



ESTUDO DE CONCENTRAÇÕES DO NANOFLUIDO A BASE DE GRAFENO EM TROCADORES DE CALOR DO TIPO TUBO DUPLO USANDO ANÁLISE EXPERIMENTAL E SIMULAÇÃO CFD.

Júlia Mikaelle Gomes de Andrade Ferreira, jmgaf@discente.ifpe.edu.br¹
Jacek Stanislaw Michalewicz, jacek@recife.ifpe.edu.br¹
José Ângelo Peixoto da Costa, angelocosta@recife.ifpe.edu.br¹
Frederico Duarte de Menezes,
fredericomenezes@recife.ifpe.edu.br¹ João Vitor Pereira Alves,
jvpa@discente.ifpe.edu.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Av. Prof. Luís Freire, 500 -
Cidade Universitária, Recife - PE, 50740-545.

Resumo: Trocadores de calor são dispositivos que permitem a troca térmica entre dois ou mais fluidos que estejam separados por alguma interface sólida e que se encontra em temperaturas distintas. Presente em muitas indústrias, esse dispositivo faz essa troca de energia acontecer de forma indireta, através de elementos que separam os fluidos, ou diretamente, em um processo de mistura. Os arranjos para acontecer o escoamento desses fluidos podem ser em fluxo paralelo, ou em contra fluxo. Os fluidos de transferência de calor desempenham papel vital em muitas indústrias e processos, incluindo geração de energia, processos químicos, processos de aquecimento e também de resfriamento, transporte, microeletrônica e outras diversas áreas. Entre os principais fluidos encontramos a água, minerais, óleos e etileno glicol. Porém, os fluidos comuns de transferência de calor tem um baixo rendimento energético quando comparados aos materiais sólidos, desta forma encontra-se um novo meio de troca térmica, que fica a cargo do nanofluido, que nada mais é que um fluido comum, com nanopartículas sólidas dissolvidas em sua composição. Partículas sólidas capazes de suprir a deficiência térmica do fluido comum. Levando em consideração sua importância para a indústria como um todo, a presente pesquisa se faz necessária e investiga qual parâmetro do nanofluido a base de óxido de Grafeno, interfere e ajuda no aumento do desempenho da eficiência da troca térmica em trocadores de calor do tipo tubo duplo, comparando algumas concentrações diferentes de Grafeno. O presente trabalho divide-se em duas vertentes: análise experimental realizada no laboratório de termofluidos do Instituto Federal de Pernambuco – campus Recife (IFPE) e análise numérica CFD (Computacional Fluid Dynamics) utilizando o ANSYS CFX. Os resultados apresentam-se promissores com um aumento na eficiência do sistema em 18%.

Palavras-chave: Trocador de Calor; Tubo duplo; Nano fluido; Grafeno; CFD;

1. INTRODUÇÃO

O processo de troca de calor entre dois fluidos a diferentes temperaturas é separado por sólidos "obstáculos" (interfaces) e é amplamente utilizado na engenharia, sendo muito comum na indústria. O equipamento usado para esse tipo de troca de energia é chamado de trocador de calor e pode ser aplicado a vários processos industriais com diversas condições operacionais, como: indústria química, geração de vapor e recuperação de calor residual, aquecimento e condicionamento do ambiente, processos químicos e muitas outras aplicações. Nos trocadores de calor, os possíveis fluidos que podem ser usados para troca de energia são: líquido-líquido, líquido-gás e gás-gás.

Çengel (2012) afirma que a transferência de energia em trocadores de calor geralmente envolve convecção e condução de cada fluido. Os outros fatores considerados nesses estudos são o coeficiente geral de transferência de

calor e a taxa de transferência de calor. Esses fatores dependem do tamanho da diferença de temperatura entre os fluidos no campo e a temperatura mudará em todo o trocador. Portanto, o tipo de trocador de calor afeta a distribuição de temperatura no trocador de calor. Çengel ainda diz que o tipo mais simples de trocador de calor existente é o tubo duplo, que será utilizado no desenvolvimento de pesquisas relacionadas. Consiste em dois tubos concêntricos com diâmetros diferentes, como mostra a Fig. 1. Um fluido no trocador de calor de tubo duplo flui para fora do tubomenor, enquanto o outro flui através do espaço anular entre os dois tubos. Nesse tipo de trocador de calor, existem dois tipos de arranjos de fluxo: fluxo paralelo, onde o fluido quente e o frio entram no trocador de calor na mesma extremidade e avançam na mesma direção. No fluxo de contracorrente, fluidos quentes e frios entram no trocador em extremidades opostas e, portanto, fluem na direção oposta.

Uma das razões para o aumento de pesquisas relacionadas a trocadores de calor é a diversidade de modelos e características. Entre esses dispositivos, a diversidade de dispositivos pode ser classificada a partir do arranjo de fluxo de maneira construtiva e de acordo com o grau de compactação (BEJAN, 1996). As formas mais comuns de arranjo de fluxo são fluxo paralelo, contra fluxo e fluxo cruzado. O arranjo de fluxo reverso (também conhecido como fluxo de contracorrente) é caracterizado pelo fluxo de fluido em direções opostas.

De acordo com Akyurek et al. (2018) Os fluidos comuns de transferência de calor têm menor condutividade térmica do que os sólidos devido à sua baixa temperatura e características; portanto, eles têm limitações para melhorar o desempenho e a compressão dos equipamentos de engenharia. Alguns métodos são usados para melhorar a eficiência da transferência de calor. Uma é adicionar pequenas partículas sólidas, como partículas metálicas, não metálicas e poliméricas, a um fluido geral de transferência de calor. Partículas milimétricas ou mesmo micrômetros (se usados) podem representar um risco porque, embora possam melhorar o desempenho térmico, não podem ser usadas em muitas aplicações. Embora melhorem o desempenho térmico, ainda têm certas limitações porque Isso pode causar problemas como uma solução rápida. Para partículas, o bloqueio do canal de fluxo tem pouca estabilidade e aumenta a queda de pressão no fluido.

Por outro lado, esses problemas podem ser resolvidos usando dispersões de partículas de tamanho nano. Para esse fim, nanopartículas com uma faixa de tamanho de 1 a 100 nm são usadas no fluido base em vez dessas partículas. Essas suspensões (chamadas nanofluidos) têm sido usadas em muitas indústrias. Essas características dos nanofluidos levaram a uma ampla gama de aplicações, como fornecimento de energia, indústria automotiva, indústria química, sistemas de aquecimento / refrigeração, microeletrônica, etc. O primeiro e mais importante passo com um nanofluido estável é a preparação. O uso de nanofluidos pode melhorar o desempenho térmico dos sistemas de troca de calor. Portanto, as propriedades termofísicas do fluido de trabalho devem ser estudadas. Os nanofluidos compostos por diferentes nanopartículas e materiais fluidos estudados por muitos pesquisadores estão relacionados à sua preparação, caracterização, modelagem, desempenho de transferência de calor, características de fluxo e suas aplicações, como nanotubos de Al_2O_3 , CuO , TiO_2 , SiO_2 , nanotubos de carbono (CNT), Cu , Fe_2O_3 e Fe_3O_4 são algumas nanopartículas comuns usadas nesses estudos.

& Khedkar. (2014) estudaram e estudaram as características de transferência de calor de nanofluidos de TiO_2 usados como refrigerantes em trocadores de calor concêntricos. No experimento, comparou-se o desempenho de um trocador de calor feito de tubos de cobre com um comprimento de 1000 mm, além de refrigerante de água e nanofluido de TiO_2 . Os resultados deste trabalho são muito importantes para o projeto de trocadores de calor de tubos concêntricos para troca de calor eficaz, a fim de melhorar o desempenho de refrigeração do sistema de refrigeração.

Singh et al. (2016) estudaram a transferência de calor de nanofluidos à base de água e CuO colocando o compartimento em um trocador de calor de tubo duplo. As experiências foram realizadas em volumes com concentrações de 0,1 e 0,2%. Observa-se que os nanofluidos apresentam maior transferência de calor em comparação à água. A transferência de calor do nanofluido com uma concentração de volume de 0,1% aumenta em 10-12%, enquanto a transferência de calor de um nanofluido com uma concentração de volume de 0,2% aumenta em 25-30%.

Shahrul et al. (2016) usaram nanofluidos de Al_2O_3 -água, SiO_2 -água e ZnO -água para estudar o desempenho geral dos trocadores de calor de conchas e tubos. O maior coeficiente de transferência de calor convectivo aumentou cerca de 50%, 15% e 9%, o calor total aumentou cerca de 35%, 26% e 12%, melhorando assim o coeficiente de transferência térmica e aumentou cerca de 51%, 32% e 9,5%. A taxa real de transferência de calor é de 26%. Comparado com a água em estudo, os nanofluidos ZnO -água, Al_2O_3 -água e SiO_2 -água foram aprimoradas, respectivamente.

El-Maghlany et al. (2016) realizaram um estudo para estudar o desempenho da água de cobre como nanofluido

em um trocador de calor horizontal de contra-fluxo de tubo duplo. A concentração volumétrica de nanopartículas de cobre na água é de 1-3%. O nanofluido é usado no anel do trocador de calor, a água quente é usada no tubo interno e a velocidade é de 0 a 500 rpm. A rotação do nanofluido e do tubo interno aumenta a taxa de transferência de calor. Os resultados otimizados do aumento da transferência de calor e da queda de pressão indicam que a queda de pressão do nanofluido é menor que a do nanotubo. O tubo interno gira.

Palanisamy et al. (2017) realizaram um estudo experimental em um trocador de calor em espiral usando nanotubos de carbono de paredes múltiplas (MWCNT). Nanopartículas MWCNT foram sintetizadas por um método de duas etapas, usando surfactante de sódio dodecilbenzeno a uma concentração volumétrica de 0,1, 0,3 e 0,5%. Foram realizadas experiências no regime de fluxo laminar dentro da faixa de número 481 Dean. Um modelo matemático é usado para determinar propriedades termofísicas. Em uma concentração de 0,1%, 0,3% e 0,5%, o número de Nusselt (fornecendo o parâmetro adimensional do coeficiente de convecção, que pode calcular o coeficiente de transferência de calor entre os dois materiais) aumentou 22%, 41% e 52%, respectivamente.

Han et al. (2017) estudaram as características de transferência de calor e fluxo de Cu, Al, Al₂O₃, Fe₂O₃, nanofluido de carbono e grafite de paredes múltiplas fluindo em faixas torcidas internamente, tubos rosqueados externamente na faixa de números de Reynolds. Com base em seus valores, pode caracterizar a camada Fluxo de fluido entre fluxo e turbulência (de 2000 a 12.000). Os resultados mostram que a porcentagem de nanopartículas aumenta a transferência de calor.

De acordo com Ren et al. (2018) O grafeno é uma das mais recentes nanopartículas amplamente utilizadas em vários campos da nanotecnologia. É um material de carbono bidimensional com uma fina camada de folhas planas de átomos de carbono ligados sp² dispostas em uma rede cristalina de favo de mel. Devido a suas propriedades extraordinárias, esses materiais atraíram a atenção de muitos pesquisadores. A condutividade térmica e a área de superfície das nanopartículas de grafeno são nanoestruturas bidimensionais e a espessura de uma única camada é de 1 a 100 nm, que é de cerca de 5000 W / mK e 2630 m² / gr, respectivamente. A alta condutividade térmica do grafeno indica que as nanopartículas têm melhor desempenho em comparação com outras nanoestruturas e até nanotubos de carbono. Portanto, pesquisas sobre as propriedades térmicas de nanofluidos contendo nanopartículas de grafeno têm atraído muita atenção. Em seus próprios exemplos, é possível aumentar a condutividade térmica das nanoplaquetas de grafeno (nanoestruturas bidimensionais com espessura de 1 a 100 nm) dispersas em etileno glicol e dispersões contendo 5% em volume de grafeno até 86%. Em outro livro, Ma et al. Verificou-se que a condutividade térmica do nanofluido à base de óleo de silicone a apenas 0,01% em peso das nanopartículas de grafeno a 20 ° C aumentou aproximadamente 1,55%. Para uma fração de peso tão pequena, essa é uma melhoria bastante boa, que pode ser devido à área superficial extremamente alta e à alta condutividade térmica das folhas de grafeno.

Quanto ao cálculo e análise do projeto, com base em Ameel et al. (2014) e Feng et al. (2014), todos afirmaram ter realizado vários estudos no campo dos trocadores de calor, analisados parâmetros geométricos e buscado melhorar seu desempenho (Wu et al., 2014; Dutra et al., 2009). Yang et al. (2014) Ao modelar um modelo único, periódico, médio poroso e considerando o método CFD (Computational Fluid Dynamics), foi realizado um estudo numérico tridimensional do trocador de calor cascos-e tubos. Comparado com os resultados experimentais, o modelo periódico, meios porosos e métodos CFD obtiveram uma precisão muito alta. Han et al. (2014), em sua pesquisa, foi proposta uma possível solução para solucionar o problema de incrustação em tubos trocadores de calor, modelo usado para prever a taxa de deposição de partículas de gases de combustão e considerar a migração de partículas e com base no movimento de partículas para estimar seu comportamento.

Neste trabalho, foi realizado um estudo experimental em um trocador de calor do tipo tubo duplo, com o objetivo de executar uma análise energética medindo temperatura e vazão, determinando assim sua eficiência e considerando o grafeno como fluido de trabalho, a fim de caracterizá-lo de acordo com as condições da reação. Produziram-se alguns nanofluidos com concentrações diferentes e posteriormente executou-se a fase de testes, buscando seu melhor comportamento. Através da análise experimental, foi possível avaliar a influência de parâmetros operacionais, como o fluxo de fluidos frios e quentes, bem como sua influência no comportamento energético do trocador de calor. E através do modelo desenvolvido, é possível avaliar outros experimentos de condições operacionais diferentes desta condição e / ou fornecido pelo fabricante do comutador. Além disso, como objetivo do estudo, foi analisada a eficiência energética, através da análise numérica-experimental e avaliação dos resultados comparativos.

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi dividido em duas etapas, a primeira consiste em uma simulação computacional do trocador de calor tubo duplo variando as concentrações de nanofluidos estudadas e a segunda em uma análise

experimental, seguindo os mesmos parâmetros da análise numérica, com o intuito de analisar e comparar a troca de calor existente entre os fluidos presentes.

2.1. Análise Numérica

O modelo numérico foi construído com a ferramenta ANSYS CFX, na fig. 1 é apresentado a geometria CAD do trocador. Após esta etapa executou-se a malha do modelo com 276354 elementos tetraédricos conforme mostrado na fig. 2. Na tabela 1 são apresentados os parâmetros da simulação. Além disso, todas as análises foram realizadas nas temperaturas de 40°, 50° e 60°C.

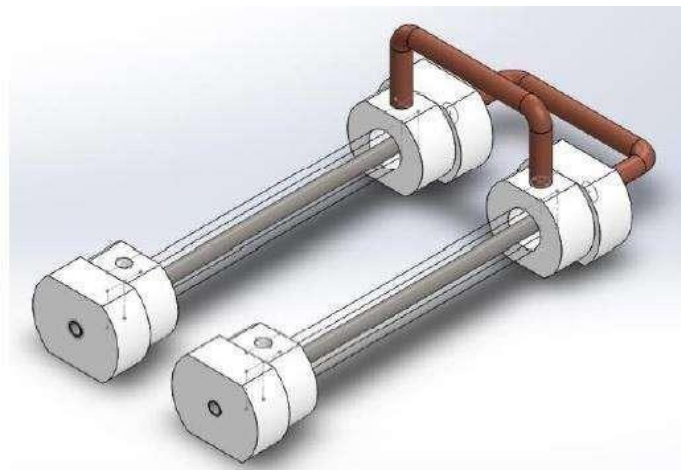


Figura 1. Modelo de trocador de calor desenhado no Solidworks

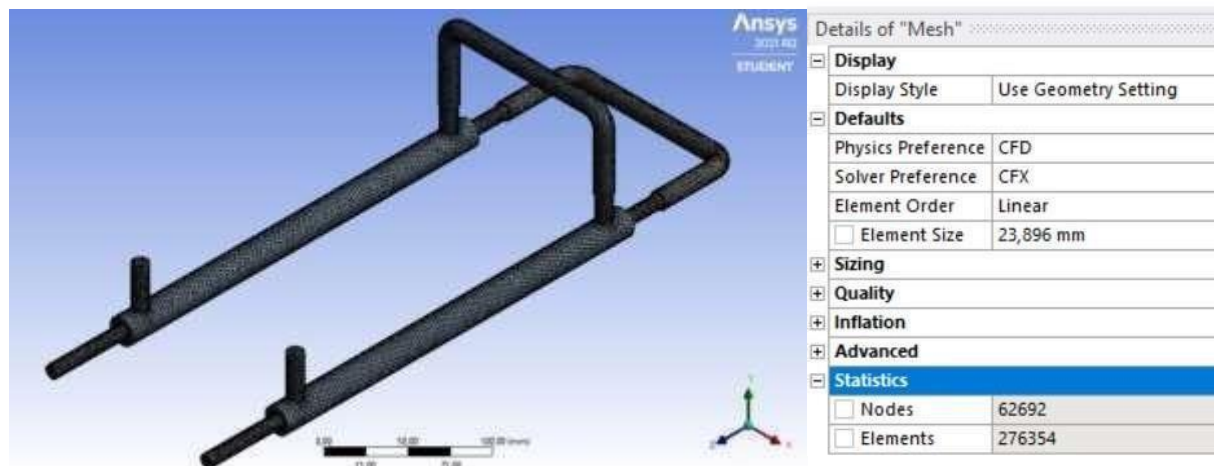


Figura 2. Malha e elementos – ANSYS

Análises	Escoamento	
Teste 1	Fluxo quente = 2,5 L.min-1	Fluxo frio = 0,5 L.min-1
Teste 2	Fluxo quente = 2,5 L.min-1	Fluxo frio = 1 L.min-1
Teste 3	Fluxo quente = 2,5 L.min-1	Fluxo frio = 1,5 L.min-1
Teste 4	Fluxo quente = 2,5 L.min-1	Fluxo frio = 2 L.min-1
Teste 5	Fluxo quente = 2,5 L.min-1	Fluxo frio = 2,5 L.min-1
Teste 6	Fluxo frio = 2,5 L.min-1	Fluxo quente = 0,5 L.min-1

Teste 7	Fluxo frio = 2,5 L.min-1	Fluxo quente = 1 L.min-1
Teste 8	Fluxo frio = 2,5 L.min-1	Fluxo quente = 1,5 L.min-1
Teste 9	Fluxo frio = 2,5 L.min-1	Fluxo quente = 2 L.min-1
Teste 10	Fluxo frio = 2,5 L.min-1	Fluxo quente = 2,5 L.min-1

Tabela 1. Parâmetros da simulação.

Na tabela 1 é possível visualizar que tanto para o circuito frio quanto para o quente, foram estabelecidos valores fixos máximos de vazão (2,5 (L/min), isso se dá devido as limitações da bancada de testes (análise experimental). Então, devido a este fato e em compromisso com o objetivo do estudo de comparar os resultados obtidos, a análise numérica aconteceu de acordo com as estruturas permitidas a acontecer na análise física/experimental.

2.2. Análise Experimental

O aparato experimental utilizado neste trabalho é composto por um tanque de água quente para o circuito com nanofluido, circuito frio com água da rede pública, medidores de vazão tipo turbina, termopares tipo K e válvulas agulhas para modular a vazão. Para manter a temperatura estável, o aparato dispõe de um controlador PID para o circuito de água quente. O trocador duplo tubo é acoplado às mangueiras e conexões do sistema hidráulico da bancada. Seguindo os parâmetros da tabela 1.

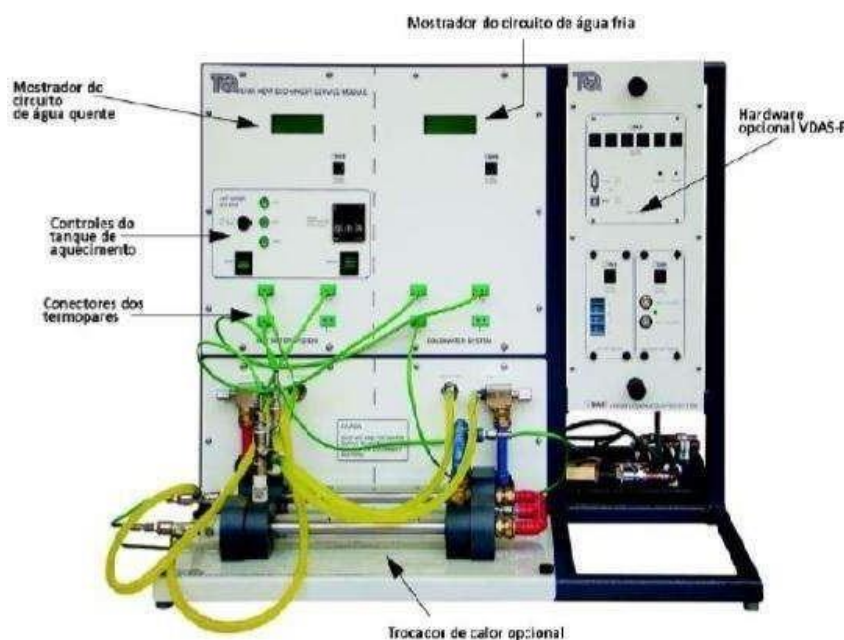


Figura 3. Bancada de trocadores de calor TD360.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Nanofluido a 0,01% de grafeno

Na figura 4 são apresentados os resultados referentes á eficiência total do fluido utilizado, em função das variações da vazão desse mesmo fluido. No gráfico é possível visualizar o comportamento dessa eficiência tanto de forma experimental, como numérica, e para as três temperaturas testadas, 30°C ,40°C e 50°C do circuito de água quente. Nesse gráfico é possível perceber que quanto menor a temperatura, menor a dispersão entre os dados numéricos e experimentais, ou seja, a temperatura de 40°C apresenta uma dispersão entre dados menor que a temperatura de 50°C, assim como a de 50°C tem uma dispersão menor que a de 60°C. Além disso, o gráfico também indica que à medida que se aumenta essa temperatura, a sua eficiência também aumenta. Mas, no que diz respeito do aumento da vazão do fluido, à medida que aumenta a vazão, diminui-se essa eficiência, ou seja, com mais turbulência na troca térmica, menos eficiente o sistema fica.

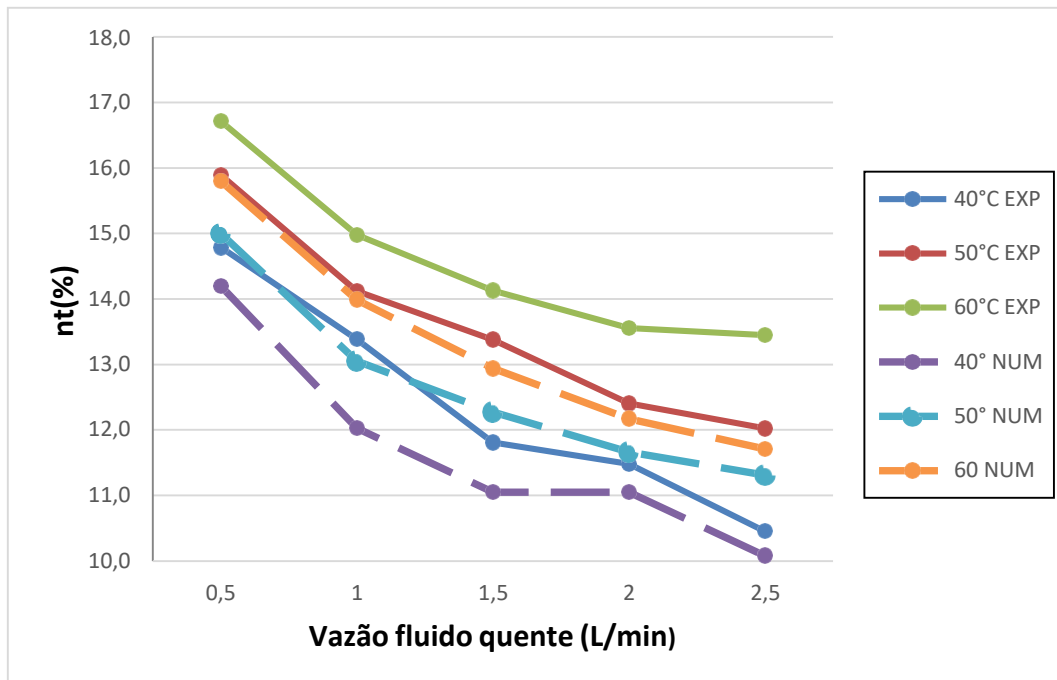


Figura 4. Comparativo da Eficiência Total com nanofluido a base de grafeno 0,01%

3.2. Nanofluido a 0,02% de grafeno

Sobre responsabilidade da figura 5, também ficam os dados do desempenho do nanofluido feito e avaliado de forma experimental e numérica. A imagem fala sobre a eficiência total do fluido e dispersão entre os pontos referentes aos dados obtidos para as vazões específica do gráfico em função das respectivas temperaturas e análises feitas (experimental e numérica). Nela percebe-se que a dispersão entre os pontos para as três temperaturas da mostra é proporcional, ou seja, a medida que aumenta a temperatura, essa dispersão entre dados também aumenta. Já no que diz respeito à eficiência em função da abertura de válvula do fluido, estas são grandezas inversamente proporcionais, ou seja, a medida que se aumenta essa vazão, diminui-se a eficiência.

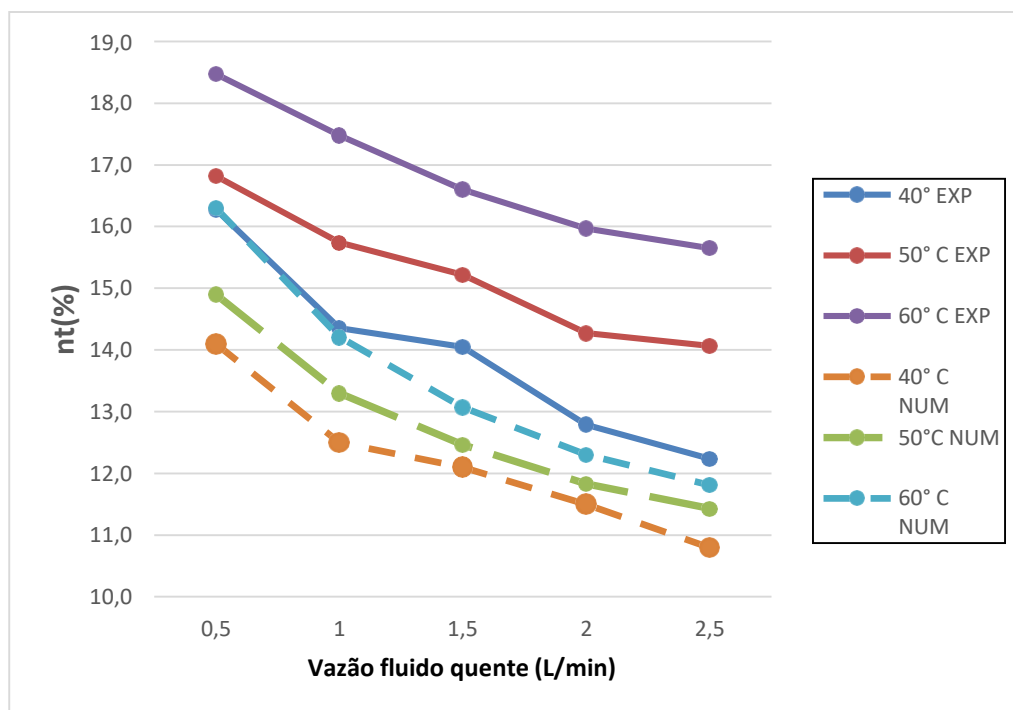


Figura 5. Comparativo de dispersão nanofluido 0,02% de grafeno.

3.3. Comparativo entre concentrações de grafeno (0,01% e 0,02)

A figura 6, demonstrar qual concentração tem melhor eficiência, dentro do sistema avaliado de troca térmica. É possível visualizar esse comparativo entre concentrações na análise numérica e na fig.7, a mesma comparação, porém com dados simulados, da análise experimental. Em ambos os gráficos é possível identificar que a concentração de 0,02% de grafeno é superior no que diz respeito a sua troca térmica quando comparado à concentração de 0,01%. Além de seu rendimento ser superior tanto experimentalmente quanto numericamente, esse parâmetro também aumenta à medida que a sua temperatura de estudo aumenta, ou seja, quanto maior a temperatura em que se inicia essa troca térmica, mais benéfico pro sistema, melhor a sua eficiência.

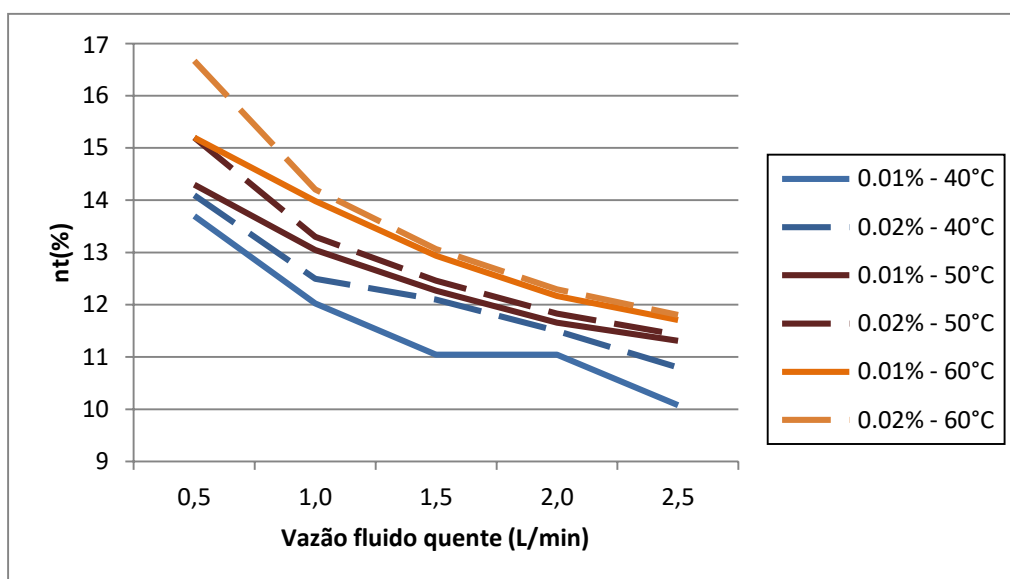


Figura 6. Comparativo de concentrações de nanofluido a base de grafeno na análise numérica.

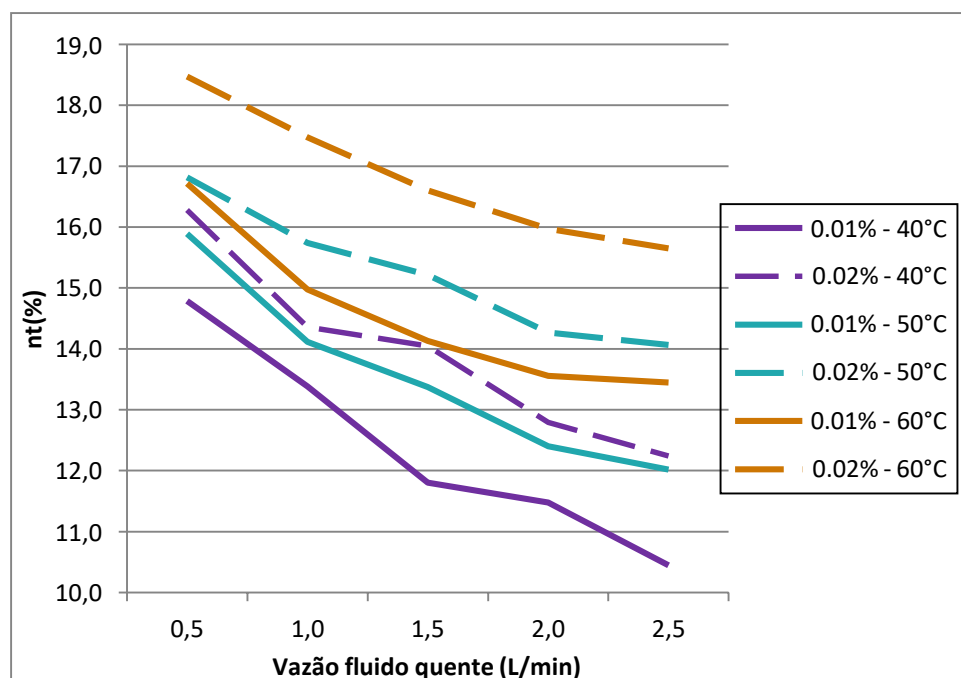


Figura 7. Comparativo de concentrações de nanofluido a base de grafeno na análise experimental.

Já na imagem 8, é possível visualizar a variação percentual da análise numérica e experimental. É facilmente

perceptível a expressão dos dados experimentais, que se dá devido à diferença entre as temperaturas de entrada e de saída do sistema. Essa variação é maior na análise experimental, tendo em vista a toda perda de carga que um experimento proporciona que diferentemente da simulação, onde não há esse tipo de efeito. Dessa maneira, obtivemos o nanofluido a base de grafeno com 0,02% de concentração no âmbito experimental, até 18,64% mais eficiente que o nanofluido com 0,01% de concentração, na vazão de 1,5 (L/min), à 40°C. E no âmbito numérico, tivemos o pico máximo no valor de 2,66%, também com a concentração de 0,02% sendo superior ao de 0,01%, na vazão de 1 (L/min), à 40°C.

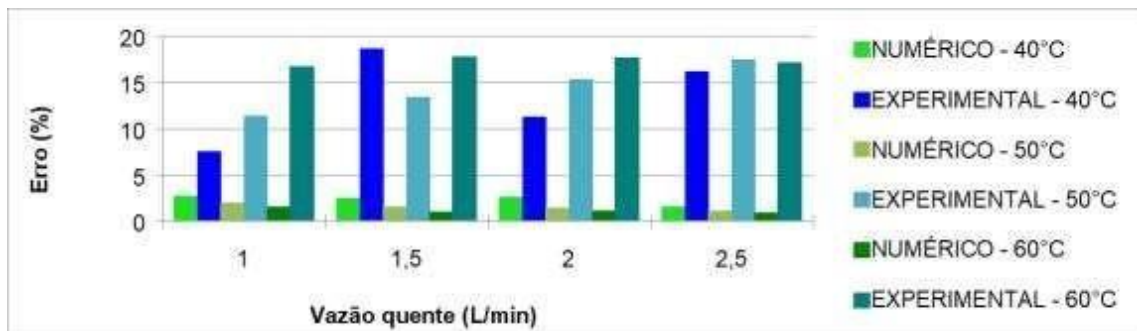


Figura 8. Variação percentual das concentrações dos nanofluidos.

4. CONCLUSÃO

Sendo assim, verifica-se que as simulações numérico com o trocador de calor Tubo Duplo apresentaram um comportamento satisfatório, semelhante ao comportamento observado no trocador de calor experimental, provando ser um sistema de simulação adequado, coerente e relativamente preciso aos testes térmicos com as variações de vazões propostas neste projeto.

O desempenho do modelo numérico em comparação ao experimental nos testes de fluxo contra fluxo para o nanofluido a base de grafeno à 0,02% apresentaram uma superioridade ao nanofluido de 0,01% de grafeno de 18,64%, 17,5% e 17,73%, para as temperaturas de 40°C, 50°C e 60°C, respectivamente, na análise experimental. Já para a análise numérica o melhor desempenho também é do nanofluido 0,02% de grafeno, sendo seus maiores resultados, os valores de 2,66%, 1,91%, e 1,57%, para as temperaturas de 40°C, 50°C, e 60°C.

Os erros entre as temperaturas de saída dos experimentos foram abaixo de 1% por ambas as situações, das duas concentrações, obtidos para as mesmas temperaturas foram 0,53%, 0,75% e 0,74%, respectivamente, para a concentração de 0,01% de grafeno, e de 0,30%, 0,63%, e 0,94% para 0,02% de grafeno. Consideram-se estas faixas de erro próximas aos encontrados na literatura, visto que em uma situação real, os termopares possuem uma faixa de erro acima dos 2 %. Para as simulações numéricas são considerados ainda dentro dos padrões o erro de 10 %.

Vale a pena ressaltar que para ambas as análises existem fatores externos que podem trazer alterações aos resultados obtidos como: os erros dos termopares, a temperatura de entrada do fluido frio que depende do meio ambiente, as propriedades termofluidas e a massa específica, para a análise experimental. Já para o estudo numérico, temos as propriedades do fluido, as condições de contorno da simulação, a malha a ser utilizada, e o número de iterações utilizadas na malha. Uma malha mais refinada, por exemplo, traria resultados mais precisos comparados aos experimentais, porém há limitações financeiras e de tempo de execução para que a mesma ocorra. A consequência disso são valores diferentes (porém próximos), entre as análises realizadas.

Conclui-se, que à medida que aumentamos a concentração do nanofluido, aumenta-se o seu desempenho. Sendo assim, com a construção deste modelo numérico, será possível em trabalhos futuros a realização de análises, desenvolvimento e criação de melhorias em trocadores de calor do tipo Tubo Duplo, antes limitado, devido às limitações físicas e orçamentais para aquisição de bancadas de trocadores experimentais. Espera-se para projetos futuros que se busquem melhorias na geometria do equipamento, visando aumento da eficiência e menor perda de energia.

5. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto Federal de Pernambuco-Campus Recife, pela bolsa de Iniciação Científica destinada para este estudo, e à coordenação do Curso de Engenharia Mecânica, por ceder seus laboratórios como apoio a esta

pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Ameel B., Degroote, J., T'Joen, C., Huisseune, H., Schampheleire, S., Vierendeels, J., Paepe, M. *Accounting for the effect of the heat exchanger length in the performance evaluation of compact fin and tube heat exchangers*. Applied Thermal Engineering, 65 (2014).
- Akyurek E. F., Gelis, K., Sahin, B., & Manay, E. *Experimental analysis for heat transfer of nanofluid with wire coil turbulators in a concentric tube heat exchanger*. Results in Physics, 9, 376–389.
- Bejan, A. (1996). *Transferência de Calor*. Tradução de Euryle de Jesus Zerbini; Ricardo S.E. Simões. São Paulo: Edgard Blucher. Cap9, p.362-410
- Bohorquez, W., Learn, D. S. (nd). (2014). Trocadores de Calor. <https://www.slideshare.net/HelderVaz07/Trocador-de-Calor-65915578>.
- Çengel, Y. A., Ghajar, A. J. *Transferência de Calor e Massa - Uma Abordagem Prática*, Editora McGrawhill, quarta edição, Brasil, 2012, 906p.
- Dutra C. J. C., Primo, A. R., MAGNANI, F. S., Henríquez, G. J. R. *Relatório Final do Projeto P49 – Projeto COGENCASA*. Universidade Federal de Pernambuco. UFPE. Recife 2009.
- El – Maghlany, W., Hanafy, A. A., Hassan, A. A., & El – Magid, M. A. (2016). *Experimental study of Cu-water nanofluid heat transfer and pressure drop in a horizontal double-tube heat exchanger*. Experimental Thermal and Fluid Science, 78(May), 100–111.
- Feng, H., Zhong, W., Weng, H., Zhong W., Wu, Y., Tong, S. *Thermodynamic performance analysis and algorithm model of multi- pressure heat recovery steam generators (HRSG) based on heat exchangers layout*. Energy Conversion and Management, vol. 80, no. 1, pp. 282–289, 2014.
- Han, D., He, W. F., & Asif, F. Z. (2017). *Experimental study of heat transfer enhancement using nanofluid in double tube heat exchanger*. Energy Procedia, 142, 2547–2553.
- Han, H., He, Y., Tao, W., Li, Y. *A parameter study of tube bundle heat exchangers for fouling rate reduction*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 72 (2014), 210 – 221.
- Khedkar, R. S., Sonawane, S. S., & Wasewar, K. L. (2014). *Heat transfer study on concentric tube heat exchanger using TiO₂-water based nanofluid*. International Communications in Heat and Mass Transfer, 57, 163–169.
- Nova Didacta. Manual de Usuário. *Sistema de Treinamento em Trocadores de Calor NVSC26072010*. São Paulo, 2009. 70 p.
- Palanisamy, K., & Kumar, P. C. M. (2017). *Heat transfer enhancement and pressure drop analysis of a conehelical coiled tube heat exchanger using MWCNT/water nanofluid*. Journal of Applied Fluid Mechanics, 10(Special Issue), 7–13.
- Ren, S., Rong, P., & Yu, Q. (2018). *Preparations, properties and applications of graphene in functional devices: A concise review*. Ceramics International, 44(11), 11940–11955.
- Shahrul, I. M., Mahbubul, I. M., Saidur, R., & Sabri, M. F. M. (2016). *Experimental investigation on Al₂O₃-W, SiO₂-W and ZnO-W nanofluids and their application in a shell and tube heat exchanger*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 97, 547–558.
- Singh, S., Singh, G., & Singla, A. (2016). *Experimental studies on heat transfer performance of double pipe heat exchanger with using baffles and nanofluids*. Indian Journal of Science and Technology, 9(40).
- Xuan, Y., & Roetzel, W. (2000). *Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids*. International Journal of Heat and Mass Transfer, 43(19), 3701–3707. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(99\)00369-5](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(99)00369-5).
- Wu, X. P., Yang, L. J., Du, X. Z., Yang, Y. P. *Flow and heat transfer characteristics of indirect dry cooling system with horizontal heat exchanger A-frames at ambient winds*. International Journal of Thermal Sciences, 79 (2014), 161 - 175.
- Yang, J., Maa, L., Bock, J., Jacobi, A. M., Liu, W. *A comparison of four numerical modeling approaches for enhanced shell-and-tube heat exchangers with experimental validation*. Applied Thermal Engineering, 65 (2014), 369 - 383.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF CONCENTRATIONS OF GRAPHENE BASED NANOFLUID IN DOUBLETUBE TYPE HEAT EXCHANGERS USING EXPERIMENTAL ANALYSIS AND CFD SIMULATION.

Júlia Mikaelle Gomes de Andrade Ferreira, jmgaf@discente.ifpe.edu.br¹

Jacek Stanislaw Michalewicz, jacek@recife.ifpe.edu.br¹

José Ângelo Peixoto da Costa, angelocosta@recife.ifpe.edu.br¹

Frederico Duarte de Menezes,

fredericomenezes@recife.ifpe.edu.br¹ João Vitor Pereira Alves,

jvpa@discente.ifpe.edu.br¹

¹ Federal Institute of Education, Science and Technology of Pernambuco, Av. Prof. Luís Freire, 500 - University City, Recife - PE, 50740-545.

Abstract.: Heat exchangers are devices that allow heat exchange between two or more fluids that are separated by some solid interface and that are at different temperatures. Present in many industries, this device makes this energy exchange happen indirectly, through elements that separate the fluids, or directly, in a mixing process. The arrangements for the flow of these fluids can be in parallel flow, or in counter flow. Heat transfer fluids play a vital role in many industries and processes, including power generation, chemical processes, heating and cooling processes, transportation, microelectronics, and many other areas. Among the main fluids we find water, minerals, oils and ethylene glycol. However, common heat transfer fluids have a poor energy yield when compared to solid materials, so that's where a new means of heat exchange is found, which is in charge of the nanofluid, which is nothing more than a common fluid, with solid nanoparticles dissolved in its composition. Solid particles that supply the energy deficiency of the common fluid. Taking into account its importance for the industry as a whole, the present research is necessary and investigates which parameter of the graphene oxide based nanofluid interferes and helps in increasing the performance of heat exchange efficiency in tube-type heat exchangers double, comparing some concentrations with different percentages of Graphene. The project takes place through the experimental method, in the thermofluid laboratory of the Federal Institute of Pernambuco - Recife campus (IFPE), and also, numerically, with the help of the ANSYS simulation software, the computational fluid dynamics (CFD). The two methods appear in order to compare the data obtained. As results we obtained both experimental and numerical results and within the analysis it was possible to find a concentration that best stood out, reaching up to 18% more efficient.

Keywords: Heat exchanger; Double tube; Nano fluid; Graphene; Efficiency; CFD;