

NANOTECNOLOGIA OTIMIZANDO SISTEMAS DE ARREFECIMENTO EM MOTORES DE COMBUSTÃO

Polyana Barbosa de Paula, polyana_paula@outlook.com¹

Gustavo Rodrigues de Souza, souzagr@ufsj.edu.br¹

Lucas Buosi Thomazini, lucasbthomazini@gmail.com¹

¹ Universidade Federal de São João Del Rei, DCTEF- Praça Frei Orlando, 170, 36307-352, São João Del Rei-MG, Brasil

Resumo: A nanotecnologia é definida como o estudo da matéria em escala atômica e molecular. Ela tem sido responsável por grandes avanços da ciência e tecnologia, em inúmeras áreas. O setor de energia está buscando na nanotecnologia produtos com maior eficiência. Sistemas com nanofluidos têm sido simulados e pesquisadores têm encontrado bons resultados na transferência de calor. Na indústria automotiva os nanofluidos podem contribuir, entre outras aplicações, como fluidos de trabalho em sistemas de arrefecimento de motores de combustão interna. Pesquisas mostram que quando eles são utilizados há o incremento no coeficiente de transferência de calor e a diminuição das dimensões dos radiadores e da potência de bombeamento requerida. Isto acarreta em uma economia de combustível e uma redução das emissões de poluentes nos gases de exaustão. Este artigo trata-se de uma revisão bibliográfica dos principais estudos desenvolvidos na área de nanofluidos aplicados a sistemas de arrefecimento no ramo automobilístico, destacando o aumento da eficiência energética que esta nova tecnologia pode oferecer.

Palavras-chave: Nanofluidos, Energia, Arrefecimento, Motores de Combustão, Transferência de Calor.

1. INTRODUÇÃO

O termo nanofluidos trata-se de líquidos com partículas sólidas variando de 1 a 100 nm dispersas em sua composição (Choi, 1995). Eles estão sendo utilizados em inúmeras aplicações envolvendo transferência de calor, como em sistemas de refrigeração e climatização, trocadores de calor, sistemas de arrefecimento de eletrônicos, coletores solares, reatores nucleares e extração de energia geotérmica. Têm mostrado uma capacidade de troca de calor significativamente superior aos fluidos convencionais, porém podem apresentar limitações envolvendo sedimentação, aglomeração de partículas e distribuição não uniforme.

Pesquisas recentes mostram que produção industrial, transporte de carga e mobilidade das pessoas respondem por aproximadamente 65% do consumo de energia útil no país. O setor de transporte é responsável por 32,2% desse consumo, segundo dados do BEN, Balanço Energético Nacional, 2016. Diante de tais fatos, experimentos que envolvem eficiência energética desenvolvidos no ramo automotivo têm ganhado espaço na atualidade.

O alto consumo energético associado a necessidades, cada vez maiores, de redução de emissões de gases poluentes, são as principais justificativas para o crescimento de estudos relacionados à aplicação da nanotecnologia em veículos. Pesquisas que utilizam nanofluidos como alternativas para fluido amortecedor, lubrificante, aditivo de combustíveis e fluido refrigerante foram desenvolvidas com o objetivo de se obter veículos compactos e de alto desempenho.

Em relação aos sistemas de arrefecimento de motores de combustão, segundo Sonage, o fluido refrigerante convencional consome cerca de 30% do calor gerado no motor e a mesma quantidade de calor é perdida do radiador para a atmosfera. Quando nanofluidos são aplicados nos sistemas, uma maior remoção de calor é feita resultando em maior eficiência térmica. Assim, podem ser verificados a diminuição da área de troca de calor do radiador devido ao aumento na condutividade térmica e coeficiente de transferência de calor, ganho em potência de bombeamento e redução do inventário de fluido refrigerante resultando em ganhos energéticos e menores quantidades de emissões de gases poluentes.

2. METODOLOGIA

2.1. Revisão de nanofluidos e suas propriedades

Os nanofluidos são um tipo de suspensão coloidal de partículas em nanoescala metálicas ou não metálicas em um determinado fluido. Um aprimoramento substancial em condutividade térmica líquida e transferência de calor convectivo são características únicas dos nanofluidos.

Eles possuem algumas vantagens em relação aos fluidos convencionais, incluindo:

- Área de superfície específica alta.
- Alta estabilidade de dispersão com movimento predominante Browniano de partículas.
- Propriedades ajustáveis com a variação da concentração de partículas.

Assim, a aplicação de nanofluidos em indústrias, como a calorífica, parece promissora. Porém o uso de nanofluidos em sistemas de refrigeração deve cumprir os seguintes critérios:

- Possuir pequeno valor dielétrico, pois eles poderiam ser polarizados por um campo elétrico e causar corrente.
- O ponto de congelamento deve ser o mais baixo possível, caso contrário pode não ser utilizável em climas extremos.
- Devem ser não inflamáveis, não explosivos e com uma toxicidade muito baixa para os seres humanos, bem como para o meio ambiente.

O desenvolvimento de refrigerantes nanofluidicos para sistemas de arrefecimento de motores começou em 2004, com uma pesquisa de inovação em pequenas empresas (SBIR) do Departamento de Energia dos Estados Unidos (DoE). Desde então vários outros estudos estão sendo realizados a fim de otimizar o seu uso.

2.2. Obtenção de nanofluidos

Segundo Flores (2016), os componentes fundamentais dos nanofluidos são as partículas de dimensões nanométricas (nanopartículas) e um líquido que é comumente denominado de fluido base. Porém, com o objetivo de aumentar a estabilidade das suspensões podem-se utilizar surfactantes, que são agentes de atividade superficial. Eles conseguem alterar as propriedades superficiais e interfaciais do líquido, de tal modo que favoreça a ligação entre as nanopartículas e o fluido base. A Figura 1 apresenta os componentes mais comuns utilizados por pesquisadores para produção de nanofluidos.

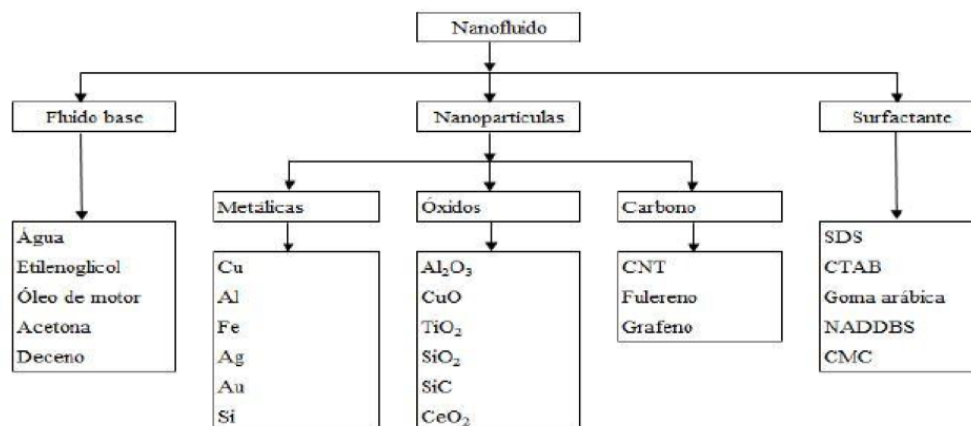


Figura 1. Componentes utilizados na produção de nanofluidos por Flores (2016).

Geralmente são utilizados dois métodos para obtenção dos nanofluidos: o método de um passo e o método de dois passos.

No método de um passo o nanofluido é obtido através da produção de nanopartículas de forma simultânea em que são dispersas em um fluido base, por deposição física ou química de vapor. Por esse processo é possível obter soluções bastante estáveis, porém são produzidas em pequena escala, dificultando sua comercialização.

O método de dois passos consiste na produção de nanofluidos em duas etapas. A primeira trata-se da produção de um pó seco e ultrafino de nanopartículas. Na segunda fase as partículas são dispersas em um fluido base, com agitação da mistura auxiliada por um sonificador de alta pressão ou homogeneizador de alta pressão, como mostrado na Fig.2. Este método é o mais aplicado devido à variedade de partículas encontradas no mercado e facilidade de obtenção, porém é necessário cuidados para evitar aglomeração e oxidação das nanopartículas.

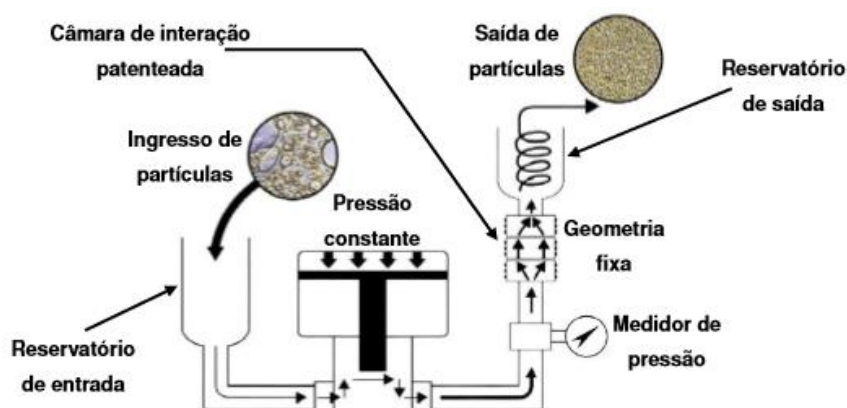


Figura 2. Homogeneizador de alta pressão por Flores (2016).

A Figura 3 mostra um exemplo de nanopartículas de Al_2O_3 e SiO_2 .

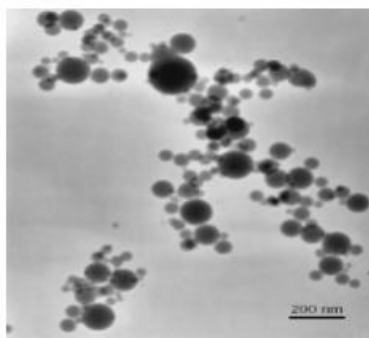


Figura 3. Nanopartículas de Al_2O_3 (79%) e SiO_2 (21%) por Masuda (1993).

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Revisão de pesquisas recentes

Diversos estudos experimentais e simulações foram feitos a fim de analisar os fenômenos relacionados à aplicação de nanofluidos em refrigeração, porém poucos foram aplicados em sistemas de arrefecimento de motores de combustão.

Uma das mais recentes investigações experimentais em sistemas de arrefecimento de veículos foi conduzida por Ali et. al. Eles investigaram as características de transferência de calor em convecção forçada em um radiador Toyota Yaris com nanofluido de Al_2O_3 - H_2O . Foi concluído que o coeficiente de transferência de calor é otimizado somente em frações de volume menor que 1%. Devido a queda da pressão de bombeamento e da aglomeração de nanopartículas, um aumento na fração volumétrica pode prejudicar a performance do radiador.

Um outro estudo, feito por Masuda, revelou que a dispersão de partículas de Al_2O_3 com proporção de 4,3% pode aumentar a condutividade térmica da água em 30%. Eastman et. al. comprovaram experimentalmente que 5% em volume de partículas de CuO nanocristalino suspensas em água resultam em uma melhoria da condutividade térmica de quase 60% em relação à água pura.

Peyghambarzadeh et. al. estudaram CuO e Fe_2O_3 em água, como nanofluidos, em diferentes velocidades e temperaturas em um radiador automotivo e concluíram que o coeficiente de transferência de calor aumenta, enquanto a temperatura do líquido diminui. Também estudaram o Al_2O_3 - H_2O e encontraram um aumento em 3% da condutividade térmica e 45% no coeficiente convectivo de transferência de calor em relação à água pura.

Outra pesquisa relevante, conduzida por Sonage et. al., aplicou zinco e óxido de zinco em água. O zinco foi utilizado devido ao fato de ser partícula ambientalmente correta e de fácil produção. A síntese de nanofluidos de $\text{Zn-H}_2\text{O}$ e $\text{ZnO-H}_2\text{O}$ envolveu o método de um passo e o método de dois passos, respectivamente. Os estudos da transferência de calor e das características de queda de pressão foram feitos experimentalmente em ambos os nanofluidos para calcular o incremento nessas propriedades comparados com água. Três frações de volume (0,15%, 0,25%, 0,5%) de ambos os nanofluidos foram levadas em consideração para o regime de fluxo turbulento de Reynolds em uma gama de valores de 4.000 a 20.000. A solução composta por $\text{Zn-H}_2\text{O}$ em proporção de 0,5% foi estimada como a melhor em relação ao aumento no coeficiente convectivo de transferência de calor. Uma redução na área do radiador, inventário de fluido e potência de bombeamento foi observada, fazendo do $\text{Zn-H}_2\text{O}$ um eficiente fluido energético para sistemas de arrefecimento de motores.

Por fim, um estudo conduzido por Sany, observou que para um número de Reynolds igual a 6.000 em um radiador de um motor quatro tempos 1.300 CC, quando o veículo está a 55 Km/h, se a água for substituída pelo nanofluido Zn-

H₂O em fração de 0,5% como líquido de arrefecimento do motor, a área do radiador reduz 24%, o inventário de refrigerante reduz 40% e a potência de bombeamento reduz 16%.

3.2. Análise das pesquisas revisadas

A maior parte dos trabalhos disponíveis sobre nanofluidos aplicados em sistemas de refrigeração é feita a partir de simulações computacionais e análises numéricas, sendo necessários maiores estudos que contemplem a prática. A tabela 1 resume os principais trabalhos revisados neste artigo, destacando os melhores resultados em relação ao ganho na transferência de calor.

Comparando-se os tipos de nanofluidos pesquisados, pode-se observar que o Zn-H₂O em fração de 0,5% possui melhor desempenho para aplicação em radiadores uma vez que apresenta aumento satisfatório do coeficiente convectivo em frações de partículas com proporção menor que 1%. Verificou-se em experimentos uma redução em 24% da área do radiador com o uso deste nanofluido, resultando em aumento significativo da eficiência energética e do desempenho do motor.

Tabela 1. Resumo dos principais trabalhos revisados.

Autores	Nanofluido estudado	Concentração (%)	Aumento condutividade térmica (%)	Aumento no coeficiente de transferência de calor (%)
Ali et. al.	Al ₂ O ₃ -H ₂ O	1	-	14,72
Masuda et. al.	Al ₂ O ₃ -H ₂ O	4,3	30	-
Eastman et. al.	CuO-H ₂ O	5	60	-
Peyghambarzadeh et. al.	Al ₂ O ₃ -H ₂ O	1	3	45
Sonage et. al.	ZnO-H ₂ O	0,5	-	28
Sonage et. al.	Zn-H ₂ O	0,5	-	35
Sany et. al.	Zn-H ₂ O	0,5	-	40

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Todas as pesquisas revisadas sobre nanofluidos aplicados em sistemas de arrefecimento veicular demonstraram aumento na transferência de calor do fluido sem aumento apreciável na queda de pressão. Devido às propriedades termo físicas melhoradas, os nanofluidos tornar-se-ão o futuro fluido de trabalho para aplicações na área de refrigeração.

Contudo, quando aplicados em motores, deve-se atentar para o aumento na viscosidade e consequente elevação da perda de carga que resulta na limitação do fator de eficiência do sistema de arrefecimento. A maioria dos pesquisadores concorda que o desempenho ótimo do sistema de arrefecimento está em uma fração volumétrica de nanopartículas menor que 1%. Ao mesmo tempo, existem ainda alguns problemas e desafios em relação aos mecanismos de transferência e as aplicações reais no motor do veículo, como a aglomeração, a oxidação e a sedimentação de partículas.

Sendo assim, a investigação atual sobre os nanofluidos para o sistema de arrefecimento do motor ainda encontra-se em fase inicial e necessita de maior desenvolvimento. Futuros trabalhos focados na aplicação do nanofluido Zn-H₂O em proporção de 0,5% devem ser realizados, uma vez que mostraram um maior incremento no coeficiente convectivo de transferência de calor em concentrações baixas, a fim de comprovar na prática a sua aplicabilidade em sistemas de arrefecimento de motores de combustão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pelo auxílio à pesquisa através de bolsas de mestrado (Processo nº 1763496) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio através do programa Participação Coletiva em Evento Técnico e Científico.

6. REFERÊNCIAS

- Ali, H.M., Liaquat, H., Maqsood, H.T.B. and Nadir, M.A., 2015, "Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnO–water nanofluids", *Energy*, Vol. 24, pp. 84-317.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2016. BEN. Relatório Síntese. Ano base 2015. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese.aspx?anoColeta=2016&anoFimColeta=2015>>. Acesso em: 13/05/2017.
- Choi S.U.S, ASME, 99 (1995).
- Eastman, J.A., Choi, U.S., Li, S., Thompson, L.J. and Lee, S., 1997, "Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids. Mater", *Res. Soc. Symp. Proc*, Vol.457, pp.3-11.

- Flores, M.C., 2016, “Investigação experimental das propriedades termofísicas e da convecção forçada de nanofluido de grafeno”, 158 f., Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.
- Masuda, H., Ebata, A., Teramae, K. and Hishinuma, N., 1993, “Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of γ -Al₂O₃-SiO₂ and TiO₂ ultra-fine particles)”, Netsu Bussei (Japan), Vol.4, pp. 227-233.
- Peyghambarzadeh, S.M., Naraki, M., Hashemabadi, S.H. and Vermahmoudi, Y., 2013, “Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator”, International Journal of Thermal Sciences, Vol.66, pp. 82-90
- Sany, A. R. E., Saidi, M. H. and Neyestani J., 2010, “Experimental Prediction of Nusselt Number and Coolant Heat Transfer Coefficient in Compact Heat Exchanger Performed with ϵ -NTU Method”, The Journal of Engine Research, Vol.18, pp. 62-70.
- Sidik, N.A.C., Yazid M.N.A.W.M. and Mamat, R. A review on the application of nanofluids in vehicle engine cooling system. International Communications in Heat and Mass Transfer, v.68, pp.85-90, 2015.
- Sonage, B.K. and Mohanan, P., 2015, “Miniaturization of automobile radiator by using zinc-water and zinc oxide-water nanofluids”, Journal of Mechanical Science and Technology, Vol..29, n.5, pp. 2177- 2185.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

NANOTECHNOLOGY OPTIMIZING COOLING SYSTEMS IN COMBUSTION ENGINES

Polyana Barbosa de Paula, polyana_paula@outlook.com¹

Gustavo Rodrigues de Souza, souzagr@ufsj.edu.br¹

Lucas Buosi Thomazini, lucasbthomazini@gmail.com¹

¹ Universidade Federal de São João Del Rei, DCTEF- 170 Frei Orlando Square São João Del Rei, Minas Gerais, 36307-352, Brazil.

Abstract. Nanotechnology is defined as the study of matter at the atomic and molecular scale. She has been responsible for major advances in science and technology in numerous areas. The energy industry is seeking nanotechnology products with greater efficiency. Systems with nanofluids have been simulated and researchers have found good results in heat transfer. In the automotive industry, nanofluids can contribute, among other applications, as working fluids in cooling systems for internal combustion engines. Research shows that when they are used there is an increase in the coefficient of heat transfer and the decrease of the dimensions of the radiators and the required pumping power. This results in a fuel economy and a reduction in emissions of pollutants in the exhaust gases. This article is a bibliographical review of the main studies developed in the area of nanofluids applied to cooling systems in the automotive sector, highlighting the increase in energy efficiency that this new technology can offer.

Keywords: Nanofluids, Energy, Cooling System, Combustion Engines, Heat Transfer.