



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DE REVISÃO DA PERDA DE PRESSÃO E DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA O FLUIDO R-407C EM EBULIÇÃO

Juan J. Garcia, jjgp.ufmg@gmail.com¹

Luiz Machado, luizm@demec.ufmg.br¹

Ricardo Koury, koury@demec.ufmg.br¹

Matheus Porto, matheusporto@demec.ufmg.br¹

¹Programa de Pós-graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

Resumo: Este artigo apresenta os resultados e conclusões, para um conjunto representativo de dados experimentais, relacionados à perda de pressão e transferência de calor, realizados para o fluido R-407C em regime bifásico para tubos lisos horizontais. Estes dados experimentais foram produzidos no laboratório de refrigeração da UFMG, além de resultados de outros laboratórios, sendo todos os bancos de teste com características de funcionamento semelhantes. Correlações de transferência de calor e de perda de pressão foram testadas e novas correlações foram propostas. Pôde-se concluir que a composição zeotrópica do R-407C fez com que as correlações existentes na literatura, em geral para fluidos puros, produzissem resultados pouco satisfatórios.

Palavras-chave: Perda de pressão, Transferência de calor, Correlação, Escoamento bifásico, R-407C

1. INTRODUÇÃO

Escoamentos bifásicos são largamente empregados na indústria em processos de refrigeração em que um processo de mudança de fase está envolvido. Dependendo dos parâmetros do escoamento, ele pode assumir diferentes formas, o que modifica suas características. Durante várias décadas, estudos vem sendo realizados para prever e modelar esse tipo de escoamento (Osgouei *et al.*, 2015). Entretanto, surgiram várias correlações com diferentes abordagens para este fenômeno e nenhuma delas foi igualmente válida para grandes intervalos de condições de operação. Diferentes fluidos foram testados durante os estudos, mas devido a questões ambientais – destruição da camada de ozônio e aquecimento global - muitos foram proibidos de serem utilizados. Os CFCs (Clorofluorcarbonetos) até então largamente utilizados foram substituídos pelos HCFCs (Hidroclorofluorcarbonetos). Como substituo dos anteriores estão os HFCs (Hidrofluorcarbonetos), que são inofensivos à camada de ozônio por não possuir cloro em sua estrutura (Fannou *et al.*, 2015). Assim, novos fluidos foram criados dentre eles o R407C que tem baixo potencial para aquecimento global, é não inflamável e não tóxico. O R407C é uma mistura ternária não azeotrópica, perda de aproximadamente 6o C durante o processo de ebulição, composta por 23% de R32, 25% de R125 e 52% de R134a em peso (Greco and Vanoli, 2006). Os principais parâmetros para projetos que envolvam um escoamento bifásico são a perda de pressão e coeficiente de transferência de calor (Greco, 2008; Porto *et al.*, 2015). Assim, diversos dados experimentais foram comparados com as diversas correlações existentes na literatura para estes parâmetros a fim de determinar quais são as formulações que mais precisas para o R407C.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão será dividida em duas partes. A primeira será referente a estudos relacionados a perda de pressão e a segunda sobre coeficiente de transferência de calor.

2.1 Perda de pressão

Apesar dos vários estudos e abordagens sobre o assunto, poucos estão relacionados ao R407C. As correlações desenvolvidas podem ser divididas em três categorias: homogêneas, multiplicadores bifásicos e modelos de mapas de padrão de fluxo (Xu *et al.*, 2012).

NOMENCLATURA

Bo	Número de ebulição	Co	Número de Convecção
D	Diâmetro (m)	f	Fator de atrito
Fr	Número de Froude	G	Velocidade mássica (kg/m ² s)
g	gravidade (m/s ²)	h_{lv}	Entalpia de vaporização (J/kg)
k	Condutividade térmica (W/°C m)	La	Número de Laplace
M	Massa molar (Mol/kg)	P_{red}	Pressão reduzida
Pr	Número de Prandtl	q	Fluxo de calor (W/m ²)
Re	Número Reynolds	x	Título
δT_{glide}	Variação da temperatura em saturação (°C)	σ	Tensão superficial (N/m)
χ	Parâmetro de Martinelli	Φ	Multiplicador bifásico
$\frac{dp}{dz}$	Perda de pressão (Pa/m)	μ	Viscosidade (Pa.s)
v	volume específico (m ³ /kg)	ρ	Massa específica (kg/m ³)

SUBSCRITOS

h	homogêneo	l	líquido
lo	Só líquido	v	vapor

2.1.1 Modelo Homogêneo

Para cálculo da perda de pressão devida ao atrito pode ser utilizada a equação de Fanning,

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = f_h \frac{G^2}{2\rho_h D}, \quad (1)$$

O fator de atrito f_h é estimado em função do número de Reynolds (Re) por meio das Eq. 2 e 3 sendo a última proposta recentemente por Fang *et al.* (2011):

$$f = \frac{64}{Re} \quad Re < 2300, \quad (2)$$

$$f = 0.25 \left[\log \left(\frac{150.39}{Re^{0.98865}} - \frac{152.66}{Re} \right) \right]^{-2} \quad 3000 \leq Re \leq 10^8, \quad (3)$$

São considerados valores médios para as propriedades dos fluidos. Para determinar a massa específica:

$$\rho_h = \left[\frac{x}{\rho_v} + \frac{(1-x)}{\rho_l} \right]^{-1}, \quad (4)$$

Principalmente os modelos nesta categoria propõem uma expressão para estimar a viscosidade cinemática do escoamento, foram escolhidas a Eq. 5 proposta por McAdams *et al.* (1942) e recomendada por Xu and Fang (2012), ou usando Eq. 6 de Cicchitti *et al.* (1959) e recomendada por Li and Wu (2010), respectivamente:

$$\mu_h = \left[\frac{x}{\mu_v} + \frac{(1-x)}{\mu_l} \right]^{-1}. \quad (5)$$

$$\mu_h = x\mu_v + (1-x)\mu_l \quad (6)$$

2.1.2 Multiplicadores Bifásicos

Lockhart and Martinelli (1949) foram os criadores do modelo de fases separadas. A perda de pressão no escoamento bifásico é dada pelo produto entre a perda de pressão assumindo que apenas uma das fases esco isoladamente no tubo e um fator de correção denominado multiplicador bifásico:

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = \frac{f_l G^2 (1-x)^2}{2\rho_l D} \Phi_l^2 \quad f_l \longrightarrow Re_l = \frac{GD}{\mu_l} (1-x), \quad (7)$$

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = \frac{f_{lo} G^2}{2\rho_l D} \Phi_{lo}^2 \quad f_{lo} \longrightarrow Re_{lo} = \frac{GD}{\mu_l}, \quad (8)$$

Φ_l^2 é o fator de correção, supondo que apenas a fase líquida esco no tubo com a respectiva vazão daquela fase. Por outro lado Φ_{lo}^2 é o fator de correção, supondo que apenas a fase líquida esco no tubo com a vazão total. Os fatores de atrito são funções do número de Reynolds e dados pelas Eq. 2 e 3. As correlações baseadas em multiplicadores bifásicos mais importantes para o R407C, segundo Garcia (2014), estão contidas na Tab 2.

Tabela 2: Correlações baseadas no método de multiplicadores bifásicos.

Autor	Correlação
Müller-Steinhagen and Heck (1986)	$\Phi_{lo}^2 = Y^2 x^3 + (1-x)^{\frac{1}{3}} [1 + 2x (Y^2 - 1)]$ $Y^2 = \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right) \left(\frac{f_{vo}}{f_{lo}}\right)$
Sun and Mishima (2009)	Para escoamento laminar: $\Phi_l^2 = 1 + \frac{C}{\chi} + \frac{1}{\chi^2}$ $\chi = \left(\frac{1-x}{x}\right) \left(\frac{\rho_v}{\rho_l}\right)^{0.5} \left(\frac{f_l}{f_v}\right)^{0.5}$ $C = 26 \left(1 + \frac{Re_l}{1000}\right) \left[1 - \exp\left(\frac{-0.153}{0.8+0.27La}\right)\right]$ Para escoamento turbulento: $\Phi_l^2 = 1 + \frac{C}{\chi^{1.19}} + \frac{1}{\chi^2}$ $C = 1.79 \left(\frac{Re_v}{Re_l}\right)^{0.4} \sqrt{\frac{1-x}{x}}$
Xu and Fang (2012)	$\Phi_{lo}^2 = \left\{ Y^2 x^3 + (1-x)^{\frac{1}{3}} [1 + 2x (Y^2 - 1)] \right\} Z$ $Z = \left[1 + 1,54 (1-x)^{0,5} La^{1,47} \right]$ $La = \sqrt{\frac{\sigma}{g(\rho_l - \rho_v) D^2}}$

2.1.3 Modelos de mapas de padrão de fluxo.

O método de Quiben and Thome (2007) consiste em obter analiticamente a perda de pressão de acordo com os vários padrões de escoamento. Usando dados experimentais, esses pesquisadores desenvolveram um modelo de análise fenomenológica no qual cada regime de escoamento é tratado separadamente, mas que assegura uma transição suave entre a queda de pressão nas fronteiras de transição entre os padrões de escoamento baseados em Wojtan *et al.* (2005a).

2.2 Coeficiente de Transferência de Calor

As relações de Wojtan *et al.* (2005b), Gungor e Winterton (1987), Kandlikar (1990), e Wattelet (1994) foram usados para avaliar a correlação com os dados experimentais, e estas relações podem ser encontradas na Tab 2, com a exceção da metodologia de Wojtan, Ursenbacher e Thome (2005a), que é muito longo para ser apresentado aqui, por ser um modelo fenomenológico.

Tabela 3: Correlações para o CTC.

Autor	Correlação
Gungor and Winterton (1987)	$H_{tp} = H_l \left[1 + 300 Bo^{0,86} + 1,12 \left(\frac{x}{1-x}\right)^{0,75} \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)^{0,41} \right]$ $Bo = \frac{q''}{G h_{lv}}$ $H_l = 0,023 Re_l^{0,8} Pr_l^{0,4} \frac{k_l}{D}$
Kandlikar (1990)	$H_{tp} = H_l \left[C_1 Co^{C_2} (25 Fr_{lo})^{C_5} + C_3 Bo^{C_4} F_{fl} \right]$ $Co = \left(\frac{1-x}{x}\right)^{0,9} \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)^{0,5}$ $F_{fl} = 1,5$ Região convectiva $C = [1,136; -0,9; 667,2; 0,7; 0,3]$ Região de ebulição nucleada $C = [0,668; -0,2; 1058,0; 0,7; 0,3]$
Wattelet (1994)	$H_{tp} = \left(H_{ec}^{2,5} + H_{nb}^{2,5} \right)^{-2,5}$ $H_{ec} = (1 + 1,925 \chi^{-0,83}) R_w H_l$ Para $Fr_l \leq 0,25$ $R_w = 1,32 Fr_l^{0,2}$ Para $Fr_l > 0,25$ $R_w = 1$ $H_{nb} = 55 P_{red}^{0,12} (-\log 10 (P_{red}))^{-0,55} M^{-0,5} q^{0,67}$

2.2.1 Fator de correção para misturas zeotrópicas

Misturas zeotrópicas apresentam uma degradação na transferência de calor como um resultado de resistência à transferência de massa e este fenômeno é discutido em maiores detalhes por Venter (2000). Durante a mudança de fase, o fluido mais volátil se transforma em vapor primeiro e possui uma maior velocidade que o menos volátil, e como consequência disto o líquido saturado se torna mais rico em um fluido de maior ponto de ebulição; esta mudança na composição da fração líquida da mistura cria a necessidade de um aumento no superaquecimento da parede para o mesmo fluxo de calor, causando uma diminuição no CTC. De acordo com Venter (2000) a degradação se torna mais pronunciada em pressões e fluxos de calor mais altos, e para uma determinada concentração no equilíbrio de fases.

Alguns autores (Schlindwein *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2002; Gorenflo, 2001; Thome, 1996) tem usado uma metodologia na qual um fator de redução é aplicado na relação do CTC de um fluido puro para obter uma relação do CTC correta para misturas. O fator de redução aplicado na ebulição nucleada é mostrado pela Eq. 9.

$$\frac{H_{(nb,m)}}{H_{(nb,p)}} = \frac{1}{1 + K} \quad (9)$$

Onde $H_{(nb,m)}$ é o CTC na ebulição nucleada da mistura, $H_{(nb,p)}$ é o CTC na ebulição nucleada do fluido puro e K é o fator de redução. Gorenflo (2001) apresentou uma revisão em ebulição nucleada, mostrando aspectos relacionados à degradação causada por misturas no CTC na ebulição nucleada.

$$K = \frac{H_{(nb,p)}}{q} \delta T_{glide} \left[1 - \exp \left(\frac{q}{\rho_l h_{lv} \beta} \right) \right] \quad (10)$$

Onde β é fixado em 0,0003 m/s. A equação acima é apresentada por Thome (1996), δT_{glide} é o glide do fluido e h_{lv} é a entalpia de vaporização.

3. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

As Fig. 1 apresenta uma análise probabilística para todas as correlações, em termos da função distribuição acumulada, que fornece a probabilidade que uma quantidade aleatória de dados, com uma distribuição normal, tem de ter um determinado erro máximo.

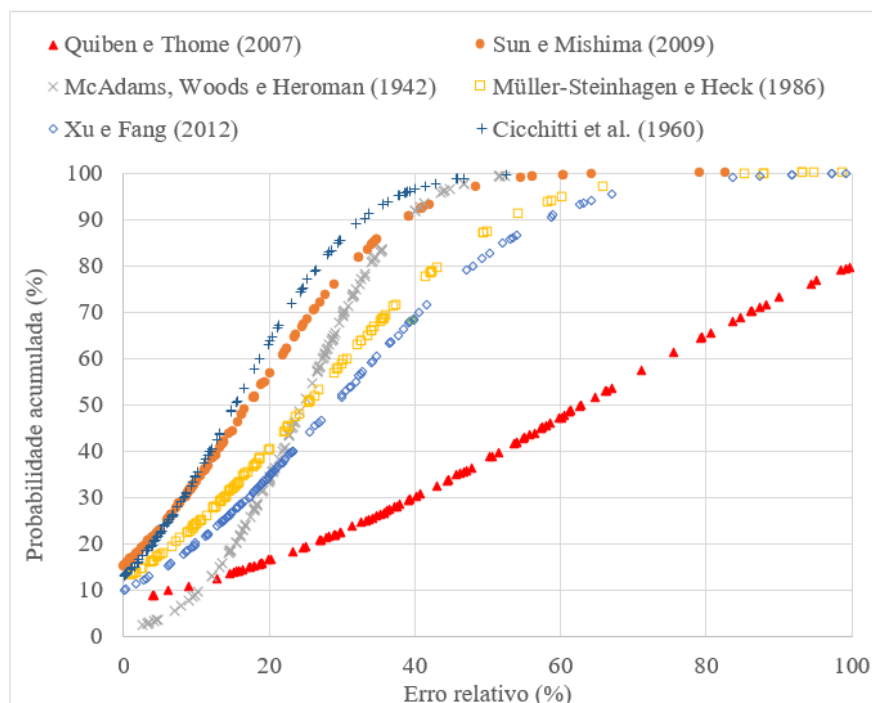


Figura 1: Distribuição da Probabilidade acumulada do erro relativo para a perda de pressão.

A análise permitiu estimar a exatidão das correlações. O método Cicchitti *et al.* (1959) foi o que forneceu resultados mais próximos dos valores experimentais, sendo que, para quase 85% dos pontos testados, o erro máximo foi de 30%. Seguidamente, a correlação de McAdams *et al.* (1942) e Sun and Mishima (2009) apresentam uma probabilidade de 80% para que as respectivas previsões apresentem um erro menor que 30%. Um pouco pior, os resultados de Müller-Steinhagen and Heck (1986) e Xu and Fang (2012) mostram erros máximos de 40% com uma probabilidade de 72% aproximadamente. O modelo fenomenológico de Quiben and Thome (2007) teve resultados modestos, com previsões com um erro máximo de 60% e uma probabilidade de apenas 45%.

Após análises, foram selecionadas as 3 melhores correlações: Cicchitti *et al.* (1959), McAdams *et al.* (1942) e Sun and Mishima (2009). A Fig. 2 ilustra uma comparação entre as estimativas dos três modelos selecionados e os resultados experimentais entre as linhas de erro de $\pm 30\%$. A maioria destes métodos superestima a perda de pressão para R-407C. Observa-se novamente o ótimo comportamento da correlação de Cicchitti *et al.* (1959).

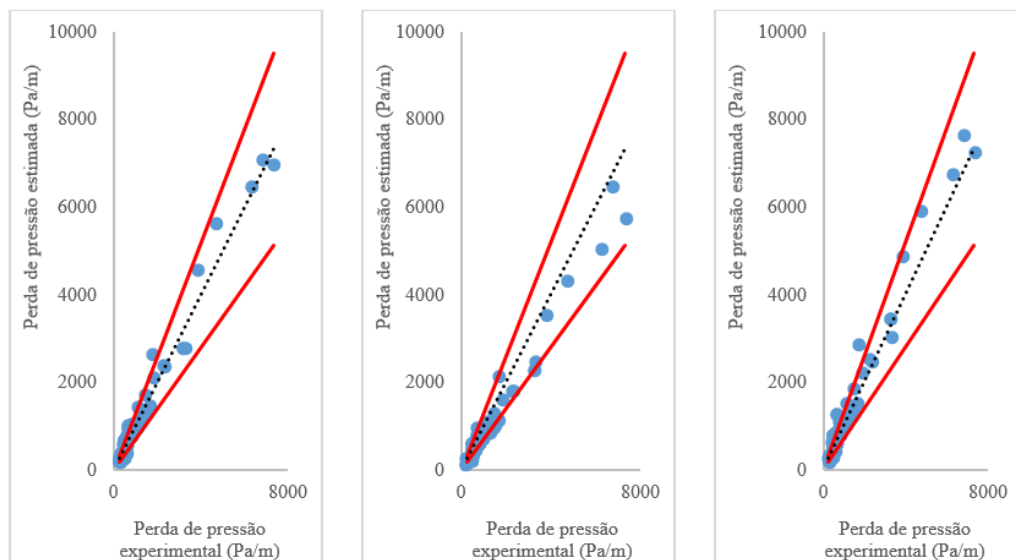


Figura 2: Perda de pressão por Cicchitti *et al.* (1959), McAdams *et al.* (1942) e Sun and Mishima (2009), respectivamente.

As relações mostradas na Tab. 2 foram usadas para mostrar a concordância com os dados experimentais. A FIG. 3 mostra, da esquerda para a direita, as correlações de Gungor and Winterton (1987), Wattelet (1994) e Kandlikar (1990). É possível ver que Gungor and Winterton (1987) apresenta os melhores resultados com uma distribuição mais homogênea entre os dados. Kandlikar (1990), ao ser comparada com Gungor and Winterton (1987), apresenta um maior erro, apesar de alguns valores se encontrarem dentro da faixa estipulada ($\pm 20\%$). Os resultados mostrados por Wattelet (1994) não são satisfatórios: muitos valores não se encontram dentro da faixa de erro de $\pm 20\%$, além de apresentar uma dispersão na distribuição entre os dados. Wojtan *et al.* (2005b) mostrou resultados muito ruins e nem são considerados neste trabalho.

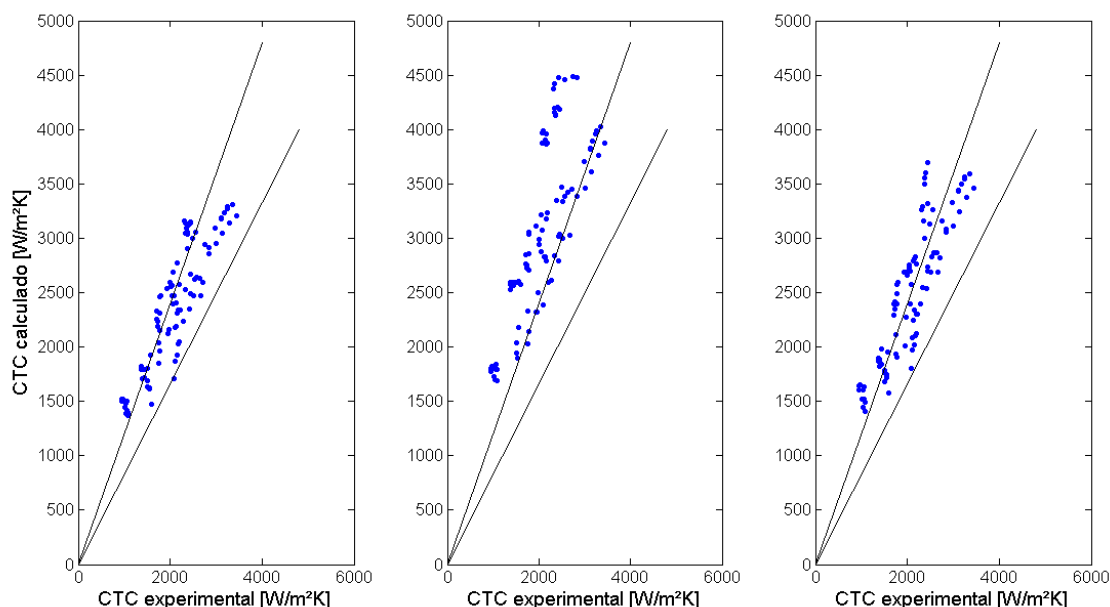


Figura 3: CTC por Gungor and Winterton (1987), Wattelet (1994) e Kandlikar (1990), respectivamente.

Como Gungor and Winterton (1987) apresenta o melhor resultado, o fator de correção para o CTC de misturas proposto por Thome (1996) foi utilizado nesta correlação. A Fig. 4 mostra os resultados obtidos por Gungor and Winterton (1987) e mesma modificada pelo fator de correção proposto por Thome (1996), respectivamente.

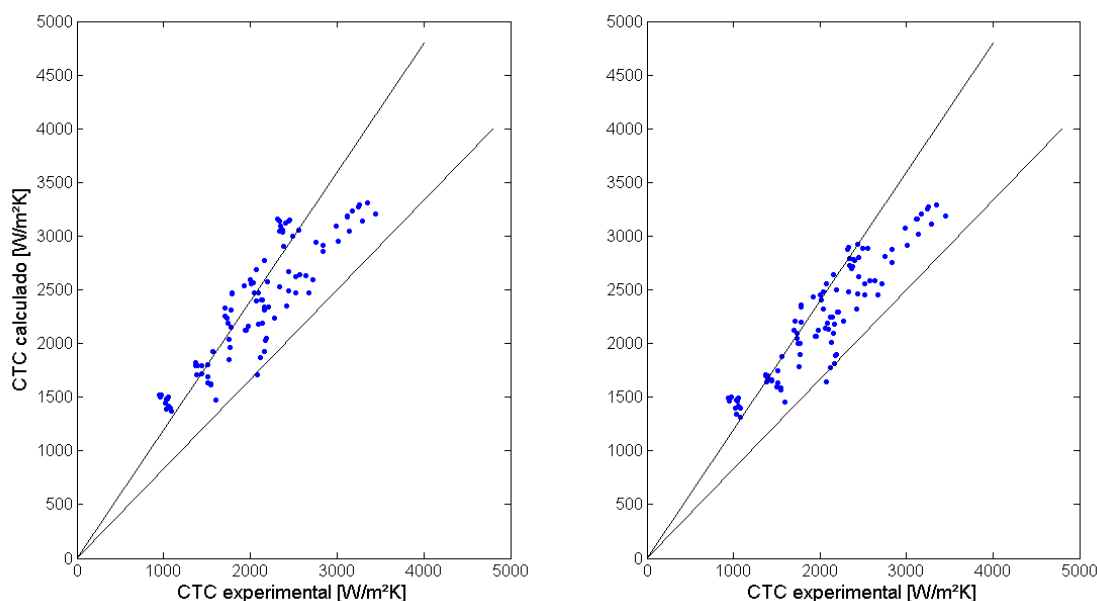


Figura 4: CTC por Gungor and Winterton (1987) e modificada pelo fator de correção proposto por Thome (1996).

O ajuste nos resultados devido ao fator de correção do CTC é notável. Os resultados, que já apresentavam um erro pequeno com o uso da correlação de Gungor and Winterton (1987), apresentam um erro menor ainda quando aplicado o fator de correção para misturas zeotrópicas, mostrando a eficiência do método proposto.

4. CONCLUSÕES

Devido à degradação da camada de ozônio e ao aquecimento global, se fez necessária a substituição do R-22, e um possível candidato para substituí-lo é o R-407C. O foco deste estudo foi entender os fenômenos que ocorrem durante a mudança de fase deste fluido, em especial o coeficiente de transferência de calor e a perda de pressão. A partir da revisão da literatura, observa-se que o escoamento bifásico do fluido R-407C na ebulição tem sido pouco estudado em relação aos parâmetros da fração de vazão, do coeficiente de transferência de calor e da perda de pressão. Esses últimos foram o foco deste trabalho.

Análises estatísticas e probabilísticas foram realizadas, resultando as melhores correlações para previsão de resultados experimentais para a perda de pressão em canais horizontais com refrigerante R-407C são, nessa ordem, as correlações de Cicchitti *et al.* (1959), Sun and Mishima (2009), Müller-Steinhagen and Heck (1986), McAdams *et al.* (1942) e Xu and Fang (2012). Com respeito às diferentes metodologias para a previsão da queda de pressão (modelo homogêneo, multiplicadores bifásicos e análise fenomenológica), as correlações baseadas no modelo homogêneo se mostraram mais adequadas para prever a queda de pressão do fluido R-407C, em contraste com os métodos de análise fenomenológica, mais sofisticados, mas que produziram resultados poucos acurados.

As correlações utilizadas para o cálculo do CTC foram três: Gungor and Gungor and Winterton (1987), Wattelet (1994) e Kandlikar (1990). Estas correlações são indicadas para fluidos puros, sendo necessária a utilização de um fator de correção para misturas zeotrópicas, pois as misturas apresentam uma degradação na transferência de calor devido à resistência na transferência de massa. A correlação de Gungor and Winterton (1987) foi a que obteve resultados mais acurados, seguida por Wattelet (1994) e Kandlikar (1990). Além disso, Gungor and Winterton (1987) apresentou uma distribuição mais precisa entre os resultados. O fator de correção para misturas proposto por Thome (1996) foi aplicado à Gungor and Winterton (1987), obtendo resultados com erros menores. Com isso, o uso da correlação de Gungor and Winterton (1987) aliado ao uso do fator de correção para misturas refrigerantes, mostrou-se eficiente para a faixa de dados utilizadas neste estudo.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil

6. REFERÊNCIAS

- Cicchitti, A., Lombardi, C., Silvestri, M., Soldaini, G. and Zavattarelli, R., 1959. "Two-phase cooling experiments: pressure drop, heat transfer and burnout measurements". Technical report, Centro Informazioni Studi Esperienze, Milan.
- Fang, X., Xu, Y. and Zhou, Z., 2011. "New correlations of single-phase friction factor for turbulent pipe flow and

- evaluation of existing single-phase friction factor correlations". *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 241, No. 3, pp. 897–902.
- Fannou, J.L.C., Rousseau, C., Lamarche, L. and Kajl, S., 2015. "A comparative performance study of a direct expansion geothermal evaporator using r410a and r407c as refrigerant alternatives to r22". *Applied Thermal Engineering*, Vol. 82, pp. 306–317.
- Garcia, J., 2014. *Estudo experimental da perda de pressão em escoamento com ebulição convectiva para a mistura zeotrópica R-407C*. Master's thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Gorenflo, D., 2001. "State of the art in pool boiling heat transfer of new refrigerants". *International journal of refrigeration*, Vol. 24, No. 1, pp. 6–14.
- Greco, A., 2008. "Convective boiling of pure and mixed refrigerants: an experimental study of the major parameters affecting heat transfer". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 51, No. 3, pp. 896–909.
- Greco, A. and Vanoli, G., 2006. "Experimental two-phase pressure gradients during evaporation of pure and mixed refrigerants in a smooth horizontal tube. comparison with correlations". *Heat and mass transfer*, Vol. 42, No. 8, pp. 709–725.
- Gungor, K. and Winterton, R., 1987. "Simplified general correlation for saturated flow boiling and comparisons of correlations with data". *Chemical engineering research & design*, Vol. 65, No. 2, pp. 148–156.
- Kandlikar, S.G., 1990. "A general correlation for saturated two-phase flow boiling heat transfer inside horizontal and vertical tubes". *Journal of heat transfer*, Vol. 112, No. 1, pp. 219–228.
- Lee, J., Bae, S., Bang, K. and Kim, M., 2002. "Experimental and numerical research on condenser performance for r-22 and r-407c refrigerants". *International journal of refrigeration*, Vol. 25, No. 3, pp. 372–382.
- Li, W. and Wu, Z., 2010. "A general correlation for adiabatic two-phase pressure drop in micro/mini-channels". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 53, No. 13, pp. 2732–2739.
- Lockhart, R. and Martinelli, R., 1949. "Proposed correlation of data for isothermal two-phase, two-component flow in pipes". *Chem. Eng. Prog.*, Vol. 45, No. 1, pp. 39–48.
- McAdams, W., Woods, W. and Heroman, L., 1942. "Vaporization inside horizontal tubes-ii-benzene-oil mixtures". *Trans. ASME*, Vol. 64, No. 3, pp. 193–200.
- Müller-Steinhagen, H. and Heck, K., 1986. "A simple friction pressure drop correlation for two-phase flow in pipes". *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Vol. 20, No. 6, pp. 297–308.
- Osgouei, R.E., Ozbayoglu, A.M., Ozbayoglu, E.M., Yuksel, E. and Eresen, A., 2015. "Pressure drop estimation in horizontal annuli for liquid–gas 2 phase flow: Comparison of mechanistic models and computational intelligence techniques". *Computers & Fluids*, Vol. 112, pp. 108–115.
- Porto, M.P., Pedro, H.T., Machado, L., Koury, R.N., Bandarra Filho, E.P. and Coimbra, C.F., 2015. "Optimized heat transfer correlations for pure and blended refrigerants". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 85, pp. 577–584.
- Quiben, J.M. and Thome, J.R., 2007. "Flow pattern based two-phase frictional pressure drop model for horizontal tubes, part ii: New phenomenological model". *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 28, No. 5, pp. 1060–1072.
- Schindwein, A., Martin Jr, F., Misale, M. and Passos, J., 2009. "Nucleate boiling of fc-87/fc-72 zeotropic mixtures on a horizontal copper disc". *Heat and mass transfer*, Vol. 45, No. 7, pp. 937–944.
- Sun, L. and Mishima, K., 2009. "Evaluation analysis of prediction methods for two-phase flow pressure drop in mini-channels". *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 35, No. 1, pp. 47–54.
- Thome, J.R., 1996. "Boiling of new refrigerants: a state-of-the-art review". *International Journal of Refrigeration*, Vol. 19, No. 7, pp. 435–457.
- Venter, J., 2000. *The Experimental Determination of the Forced Convective Boiling Heat Transfer Coefficients of the Non-Azeotropic Refrigerant Mixture R-407C*. Master's thesis, Potchefstroom University for Christian Higher Education.
- Wattelet, J.P., 1994. "Heat transfer flow regimes of refrigerants in a horizontal-tube evaporator". Technical report, Air Conditioning and Refrigeration Center. College of Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Wojtan, L., Ursenbacher, T. and Thome, J.R., 2005a. "Investigation of flow boiling in horizontal tubes: Part i—a new diabatic two-phase flow pattern map". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 48, No. 14, pp. 2955–2969.
- Wojtan, L., Ursenbacher, T. and Thome, J.R., 2005b. "Investigation of flow boiling in horizontal tubes: Part ii—development of a new heat transfer model for stratified-wavy, dryout and mist flow regimes". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 48, No. 14, pp. 2970–2985.
- Xu, Y. and Fang, X., 2012. "A new correlation of two-phase frictional pressure drop for evaporating flow in pipes". *international journal of refrigeration*, Vol. 35, No. 7, pp. 2039–2050.
- Xu, Y., Fang, X., Su, X., Zhou, Z. and Chen, W., 2012. "Evaluation of frictional pressure drop correlations for two-phase flow in pipes". *Nuclear engineering and design*, Vol. 253, pp. 86–97.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

REVIEW STUDY OF PRESSURE DROP AND HEAT TRANSFER FOR FLUID R-407C IN BOILING

Juan J. Garcia, jjgp.ufmg@gmail.com¹

Luiz Machado, luizm@demec.ufmg.br¹

Ricardo Koury, koury@demec.ufmg.br¹

Matheus Porto, matheusporto@demec.ufmg.br¹

¹Programa de Pós-graduação de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. Av. Antônio Carlos, 6627, CEP 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brazil

Resumo: *This article presents the results and conclusions to a set of experimental data related to pressure drop and heat transfer, carried out for the R-407C in two phase flow in horizontal smooth tubes. These experimental data were produced in the laboratory of refrigeration at UFMG, and results from other laboratories. All test all with similar operating characteristics. Correlations for heat transfer and pressure drop were tested and new correlations have been proposed. It was concluded that the zeotropic composition of R-407C made the correlations in the literature in general for pure fluids, produce unsatisfactory results.*

Palavras-chave: *Pressure drop, Heat Transfer, Correlation, Two-phase flow, R407C*