

**DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DE NANOFLUIDOS PARA APLICAÇÃO NO  
CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR COMPRESSÃO DE VAPOR**

**José Olavo de Mesquita Rocha Neto** – jolavo@hotmail.com

**José Alberto dos Reis Parise** – parise@puc-rio.br

Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, www.puc-rio.br

**Paul Ortega Sotomayor** – ortegas.paul@gmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica, www.puc-rio.br

F6 – Materiais e Refrigerantes

**Resumo.** No presente trabalho foi desenvolvido um modelo matemático para determinar as propriedades termofísicas de nanofluidos com aplicação no ciclo de refrigeração por compressão de vapor. O modelo é constituído de correlações empíricas e modelos teóricos resultantes de pesquisa bibliográfica realizada sobre nanorefrigerantes e nanolubrificantes. O nanofluido é uma mistura do fluido refrigerante, óleo lubrificante (fluido base) e nanopartículas. As misturas propostas para o cálculo das propriedades termofísicas foram R134a/óleo/dióxido de titânio ( $TiO_2$ ), R134a/óleo/óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) e R134a/óleo/óxido de cobre ( $CuO$ ), onde o óleo utilizado é RL68H (Polyolester lubrificante-POE). Com os resultados obtidos do estudo teórico, foi possível a comparação da massa específica, o calor específico, a condutividade térmica e a viscosidade entre os nanofluidos propostos e o fluido refrigerante R134a.

**Palavras-chave:** nanofluido, nanopartícula, refrigerante, óleo.

## 1. INTRODUÇÃO

Sistemas de refrigeração e ar condicionado são responsáveis por 15% de toda a energia elétrica consumida mundialmente, o que corresponde um 4,5% do total de gases emitidos relacionados ao efeito estufa, (Borlein, 2011). Por este motivo, pesquisadores buscam constantemente melhorar a taxa de transferência de calor nos ciclos de refrigeração. A maneira convencional para alcançar este objetivo é aumentar a área de troca de calor no evaporador e condensador, o que nem sempre é possível devido a limitações de espaço. Além disso, ao aumentar a área de troca, também aumentamos o consumo de energia que precisa o compressor para deslocar o fluido refrigerante pelo sistema. Outra solução para este problema é buscar novos fluidos refrigerantes os quais possuam características como: propriedades termodinâmicas favoráveis, baixa toxicidade, não inflamáveis, compatibilidade com materiais, boa estabilidade química e baixo impacto ambiental. Desde a metade da década passada uma nova classe de fluidos com maior transferência de calor tem sido motivo de pesquisa, os denominados nanofluidos, (Choi, 1995). Chama-se nanofluido uma suspensão de nanopartículas num fluido base. O conceito de nanofluido emerge do campo da Nanotecnologia, (Witharama, 2003). A Nanotecnologia é a ciência que trata da criação de novos materiais, dispositivos e sistemas em um nível molecular, melhorando significativamente as propriedades mecânicas, ópticas, químicas ou elétricas dos materiais (Chong, 2002). Os nanofluidos são fluidos térmicos obtidos da suspensão de partículas de tamanho nanométrico (com comprimentos entre 1 a 100 nm) em fluidos convencionais de transferência de calor, usualmente líquidos (Yu *et al.* 2007). Estes líquidos têm mostrado capacidade de troca de calor superior à dos fluidos convencionais (provavelmente, devido à maior ordem de grandeza da condutividade térmica dos sólidos, quando comparada à dos líquidos, como pode ser observado na Tab. 1).

Adicionar nanopartículas a fluidos refrigerantes e óleos lubrificantes proporciona, de acordo com resultados publicados na literatura, revisados a seguir, significativos aumentos nas propriedades termofísicas dos fluidos. Concentrar-se-á nos nanofluidos tendo como fluido base o próprio refrigerante ou o óleo lubrificante.

Eastman *et al.* (1997) mediram a condutividade térmica de nanofluidos, contendo nanopartículas de  $Al_2O_3$ , óxido de cobre ( $CuO$ ) e  $Cu$  com dois fluidos base diferentes: água e óleo HE-200. Uma melhoria de 60% da condutividade térmica foi atingida em comparação com os fluidos base para uma concentração volumétrica de 5% de nanopartículas de  $CuO$ . Para as nanopartículas de  $Al_2O_3$ , a melhoria foi de 25%.

Elcock (2007) observou que nanopartículas de dióxido de titânio ( $TiO_2$ ) podem ser usadas como aditivos para melhorar a solubilidade do óleo mineral com o refrigerante hidrofluorcarboneto (HFC). O autor também relatou que sistemas de refrigeração que utilizam uma mistura de R134a e de óleo mineral com nanopartículas de  $TiO_2$  aparentam um melhor desempenho, retornando mais óleo lubrificante para o compressor com desempenho semelhante ao dos sistemas usando R134a e óleo POE (Polyol Ester).

Hindawi (2009) realizou um estudo experimental sobre as características de transferência de calor de ebulição do refrigerante R22 com nanopartículas de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ). Descobriu que as nanopartículas melhoram as características de transferência de calor do refrigerante com tamanhos de bolhas reduzidos.

Jwo *et al.* (2009) realizaram estudos sobre um sistema de refrigeração substituindo o lubrificante de poliéster com um lubrificante mineral de hidrocarboneto. O lubrificante mineral incluía nanopartículas de  $Al_2O_3$  para melhorar a

lubrificação e desempenho de transferência de calor. Os seus estudos mostraram que 60% de R134a e 0,1% em peso de nanopartículas de  $Al_2O_3$  apresentaram os melhores resultados.

Tabela 1. Condutividade térmica de vários líquidos e sólidos a 300 K (Wang *et al.* 2007)

	Material	Condutividade Térmica (W/m K)
<b>Sólidos Metálicos</b>	Cobre	401
	Alumínio	237
<b>Sólidos Não Metálicos</b>	Silício	148
	Alumina ( $Al_2O_3$ )	40
<b>Líquidos Metálicos</b>	Sódio (644 K)	72,3
<b>Líquidos Não Metálicos</b>	Água	0,613
	Etileno glicol	0,253
	Óleo de Motor	0,145

O presente trabalho apresenta um modelo matemático, baseado em dados empíricos e correlações existentes na literatura, para o cálculo das propriedades termofísicas relevantes, a saber: a condutividade térmica, viscosidade, calor específico e massa específica da mistura refrigerante e lubrificante ou nano-óleo (óleo e nanopartícula). Os valores obtidos são comparados aos das propriedades termofísicas do fluido refrigerante. As nanopartículas utilizadas foram óxido de cobre (CuO), óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) e dióxido de titânio ( $TiO_2$ ), e o refrigerante, R134a. A propósito, ainda poucos trabalhos a respeito das propriedades termofísicas das próprias nanopartículas acima mencionadas têm sido encontrados na literatura.

## 2. MODELO MATEMATICO

No modelo matemático apresentado a seguir, o cálculo das propriedades termofísicas da mistura refrigerante e nano-óleo é baseado em correlações obtidas mediante testes experimentais disponíveis na literatura. As propriedades do nano-óleo serão calculadas com base nas propriedades do óleo puro combinadas com as propriedades da nanopartícula.

### 2.1 Propriedades do fluido refrigerante

A condutividade térmica ( $k_r$ ), a viscosidade dinâmica ( $\mu_r$ ), o calor específico ( $c_{p,r}$ ) e massa específica ( $\rho_r$ ) do fluido refrigerante são calculadas diretamente em função da temperatura e pressão, ( $T_r, P_r$ ), utilizando a biblioteca de propriedades termofísicas do software EES (Engineering Equation Solver).

$$\rho_r = \rho_r(T_r, P_r) \quad (1)$$

$$\mu_r = \mu_r(T_r, P_r), k_r = k_r(T_r, P_r) \quad (2)$$

$$c_{p,r} = c_{p,r}(T_r, P_r) \quad (3)$$

### 2.2 Propriedades do óleo

As propriedades do óleo são calculadas mediante correlações baseadas em testes experimentais.

#### a) Massa específica

A massa específica do óleo puro ( $\rho_{ol}$ ) em função da temperatura ( $T$ ) é calculada mediante a correlação proposta por Mermond *et al.* (1999):

$$\rho_{ol} = \rho_{ol}(T_o) - C_1(T - T_o) \quad (4)$$

onde  $T_o = 20^\circ C$  é a temperatura de referência fornecida pelo fabricante e  $C_1 = 0,60$  é uma constante proposta por Conde (1996).

### b) Calor específico

O calor específico do óleo é calculado pela equação proposta por Liley e Gambill (1973), para uma faixa de aplicação entre 263,15 K e 353,15 K.

$$c_{p,ol} = 4,186 \left( \frac{0,388 + 0,00045(1,8T + 32)}{\sqrt{G_{r,ol}}} \right) \quad (5)$$

onde  $G_{r,ol}$  é a gravidade específica do óleo, para valores de 0,75 até 0,96, que é calculada com a Eq. 6, abaixo:

$$G_{r,ol} = \frac{\rho_{ol}}{\rho_{\acute{a}gua}} \quad (6)$$

e  $\rho_{\acute{a}gua} = 999 \text{ kg/m}^3$  a  $T = 288,71 \text{ K}$ , (Conde, 1997).

### c) Condutividade térmica

Liley e Gambill (1973) apresentam uma correlação para determinar a condutividade térmica do óleo em função da temperatura  $T(^{\circ}C)$ .

$$k_{ol} = \frac{0,1172}{G_{r,ol}} (1 - 0,0054 T) \quad (7)$$

### d) Viscosidade dinâmica

A viscosidade dinâmica do óleo é calculada em função da temperatura  $T(K)$  mediante a correlação proposta por Guzman e Andrade (1930).

$$\mu_{ol} = B e^{\frac{C}{T}} \quad (8)$$

onde os coeficientes são:  $B = 1,364 \times 10^{-3}$  e  $C = 4,229 \times 10^3$ . Os valores dos coeficientes podem mudar segundo o tipo de óleo, de acordo ao trabalho apresentado pelo Kedzierski and Kaul (1993).

## 2.3 Propriedades da nanopartícula

As propriedades das nanopartículas são calculadas igualmente a partir de correlações obtidas de testes experimentais disponíveis na literatura.

### a) Propriedades da nanopartícula de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ )

- **Massa específica ( $\rho_{Al_2O_3}$ ):** o valor utilizado para nanopartículas esféricas de 30 nm de diâmetro foi obtido por Chandrasekar *et al.* (2010).

$$\rho_{Al_2O_3} = 3880 \left( \text{kg/m}^3 \right) \quad (9)$$

- **Calor específico** ( $c_{p,Al_2O_3}$ ): é calculado em função da temperatura  $T(K)$ , utilizando a correlação proposta pelo de Wang *et al.* (2001), para uma faixa de temperatura dentre 78 K e 370 K, desenvolvida a partir de dados experimentais.

$$c_{p,Al_2O_3} = 64,5451 + 53,6264Y + 8,2562Y^2 + 14,0021Y^3 - 8,1949Y^4 - 18,8496Y^5 \quad (10)$$

$$Y = \frac{(T - 224)}{146} \quad (11)$$

- **Condutividade térmica** ( $k_{Al_2O_3}$ ): é obtida em função da temperatura  $T(^{\circ}C)$  com a correlação proposta por Pabst e Gregorová (2007), para temperaturas entre 0 °C e 400 °C.

$$k_{Al_2O_3} = 3645(T + 194)^{-0,874} \quad (12)$$

#### b) Propriedades da nanopartícula de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>)

- **Massa específica** ( $\rho_{TiO_2}$ ): será usado um valor constante para nanopartículas esféricas de 30 nm de diâmetro, obtido por Mahbulbul *et al.* (2013).

$$\rho_{TiO_2} = 4260 \left( kg/m^3 \right) \quad (13)$$

- **Calor específico** ( $c_{p,TiO_2}$ ): os valores são obtidos da curva experimental apresentada por Saedian *et al.* (2013). A curva é um polinômio em função da temperatura  $T(K)$ , onde a faixa de operação fica entre 70 K e 370 K.

$$c_{p,TiO_2} = -1,070E^{-12}T^5 + 1,224E^{-9}T^4 - 5,082E^{-7}T^3 + 8,970E^{-5}T^2 - 2,370E^{-3}T + 0,018 \quad (14)$$

- **Condutividade térmica** ( $k_{TiO_2}$ ): foram utilizados os valores propostos pelo Weerapun e Somchai (2009), para gerar a Eq. (15), para uma faixa de temperaturas de 288,15 K até 308,15.

$$k_{TiO_2} = 0,0155T + 13,098 \quad (15)$$

#### c) Propriedades da nanopartícula de óxido de cobre (CuO)

- **Massa específica** ( $\rho_{CuO}$ ): para nanopartículas esféricas de 30nm de diâmetro, o valor médio estimado por Kedzierski (2002), é apresentado na seguinte equação:

$$\rho_{CuO} = 5760 \left( kg/m^3 \right) \quad (16)$$

- **Calor específico** ( $c_{p,CuO}$ ): o cálculo do calor específico das nanopartículas de óxido de cobre é baseado na correlação apresentada por Junod *et al.* (1989), em função da temperatura  $T(K)$ , para valores de 78 K e 300 K.

$$c_{p,CuO} = 0,2E^{-9}T^4 - 1,254E^{-7}T^3 + 2,287E^{-5}T^2 - 0,238E^{-3}T \quad (17)$$

- **Condutividade térmica** ( $k_{CuO}$ ): nenhuma correlação ou dado experimental para a dependência com a temperatura da condutividade térmica de nanopartículas de óxido de cobre foi encontrado na literatura. Portanto, será usado um valor constante de acordo com Kwak e Kim (2005).

$$k_{CuO} = 20(W/m-K) \quad (18)$$

## 2.4 Propriedades do lubrificante ou nano-óleo (óleo e nanopartículas)

Chama-se nanolubrificante ou nano-óleo a mistura do óleo (fluido base) com nanopartículas ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  ou  $\text{CuO}$ ). As propriedades termofísicas do nano-óleo são calculadas a partir das correlações encontradas na literatura. O subscrito ( $np$ ) é utilizado para fazer referência às nanopartículas utilizadas no presente trabalho.

**a) Massa específica ( $\rho_{ol,np}$ )**

A massa específica é calculada como uma função da fração volumétrica das nanopartículas no óleo ( $\varphi_{ol,np}$ ) e das massas específicas da nanopartícula ( $\rho_{np}$ ) e do óleo ( $\rho_{ol}$ ), (Kwak *et al.* 2005). Baseia-se no princípio de conservação de massa.

$$\rho_{ol,np} = (1 - \varphi_{ol,np})\rho_{ol} + \varphi_{ol,np}\rho_{np} \quad (19)$$

**b) Calor específico ( $c_{p,ol,np}$ )**

O valor do calor específico é obtido assumindo-se o equilíbrio térmico entre as nanopartículas e óleo (Kwak *et al.* 2005). Portanto, a partir do princípio de conservação de energia, tem-se:

$$c_{p,ol,np} = \frac{(1 - \varphi_{ol,np})\rho_{ol}c_{p,ol} + \varphi_{ol,np}\rho_{np}c_{p,np}}{\rho_{ol,np}} \quad (20)$$

onde ( $c_{p,ol}$ ) é o calor específico do óleo, ( $c_{p,np}$ ) é o calor específico da nanopartícula e ( $\rho_{ol,np}$ ) é a massa específica do nano-óleo.

**c) Condutividade térmica ( $k_{ol,np}$ )**

A condutividade térmica é calculada pelo modelo de Hamilton e Crosser (1962), para nanopartículas esféricas.

$$k_{ol,np} = k_{ol} \frac{k_{np} + 2k_{ol} - 2\varphi_{ol,np}(k_{ol} - k_{np})}{k_{np} + 2k_{ol} + \varphi_{ol,np}(k_{ol} - k_{np})} \quad (21)$$

onde ( $k_{ol}$ ) e ( $k_{np}$ ) representam a condutividade térmica do óleo e da nanopartícula, respectivamente.

**d) Viscosidade dinâmica ( $\mu_{ol,np}$ )**

O valor da viscosidade é baseado na correlação apresentada por Brinkman (1952), em função da viscosidade do óleo ( $\mu_{ol}$ ) e da fração volumétrica das nanopartículas no óleo ( $\varphi_{ol,np}$ ).

$$\mu_{ol,np} = \mu_{ol} \frac{1}{(1 + \varphi_{ol,np})^{2,5}} \quad (22)$$

## 2.4 Propriedades do nanofluido

Chama-se nanofluido a mistura do fluido refrigerante e nano-óleo (óleo e nanopartículas). O subscrito ( $nf$ ) é utilizado para identificar as propriedades termofísicas do nanofluido.

**a) Massa específica ( $\rho_{nf}$ )**

A massa específica é calculada pela equação proposta pelo Jensen and Jackman (1984), em função da concentração do nano-óleo no nanofluido ( $w_{ol,np}$ ), massa específica do nano-óleo ( $\rho_{ol,np}$ ) e da massa específica do fluido refrigerante ( $\rho_r$ ). A faixa de temperatura para o uso desta equação é de  $-20$  °C até  $80$  °C.

$$\rho_{nf} = \left[ \frac{w_{ol,np}}{\rho_{ol,np}} + \left( \frac{1-w_{ol,np}}{\rho_r} \right) \right]^{-1} \quad (23)$$

**b) Calor específico ( $c_{p,nf}$ )**

O calor específico é calculado mediante a correlação apresentada por Jensen e Jackman (1984).

$$c_{p,nf} = \frac{(1-w_{ol,np})c_{p,r}\rho_r + w_{ol,np}c_{p,ol,np}\rho_{ol,np}}{\rho_{nf}} \quad (24)$$

**c) Condutividade térmica ( $k_{nf}$ )**

A condutividade térmica é avaliada mediante a correlação desenvolvida por Baustian *et al.* (1988).

$$k_{nf} = k_r(1-w_{ol,np}) + (k_{ol,np}w_{ol,np}) - (0,72w_{ol,np}(1-w_{ol,np})(k_{ol,np} - k_r)) \quad (25)$$

**d) Viscosidade dinâmica ( $\mu_{nf}$ )**

A viscosidade do nanofluido é calculada pela correlação proposta por Kedzierski e Kaul (1993).

$$\mu_{nf} = e^{(w_{ol,np} \ln(\mu_{ol,np}) + (1-w_{ol,np}) \ln(\mu_r))} \quad (26)$$

### 3. RESULTADOS

Para avaliar as propriedades termofísicas do nanofluido com base nas equações acima mencionadas, foi desenvolvido um modelo matemático na plataforma do software EES (Engineering Equation Solver). Foi objetivo estabelecer uma comparação da massa específica, calor específico, condutividade térmica e viscosidade do nanofluido e do fluido refrigerante. No presente estudo teórico são propostos os seguintes fluidos:

- a) Fluido refrigerante R134a.
- b) Nanofluido: R134a/óleo RL68H/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- c) Nanofluido: R134a/óleo RL68H/TiO<sub>2</sub>.
- d) Nanofluido: R134a/óleo RL68H/CuO.

Os três nanofluidos e o refrigerante (R134a) são avaliados a temperaturas de líquido saturado entre 288,15 K e 298,15 K. No lado do nano-óleo, foi fixada uma fração mássica das nanopartículas no óleo ( $\phi_{ol,np}$ ) de 10%, e uma concentração do nano-óleo no nanofluido ( $w_{ol,np}$ ) de 1%. Na Figura 1 pode-se observar uma diminuição da massa específica de 13,79% do nanofluido que tem como nanopartículas óxido de cobre (CuO), isto em comparação ao fluido refrigerante R134a. O mesmo acontece com os nanofluidos compostos pelas nanopartículas de dióxido de titânio (TiO<sub>2</sub>) e óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que apresentam um incremento de 14,35% e 14,55%, respectivamente.

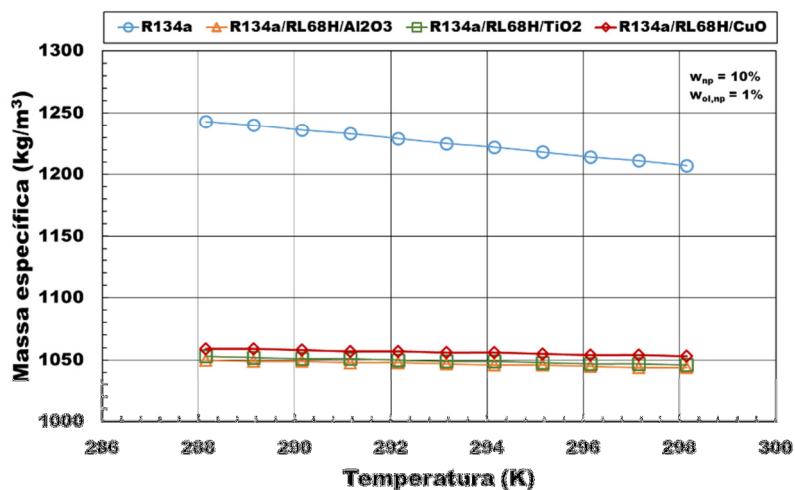


Figura 1. Comparação entre as massas específicas do fluido refrigerante puro e do nanofluido.

A Figura 2 apresenta um incremento na condutividade térmica nos nanofluidos utilizando as nanopartículas de (CuO), (TiO<sub>2</sub>) e (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de 32,11%, 35,11% e 36,35%, respectivamente, em comparação ao fluido refrigerante R134a. Os valores estimados para o calor específico dos nanofluidos são apresentados na Fig. 3, onde se pode observar um incremento de 17,74%, 20,59% e 20,17% para as nanopartículas de (CuO), (TiO<sub>2</sub>) e (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), respectivamente. Na Figura 4 observa-se um aumento da viscosidade de 53,73%, 55,73% e 57,05 para as nanopartículas de (CuO), (TiO<sub>2</sub>) e (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), respectivamente, isto para uma temperatura de 288,15 K. Já com o incremento da temperatura ate 298,15 K, o aumento na viscosidade é de 5,97%, 7,66% e 8,59% para as nanopartículas de (CuO), (TiO<sub>2</sub>) e (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), respectivamente.

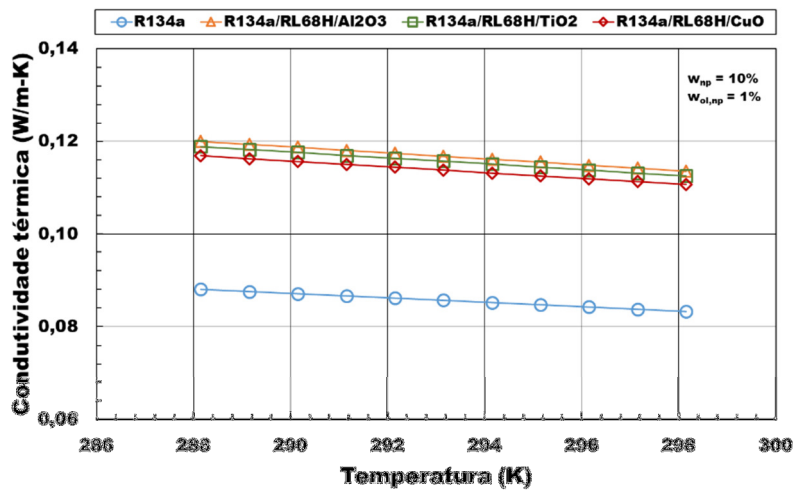


Figura 2. Comparação entre a condutividade térmica do fluido refrigerante puro e dos nanofluidos.

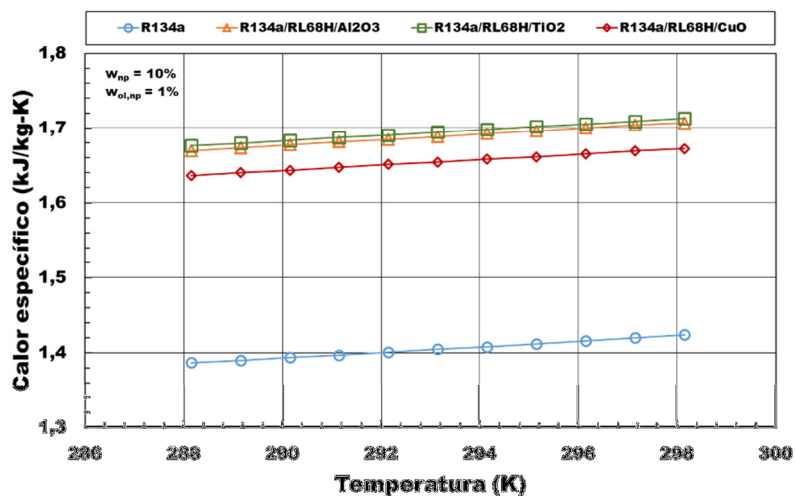


Figura 3. Comparação entre os calores específicos do fluido refrigerante puro e do nanofluido.

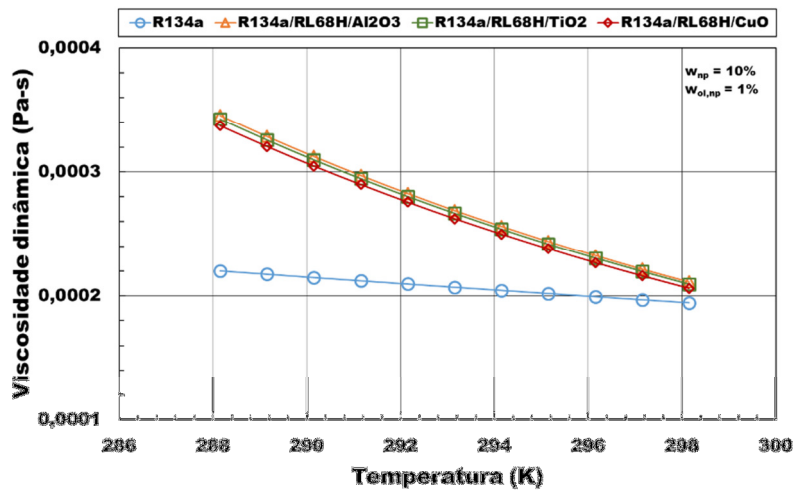


Figura 4. Comparação entre as viscosidades do fluido refrigerante puro e do nanofluido.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados gerados pelo modelo desenvolvido seguem a tendência esperada de acordo com os dados da literatura acima mencionados. Duas das propriedades a serem levadas em conta nos sistemas de refrigeração são a condutividade térmica e a viscosidade. O incremento da condutividade térmica proporciona um ganho na transferência de calor, o qual é muito importante para o desempenho dos trocadores de calor. Os resultados gerados para a condutividade térmica dos nanofluidos estudados mostram um incremento calculado médio de 35,73% em comparação ao fluido refrigerante R134a, onde as misturas com as nanopartículas de ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ( $\text{TiO}_2$ ), obtêm os melhores resultados. O incremento da viscosidade do nanofluidos em comparação ao R134a é da ordem de 55,5% para uma temperatura de 288,15 K e de 7,4% para uma temperatura de 298,15 K. Este incremento leva a uma maior queda de pressão no sistema de refrigeração e seus componentes, o que não é favorável para a performance do sistema de refrigeração. Deste estudo pode-se concluir que as nanopartículas que apresentaram maior incremento em suas propriedades termofísicas, dentre as testadas, são ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e ( $\text{TiO}_2$ ).

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro de CNPq, CAPES e FAPERJ.

#### 6 REFERÊNCIAS

- Baustian, J.J., Pate, M.B. and Bergles, A.E., 1988, Measuring the concentration of a flowing oil–refrigerant mixture: instrument test facility and initial results, *ASHRAE Transactions*, Vol. 94, No. 1, pp. 167-177.
- Borlein, C., 2011, Energy savings in commercial refrigeration equipment: Low pressure control, Schneider Electric SA.
- Brinkman, H.C., 1952, The viscosity of concentrated suspensions and solution, *The Journal of Chemical Physics*, Vol.20, pp. 571–581.
- Conde, M. R., 1996, Estimation of thermophysical properties of lubricating oils and their solutions with refrigerants: an appraisal of existing methods, *Applied Thermal Engineering*, vol. 16, pp. 51-61.
- Chandrasekar, M., Suresh, S. and Bose, A. C., 2010, Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ /water nanofluid, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 34, pp. 210–216.
- Duangthongsuk, W. and Wongwises, S., 2009, Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of  $\text{TiO}_2$ -water nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*. 33, pp. 706-714.
- Eastman, J. A., Choi, U. S., Li, S., Thompson, L. J. and Lee S., 1977, Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids, *Materials Research Society Symposium*, vol. 457, pp. 3-11.
- Elcock, D., 2007, Potential impacts of nanotechnology on energy transmission applications and needs, Environmental Science Division, Argonne National Laboratory.
- Guzman, Andrade, 1930, *Nature*, pp. 125-309.
- Hamilton, R. L. and Crosser, O. K., 1962, Thermal conductivity of heterogeneous two-component systems, *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, vol. 1, pp. 187-191.
- Hindawi, 2009, Special issue on heat transfer in nanofluids.
- Jensen, M. K. and Jackman, D. L., 1984, Prediction of nucleate pool boiling heat transfer coefficients of refrigerant–oil mixtures, *Journal of Heat Transfer*, vol. 106, pp. 184-190.



- Junod, A., Eckert, D., Triscone, G., Müller, J. and Reichardt, W., 1989, A study of the magnetic transitions in CuO: specific heat (1-300K), magnetic susceptibility and phonon density of states, *J. Phys.*, vol. 1, pp. 8021-8034.
- Jwo, 2009, Effect of nanolubricant on the performance of Hydrocarbon refrigerant system., *J. Vac. Sci. Techno. B*, vol. 27, pp. 1473-1477.
- Kedzierski, M. A. and Kaul, M. P., 1993, Horizontal nucleate flow boiling heat transfer coefficient measurements and visual observations for R12, R134a, and R134a/ester lubricant mixtures, *Proceedings of the 6th International Symposium on Transport Phenomena in Thermal Engineering*, vol. 1, pp. 111-116.
- Kedzierski, M. A., 2002, Viscosity and density of CuO nanolubricant, *International Journal of Refrigeration* vol. 35, pp. 1997-2002.
- Kwak, K. and Kim, C., 2005, Viscosity and thermal conductivity of copper oxide nanofluid dispersed in ethylene glycol, *Korea-Australia Rheology Journal*, vol. 17, pp. 35-40.
- Liley, P. E. and Gambill W. R., 1973, Physical and chemical data *Chemical Engineering Handbook* 5th ed., New York: Mc Graw-Hill.
- Mahbubul, I. M., Kamyar, A., Saidur, R. and Amalina, M. A., 2013, Migration Properties of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles during the Pool Boiling of Nanorefrigerants, *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 52, pp. 6032-6038.
- Maxwell, J.C.A, *Treatise on Electricity and Magnetism*, second ed., Clarendon Press, Oxford, UK, 1881.
- Mermond, Y., Feidt, M. and Marvillet, C., 1999, Propriétés thermodynamiques et physiques des mélanges de fluides frigorigènes et d'huiles, *International Journal of Refrigeration* vol. 22, pp. 569-579.
- Pabst, W. and Gregorová, E., 2007, Effective thermal and thermoelastic properties of alumina, zirconia and alumina-zirconia composite ceramics, *Nova Science Publishers*, New York, pp. 77-137.
- Saeedian, M., Shafiei, M. M., Shojaei, E. and Mohammadzadeh, M. R., 2013, Specific Heat Capacity of TiO<sub>2</sub> Nanoparticles, University of Tehran, Iran, Departement of Physics, Brock University, Canada.
- Shackelford, J. F. and Alexander, W., 2001, *Materials science and engineering handbook* 3rd edition.
- Wang, X. Q. and Mujumdar, A. S., 2007, Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 46, pp. 1-19.
- Wang, L., Tan, Z., Meng, S., Liang, D. and Li, G., 2001, Enhancement of molar heat capacity of nanostructured Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Journal of Nanoparticle Research* 3, pp. 483-487.

#### **DETERMINATION OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF REFRIGERANT-OIL BASED NANOFLUIDS FOR APPLICATION IN THE REFRIGERATION VAPOUR COMPRESSION CYCLE**

**Abstract.** *The present work deals with the development of a mathematical model for the determination of thermophysical properties of nanofluids applied to the vapor compression refrigeration cycle. The model consist on theoretical and empirical correlations available in the literature about nanorefrigerant and nanolubricants. The nanofluid is a mixture of refrigerant fluid, lubricant (base fluid) and nanoparticles. The mixtures proposed for the calculation of themophysical properties were R134a/oil/Titanium dioxide (TiO<sub>2</sub>), R134a/oil/Aluminium oxide (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) and R134a/oil/Copper oxide (CuO), and the oil used is the Polyolester lubricant-POE (RL68H). The results of the theoretical study enable a comparison of the density, specific heat, thermal conductivity and viscosity of proposed nanofluids and pure refrigerant R134a*

**Keywords:** *nanofluid, nanoparticle, refrigeration, nanolubricant*