

## Medidas de transferência de calor utilizando nanofluidos como líquido de arrefecimento

### Heat transfer measures using nanofluids as cooling liquid

#### RESUMO

**Humberto Ianczkovski**  
[humbertoj@alunos.utfpr.edu.br](mailto:humbertoj@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Vinicius Mariani Lenart**  
[vmilenart@gmail.com](mailto:vmilenart@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

**Rozane de Fatima Turchiello Gomez**  
[turchiel@utfpr.edu.br](mailto:turchiel@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

A literatura mostra um futuro promissor para as aplicações da nanotecnologia nos campos das engenharias. O presente trabalho tem por objetivos: verificar as condições iniciais de funcionamento do sistema de um trocador de calor do tipo casco e tubo helicoidal, e posteriormente, investigar, a partir de medições de transferência de calor, a eficiência do nanofluido de óxido de grafeno, sintetizado através do método de Hummer modificado, como líquido de arrefecimento. A partir da análise dos testes de validação do sistema, foi possível comprovar: a sincronia de leitura dos sensores, a efetividade do isolamento do trocador de calor, e, a eficácia do sistema de resfriamento empregado ao fluido frio. Os testes preliminares com nanofluido de óxido de grafeno demonstraram a necessidade de um controle das condições ambientais as quais o sistema encontra-se exposto, bem como uma análise complementar sobre a possibilidade de agregação das nanopartículas dentro do sistema do trocador de calor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transferência de calor. Nanofluidos. Trocador de calor. Óxido de grafeno.

#### ABSTRACT

**Recebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



The literature shows a promising future for nanotechnology applications in the fields of engineering. The present work aims: to verify the initial operating conditions of the system of a shell and tube heat exchanger helical, and subsequently investigate, from heat transfer measurements, the efficiency of graphene oxide nanofluid, synthesized by the modified Hummer method as a cooling liquid. From the analysis of the validation tests of the system, it was possible to verify: the reading synchronization of the sensors, the effectiveness of the heat exchanger insulation, and the efficiency of the cooling system employed to the cold fluid. Preliminary tests with graphene oxide nanofluid demonstrated the need for a control of the environmental conditions to which the system is exposed, as well as a complementary analysis on the possibility of nanoparticle aggregation within the heat exchanger system.

**KEYWORDS:** Heat transfer. Nanofluids. Heat exchanger. Graphene oxide.

## INTRODUÇÃO

Vivencia-se uma era na qual a eficiência das aplicações de engenharia está sendo desenvolvida, através de novas ideias e práticas inovadoras que buscam otimizar a armazenagem e transferência de energia. A nanotecnologia apresenta a possibilidade de melhora no desempenho de vários dispositivos envolvidos nesse processo, como baterias e supercapacitores [1,2].

Avanços na nanotecnologia permitiram a criação dos chamados nanofluidos, que são, basicamente, partículas sólidas de até 100 nm suspensas em um fluido base. As nanopartículas podem compor-se de uma ampla variedade de materiais. Entretanto, desde a última década, inúmeros estudos se concentram acerca do grafeno, tendo em vista suas excepcionais propriedades (térmica, óptica, eletrônica e mecânica), tornando-o candidato para diversas aplicações [3,4].

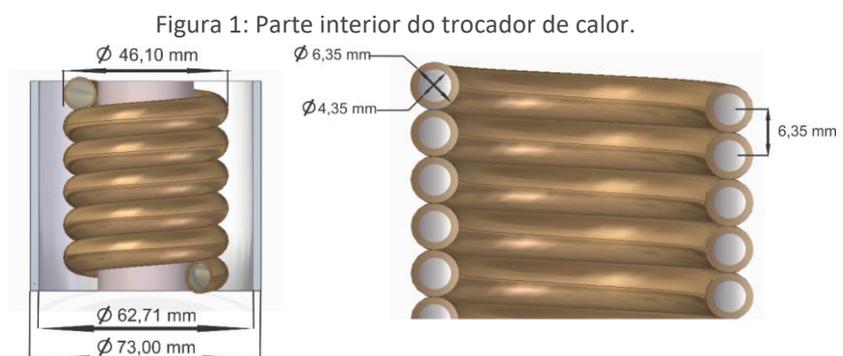
Há duas razões significativas para o acréscimo da condutividade térmica em nanofluidos: o movimento Browniano, que descreve a possibilidade de colisões entre as partículas, através das quais o calor seria transferido por transporte direto sólido-sólido; e, nano-camadas na interface líquido-sólido, atuando como um caminho térmico entre as nanopartículas e o fluido base, estando em um estado físico intermediário que aumenta a condutividade térmica, em comparação ao fluido base monofásico [3,5].

Este trabalho tem como objetivo evidenciar, a partir de testes laboratoriais, realizados em um trocador de calor do tipo casco e tubo helicoidal, a eficácia do uso de nanofluidos como líquido de arrefecimento de um sistema em comparação a água.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O nanofluido utilizado no presente trabalho foi óxido de grafeno (GO) com concentração de 0,01417 g/mL, o qual utilizou-se do método de Hummer modificado para sua síntese [6].

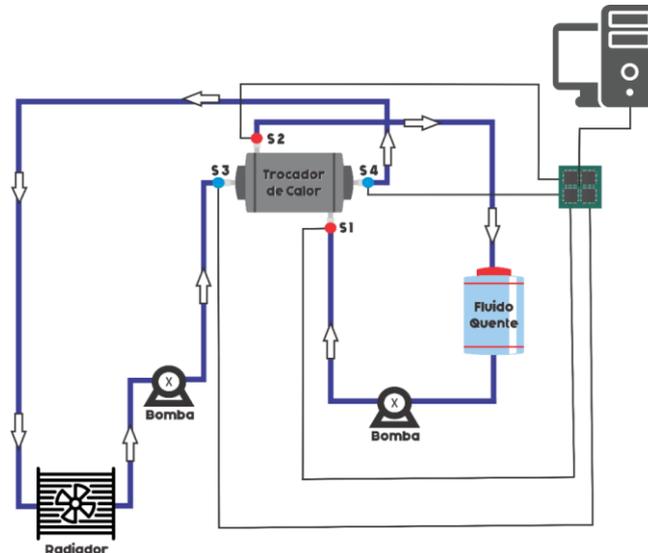
O trocador de calor é definido como o equipamento empregado no processo de troca de calor entre dois fluidos, que estão em diferentes temperaturas, e, que se encontram separados por algum meio sólido. Nas medidas apresentadas, utilizou-se o trocador do tipo casco e tubo helicoidal. Abaixo, encontra-se a representação da parte interior do mesmo.



Fonte: Autoria Própria.

O sistema apresenta 47 espiras, e o comprimento externo do casco é de 320 mm. O princípio de funcionamento empregado ocorre da seguinte forma: o fluido quente percorre a parte entre o casco e a serpentina, enquanto o fluido frio, em fluxo contrário, se encontra no interior da serpentina.

Figura 2: Sistema do trocador de calor.



Fonte: Autoria Própria.

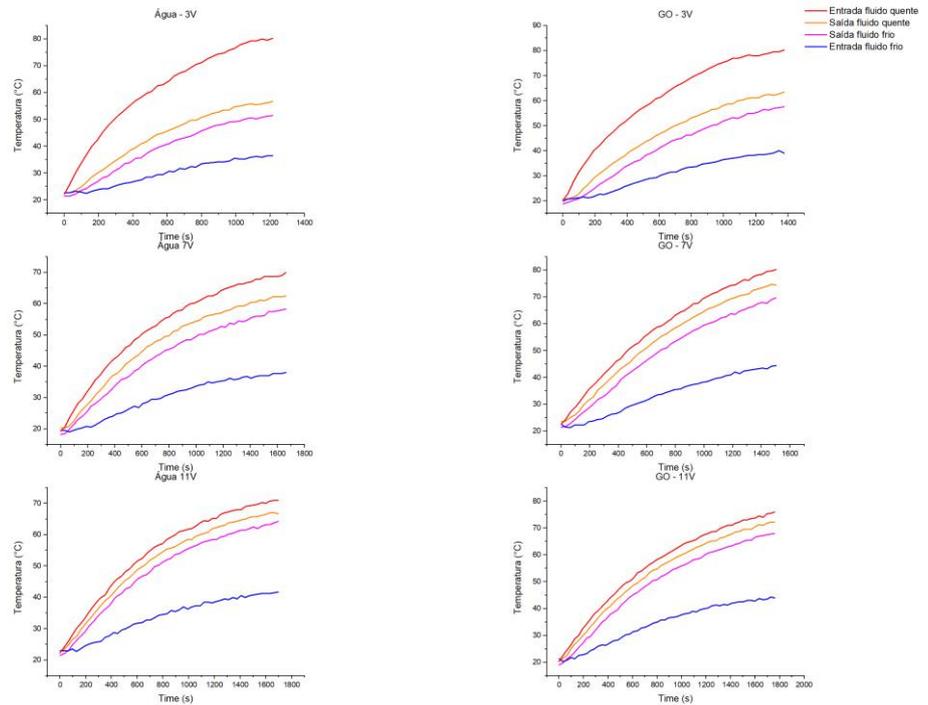
O trocador conta com um sistema automatizado, capaz de controlar as temperaturas de entrada, bem como as vazões do fluido quente e do fluido frio. A partir do mesmo, fez-se possível a obtenção de dados e a consequente correlação entre os fluidos testados.

Para comprovar a eficácia do nanofluido de óxido de grafeno como líquido de arrefecimento, foram feitas medidas com diferentes tensões (3V, 7V e 11V), aplicadas à bomba responsável pela vazão do fluido quente (água), e mantendo a corrente na resistência, a qual é responsável pelo aquecimento desse fluido, igual a 11A. Utilizou-se primeiramente de água como fluido frio, e, posteriormente, do nanofluido como fluido frio. Assim, fez-se possível calcular as variações de temperatura dos fluidos quente e frio, para cada configuração do sistema, e comparar a capacidade de cada fluido como líquido de arrefecimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizaram-se as medidas, como descrito anteriormente, sendo que, para o fluido frio, a vazão foi fixada em 13 L/h. A figura 3 apresenta as temperaturas lidas pelos sensores presentes no sistema, para cada configuração utilizada.

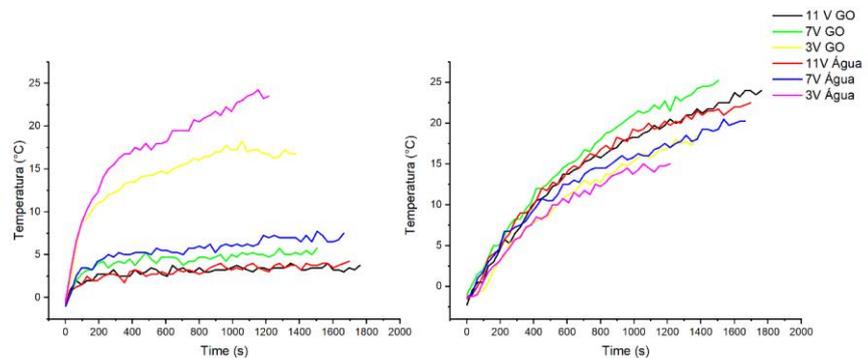
Figura 3: Comparação entre a água e o nanofluido como líquido de arrefecimento.



Fonte: Autoria Própria.

Para efeito de comparação entre os dois fluidos de arrefecimento, fez-se o cálculo das diferenças de temperatura durante as medições, apresentados na figura 4. Sendo o  $\Delta T_{\text{frio}}$  a diferença entre as temperaturas de saída e de entrada do fluido frio no trocador de calor, e o  $\Delta T_{\text{quente}}$  a diferença entre as temperaturas de entrada e de saída do fluido quente no trocador de calor.

Figura 4:  $\Delta T_{\text{quente}}$  e  $\Delta T_{\text{frio}}$ , respectivamente.



Fonte: Autoria Própria.

A partir do gráfico comparativo para o  $\Delta T_{\text{quente}}$ , percebe-se que, nas configurações de 3V e 7V na bomba do fluido quente, a utilização de água como fluido frio resulta em um  $\Delta T_{\text{quente}}$  maior quando comparado ao uso do nanofluido de óxido de grafeno. Para a configuração de 11V os resultados para ambos os fluidos frios são similares.

Analisando o  $\Delta T_{\text{frio}}$ , percebe-se que as configurações de 3V e 7V apresentam um  $\Delta T_{\text{frio}}$  maior quando se utilizou do nanofluido como líquido de arrefecimento em comparação com a água. E a configuração de 11V apresenta novamente valores similares para ambos os fluidos.

## CONCLUSÃO

Os testes preliminares apontam que, através do  $\Delta T_{\text{quente}}$ , o qual tem ligação direta com o quanto o fluido quente irá resfriar, o nanofluido de óxido de grafeno é menos efetivo que a água como líquido de arrefecimento, sendo esse um fato contraditório ao que foi encontrado na literatura. Possíveis explicações para esse fato são: possibilidade de agregação do nanofluido; e, condições do ambiente em que foram realizadas as medidas, levando em consideração que o sistema não se encontra em um ambiente climatizado e com controle de umidade. Realizou-se apenas uma medida em cada configuração, e em dias diferentes, portanto, o comportamento atípico do nanofluido de óxido de grafeno como líquido de arrefecimento será investigado posteriormente, através da realização de novas medidas, buscando controlar possíveis fatores que influenciam na efetividade do nanofluido.

## REFERÊNCIAS

1. GUPTA, N. K.; TIWARI, A. K.; GHOSH, S. K. Heat transfer mechanisms in heat pipes using nanofluids-A review. **Experimental Thermal and Fluid Science**, 2018, v. 90, p. 84-100.
2. ZHOU, M.; XU, Y.; LEI, Y. Heterogeneous nanostructure array for electrochemical energy conversion and storage. **Nano Today**, 2018, v. 20, p. 33-57.
3. A. Arshad, M. Jabbar, Y. Yan, et al., A Review on Graphene based Nanofluids: Preparation, Characterization and Applications, **Journal of Molecular Liquids**, 2019, v. 279, p.444-484.
4. Sajjad, M.; Kamran, M. S.; et al., Numerical investigation of laminar convective heat transfer of graphene oxide/ethylene glycol-water nanofluids in a horizontal tube, **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 2018, v. 21, p. 727-735.
5. Keblinski P.; Eastman J. A.; et al., Nanofluids for thermal transport, **Materials Today**, 2005, v. 8, p.36-44.
6. He, T.; Dai, Q.; Huang, W.; et al. Colloidal suspension of graphene oxide in ionic liquid as lubricant, **Applied Physics A**, 2018, v. 124.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço:

À UTFPR pelo apoio financeiro.

Ao Pós-doc Vinícius M. Lenart pelo desenvolvimento do sistema de aquisição de dados.

À professora Dra. Rozane de Fatima Turchiello Gomez pela orientação durante esse ano.

À minha família e minha namorada pelo apoio durante o desenvolvimento do projeto.

A Deus por tudo.