 118, p.122-130, abr. **2018**.
12. Foroughi, F. et al. A designed magnetic CoFe₂O₄-hydroxyapatite core-shell nanocomposite for Zn (II) removal with high efficiency. *Ceramics International*, v. 41, n. 5, p.6844-6850, jun. **2015**.
13. Fu, Y. et al. Investigation on enhancing effects of Au nanoparticles on solar steam generation in graphene oxide nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, v. 114, p.961-968, mar. **2017**.
14. Gan, Y. Y. et al. Thermal conductivity optimization and entropy generation analysis of titanium dioxide nanofluid in evacuated tube solar collector. *Applied Thermal Engineering*, v. 145, p.155-164, dez. **2018**.
15. Gorji, T. B; Ranjbar, A. A. Thermal and exergy optimization of a nanofluid-based direct absorption solar collector. *Renewable Energy*, v. 106, p.274-287, jun. **2017**.
16. Hatami, M; Jing, D. Evaluation of wavy direct absorption solar collector (DASC) performance using different nanofluids. *Journal Of Molecular Liquids*, v. 229, p.203-211, mar. **2017**.
17. Hu, L. et al. Microwave-assisted one-step hydrothermal synthesis of pure iron oxide nanoparticles: magnetite, maghemite and hematite. *Journal Of Sol-gel Science And Technology*, v. 60, n. 2, p.198-205, 24 set. **2011**.
18. Huminic, A. et al. Thermal conductivity, viscosity and surface tension of nanofluids based on FeC nanoparticles. *Powder Technology, Bucharest*, v. 284, p.78-84, nov. **2015**.
19. Javadi, F. S; Saidur, R; Kamalisarvestani, M. Investigating performance improvement of solar collectors by using nanofluids. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 28, p.232-245, dez. **2013**.
20. Jeong, S. H. et al. A Sonochemical Route to Single-Walled Carbon Nanotubes under Ambient Conditions. *American Chemical Society*. v. 126, n. 49, ago. **2004**.
21. Karami, M. Experimental investigation of first and second laws in a direct absorption solar collector using hybrid Fe₃O₄/SiO₂ nanofluid. *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, v. 136, n. 2, p.661-671, 16 ago. **2018**.
22. Kaya, H., Arslan, K., Eltugral, N. Experimental investigation of thermal performance of an evacuated U-Tube solar collector with ZnO/Ethylene glycol-pure water nanofluids. *Renewable Energy*, v.

- 122, p.329-338, jul. **2018**.
23. Kiliç, F. et al. Effect of titanium dioxide/water nanofluid use on thermal performance of the flat plate solar collector. *Solar Energy*, v. 164, p.101-108, abr. **2018**.
 24. Lazarus, G. et al. Heat transfer performance of silver/water nanofluid in a solar flat-plate collector. *Journal Of Thermal Engineering*, v. 1, n. 2, p.104-123, 1 fev. **2015**.
 25. Lenert, A., Wang, E. N. Optimization of nanofluid volumetric receivers for solar thermal energy conversion. *Solar Energy*, v. 86, n. 1, p.253-265, jan. **2012**.
 26. Mahbubul, I. M. et al. Carbon nanotube nanofluid in enhancing the efficiency of evacuated tube solar collector. *Renewable Energy*, v. 121, p.36-44, jun. **2018**.
 27. Mehrli, M. et al. Effect of specific surface area on convective heat transfer of graphene nanoplatelet aqueous nanofluids. *Experimental Thermal And Fluid Science*, v. 68, p.100-108, nov. **2015**.
 28. Mohammadpoor, M. et al. Investigating heat transfer properties of copper nanofluid in ethylene glycol synthesized through single and two-step routes. *International Journal Of Refrigeration*, v. 99, p.243-250, mar. **2019**.
 29. Ozsoy, A., Corumlu, V. Thermal performance of a thermosyphon heat pipe evacuated tube solar collector using silver-water nanofluid for commercial applications. *Renewable Energy*, v. 122, p.26-34, jul. **2018**.
 30. Peng, H; Ding, G; Hu, H. Effect of surfactant additives on nucleate pool boiling heat transfer of refrigerant-based nanofluid. *Experimental Thermal And Fluid Science*, v. 35, n. 6, p.960-970, set. **2011**.
 31. Qin, C; Kim, J. B; Lee, B. J. Performance analysis of a direct-absorption parabolic-trough solar collector using plasmonic nanofluids. *Renewable Energy*, v. 143, p.24-33, dez. **2019**.
 32. Raj, P., Subudhi, S. A review of studies using nanofluids in flat-plate and direct absorption solar collectors. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 84, p.54-74, mar. **2018**.
 33. Ranga Babu J. A. et al. Thermodynamic analysis of hybrid nanofluid based solar flat plate collector. *World Journal Of Engineering*, p.00-00, 28 dez. **2017**.
 34. Rocha, P. A. C. et al. A review on nanofluids: preparation methods and applications. *Tchê Química*, Porto Alegre, v. 16, n. 31, p.365-380, jan. **2019**.
 35. Sahota, L; Tiwari, G. N. Review on series connected photovoltaic thermal (PVT) systems: Analytical and experimental studies. *Solar Energy*, v. 150, p.96-127, jul. **2017**.
 36. Said, Z. et al. Performance enhancement of a Flat Plate Solar collector using Titanium dioxide nanofluid and Polyethylene Glycol dispersant. *Journal Of Cleaner Production*, v. 92, p.343-353, abr. **2015**.
 37. Sen, B. et al. Influence of Al₂O₃ and palm oil-mixed nano-fluid on machining performances of Inconel-690: IF-THEN rules-based FIS model in eco-benign milling. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, v. 103, n. 9-12, p.3389-3403, 3 maio **2019**.
 38. Sharafeldin, M. A; Gróf, G. Evacuated tube solar collector performance using CeO₂/water nanofluid. *Journal of Cleaner Production*, v. 185, p.347-356, jun. **2018**.
 39. Sreekumar, S. et al. Investigation on influence of antimony tin oxide/silver nanofluid on direct absorption parabolic solar collector. *Journal Of Cleaner Production*, v. 249, nov. **2019**.
 40. Suman, S; Khan, M. K; Pathak, M. Performance enhancement of solar collectors—A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, v. 49, p.192-210, set. **2015**.
 41. Suresh, S. et al. Synthesis of Al₂O₃-Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties. *Colloids And Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 388, n. 1-3, p.41-48, set. **2011**.
 42. Thaokar, R., Deshmukh, R., Mehra, A. Ionic Liquid Assisted Synthesis and Crystal Habit Control of Cobalt Accicular Nanoparticles. *Advanced Materials Manufacturing & Characterization*, Mumbai, v. 2, n. 1, p.105-109, mar. **2013**.
 43. Vakili, M. et al. Experimental investigation

- and modeling of thermal conductivity of CuO–water/EG nanofluid by FFBP-ANN and multiple regressions. *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, v. 129, n. 2, p.629-637, 27 fev. **2017**.
44. Wang, D. et al. Magnetic Photothermal Nanofluids with Excellent Reusability for Direct Absorption Solar Collectors. *Acs Applied Energy Materials*, v. 1, n. 8, p.3860-3868, 6 jul. **2018**.
 45. Wei, X. et al. Synthesis and thermal conductivity of Cu₂O nanofluids. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, v. 52, n. 19-20, p.4371-4374, set. **2009**.
 46. Yu, F. et al. Dispersion stability of thermal nanofluids. *Progress In Natural Science: Materials International*, v. 27, n. 5, p.531-542, out. **2017**.
 47. Yu, X; Xuan, Y. Investigation on thermo-optical properties of CuO/Ag plasmonic nanofluids. *Solar Energy*, v. 160, p.200-207, jan. **2018**.
 48. Zayed, M. E. et al. Factors affecting the thermal performance of the flat plate solar collector using nanofluids: A review. *Solar Energy*, v. 182, p.382-396, abr. **2019**.
 49. Zhang, H. et al. Photothermal conversion characteristics of gold nanoparticle dispersions. *Solar Energy*, v. 100, p.141-147, fev. **2014**.
 50. Zeiny, A. et al. A comparative study of direct absorption nanofluids for solar thermal applications. *Solar Energy*, v. 161, p.74-82, fev. **2018**.

Figura 1. Parede Solar para aquisição dos dados de temperatura

Figura 2. Ganho de temperatura do nanofluido híbrido em relação à água.

Figura 3. Razão de energia armazenada devido à presença de nanopartículas

Figura 4. Razão de energia absorvida em função da concentração de prata no dióxido de titânio (23,2 ppm)

Figura 5. Taxa de absorção específica por unidade de massa em função da fração molar do nanofluido híbrido

Tabela 1. Comparativo entre nanofluidos híbridos e isolados

Nanofluidos (Comparativos)	Ganho de Temperatura (°C) e ganho percentual
Prata (0,40625 ppm)	2,8 - (5,2%)
TiO ₂ (23,2 ppm)	2,7 - (5%)
Híbrido (Fração Molar 3%)	6,4 - (11,6%)
Prata (0,8125 ppm)	5,7 - (10,6%)
TiO ₂ (23,2 ppm)	2,7 - (5%)
Híbrido (Fração Molar 6%)	7,8 - (14,3%)
Prata (1,625 ppm)	6,5 - (11,7%)
TiO ₂ (23,2 ppm)	2,7 - (5%)
Híbrido (Fração Molar 12%)	8,3 - (14,9%)
Prata (3,25 ppm)	10,2 - (19,3%)
TiO ₂ (23,2 ppm)	2,7 - (5%)
Híbrido (Fração Molar 25%)	9,9 - (18,3%)