Brazilian Journal of Development

# Uma Revisão Sistemática da Literatura sobre a Utilização de Nanofluidos em Trocadores de Calor

# A Systematic Literature Review about the use of Nanofluids in Heat Exchangers

DOI:10.34117/bjdv6n4-388

Recebimento dos originais: 10/03/2020
Aceitação para publicação: 29/04/2020

**Felipe Mercês Biglia**
Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Endereço: Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330 – Jardim Carvalho, Ponta Grossa – PR, Brasil
E-mail: felipebiglia@gmail.com

**Raquel da Cunha Ribeiro da Silva**
Doutora em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Endereço: Avenida Professora Laura Pacheco de Bastos, 800 – Jardim Industrial, Guarapuava – PR, Brasil
E-mail: raqueld@utfpr.edu.br

**Thiago Antonini Alves**
Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)
Instituição: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)
Endereço: Rua Doutor Washington Subtil Chueire, 330 – Jardim Carvalho, Ponta Grossa – PR, Brasil
E-mail: antonini@utfpr.edu.br

**RESUMO**
A revisão sistemática é uma pesquisa que possibilita a obtenção de respostas referentes a questões bem definidas, visando identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as informações mais relevantes a respeito de um determinado tema, utilizando a literatura como base de dados. O objetivo desse artigo é constatar se a aplicação de nanofluidos como fluido de trabalho de trocadores de calor é praticável e se está sendo utilizada. Desta forma foi realizada uma pesquisa utilizando uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), através da consulta de periódicos do portal da CAPES, buscando identificar trabalhos científicos que relacionam os temas: "Trocadores de Calor" e "Nanofluidos". Os resultados demonstram que o tema é atual e encontra-se em ascensão.

**Palavras chave**: Trocadores de calor, Nanofluidos, Revisão Sistemática da Literatura.

**ABSTRACT**
The systematic review is a search that allows obtaining answers regarding well defined issues, to identify, select, evaluate and synthesize the most relevant information about a particular topic using literature as a database. The objective of this paper is to find if the application of nanofluids as heat exchangers working fluid is feasible and it is currently used. Thus a survey was conducted using a Systematic Literature Review (SLR), through the consultation of periodicals in CAPES portal, in

Brazilian Journal of Development

order to identify scientific papers relating the topics: "Heat Exchangers" and "Nanofluids". The results show that the topic is current and is on the rise.

**Keywords:** Heat exchangers, Nanofluids, Systematic Literature Review.

## 1 INTRODUÇÃO

O aprimoramento de técnicas com o objetivo de melhorar processos relacionados a produção e o desenvolvimento de produtos mais eficientes, vem aumentando em todas as áreas, a utilização cada vez mais inteligente da energia disponível (exergia) vem se tornando progressivamente mais requerida devido ao aumento da demanda de energia em todos os setores da sociedade humana, fazendo a otimização de processos industriais uma linha de pesquisa extremamente atuante e necessária. Neste contexto, os trocadores de calor representam uma importante parte em termos de pesquisa e desenvolvimento, tais equipamentos requerem dimensionamento de acordo com vários fatores, como tamanho e peso, tendo de ser na maioria das vezes compactos, portanto, uma medida que visa a evolução de tais equipamentos, se dá através da redução do tamanho ou volume ocupado, seguido pela melhoria de seu desempenho (MATOS, 2003).

Tendo em vista que o campo de aplicação de trocadores de calor é muito amplo, abrangendo desde complexos processos industriais até o conforto térmico de ambientes, cada vez mais procura-se por trocadores de calor mais eficientes na busca da melhor condição custo benefício.

Trocadores de calor mais eficientes proporcionam o mesmo desempenho utilizando uma área de troca de calor inferior, o que implica em uma redução de material e, portanto, de custo, tendo em vista que para uma mesma área de troca de calor, os trocadores com melhor desempenho podem oferecer condições operacionais vantajosas (ESPIRITO SANTO e ANTONINI ALVES, 2016).

Uma forma de melhorar o desempenho dos trocadores de calor é com o aumento do coeficiente de transferência de calor no fluido por meio de intensificadores de troca térmica ou a utilização de fluidos com melhores características de troca térmica. Neste âmbito pode-se destacar a utilização de fluidos contendo nanopartículas de materiais que possuem altos valores de condutividade térmica, denominados nanofluidos (SERGIS e HARDALUPAS, 2011).

Os nanofluidos são vistos como uma nova classe de fluidos de troca de calor, eles são constituídos por meio da dispersão de nanopartículas, sendo elas geralmente formadas de óxidos de alumínio, cobre, silício e titânio ou de metais puros como ouro, cobre e diamante, medindo entre 10 e 100 μm, em fluidos de trabalho (fluidos térmicos) habituais como água, etileno glicol, etanol e óleo (YU *et al.*, 2007).

O desenvolvimento de sistemas térmicos de alta performance tem despertado o interesse em métodos que melhorem a transferência de calor. Muito do esforço da pesquisa tem sido dedicado para

desenvolver novos equipamentos e avaliar experimentos para definir a condição sobre qual técnica intensificará a transferência de calor (STREMEL *et al.*, 2018).

Desta forma, este trabalho consiste na investigação acerca dos benefícios providos pela a utilização de nanofluidos como fluido de trabalho em trocadores de calor, constatando se atualmente existe aplicabilidade desta prática, através do uso de uma revisão sistemática da literatura (RSL).

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 TROCADORES DE CALOR

Para Kreith e Bohn (2003), trocadores de calor são dispositivos usados para a transferência de energia térmica (entalpia) entre dois ou mais fluidos, entre partículas sólidas e um fluido, ou entre uma superfície sólida e um fluido, em diferentes temperaturas. Eles são usualmente classificados de acordo com a disposição das correntes do fluido e o tipo de construção (BERGMAN *et al.,* 2014).

Em relação a disposição das correntes do fluido destacam-se duas configurações: escoamento em corrente paralela e escoamento em contracorrente. Na primeira configuração, escoamento em corrente paralela, os fluidos quente e frio possuem a mesma entrada, sentido e saída, na configuração de escoamento em contracorrente, por sua vez, os fluidos quente e frio possuem entrada, sentido e saída opostos.

No caso do tipo de construção, eles podem ser do tipo placa ou tipo tubular, dividindo-se neste caso em tubos concêntricos, serpentina ou casco e tubos (BEJAN e KRAUS, 2003).

As aplicações típicas dos trocadores de calor, de acordo com Kakaç e Liu (1998), resumem-se ao aquecimento ou resfriamento de uma corrente de fluido de um processo, presente nas mais diversas áreas, tais como: Industrial, Energética, Doméstica, Eletrônica e Transportes.

### 2.2 NANOFLUIDOS

Nanofluido é o nome dado para descrever um fluido no qual existem nanopartículas suspensas, eles são obtidos a partir da suspensão de partículas de tamanho nanométrico em fluidos convencionais de transferência de calor (YU *et al.*, 2007).

De acordo com Choi e Eastman (1995) as nanopartículas suspensas aumentam o desempenho da transferência de calor do fluido base, desta forma os nanofluidos apresentam maiores coeficientes de transferência de calor do que seus fluidos base.

Isso implica no fato de que a simples mudança do fluido de trabalho utilizado pode acarretar em um aumento significativo na transferência de calor, o que justifica a aplicabilidade de nanofluidos como fluidos de troca térmica (XUAN e LI, 2000).

Desta forma, os nanofluidos são vistos como parte da próxima geração de fluidos de transferência de calor, ou seja, encontram-se no chamado estado da arte no que diz respeito a possibilidade de oferecerem novas formas de aumentar o desempenho térmico.

Sua fabricação se dá comumente por meio de duas técnicas:

a) Passo único, técnica na qual a produção e dispersão das nanopartículas no fluido base ocorrem simultaneamente;

b) Dois passos, nesta técnica as nanopartículas já produzidas são introduzidas no fluido base.

## 3 METODOLOGIA DA PESQUISA

De acordo com Kitchenham e Charters (2007) a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) pode ser definida como um formato de estudo secundário contendo uma metodologia definida para identificar, analisar e interpretar todas as informações disponíveis a respeito de uma questão de pesquisa. Ela pode ser comparada a uma investigação científica, na qual existe uma ideia de análise crítica da literatura, ou seja, utiliza-se de hipóteses e suposições com o objetivo de responder a uma pergunta de pesquisa claramente formulada.

A Revisão Sistemática da Literatura apresentada neste artigo tem como base os autores Tranfield, Denyer e Smart (2003) e Kitchenham e Charters (2007), com o objetivo de identificar trabalhos científicos que relacionam os temas: “Trocadores de Calor” e “Nanofluidos”. Dividindo-se em três etapas, sendo elas:

a) *Planejamento da Revisão*, onde ocorre a identificação da necessidade da revisão, a especificação das perguntas da pesquisa e o desenvolvimento do protocolo da revisão;

b) *Realização da Revisão*, na qual é realizada a seleção dos estudos primários, extração e sintetização dos dados coletados;

c) *Análise da Revisão*, etapa final, onde é feita a análise e apresentação dos resultados obtidos.

### 3.1 PLANEJAMENTO DA REVISÃO

#### 3.1.1 Identificação Da Necessidade Da Revisão

Uma revisão sistemática se faz necessária sempre que ocorre a necessidade ou exigência de pesquisadores em resumir as informações existentes a respeito de um determinado tema em questão, de uma forma aprofundada e imparcial (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007).

Esta pesquisa tem como objetivo constatar se a aplicação de nanofluidos em trocadores de calor é viável e está sendo utilizada atualmente, através da pesquisa de trabalhos científicos que relacionam esses temas.

Brazilian Journal of Development

### 3.1.2 Especificação Da Pergunta Da Pesquisa

De acordo com Kitchenham e Charters (2007), a especificação das perguntas da pesquisa é a parte mais importante de uma revisão sistemática.

As perguntas de pesquisa que esse trabalho pretende responder são:

a) Qual o número de publicações entre os anos de 2006 e 2016 que relacionam os temas: Trocadores de Calor e Nanofluidos;
b) Quais os assuntos que possuem publicações relacionando os temas: Trocadores de Calor e Nanofluidos;
c) Existe viabilidade na aplicação de nanofluidos em trocadores de calor.

### 3.1.3 Desenvolvimento Do Protocolo Da Revisão

O protocolo de revisão deve definir os métodos que serão usados para realizar uma Revisão Sistemática Específica (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007).

A Figura 1 apresenta o protocolo de revisão da literatura utilizado nesta pesquisa.

Figura 1 – Protocolo utilizado na revisão sistemática da literatura

| | |
|---|---|
| **Palavras-Chave pesquisadas** | Trocadores de Calor, Nanofluidos |
| **Base de Dados** | Periódicos CAPES |
| **Critérios de Exclusão** | Publicações que não contém "Nanofluidos" ou "Nanofluido" no título<br>Publicações que não contém "Nanofluidos" e "Trocadores de Calor" como tópicos<br>Periódicos não revisados por pares |
| **Anos de Publicação** | 2006 a setembro de 2016 |
| **Tipos de Publicações** | Artigos |
| **Idioma** | Inglês ou Português |

Fonte: Autoria própria

Nesta pesquisa foram considerados apenas artigos presentes na base de dados, periódicos CAPES, uma vez que a mesma é permitida pelo uso do *proxy* da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), tendo como um dos critérios de exclusão a desconsideração de artigos que não contém a palavra "Nanofluidos" no título, uma vez, que o termo "Trocadores de Calor" não está presente no título de alguns artigos que apresentam resultados referentes a eles.

Brazilian Journal of Development

3.2 REALIZAÇÃO DA REVISÃO

**3.2.1 Pesquisa**

As pesquisas foram realizadas na base de dados seguindo os critérios de exclusão presentes no protocolo de revisão. Após a aplicação de todos os critérios estabelecidos foram encontradas 174 publicações.

**3.2.2 Seleção Dos Estudos Primários**

De acordo com Tranfield, Denyer e Smart (2003), uma vez que obtido os estudos primários deve-se avaliar qual à sua importância, refinando os critérios de inclusão e exclusão com base no título, resumo, resultados e conclusões.

O resultado do refinamento foi a exclusão de 57 publicações, consideradas não relevantes à pesquisa, desta forma a base de análise resultou em 107 publicações.

**3.2.3 Extração Dos Dados**

Esta fase tem como objetivo projetar a maneira de se extrair os dados registrando as informações dos estudos primários, que possibilitaram responder as perguntas da pesquisa (KITCHENHAM e CHARTERS, 2007).

Com o objetivo de responder à pergunta da pesquisa, referente ao número de publicações entre os anos de 2006 e 2016, os dados definidos para extração foram separados de acordo com ano de publicação.

Para responder sobre a viabilidade da aplicação de Nanofluidos em Trocadores de Calor, como definido na pergunta de pesquisa, foi realizada a leitura de 4 publicações, feitas em anos distintos, possuindo a maior concordância em relação aos seguintes temas:

a) Trocadores de Calor;
b) Nanofluidos;
c) Revisão;
d) Transferência de Calor;
e) Nanofluido.

As publicações selecionadas estão contidas na Tabela 1.

**3.2.4 Sintetização dos dados coletados**

Segundo Kitchenham e Charters (2007), a sintetização dos dados coletados envolve a coleta e o resumo das informações contidas nos resultados dos estudos primários.

Brazilian Journal of Development

Nesta fase os dados das publicações que respondem as perguntas da pesquisa foram coletados, através da leitura das 4 publicações selecionadas na fase de extração de dados.

## 3.3 ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

De acordo com os autores Tranfield, Denyer e Smart (2003) e Kitchenham e Charters (2007), a fase final de uma revisão sistemática consiste em escrever os resultados da avaliação e divulgá-los, desta forma, a seguir são apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa.

Tabela 1 – Publicações selecionadas

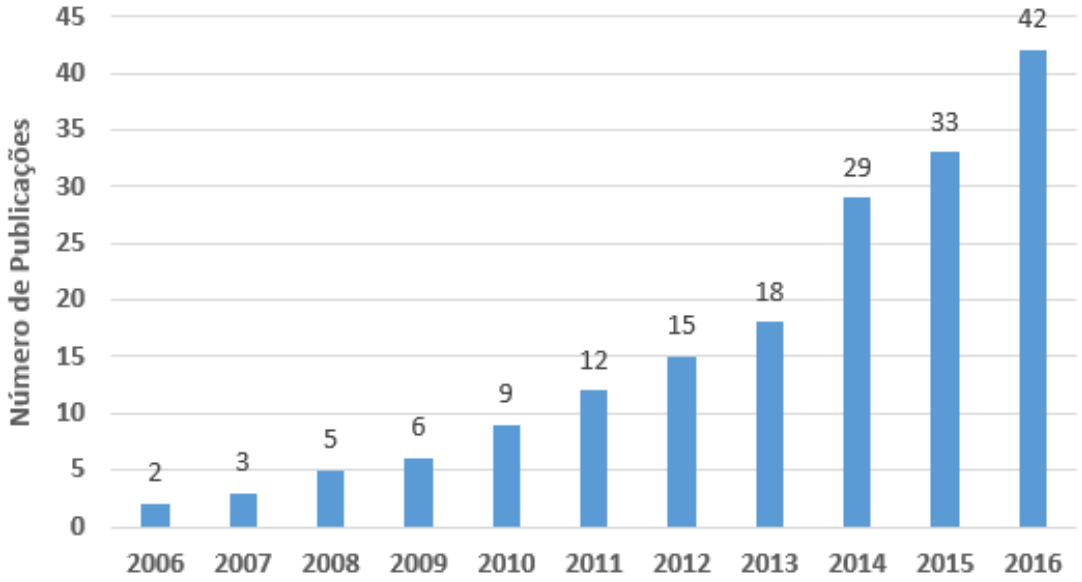
| Autores | Título | Instituição | País | Periódico | *Qualis* 2014 (Eng. III) | Ano |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Xiang-Qi Wang, Arun S. Mujumdar | *Heat transfer characteristics of nanofluids: a review* | *Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore* | Singapura | *International Journal of Thermal Sciences* | A1 | 2007 |
| M. N. Pantzali, A. A. Mouza, S. V. Paras | *Investigating the efficacy of nanofluids as coolants in plate heat exchangers (PHE)* | *Laboratory of Chemical Processand Plant Design, Department of Chemical Engineering, Aristotle University of Thessaloniki* | Grécia | *Chemical Engineering Science* | A1 | 2009 |
| Gabriela Huminic, Angel Huminic | *Heat transfer characteristics in double tube helical heat exchangers using nanofluids* | *Department of Thermodynamics and Fluid Mechanics, Transilvania University of Brasov* | Romênia | *International Journal of Head and Mass Transfer* | A1 | 2011 |
| M. Raja[a], R. Vijayana[a], P. Dineshkumar[b], M. Venkatesan[b] | *Review on nanofluids characterization, heat transfer characteristics and applications* | [a] *Department of Mechanical Engineering, Government College of Engineering* [b] *Department of Mechanical Engineering, K. S. Rangasamy College of Technology* | Índia | *Renewable and Sustainable Energy Reviews* | A1 | 2016 |

Fonte: Autoria própria

Brazilian Journal of Development

A Figura 2 apresenta a evolução das publicações entre os anos de 2006 e 2016, levando em consideração as 174 publicações encontradas na etapa da pesquisa, sendo evidenciada a atualidade do tema, constatando-se a maior concentração de publicações a partir do ano de 2014.

Figura 2 – Evolução das publicações a partir de 2006




Fonte: Autoria própria

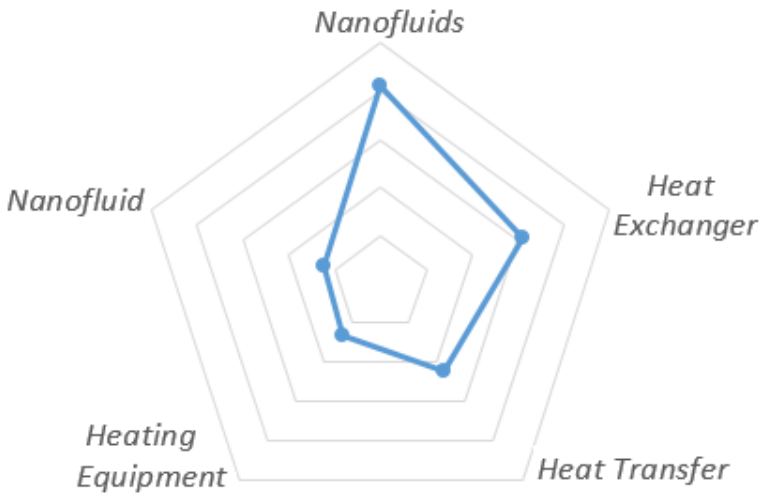
Os periódicos indexados contendo mais publicações pesquisadas na base de dados com os critérios estabelecidos foram:

a) *International Communications in Heat and Mass Transfer* (28);
b) *Applied Thermal Engineering* (20);
c) *Heat and Mass Transfer* (17);
d) *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung* (16).

A Figura 3 apresenta as proporções por assuntos presentes nas 107 publicações.

Brazilian Journal of Development

Figura 3 – Proporção dos assuntos presentes nas publicações.




Fonte: Autoria própria.

Sendo o número de publicações contento os assuntos:

a) *Nanofluids* (92);

b) *Heat Exchanger* (56);

c) *Heat Transfer* (45);

d) *Heating Equipment* (36);

e) *Nanofluid* (15).

Nota-se, que através do critério de exclusão referente aos títulos das publicações, os assuntos "*Nanofluids*" e "*Nanofluid*" estão presentes nas 107 publicações.

## 4 DISCUSSÃO DOS TRABALHOS

Para deferir sobre a viabilidade da aplicação do uso de nanofluidos em trocadores de calor, a seguir são apresentados as sínteses dos quatro principais trabalhos que focam os temas abordados.

Wang e Mujumdar (2007) realizaram uma revisão que apresenta uma visão geral dos estudos a respeito da transferência de calor utilizando nanofluidos, concluindo que o seu uso se mostra promissor para uma ampla gama de aplicações, contudo, novas investigações teóricas e experimentais são necessárias para compreender melhor as características da transferência de calor de nanofluidos e identificar novas aplicações.

Huminic, Gabriela e Angel (2011) analisaram as características da transferência de calor em um trocador de calor do tipo tubos concêntricos helicoidais operando em condições laminares utilizando nanofluidos, foi descoberto que o uso de nanopartículas de $TiO_2$ e CuO dispersos em água

podem melhorar significativamente a transferência de calor por convecção, para concentração de 2% de CuO em água, a taxa de transferência de calor do nanofluido foi de aproximadamente 14% maior do que a da água pura. Por fim foi ressaltado que o desempenho dos nanofluidos em trocadores de calor são influenciados por vários fatores, tais como o tipo dos nanofluidos, a geometria do trocador de calor, o nível de concentração de volume e as condições de trabalho.

Pantzali *et al.* (2009) investigaram a eficácia de nanofluidos como refrigerantes em trocadores de calor do tipo placa, constando que a adição de nanopartículas no fluido de base, resulta no aumento da condutividade térmica, massa específica e viscosidade. Deduziu-se que o fator que desempenha um papel importante na eficácia é o tipo de escoamento operante no equipamento, podendo ser laminar ou turbulento. Em condições laminares o uso de nanofluidos se mostrou vantajoso, enquanto que para condições de turbulência a utilização de nanofluidos apenas é vantajosa se o aumento da sua condutibilidade térmica estiver acompanhado por um grande aumento na viscosidade, algo, que segundo os autores é difícil de se conseguir.

Raja *et al.* (2016) apresentaram uma revisão sobre a caracterização, as características de transferência de calor e aplicações a respeito de nanofluidos, ela fornece uma visão geral dos estudos mais recentes presentes na literatura, concluindo que é muito importante a realização de estudos que explorarem sua viabilidade em diferentes aplicações térmicas. Mostrou-se que os nanofluidos podem ser uma alternativa adequada para refrigerantes convencionais em uma variedade de aplicações, como fluido de trabalho de trocadores de calor, uma vez que é evidente que o seu comportamento de transferência de calor por convecção é muito superior ao dos fluidos convencionais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa teve como objetivo constatar se a aplicação de nanofluidos como fluido de trabalho de trocadores de calor é praticável e está sendo utilizada atualmente, através do uso de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para identificar trabalhos científicos que relacionam os temas: “Trocadores de Calor” e “Nanofluidos”.

Através da RSL foram encontradas 174 publicações, após o refinamento, obteve-se uma base de análise com 107 publicações, das quais 104 foram publicados a partir de 2014, demonstrando novamente a atualidade do tema.

Deste modo, evidencia-se que a aplicação de nanofluidos como fluidos de trabalho em trocadores de calor pode ser considerada viável e está sendo utilizada e debatida atualmente em trabalhos científicos.

Os resultados desse trabalho também indicam que nos últimos anos o interesse no estudo dos nanofluidos vem crescendo, contudo, esta área de pesquisa, relativamente recente, apresenta grandes

lacunas relativas à previsão do comportamento de um mesmo nanofluido aplicado em diferentes tipos de trocadores de calor, sendo necessário a realização de trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS


BEJAN, A.; KRAUS, A. *Heat Transfer Handbook*. John Wiley& Sons, 2003.

BERGMAN, *et al. Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7 ed. John Wiley& Sons, 2014.

CHOI, U. S.; EASTMAN, J. A. *Enhancing Thermal Conductivity of Fluids with Nanoparticles.* Developments and Applications of Non-Newtonian Flows, D.A. Siginer and H.P. Wang, eds, FED-Vol. 231/MD-Vol. 66, ASME, New York, pp 99-105, 1995.

ESPIRITO SANTO, M.; ANTONINI ALVES, T. Análise Experimental do Desempenho Térmico de um Trocador de Calor do Tipo Casco e Tubos sob Diferentes Condições de Operação. *Anais do IX Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2016),* Fortaleza/CE, Brasil, CON-2016-0758, 2016. doi: 10.20906/CPS/CON-2016-0758

HUMINIC, G.; HUMINIC, A. *Heat transfer characteristics in double tube helical heat exchangers using nanofluids. International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 54, n. 19, p. 4280-4287, 2011. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2011.05.017

KAKAÇ, S.; LIU, H. *Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design*. CRC Press, 1998.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical Report EBSE 2007-001*. Keele University and Durham University Joint Report, 2007.

KREITH, F.; BOHN, M.S. *Princípios de transferência de calor*. Trad. All Tasks, Pioneira Thomson Learning. São Paulo, 2003.

MATOS, R. S. *Otimização e comparação de desempenho de trocadores de calor de tubos circulares e elípticos aletados*. Tese (Doutorado em Engenharia - Energia e Ciências Térmicas) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

PANTZALI, M. N.; MOUZA, A. A.; PARAS, S. V. *Investigating the efficacy of nanofluids as coolants in plate heat exchangers (PHE).* Chemical Engineering Science, v. 64, n. 14, p. 3290-3300, 2009. doi: 10.1016/j.ces.2009.04.004

RAJA, M. *et al*. *Review on nanofluids characterization, heat transfer characteristics and applications.* Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 64, p. 163-173, 2016. doi: 10.1016/j.rser.2016.05.079

SERGIS, A.; HARDALUPAS, Y.. *Anomalous heat transfer modes of nanofluids: a review based on statistical analysis*. Nanoscale research letters, v. 6, n. 1, p. 1, 2011. doi: 10.1186/1556-276X-6-391

STREMEL, G. K.; KRAMBECK, L.; LENART, V. M.; TURCHIELLO, R. F.; ANTONINI ALVES, T. Termossifões Utilizando Nanofluidos de Ouro: Influência da Inclinação de Trabalho no Comportamento Térmico. *Anais da 1ª Conferência Ibérica de Mecânica Teórica e Experimental e Materiais / 11º Congresso Nacional de Mecânica Experimental (TEMM 2018 / CMNE 2018)*, Porto, Portugal, #7350, pp. 75-84, 2018.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. *Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge Means of Systematic Review.* British Journal of Management, 207–222, 2003. doi: 10.1111/1467-8551.00375

WANG, X.; MUJUMDAR, A. S. *Heat transfer characteristics of nanofluids: a review*. International journal of thermal sciences, v. 46, n. 1, p. 1-19, 2007. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2006.06.010

XUAN, Y.; LI, Q. *Heat Transfer Enhancement of Nanofluids.* International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 21, pp. 58-64, 2000. doi: 10.1016/S0142-727X(99)00067-3

YU, W. *et al*. *Review and assessment of nanofluid technology for transportation and other applications.* No. ANL/ESD/07-9. Argonne National Laboratory (ANL), 2007.