

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAÇÃO DO INVENTÁRIO EM UM CONDENSADOR DE MÁQUINAS DE REFRIGERAÇÃO

Fernando Neves Quintino dos Santos, fernandonquintino@gmail.com¹

Gleberon Marques Humia, ghumia@ufmg.br¹

Juan Jose Garcia Pabon, langa_27@hotmail.com¹

Hélio Augusto Goulart Diniz, heliufmg@gmail¹

Luiz Machado, luizm@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais – Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brasil
CEP 31.270-901 – Fone +55 (31) 3409-5240

Resumo: O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da fração de vazio sobre o cálculo da massa de um fluido refrigerante em escoamento bifásico no interior de um condensador. Neste trabalho, uma máquina de refrigeração ar-ar, carregada com refrigerante R12, foi ensaiada para estudos de fração de vazio e carga de refrigerante. A fração de vazio na entrada do evaporador foi medida opticamente, através de um tubo de vidro, com auxílio de imagens tratadas pelo software Tracker®. Este parâmetro foi comparado com o obtido através de correlações da literatura. A partir das correlações de fração de vazio, propôs-se um método para estimar a massa de fluido frigorífico para o condensador operar em dadas condições de funcionamento. O método foi validado por meio da conferência com a massa de fluido presente no condensador, que foi determinada experimentalmente por meio de válvulas de fechamento rápido, que serviram para aprisionar o fluido refrigerante, que foi sugado para uma garrafa evacuada e então pesado. A correlação de Hughmark apresentou a melhor concordância com os valores experimentais, com um erro inferior a 5%, sendo recomendada para cálculos de inventário. As outras correlações estudadas embora apresentem boa precisão para cálculo de fração de vazio, não são recomendadas para a determinação do inventário.

Palavras-chave: fração de vazio, escoamento bifásico, condensador, carga de refrigerante, refrigeração

Código de aceite: CON-2016-0955

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da massa de refrigerante em uma máquina frigorífica é crucial, pois essa é uma das variáveis que mais influi no seu desempenho. O procedimento para determinação da massa de refrigerante é dispendioso, havendo maneiras alternativas para estimá-la. Uma delas é através de correlações usando fração de vazio. Devido à relação existente entre a fração de vazio e a massa específica do fluido, essas correlações podem ser usadas para prever a massa de fluido em escoamentos bifásicos no interior de trocadores de calor de máquinas de refrigeração (inventário).

Várias correlações de fração de vazio apresentam boa precisão. No entanto, para calcular a massa em um escoamento bifásico em um tubo, esse deve ser dividido em muitos volumes de controle, nos quais a fração de vazio é calculada. Como os erros nos cálculos se propagam, a massa de fluido calculada pode apresentar um erro significativo. Devido à boa precisão e facilidade de uso, muitos pesquisadores adotam a correlação de Zivi (1992) para determinar o inventário em máquinas de refrigeração. No entanto, alguns pesquisadores contestam o uso dessa correlação, afirmando que ela não fornece precisão suficiente para esse tipo de cálculo (Hermes *et al.*, 2001).

No presente trabalho, várias correlações de fração de vazio foram testadas para verificar a precisão no cálculo da massa de fluido refrigerante em máquinas de refrigeração. Para isso, a fração de vazio foi medida por meio de técnica óptica na entrada de um evaporador de uma máquina de refrigeração, dotado de um visor de vidro do tipo tubular. Também foi verificado um escoamento estratificado com ondas para o fluido neste tubo. O valor da fração de vazio obtido experimentalmente foi comparado com valores calculados por meio de várias correlações de fração de vazio provenientes da literatura. Posteriormente, a massa de fluido refrigerante presente no condensador da máquina foi estimada dividindo-se o trocador de calor em vários volumes de controle e aplicando-se as referidas correlações para estimar a fração de vazio e, por conseguinte, a massa de refrigerante em cada um desses volumes. Por fim, a massa de

fluido refrigerante no condensador foi obtida experimentalmente e comparada aos valores calculados com a ajuda das correlações de fração de vazio.

2. BANCADA DE ENSAIOS

A Fig. 1 mostra uma foto da bancada de ensaios usada nesta pesquisa. Ela é uma máquina frigorífica ar-ar de média potência, que opera com refrigerante R12. Ela é constituída por um compressor semi-aberto, uma válvula de expansão termostática e trocadores de calor (evaporador e condensador) tubulares com aletamento do lado do ar. A máquina foi instrumentada de forma que os balanços térmicos sobre o fluido frigorífico em cada componente podem ser facilmente estabelecidos. Termopares do tipo K foram instalados nas entradas e saídas dos componentes. Um rotâmetro para a leitura de vazão mássica foi instalado na entrada da válvula de expansão. Manômetros do tipo Bourdon foram instalados na entrada e saída do compressor para medir as pressões de alta e baixa do circuito. Um visor de vidro foi instalado na entrada do evaporador para inspecionar as condições do escoamento e permitir a medida direta da fração de vazio do escoamento. A máquina foi operada com uma velocidade mássica de refrigerante de $139,2 \text{ kg/s.m}^2$. A Tab. 1 apresenta as temperaturas e pressões do fluido refrigerante em pontos específicos da máquina. Os parâmetros geométricos do condensador foram medidos usando um paquímetro e uma trena. Os valores obtidos são mostrados na Tab. 2.



Figura 1. Vista geral da máquina frigorífica

Tabela 1. Propriedades termodinâmicas do sistema

	Temperatura (°C)	Pressão (kPa)
Entrada do evaporador	7,1	391
Saída do evaporador	11,4	-
Entrada do compressor	24,2	327,1
Saída do compressor	86,6	1269
Entrada do condensador	73,8	1214
Saída do condensador	45,30	1091
Entrada da válvula de expansão	40	1068
Saída da válvula de expansão	7,4	390

Tabela 2. Parâmetros geométricos do condensador

Comprimento dos tubos	$317 \pm 1 \text{ mm}$	Espessura das aletas	$0,50 \pm 0,05 \text{ mm}$
Diâmetro dos tubos	$9,53 \pm 0,05 \text{ mm}$	Número de tubos	30
Diâmetro interno dos tubos	$8,00 \pm 0,05 \text{ mm}$	Distância entre dois tubos paralelos	$25 \pm 1 \text{ mm}$
Altura do condensador	$252 \pm 1 \text{ mm}$	Espessura do condensador	$67 \pm 1 \text{ mm}$
Número de aletas	89	Rugosidade do tubo	$0,0000015 \text{ m}$

3. FRAÇÃO DE VAZIO

A fração de vazio é um parâmetro adimensional definido como a razão entre a área de seção reta de vapor e área total de um fluido em escoamento bifásico. Esse parâmetro encontra aplicações importantes para determinações da queda de pressão, do coeficiente de troca de calor e da massa de fluido frigorífico (Xu, 2014). Devido à importância da fração de vazio, diversas correlações foram desenvolvidas para calcular seu valor. No presente trabalho, as seguintes correlações de fração de vazio foram analisadas: modelo homogêneo, correlação de Zivi (1964), correlação de Domansky & Didion (1983), Correlação de Premoli (1971), Correlação de Hughmark (1962) e Correlação de Rouhani modificada por Steiner (1993).

3.1. Modelo Homogêneo

A Eq. (1) é a expressão do modelo homogêneo para o cálculo da fração de vazio. Esse modelo assume que as fases líquido e vapor estão em equilíbrio térmico e cinético, de modo que o coeficiente de deslizamento (razão entre as velocidades da fase vapor e da fase líquida) é igual a 1. Em geral o modelo homogêneo só funciona bem em regiões próximas ao ponto crítico, para o qual as fases líquido e vapor apresentam massas específicas iguais (Rice, 1987).

$$\alpha = [1 + (1 - x/x)(\rho_l/\rho_v)]^{-1} \quad (1)$$

3.2. Correlação de Zivi

Zivi (1964) propôs um coeficiente de deslizamento γ para escoamentos anulares baseado no princípio de mínima entropia. A Eq. (2) mostra a forma desta correlação. Nessa expressão, x é o título do vapor e ρ_l e ρ_v são as massas específicas das fases líquida e vapor.

$$\alpha = [1 + (1 - x/x)(\rho_l/\rho_v)\gamma]^{-1}; \quad \gamma = (\rho_l/\rho_v)^{1/3} \quad (2)$$

3.3. Correlação de Domansky & Didion

Lockhart & Martinelli (1949) realizaram experimentos em escoamentos bifásicos (ar e água) turbulentos e adiabáticos em tubos horizontais, introduzindo o parâmetro X (Parâmetro de Martinelli), conforme Eq. (3) (μ_l e μ_v são as viscosidades dinâmicas das fases líquida e vapor).

$$X = (1 - x/x)^{0,9}(\rho_v/\rho_l)^{0,5}(\mu_l/\mu_v)^{0,1} \quad (3)$$

Baseados em seus resultados, eles obtiveram uma curva para fração de vazio na forma de ábaco que, posteriormente, foi aproximada por Domanski & Didion (1983) pela Eq. (4).

$$\alpha = (1 + X^{0,8})^{-0,378}; \quad X \leq 10; \quad \alpha = 0,823 - 157 \ln X; \quad X > 10 \quad (4)$$

3.4. Correlação de Premoli

Premoli *et al.* (1971) obtiveram uma correlação de natureza empírica através de testes em várias condições experimentais. A correlação fornece o coeficiente de deslizamento, que pode ser usado da mesma forma que o modelo homogêneo ou a correlação de Zivi (1964). As Eq. (5) e (6) descrevem a correlação.

$$\gamma = 1 + a[y(1 + yb)^{-1} - yb]^{0,5} \quad (5)$$

$$y = (x/1 - x)(\rho_l/\rho_v); \quad a = 1,578Re_l^{-0,19}(\rho_l/\rho_v)^{0,22}; \quad b = 0,0273We_lRe_l^{-0,51}(\rho_l/\rho_v)^{-0,08} \quad (6)$$

O número de Reynolds na fase líquida é dado pela Eq. (7), enquanto o parâmetro de Weber na fase líquida é dado pela Eq. (8), (σ é a tensão superficial do fluido).

$$Re_l = (1 - x)GD_{int}/\mu_l \quad (7)$$

$$We_l = G^2D_{int}/(\sigma\rho_l) \quad (8)$$

3.5. Correlação de Hughmark

Hughmark (1962) desenvolveu uma correlação assumindo o escoamento como uma suspensão de bolhas no líquido, com concentração máxima no centro do tubo e decréscimo nas direções radiais. O valor da fração de vazio é calculado por meio de um fator K_H , baseado na velocidade mássica, que multiplica diretamente o valor da fração de vazio

calculado pelo modelo homogêneo. As Eq. (9) e (10) e a Tab. 3 mostram a correlação (G é a velocidade mássica do fluido, g é a aceleração da gravidade e d é o diâmetro interno do tubo onde o fluido escoar). A Eq. (10) é usada para determinar a fração de vazio, mas, como ela necessita da fração de vazio como entrada, o cálculo implica um processo iterativo para obtenção da fração de vazio.

$$\alpha = [1 + (1 - x/x)(\rho_l/\rho_v)]^{-1} \cdot K_H \quad (9)$$

$$Z = \left[G \cdot d (\mu_l + \alpha(\mu_v - \mu_l))^{-1} \right]^{1/6} \left\{ (g \cdot D)^{-1} \left[Gx(\rho_v a_{hom}(1 - \alpha_{hom}))^{-1} \right]^2 \right\}^{1/8} \quad (10)$$

Tabela 3. Valores de Z e K_H para a correlação de Hughmark (1962)

Z	1,3	1,5	2	3	4	5	6	7	10	15	20	40	70	130
K_H	0,185	0,225	0,325	0,49	0,605	0,675	0,72	0,767	0,780	0,808	0,83	0,88	0,93	0,98

3.6. Correlação de Rouhani modificada por Steiner

Rouhani & Axelsson (1970) propuseram uma correlação para a fração de vazio para escoamentos verticais, baseada no modelo do deslizamento, levando em consideração os efeitos da velocidade mássica, tensão superficial e empuxo. Steiner (1993) *apud* Xu *et al.* (2014) ajustou o parâmetro C_0 da correlação, possibilitando que ela fosse usada em escoamentos horizontais. As Eq. (11) e (12) mostram a correlação de Rouhani modificada por Steiner (1993).

$$\alpha = x\rho_v^{-1} [C_0(x\rho_v^{-1} + (1-x)\rho_l^{-1}) + 1,18(1-x)[g\sigma(\rho_l - \rho_v)]^{0,25}(G\rho_l^{-0,25})^{-1}]^{-1} \quad (11)$$

$$C_0 = 1 + 0,12(1 - x) \quad (12)$$

4. FRAÇÃO DE VAZIO NO EVAPORADOR

A fração de vazio no evaporador foi determinada através das correlações apresentadas anteriormente e confrontada com o valor obtido experimentalmente. Para a medição da fração de vazio, o escoamento na entrada do evaporador foi fotografado, e a imagem foi tratada no software gráfico Tracker[®]. Conhecendo-se o diâmetro externo (valor fácil de ser medido com boa precisão e que foi obtido com um paquímetro de alta precisão), o diâmetro interno do tubo de vidro e a coluna de líquido foram determinados. A Fig. 2 mostra a imagem tratada.

A partir da altura da coluna de líquido, pode-se calcular as áreas de vapor e total e, por conseguinte, a fração de vazio experimental foi determinada em 0,772. A faixa escura entre a região de líquido e vapor consiste é o resultado de uma imagem de refração no vidro e foi considerada a incerteza de medição neste trabalho.

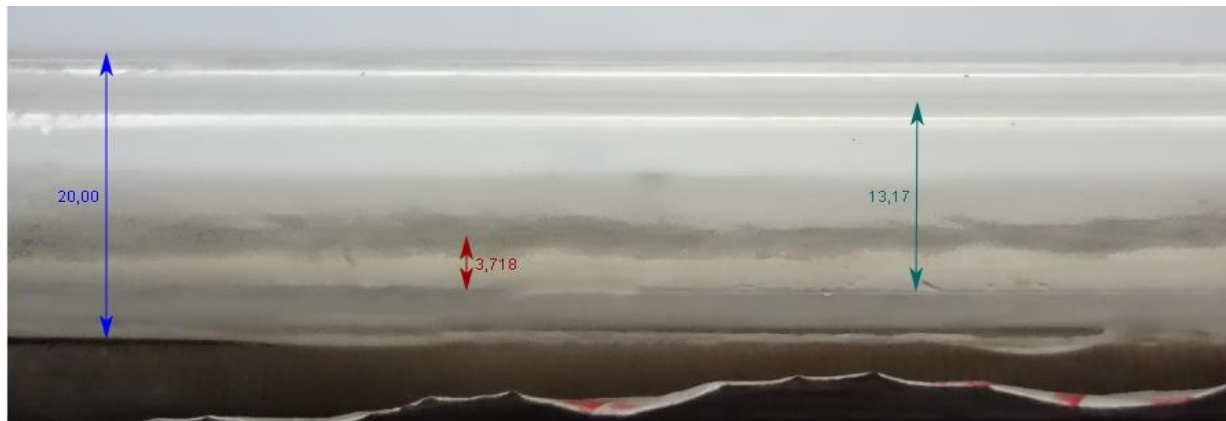


Figura 2. Medidas para a fração de vazio: Diâmetro externo: 20,00 mm; Coluna de líquido: 3,72 mm; Diâmetro interno: 13,17 mm

Foi observado que o escoamento é do tipo estratificado com ondas. A Fig. 3 mostra a carta de Taitel & Dukler (Ghajar, 2005) que representa os diferentes tipos de escoamento. Os parâmetros adimensionais usados nesta carta são T , F , K e X (Parâmetro de Martinelli) e os três primeiros são definidos pela Eq. (13), e o último pela Eq. (3).

$$T = \left[|(dp/dz)|_{SL} ((\rho_l - \rho_v)g \cos \theta)^{-1} \right]^{0,5}; F = u_{SG}(D g \cos \theta)^{0,5}; K = F \cdot Re_{SL}^{0,5} \quad (13)$$

Nestas equações, D representa o diâmetro, u_{sg} representa a velocidade caso apenas a fase de vapor estivesse presente. O valor encontrado para X foi de 0,549 e para K foi de 293, implicando um escoamento do tipo estratificado com ondas, como foi obtido experimentalmente.

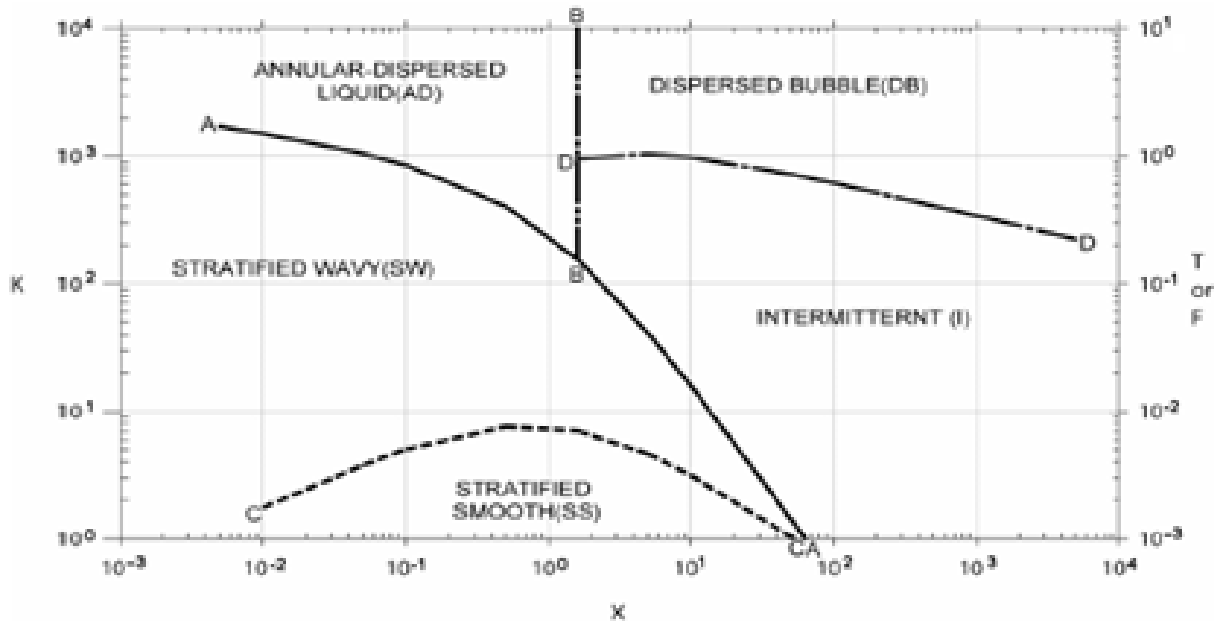


Figura 3. Carta de Taitel & Dukler para escoamento horizontal (Ghajar, 2005)

Em seguida, a fração de vazio foi calculada usando-se as correlações. Os resultados obtidos estão apresentados na Tab. 4. A análise dos resultados indica dois aspectos importantes. O primeiro deles é que o modelo homogêneo fornece um resultado com pouca precisão. Isto já era esperado, pois, como a pressão de evaporação é muito menor que a pressão crítica, a massa específica da fase vapor é muito menor que a da fase de líquido, de modo que não há equilíbrio cinético entre o líquido e o vapor (a velocidade do vapor é muito maior que a do líquido). O segundo ponto importante é que a região escura entre o líquido e vapor gerou grande incerteza experimental. Por isso, não é fácil escolher qual a melhor correlação para a fração de vazio. Mesmo a correlação de Hughmark (1962), cujo valor da fração de vazio distanciou-se mais do resultado experimental, forneceu um valor aceitável dentro da margem do erro experimental.

Tabela 4. Comparação entre o resultado experimental e as correlações de fração de vazio

Correlação	Fração de Vazio	Erro	Erro Percentual
Experimental	0,772	0,134	17,37
Modelo Homogêneo	0,944	0,172	22,26
Zivi	0,811	0,039	4,99
Domanski & Didion	0,834	0,061	7,95
Premoli	0,800	0,028	3,72
Hughmark	0,750	-0,022	-2,89
Rouhani modificada	0,786	0,013	1,74

5. MASSA DE REFRIGERANTE NO CONDENSADOR

A fração de vazio encontra uma de suas maiores aplicações na determinação da massa de refrigerante em escoamentos bifásicos, pois, através de seu conhecimento, é possível determinar a massa específica do fluido. As Eq. (14) e (15) mostram a relação da massa com a massa específica em um escoamento, sendo a Eq. (14) a versão monofásica e a Eq. (15) a versão bifásica (essa última evidencia a importância da fração de vazio). Nessas expressões, A é a área da seção transversal do tubo, L é o comprimento do tubo onde a massa é calculada e dz é um comprimento infinitesimal de tubo.

$$m = A \int_0^L \rho dz \quad (14)$$

$$m = A \int_0^L [\rho_v \alpha + (1 - \alpha) \rho_l] dz \quad (15)$$

A quantidade de fluido refrigerante presente no condensador foi mensurada por pesagem direta, com auxílio de válvulas de fechamento rápido e uma garrafa evacuada. O resultado experimental então foi comparado o resultado estimado pelo uso das correlações de fração de vazio. A Fig. 4 mostra o condensador e as tubulações dentre as quais foi obtida a massa de fluido. Os círculos indicam que as válvulas correspondentes foram fechadas para o procedimento de pesagem.



Figura 4. Condensador e tubos para cálculo de massa de fluido



Figura 5. Garrafa com vácuo, aprisionando o refrigerante do condensador

A pesagem direta do fluido refrigerante se deu através da instalação de uma garrafa evacuada ligada ao condensador. Para a realização do ensaio, a garrafa foi ligada a uma bomba de vácuo e ao condensador. A garrafa evacuada foi mantida em um balde com gelo. Com esse dispositivo instalado, o compressor da máquina foi desligado, e as válvulas indicadas na Fig. 4 foram fechadas, forçando o refrigerante líquido a migrar para a garrafa, onde foi pesado. A Fig. 5 mostra a garrafa sendo gelada. A massa medida foi de 210,9 g (esse valor contempla a massa residual de vapor que ficou retida nas tubulações do condensador, e que foi determinada multiplicando-se a massa específica do vapor pelo volume do condensador).

6. DETERMINAÇÃO TEÓRICA DA MASSA DE FLUÍDO NO CONDENSADOR

Para estimar numericamente a massa de refrigerante, o condensador foi modelado como um tubo reto de 9,51 m, correspondente ao comprimento de todos os trinta tubos que o compõem. As posições de início e final de condensação do R12 foram determinadas considerando-se que os comprimentos das três regiões do condensador (zona de dessuperaquecimento, zona de condensação e zona de sub-resfriamento do R12) se repartiram proporcionalmente às taxas de transferência de calor nessas regiões. Essa hipótese é razoável, pois o coeficiente de troca de calor convectivo externo (lado do ar) é significativamente menor do que o coeficiente interno (lado do R12). Assim, o coeficiente global de troca de calor entre o ar e o R12 é dominado pelo lado do ar, onde o coeficiente de troca de calor é aproximadamente constante ao longo do condensador. Assim, os comprimentos calculados para as regiões de dessuperaquecimento, condensação e sub-resfriamento foram de 1,35 m, 8,51 m e 0,80 m. A temperatura adotada para o cálculo da massa específica do vapor na região monofásica de dessuperaquecimento foi estimada em 63°C (média aritmética entre a temperatura de descarga do compressor e a temperatura de condensação). A temperatura de 43 °C foi adotada para a região de sub-resfriamento usando procedimento semelhante ao anterior. Para a região de condensação, foi assumido que o título varia linearmente com o comprimento. A Tab. 5 mostra os resultados obtidos para a massa de R12 no condensador. A baixa incerteza na massa experimental deve-se à resolução da balança: $\pm 0,1$ g. Certamente, a incerteza da massa experimental é um pouco maior do que esse valor, considerando-se a incerteza da massa de vapor retida no condensador, essa avaliada por meio de cálculo (massa específica do vapor vezes o volume do condensador). Mesmo assim, a incerteza final da massa é baixa, pois o volume do condensador é bem conhecido e a incerteza da massa específica do vapor tem pouca influência no referido cálculo.

Uma análise dos resultados da Tab. 5 mostra que a correlação de Hughmark (1962) é mais precisa para determinar o inventário no condensador. Esta correlação foi validada experimentalmente por outros pesquisadores, como Porto et al. (2013). É interessante observar que, embora as todas as correlações, exceto o modelo homogêneo tenham

permanecido com erro percentual de 5% na medição no evaporador, o cálculo do inventário apresentou erros muito maiores. Isto ocorre

Tabela 5. Comparação da massa de R12 medida com os resultados obtidos com as correlações de fração de vazio

Correlação	Massa de Fluido (g)	Erro (g)	Erro Percentual (%)
Experimental	210,9	0,1	0,00
Modelo Homogêneo	146,6	66,3	31,44
Zivi	189,3	21,6	10,24
Domanski & Didion	159,4	51,5	24,42
Premoli <i>et al.</i>	191,8	19,2	9,10
Hughmark	216,1	-5,2	-2,47
Rouhani modificada	181,8	29,1	13,80

porque no cálculo de massa em um escoamento bifásico, mesmo para correlações de fração de vazio com boa precisão, os erros que aparecem em múltiplos cálculos se propagam. Assim, apenas correlações ótimas precisões geram bons resultados. Além disso, uma correlação pode fornecer boa precisão para certa faixa de título, mas ser imprecisa em outra faixa. A Fig. 6 mostra um gráfico de fração de vazio em função do título para a mesma vazão mássica e para todas as correlações estudadas. Nas regiões para títulos baixos (de 0 até cerca de 20%), todas as correlações (a exceção do modelo homogêneo) fornecem resultados próximos, fato que foi confirmado nos testes com o tubo de vidro do evaporador. No entanto, para títulos maiores, as correlações fornecem resultados significativamente diferentes. Esta diferença implica diferentes resultados para o inventário no condensador quando são usadas diferentes correlações, como está mostrado na Fig. 7, que relaciona a massa de refrigerante no condensador para os diferentes modelos propostos. É importante observar que a massa apresentada nesta figura é diferente da apresentada na Tab. 5, pois neste caso foi considerado apenas a região bifásica do condensador. Os trechos que têm escoamento monofásico (região de dessuperaquecimento, no condensador antes do início da condensação e sub-resfriamento) tiveram a massa calculado em 57,2 g.

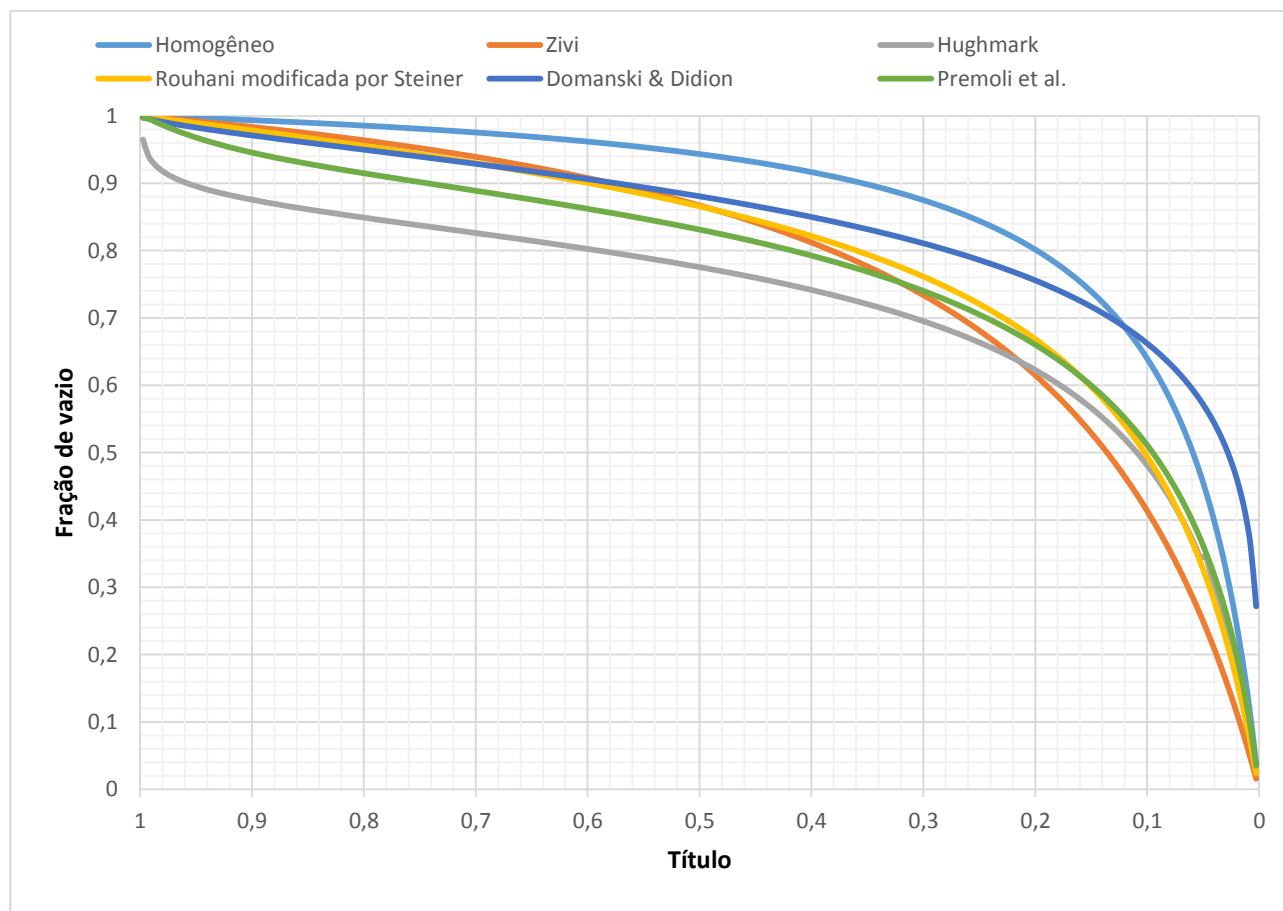


Figura 6. Variação da fração de vazio com o título, para as diferentes correlações

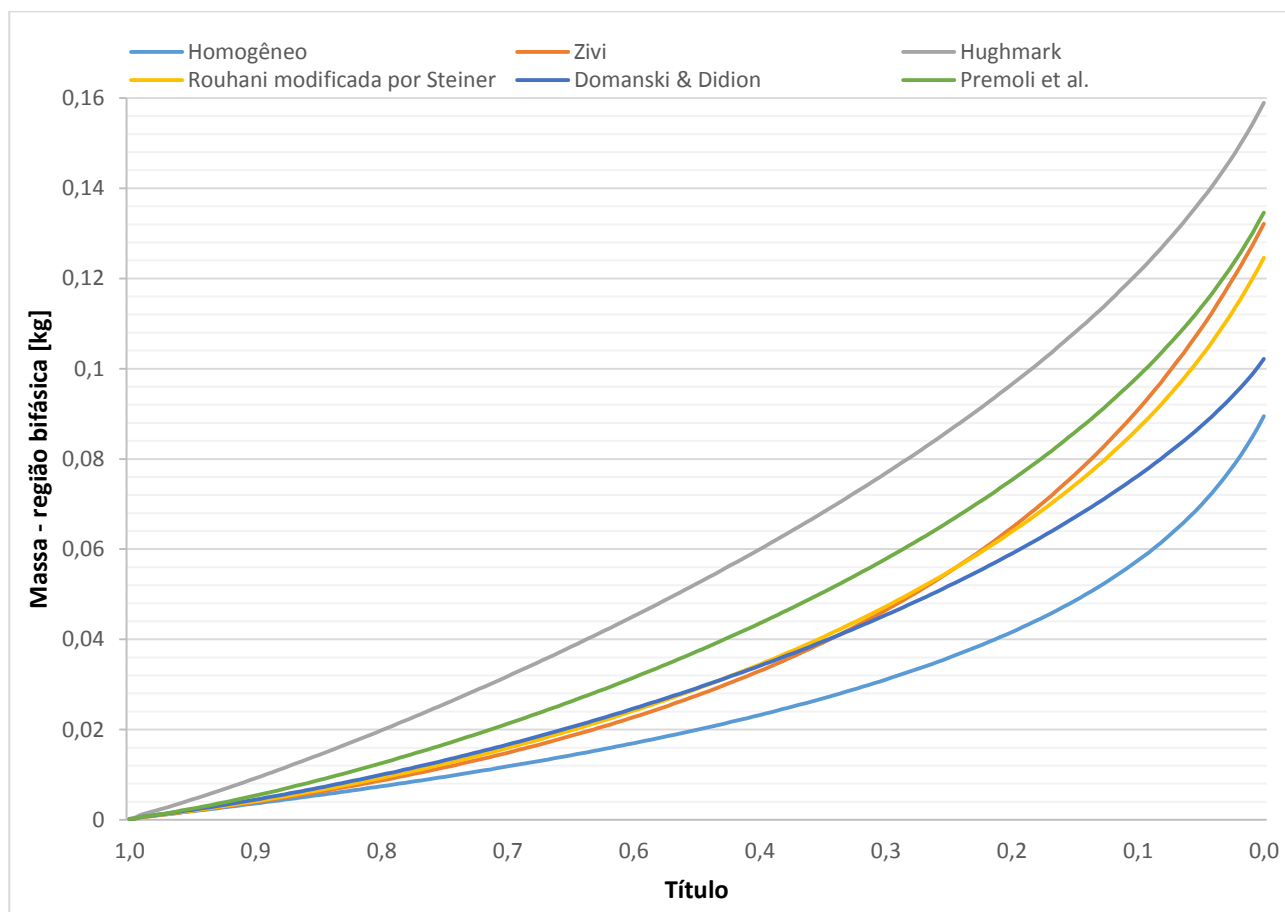


Figura 7. Massa acumulada na região bifásica do condensador

7. COMENTÁRIOS FINAIS

Neste trabalho, a fração de vazio de uma máquina frigorífica ar-ar, operando com fluido R12, foi medida através de um visor tubular de vidro instalado na entrada do evaporador da máquina. O valor medido, 0,772, foi comparado com o valor fornecido por seis correlações clássicas da literatura. As correlações de Zivi (1964), Premoli et al. (1971), Hughmark (1962) e Rouhani modificada por Steiner (1992) forneceram erros menores que 5%.

Em uma etapa, a massa de R12 no condensador da máquina foi determinada experimentalmente, usando-se uma garrafa evacuada e válvulas de fechamento rápido. O R12 foi sugado para a garrafa posta sob uma balança de precisão e o valor medido foi acrescido à massa de vapor retida no condensador (obtida por meio de cálculo). O valor experimental obtido foi de 210,9 g. Esse valor foi então comparado com o valor de massa obtido numericamente através do uso das correlações de fração de vazio. A correlação de Hughmark (1962) forneceu a melhor concordância, com erro de apenas 2,47%, enquanto as correlações de Zivi (1964), Premoli *et al.* (1971) e Rouhani modificada por Steiner (1992) apresentaram resultados com erros da ordem de 10%. As correlações de Domansky & Didion (1983) e modelo homogêneo forneceram resultados piores, com erros da ordem de 30%.

Atualmente, a correlação de Zivi vem sendo muito usada para cálculo de inventários em máquinas de refrigeração (Hermes *et al.*, 2001). Baseado nos resultados obtidos no presente trabalho, sugere-se que a correlação de Hughmark (1962) seja usada para o referido cálculo, pois ela fornece melhor precisão.

8. REFERÊNCIAS

- Domanski, P. & Didion, D., 1983, "Computer modeling of the vapor compression cycle with constant flow area expansion device", NBS Building Science Series 155, Washington D.C., 147 p.
- Ghajar, A. J., 2005, "Non-boiling heat transfer in gas-liquid flow in pipes: a tutorial". Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, Rio de Janeiro, Vol. 27, No. 1, pp. 46-73 Available from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-58782005000100004&lng=en&nrm=iso Access on 02 Apr. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-58782005000100004>.
- Hermes, C.J.L., Melo, C., Negrão, C.O.R., 2001, "Efeito do modelo de fração de vazio na simulação numérica de trocadores de calor com escoamento bifásico", Proceedings of the 16th Brazilian Congress of Mechanical Engineer, Vo. 5, Uberlândia, MG, Brazil, pp. 23-32
- Hughmark, G.A., 1962, "Hold up in gas-liquid flow", Chemical Engineering Progress, Vol. 58, No.4, pp. 62-65

- Lockhart, R.W., Martinelli, R.C., 1949, "Proposed correlation of data for isothermal two-phase, two-component flow in pipes", Chemical Engineering Progress, Vol. 45, No. 1, pp. 39-48.
- Porto, M.P., Koury, R.N.N., Machado, L., 2013, "An alternative method to estimate refrigeration system inventory", Applied Thermal Engineering, Vol. 52, pp. 313-320
- Premoli, A., Francesco, D., Prina, A., 1971, "A dimension correlation for evaluating two-phase mixture density", La Termotecnica, Vol. 25, No. 1, pp. 17-26
- Rice, C.K., 1987, "The effect of void fraction correlation and heat flux assumption on refrigerant charge inventory predictions" ASHRAE Transactions, Vol. 93, Part 1, pp. 341-367
- Rouhani, S. Z., Axelsson, E., 1970, "Calculation of void volume fraction in the subcooled and quality boiling regions", International Journal Heat and Mass Transfer, Oxford, Vol. 13, No. 2, pp. 383-393
- Steiner, D., 1993, "Heat transfer to boiling saturated liquids", VDI-Wärmeatlas (VDI Heat Atlas), Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GCV), Düsseldorf
- Xu, Y., Fang, X., 2014, "Correlations of void fraction for two-phase refrigerant flow in pipes", Applied Thermal Engineering, Vol. 64, pp. 242-251
- Zivi, S.M., 1964, "Estimation of steady-state steam void-fraction by means of the principle of minimum entropy production", Transactions ASME, Journal of Heat Transfer, Series C, Vol. 86, pp. 247-252

9. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EXPERIMENTAL STUDY FOR THE DETERMINATION OF THE INVENTORY OF A CONDENSER OF REFRIGERATION MACHINES

Fernando Neves Quintino dos Santos, fernandonquintino@gmail.com¹

Gleberson Marques Humia, ghumia@ufmg.br¹

Juan Jose Garcia Pabon, langa_27@hotmail.com¹

Hélio Augusto Goulart Diniz, heliougmail@gmail¹

Luiz Machado, luizm@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais – Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha – Belo Horizonte – MG – Brazil
ZIP Code 31.270-901 – Phone +55 (31) 3409-5240

Abstract. The objective of this work was to study the influence of the void fraction in the mass calculation of a refrigerant in two-phase flow inside a condenser. In this work, an air-air cooling machine, charged with refrigerant R12 was tested for void fraction and refrigerant charge studies. The void fraction at the evaporator inlet was measured optically through a glass tube, with the aid of images handled by the software Tracker®. This parameter was compared with that obtained from literature correlations. From the void fraction correlations, it was proposed a method for estimating the mass of refrigerant to the condenser operate in given operating conditions. The method was validated by conference with the mass of fluid present in the condenser, which was determined experimentally by means of quick-closing valves, which serve to trap the refrigerant, which was sucked into an evacuated and then weighed bottle. Hughmark correlation showed the best agreement with the experimental values, with an error less than 5%, is recommended for inventory calculations. The other studied correlations are not recommended for determining the inventory, although they presented good precision for void fraction calculations.

Keywords: void fraction, biphasic flow, condenser, refrigerant charge, refrigeration

Code: CON-2016-0955