

FRAÇÃO DE VAZIO DE UM ESCOAMENTO ÓLEO-REFRIGERANTE

Luiz G. C. Duarte

Centro Federal de Educação Tecnológica da Bahia, Departamento de Tecnologia Mecânica e Materiais, Rua Emídio dos Santos s/n, 40300-010, Salvador, BA

duarte@cefetba.br

Álvaro T. Prata

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, NRVA, 88040-910, Florianópolis, SC

prata@nrva.ufsc.br

***Resumo.** A determinação experimental da fração de vazio de um escoamento bifásico é em alguns casos uma tarefa que exige bastante cuidado, mas que fornece informações valiosas sobre o escoamento. Quando não se deseja interferir no escoamento com a introdução de sondas ou quando uma modificação na tubulação torna a medição inviável, a opção pela utilização de sensores capacitivos pode ser uma ótima alternativa, principalmente pelo baixo custo e simplicidade relacionados à técnica. Apresentamos neste trabalho resultados da fração de vazio, medida segunda a técnica capacitiva, de um escoamento bifásico composto por uma mistura de óleo lubrificante e fluido refrigerante R-12. A seção de testes por onde a mistura escoou era composta por um tubo de vidro com aproximadamente dez metros de comprimento e diversos parâmetros como vazão, temperatura na entrada da seção de testes e solubilidade podiam ser controladas de modo a permitir a obtenção de uma quantidade satisfatória de dados experimentais que foram muito importantes no entendimento do escoamento estudado. Os resultados mais relevantes são aqui mostrados e discutidos.*

***Palavras chave:** Sensores capacitivos, calibração, fração de vazio, escoamento bifásico*

1. Introdução

As previsões da fração de vazio e dos regimes de um escoamento bifásico são essenciais para o cálculo da queda de pressão e da transferência de calor em um escoamento líquido-gás, e a caracterização deste tipo de escoamento é dependente dos parâmetros citados. A determinação da fração de vazio também pode ser de grande importância no controle de processos em plantas de produção química, transporte de misturas óleo-gás, equipamentos de transferência de calor onde há mudança de fase e nos sistemas de resfriamento de reatores. A fração de vazio de um escoamento bifásico (líquido-gás) é definida como a razão entre o volume de gás e o volume total da mistura em um comprimento finito da tubulação.

Na medição da fração de vazio as técnicas não intrusivas têm se tornado cada vez mais avançadas, mas as técnicas invasivas ainda têm os seus usos justificados em diversas situações práticas. Quando as dimensões da seção de testes de um experimento são reduzidas, o uso de técnicas não intrusivas é quase uma exigência no sentido de preservar as características inerentes ao escoamento. Técnicas invasivas pontuais como as que utilizam sondas de fibra ótica ou anemômetros de fio quente estão relacionadas com o distúrbio local do campo de escoamento.

As principais dificuldades envolvidas em medições de escoamentos bifásicos relacionam-se com a variação temporal e espacial, muito significantes, da distribuição de fases e do perfil de velocidades. Com isto, a depender da situação, algumas técnicas perdem totalmente a sua credibilidade dando lugar àquelas que melhor se adaptam ao caso estudado. Um caso de interesse na área de refrigeração doméstica e condicionamento de ar envolve a caracterização de um escoamento no interior de um tubo capilar. Em um circuito fechado como este não se conhece as velocidades das fases líquida e gasosa, e portanto a utilização das correlações disponíveis na literatura requer algum tipo de aproximação ou hipótese para que a determinação da fração de vazio possa ser feita através delas.

O atual trabalho estuda o escoamento de uma mistura em que a fração de óleo é superior a do refrigerante, pois o interesse maior está voltado para os efeitos da mistura na lubrificação, ao contrário dos trabalhos que normalmente estudam a contaminação do fluido refrigerante por óleo, com uma concentração máxima de 5%, já que estão interessados neste caso em estudar as trocas de calor no evaporador e condensador. Existem diversas razões para se estudar a mistura de óleo e refrigerante, e qualquer que seja a motivação do trabalho rapidamente será notada a ausência de informações e estudos mais direcionados a este tipo de mistura, principalmente se pensarmos em termos de trabalhos experimentais.

Diversos trabalhos em que a fração de vazio é um parâmetro que deve ser necessariamente determinado têm referenciado a técnica capacitiva como uma das melhores soluções para os casos estudados. Comparada a outras técnicas, a sua concordância tem sido muito satisfatória, o que somado a outras vantagens intrínsecas a estes sensores cria um grande potencial para a sua aplicação em experimentos. A larga utilização deixa claro que a correta e cuidadosa

implementação da técnica produz respostas eficazes e adequadas a diversas situações.

O principal objetivo deste trabalho foi aprofundar o estudo do escoamento da mistura bifásica de óleo e refrigerante através da utilização de sensores capacitivos na medição da fração de vazio. Até a presente data não foram encontrados relatos da utilização da técnica capacitiva em tubos de diâmetro tão pequeno quanto o utilizado neste trabalho ou aliada a algum tipo de escoamento de misturas com características semelhantes à mistura de óleo e refrigerante. Esta ausência de informações e trabalhos tornou-se uma forte motivação para este trabalho.

2. Técnica capacitiva

Uma das formas para se determinar a fração de vazio de um escoamento multifásico é através da medição da impedância elétrica. Nestes casos para simplificar a aplicação da técnica, a determinação da fração de vazio ocorre segundo uma medição em que predomina um dos componentes da impedância elétrica. Caso seja mais prático utilizar-se eletrodos externos à seção de testes dá-se preferência ao predomínio da capacitância, técnica capacitiva.

Para o perfeito entendimento desta técnica, inicialmente são revistas algumas definições segundo Saraiva (1988).

Dielétrico é o material isolante no qual parte da energia requerida para o estabelecimento do campo elétrico através dele não retorna ao sistema quando o campo é removido. O vácuo é o único dielétrico perfeito. Uma propriedade dos dielétricos é a permissividade dielétrica, que é a capacidade do dielétrico em permitir o adensamento do fluxo de campo elétrico. A constante dielétrica ou a permissividade relativa é a relação entre a capacitância observada quando o dielétrico é o vácuo e a capacitância observada quando o dielétrico é o material estudado.

A capacitância medida entre dois eletrodos é função do dielétrico entre eles. O caráter elétrico capacitivo surge com a aproximação de dois materiais condutores quaisquer (eletrodos), isolados entre si por um dielétrico (tubo + fluido que escoar). A capacitância é a capacidade deste conjunto em armazenar cargas elétricas.

A medida obtida não é uma medida local, sendo considerada a fração de vazio média em um pequeno trecho de tubo. Este valor médio pode ainda ser obtido de forma não instantânea, sendo portanto uma média das observações ao longo de um intervalo de tempo. O método é útil também na identificação das transições de regimes de escoamento monitorando-se flutuações do sinal de saída dos sensores.

Na Fig. 1 é vista uma típica configuração de um esquema montado para determinar-se a fração de vazio a partir de sensores capacitivos. Na verdade, o que está sendo medido é a impedância (resistência, capacitância e indutância) em uma condição em que a capacitância domina amplamente.

O primeiro cuidado a ser tomado é garantir o domínio da capacitância sobre os demais componentes da impedância. Isto é feito utilizando-se alguns artifícios que têm dado bons resultados em experimentos deste tipo, Xie et al (1990) e Elkow e Reskallah (1997). É aconselhável que no projeto de sensores capacitivos sejam previstos um isolamento entre fluido e eletrodos, uma adequada faixa de frequência e uma proteção contra a influência de campos magnéticos, permitindo que o domínio da capacitância produza dados coerentes com o fenômeno estudado.

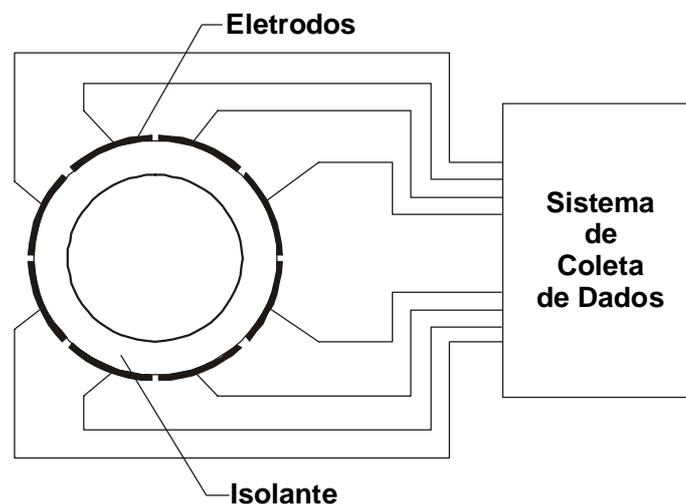


Figura 1. Configuração com sensores capacitivos - Adaptado de Werther (1997)

A capacitância medida entre dois eletrodos instalados em uma seção não condutiva de um tubo onde o escoamento é bifásico pode ser correlacionada com a fração de vazio média desta seção, Abdul-Razzak et al (1995). Chang et al (1984) mostraram que a citada correlação é aproximadamente linear para escoamentos estratificado e anular, enquanto que para os demais regimes a curva de calibração é um pouco diferente, principalmente para escoamentos com bolhas. Uma calibração se faz necessária para que os valores da capacitância medidos sejam correlacionados com a fração de vazio. Diversas técnicas podem ser utilizadas na calibração, como válvulas de fechamento rápido, ultra-som e raios gama. Normalmente a calibração é estática e deve-se atentar para os efeitos decorrentes do regime, temperatura e vazão mássica do escoamento.

3. Escoamento estudado

A bancada em que os sensores foram implementados é descrita em detalhes no trabalho de Duarte (2002). A seção de testes era composta por um tubo de vidro com 3 mm de diâmetro interno e 8 mm de diâmetro externo com um comprimento de aproximadamente 10 m. Uma mistura saturada de óleo SUNISO 1GS e refrigerante R-12 escoava por este tubo enquanto a aquisição da fração de vazio ocorria em três pontos distintos do tubo. O escoamento da mistura ocorre por diferença de pressão entre os dois vasos principais que integram a bancada e que são interligados pelo tubo de vidro que compõe a seção de testes. As características construtivas do sensor capacitivo utilizado nas medições da fração de vazio deste trabalho são discutidas em detalhes no trabalho de Duarte (2002).

O escoamento que foi estudado nesta bancada teve características que tornaram o estudo ainda mais interessante, seja pela diversidade de regimes de escoamento que foram observados, seja pelas opções de controle que a bancada proporcionou que diretamente mudavam as características observadas em cada ensaio ou seja por situações inesperadas que se refletiram no escoamento que se desenvolvia no tubo de vidro. De um modo geral nos ensaios realizados o sub-resfriamento da mistura, realizado antes que a mesma entrasse na seção de testes, foi escolhido de maneira a impor um escoamento monofásico pelo sensor 1 localizado a 2,22 m da entrada da seção de testes. A depender das pressões dos tanques, e portanto da vazão, a nucleação podia acontecer antes ou depois do sensor 2, localizado a 5,25 m da entrada da seção de testes, sendo que no sensor 3, localizado a 8,24 m da entrada da seção de testes, quase sempre se obtinha um padrão de escoamento tipo “bubbly flow”. O que diferiu um ensaio do outro foi a forma que se deu a nucleação e a maneira como o crescimento aconteceu a partir daí. A nucleação aconteceu de forma contínua variando o número de bolhas geradas, ou seja, houve casos em que apenas uma bolha nucleava em intervalos de tempos periodicamente constantes e casos em que mais bolhas eram verificadas em intervalos de tempo não muito iguais.

Uma outra observação importante a ser feita diz respeito aos sítios de nucleação de bolhas. Ao contrário do que acontece em experimentos que estudam escoamentos bifásicos em que o potencial gerador da nucleação é o aquecimento das paredes, neste trabalho a nucleação de bolhas ocorreu pela queda de pressão. Observando o escoamento desde o início da seção de testes foi visto que a nucleação de bolhas sempre ocorria em uma das tomadas de pressão que havia no tubo de vidro de 1,5 em 1,5 m aproximadamente, e a partir daí havia o crescimento das mesmas e a passagem para outros regimes de escoamento.

4. Resultados

A eficiência dos sensores pode ser observada através da Fig. 2, onde a fração de vazio medida, α , pelo sensor 2 é mostrada. Nesta figura há uma concentração dos pontos experimentais em torno dos valores 0,03 e 0,05 que também foi verificada durante os experimentos pela passagem de slugs com tamanhos aproximadamente constantes. Dois ou três comprimentos distintos foram verificados durante este ensaio. Os dados desta figura são também mostrados na Fig. 3 sob a forma de um gráfico de frequência em que as faixas de fração de vazio que possuem as maiores concentrações de dados são $0,02 < \alpha < 0,03$ e $0,05 < \alpha < 0,06$. W é a solubilidade, \dot{m} é a vazão mássica e PVAP é a pressão no vaso de alta pressão da bancada.

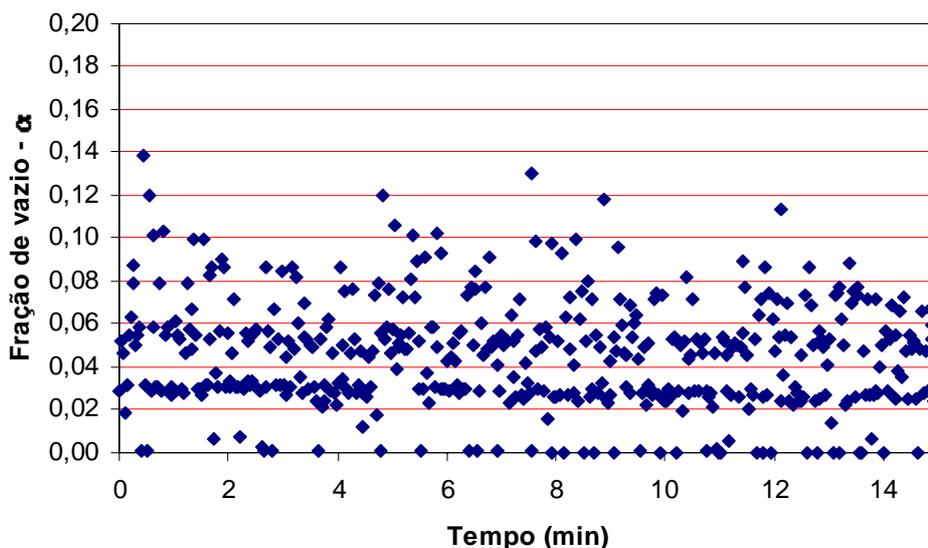


Figura 2. Fração de vazio (Sensor 2, $W=0,26$, $\dot{m}=12\text{Kg/h}$, PVAP=3bar)

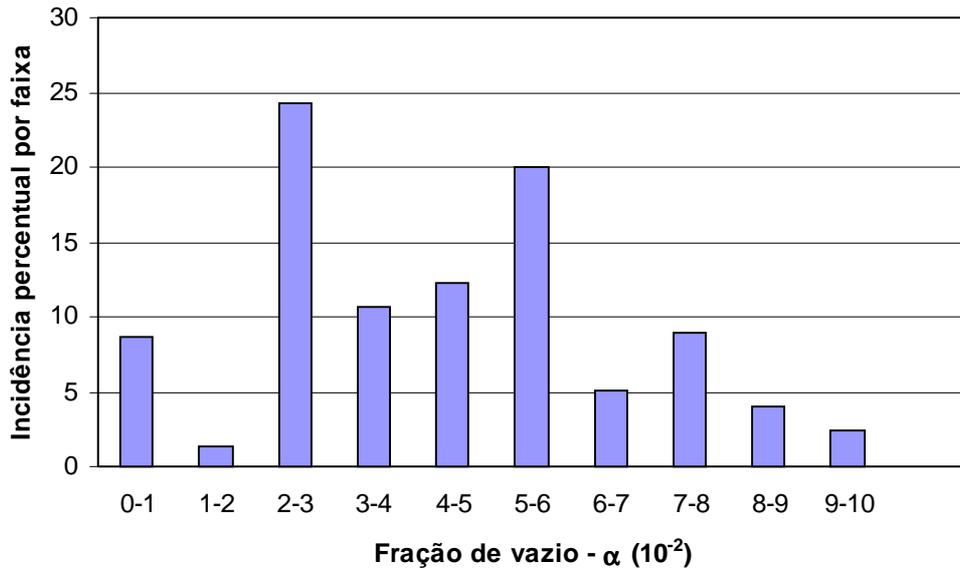


Figura 3. Distribuição da fração de vazio por faixas (Sensor 2, $W=0,26$, $\dot{m}=12\text{Kg/h}$)

Nas figuras 4, 5 e 6 a fração de vazio medida pelos três sensores aparece segundo um caso em que pelo sensor 1 havia a passagem de conjuntos de até 20 a 50 bolhas por vez o que proporcionou uma fração de vazio média da ordem de 0,3 com instantes em que o valor absoluto foi maior que 0,5. O crescimento das bolhas fez com que no sensor 2 houvesse uma concentração das leituras em torno de 0,6 e um pouco superior no sensor 3 onde houve a formação de espuma. A linha horizontal representa a média dos resultados para a fração de vazio.

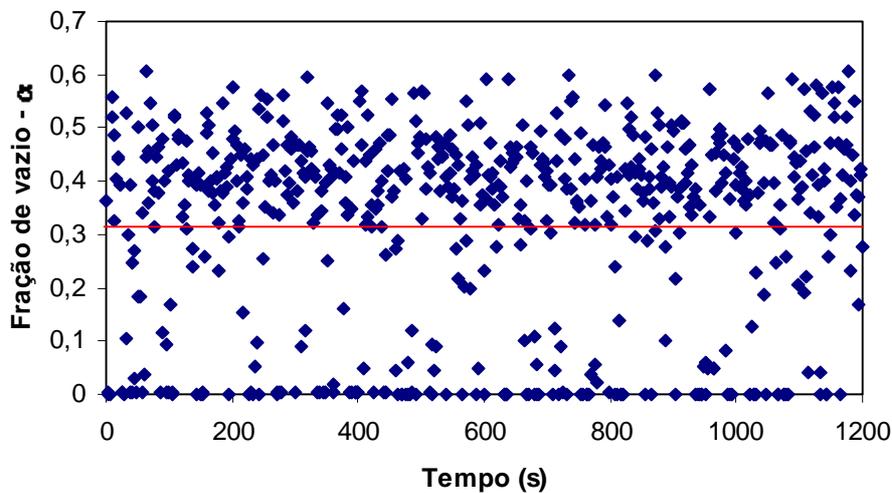


Figura 4. Fração de vazio (Sensor 1, $W=0,14$, $\dot{m}=5,4\text{Kg/h}$)

O fato curioso é que não só neste mas também nos demais ensaios que envolveram o sensor 3 a fração de vazio máxima atingida não excedeu muito o valor de 0,7. Tem sido aceito por todos aqueles que realizam pesquisas com escoamentos bifásicos valores empíricos para delimitar a existência ou não de formação de espuma. Um dos autores mais respeitados e cujos trabalhos são bastante citados como referência sobre o escoamento de espuma é Calvert, que afirma que a espuma é definida como uma dispersão de bolhas de gás em um líquido. Segundo ele às vezes não é muito óbvio dizer se um material bifásico é ou não espuma, Calvert (1990).

A espuma é caracterizada por valores da fração de vazio que variam entre 0,5 e 0,97 sendo que o valor tido como mais comum é 0,7. Se este último valor fosse por nós assumido como indicador da formação de espuma, no escoamento visto na Fig. 6 não teria havido formação da mesma. Vale a pena enfatizar que observando o escoamento no tubo de vidro houve a certeza de que pelo sensor 3 havia o escoamento de espuma.

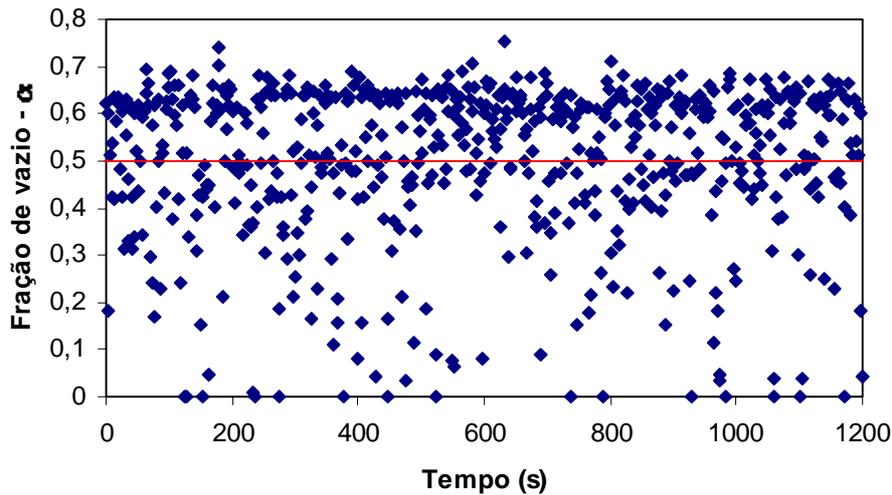


Figura 5. Fração de vazio (Sensor 2, W=0,14, \dot{m} =5,4Kg/h)

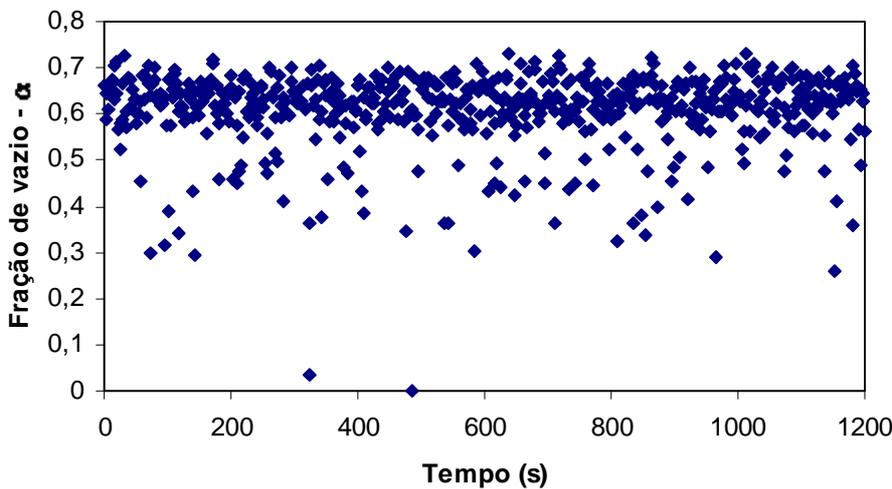


Figura 6. Fração de vazio (Sensor 3, W=0,14, \dot{m} =5,4Kg/h)

Partindo do princípio de que houve a formação de espuma, a única explicação plausível para não se ter registrado valores superiores a 0,7 é a película de líquido que permaneceu sobre a parede do tubo. Se esta película tivesse uma espessura de 0,16 mm o valor de $\alpha = 0,8$ já não poderia ser atingido. Predominou no sensor 3 na maioria dos ensaios o regime “bubbly-flow” característico da formação de espuma. É bem verdade que o valor do filme de líquido devia ser menor que 0,16 mm, e segundo a definição clássica que correlaciona a espessura da camada de líquido, δ , seria necessário se conhecer o diâmetro médio das bolhas que compõem a espuma para estimar melhor esta espessura.

Segundo Calvert (1990) a correlação é dada por:

$$\delta = \frac{2d}{3(E - 1)} \tag{1}$$

onde d é o diâmetro médio das bolhas e E é a razão entre o volume da espuma e o volume de líquido.

Independentemente disto havia a convicção de que o escoamento em espuma tinha sido atingido na maioria dos ensaios, apesar de que sem o sub-resfriamento imposto à mistura o valor da fração de vazio medida pelo sensor 3 poderia ser maior.

Concluiu-se com estas indagações e pelos valores da fração de vazio dos ensaios que neste experimento, por conta da película de óleo que sempre esteve presente na parede do tubo, a formação de espuma acontece para valores menores que 0,7 comumente citado como valor mais comum para a fração de vazio de um escoamento em espuma.

Mesmo quando havia uma grande aceleração do escoamento e a passagem de bastante refrigerante pela seção onde o sensor 3 estava instalado, devido às características do escoamento que desenvolveu-se na seção de testes era impossível que em algum instante a estrutura do escoamento fosse tal que houvesse a retirada de grande parte da película de óleo seguida pela passagem de espuma com fração de vazio superior a 0,7.

A Fig. 7. e a Fig. 8 referem-se a um mesmo ensaio em que o sub-resfriamento da mistura permitiu que um escoamento monofásico estivesse presente no sensor 1. Com uma escala reduzida na Fig. 7 é vista a variação no sinal de resposta do sensor quando a fração de vazio no volume de controle medido era constante. Apesar de todos os cuidados tomados durante o projeto, confecção e montagem dos sensores, pequenas flutuações no sinal deles seriam admissíveis. No entanto, a flutuação vista na Fig. 7 é totalmente creditada às oscilações da temperatura que ocorrem na seção de testes em função da temperatura do laboratório. Na Fig. 8 é visto o comportamento da temperatura medida por um termopar situado imediatamente antes do sensor 1 e, comparando-se a disposição dos pontos experimentais das duas figuras, percebe-se que eles têm uma disposição semelhante sugerindo a dependência entre as variáveis.

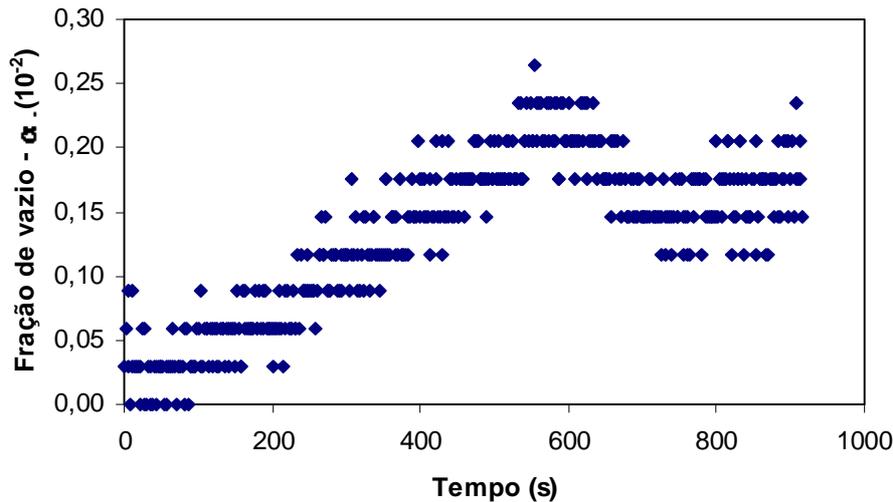


Figura 7. Fração de vazio (Sensor 1, $W=0,14$, $\dot{m} = 10,0\text{Kg/h}$)

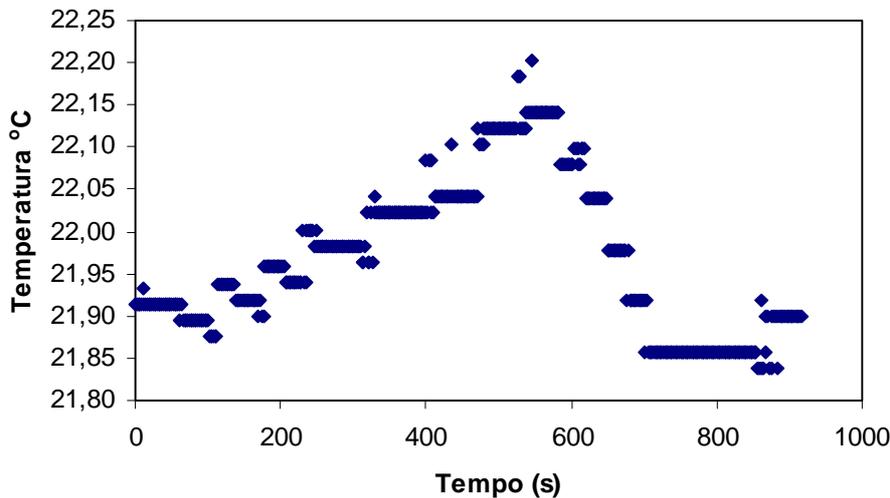


Figura 8. Temperatura do termopar 3 ($W=0,14$, $\dot{m} = 10,0\text{Kg/h}$)

Na Fig. 9 são vistas algumas imagens registradas do escoamento com um sistema PIV que encontrava-se acoplado à bancada quando da realização dos experimentos. Com esta figura fica mais fácil de entender as características particulares do escoamento da mistura estudada. Vê-se por estas figuras que as situações que foram observadas, e das quais foram feitas as medições da fração de vazio, eram situações em que não havia um regime de escoamento bem definido. Isto se refletiu nas oscilações da fração de vazio observadas nos ensaios.

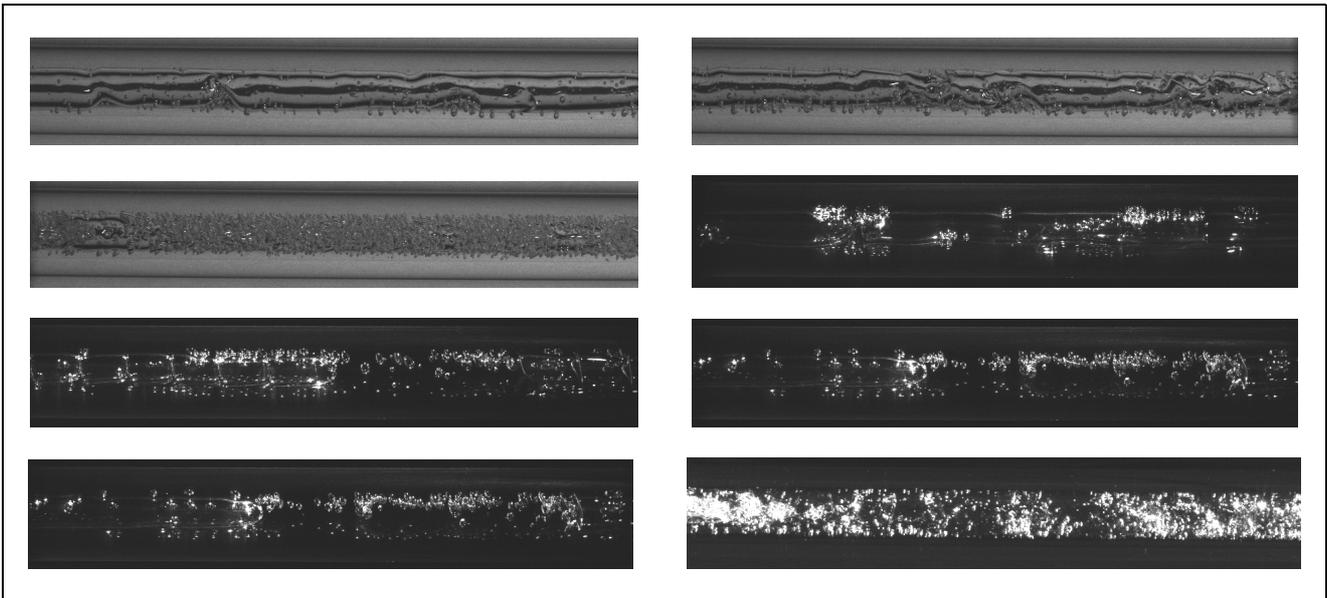


Figura 9. Fotos do escoamento

5. Influência de alguns parâmetros do escoamento

5.1. Vazão

Nas figuras 10 e 11 gráficos da fração de vazio em função da vazão mássica ilustram o efeito deste último parâmetro sobre a fração de vazio. Nestes gráficos, três ensaios podem ser observados para três valores distintos da vazão mássica. Cada valor da vazão mássica representa um ensaio. Deste modo verificou-se experimentalmente o aumento da fração de vazio quando há aumento da fração mássica, aumento que foi mais facilmente constatado no sensor três, já que o aumento da queda de pressão causado pelo aumento da vazão foi menos sentido nos outros sensores devido ao sub-resfriamento imposto ao escoamento que fez com que a nucleação acontecesse em uma mesma tomada de pressão independente da vazão estudada. *Tsat* é a temperatura final de saturação da mistura no vaso de alta pressão.

Grando (2001) utilizou modelos para simular o escoamento da mesma mistura utilizada no nosso trabalho e também constatou a mesma dependência entre as variáveis, enfatizando que outras variáveis são afetadas pelo aumento da vazão e que a fração de vazio foi a que menos variou.

Pelos ensaios experimentais pôde-se verificar que o efeito sobre a fração de vazio é maior em vazões mais elevadas quando o crescimento das bolhas é favorecido.

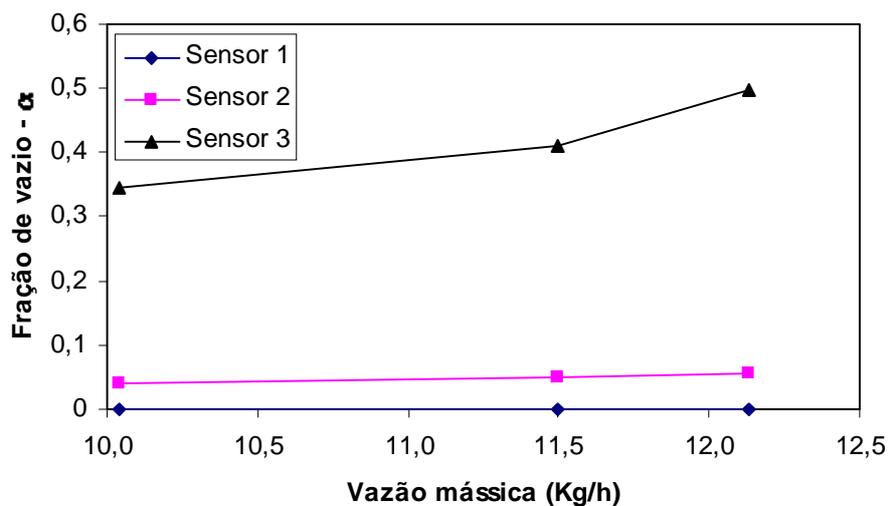


Figura 10. Fração de vazio em função da vazão ($W=0,234$, $PVAP=3\text{bar}$, $T_{sat}=23^{\circ}\text{C}$)

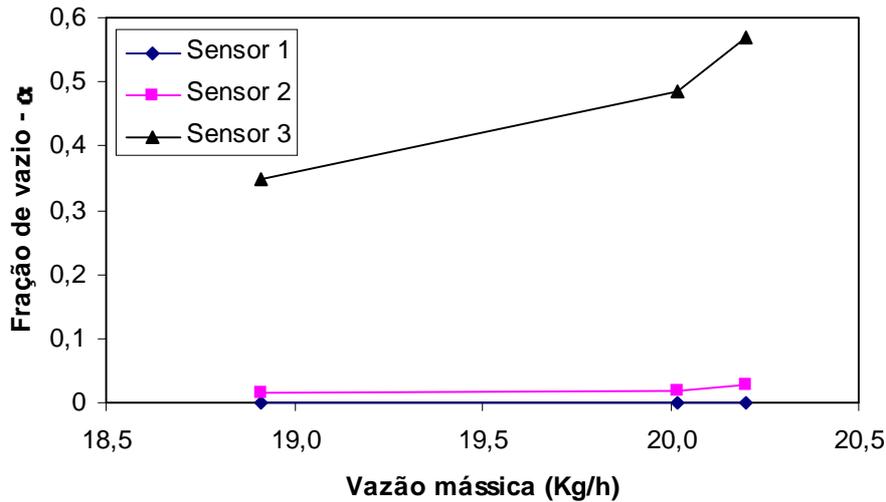


Figura 11. Fração de vazio em função da vazão ($W=0,382$, $PVAP=4\text{bar}$, $T_{sat}=22^{\circ}\text{C}$)

5.2. Sub-resfriamento

A Fig. 12 mostra com clareza o comportamento da fração de vazio com relação a uma variação do sub-resfriamento da mistura óleo-refrigerante. A mistura saturada, em equilíbrio, contida no vaso de alta pressão circula por um trocador de calor antes de entrar na seção de testes. Neste trocador a mistura cede calor ao fluido de um banho termostático que circula em contra-corrente. 8 ensaios, em que a temperatura do banho foi progressivamente aumentada, são vistos na Fig. 12 onde o aumento da fração de vazio ocorre para um aumento da temperatura do banho, ou seja, para uma diminuição do sub-resfriamento. O eixo das abcissas representa a temperatura da mistura na entrada da seção de testes.

Com o sub-resfriamento há uma tendência com que o início da nucleação ocorra em posições mais distantes da entrada da seção de testes, e com isto a fração de vazio no fim da mesma se reduz.

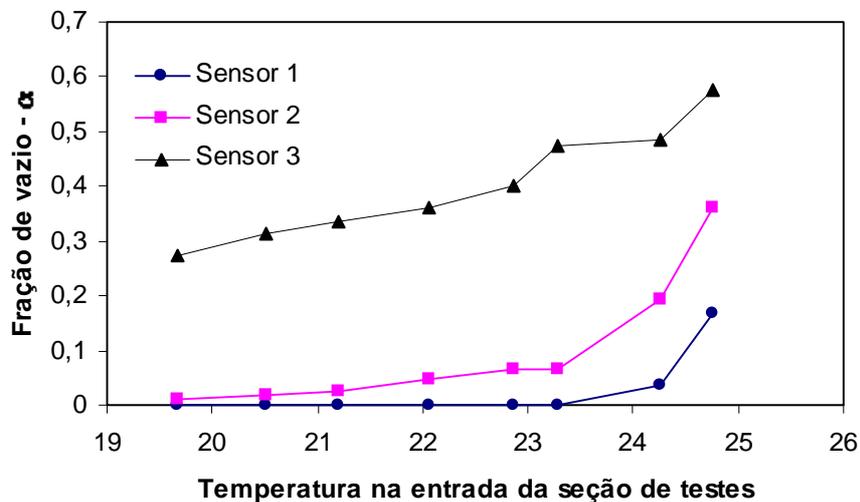


Figura 12. Fração de vazio em função da temperatura de entrada ($W=0,24$, $PVAP=3\text{bar}$, $T_{sat}=22,5^{\circ}\text{C}$)

É interessante notar nesta figura que o efeito sempre esteve presente nos sensores dois e três, e o aumento mais acentuado da fração de vazio ocorreu quando a mistura atingiu $23,5^{\circ}\text{C}$, um pouco acima da temperatura de saturação da mistura, T_{sat} , que foi de $22,5^{\circ}\text{C}$. No início da seção de testes acreditava-se que os valores indicados pelos termopares pudessem estar acima dos valores reais do escoamento devido à espessura de parede e influência da temperatura externa sobre o tubo.

5.3. Solubilidade

Um aumento da fração mássica de refrigerante causa uma diminuição da fração de vazio. Esta conclusão foi tirada através da observação das figuras 13 e 14 que mostram três ensaios distintos cada uma. Torna-se necessário fazer alguns

comentários para explicar melhor a conclusão acima. Se o aumento da fração mássica ocorre para uma mesma pressão na entrada da seção de testes há também um aumento da fração de vazio, pois há neste caso um aumento da queda de pressão propiciando um início precoce da nucleação e um maior trecho de escoamento bifásico, Grando (2001), tratando de misturas fora do estado de saturação.

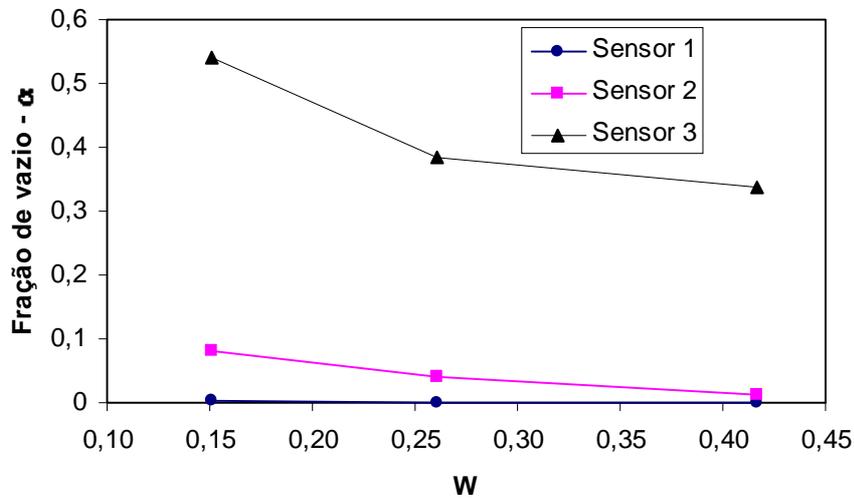


Figura 13. Fração de vazio em função da solubilidade ($\Delta P=1,5\text{bar}$, $T_{\text{sat}}=20^{\circ}\text{C}$)

Nos ensaios vistos nas figuras 13 e 14, e nos demais ensaios estudados, a mistura encontrava-se saturada no interior do vaso de alta pressão e o aumento da fração mássica de refrigerante só era conseguido com o aumento da pressão neste vaso quando a temperatura era mantida constante, conforme Fig. 15. Na Fig. 13, por exemplo, a pressão no vaso de alta foi de 2 bar para $W=0,15$, 3 bar para $W=0,26$ e 4 bar para $W=0,42$, mas a temperatura de saturação foi de 20°C em todos os três ensaios. A diferença de pressão entre os vasos, ΔP , foi de 1,5 bar.

Analisando o aumento da solubilidade e conseqüentemente da pressão para misturas saturadas, encontra-se a explicação para a diminuição da fração de vazio na redução da viscosidade sofrida pela mistura. Com o aumento da pressão há um aumento da densidade da fase gasosa, diminuindo o volume ocupado e o crescimento da fração de vazio.

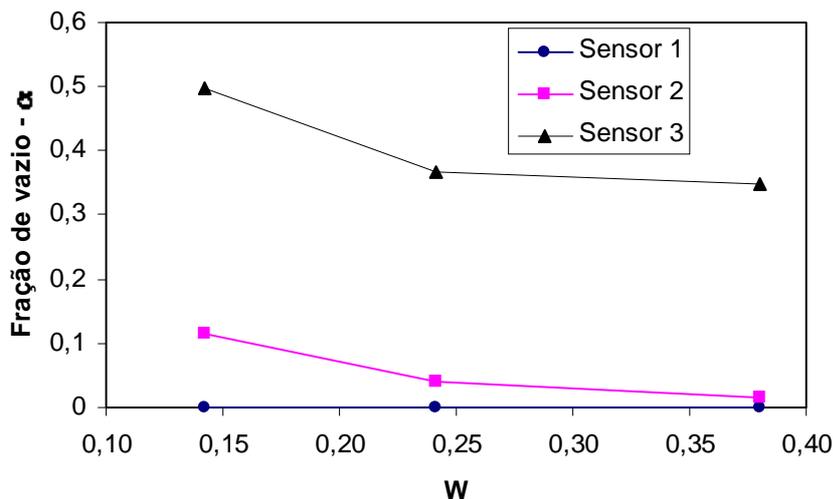


Figura 14. Fração de vazio em função da solubilidade ($\Delta P=1,5\text{bar}$, $T_{\text{sat}}=22^{\circ}\text{C}$)

Na Fig. 16 é visto que Grando (2001) chegou à mesma conclusão utilizando simulação numérica. Nesta figura a temperatura de entrada utilizada na simulação foi de 20°C e a vazão mássica foi de 7,5 Kg/h. Deverá ser notado também que o aumento da solubilidade nesta figura está diretamente relacionado com o aumento da pressão de entrada, P_e , considerando que a simulação ocorreu para misturas saturadas. Portanto, aumentando-se a pressão de entrada de uma mistura saturada, e por conseguinte a sua solubilidade, verifica-se uma diminuição da fração de vazio.

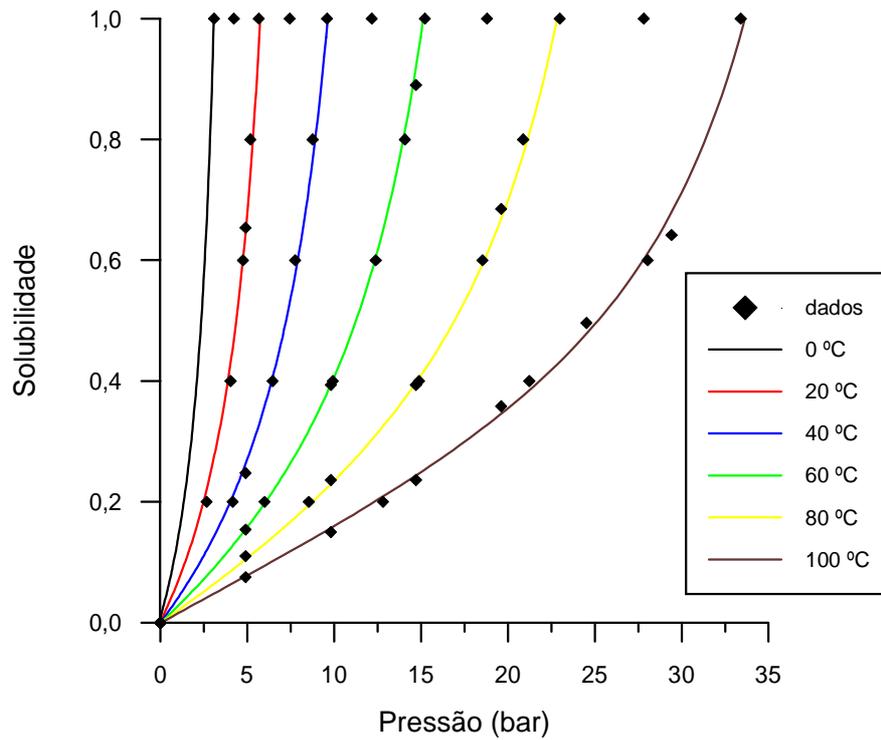


Figura 15. Solubilidade do refrigerante R-12 em óleo mineral SUNISO 1GS - Adaptado de Lacerda (2000)

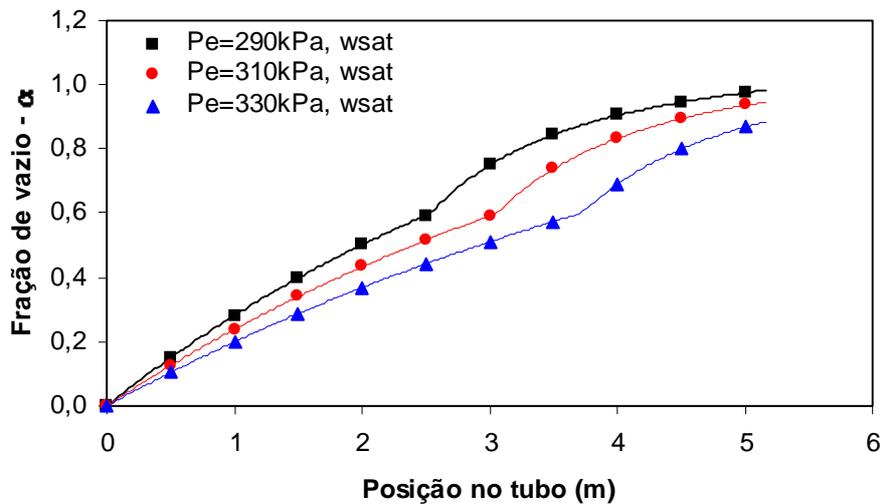


Figura 16. Influência da solubilidade na fração de vazio – Grando (2001)

6. Conclusões

Foram realizados inúmeros ensaios experimentais em que a medição da fração de vazio foi registrada enquanto demais variáveis eram controladas pelo sistema de aquisição de acordo com a situação de interesse, visando compreender melhor o escoamento da mistura estudada. Os resultados obtidos mostraram um bom comportamento dos sensores capacitivos. Como o tubo da seção de testes era de vidro foi possível observar o escoamento ao mesmo tempo em que os valores da fração de vazio eram mostrados na tela do sistema de aquisição, e com isto pôde-se verificar que os sensores sempre percebiam a passagem de bolhas. A flutuação no sinal de saída era proporcional ao tamanho das bolhas ou “slugs” que atravessavam o sensor. Os sensores foram construídos de modo a perceberem pequenas variações na composição dielétrica do volume de controle estudado, o que foi constatado em ensaios realizados em que uma pequena bolha atravessava os sensores. Este fato em conjunto com a resposta linear dos sensores, devido ao seu cuidadoso projeto, proporcionou resultados confiáveis.

O objetivo principal do trabalho que era o de realizar a medição da fração de vazio do escoamento de uma mistura composta por óleo lubrificante e fluido refrigerante foi completamente atingido. O desafio em se conseguir realizar a

medição em um tubo de diâmetro tão pequeno, por onde escoava uma mistura com características pouco encorajadoras à utilização da técnica, foi vencido e além dos dados experimentais que serão de grande utilidade na continuação do estudo de misturas deste tipo ficou a certeza de que a técnica capacitiva é uma ótima alternativa para a obtenção de resultados significativos da fração de vazio.

Apesar dos resultados terem sido bastante animadores alguns detalhes tiraram o brilho do trabalho. O principal deles diz respeito ao número de sensores utilizados. Uma sugestão deste estudo segue na direção da escolha de um circuito eletrônico para a medição capacitiva de baixo custo que seja imune, ou pelo menos seja pouco influenciado, às capacitâncias parasitas para que um número maior de sensores possa ser implementado buscando também a opção de realizar a medição simultânea em todos os sensores.

As características da mistura e do escoamento da mesma que foram observadas durante todo o trabalho impossibilitaram que a detecção dos regimes de escoamento fosse feita através da observação da flutuação da fração de vazio, devido à dispersão dos resultados obtidos em uma faixa muito ampla da fração de vazio. Este tipo de experimento já foi realizado antes com sensores capacitivos, mas os autores normalmente utilizam misturas mais favoráveis principalmente no que diz respeito à observação de regimes de fácil identificação visual.

7. Referências

- Abdul-Razzak, A., Shoukri, M. and Chang, J. S., 1995, "Characteristics of Refrigerant R-134A Liquid-Vapor Two-Phase Flow in a Horizontal Pipe", ASHRAE Transactions, vol. 1, pp. 953-964.
- Duarte, L. G. C., 2002, "Medição da Fração de Vazio em Tubos de Pequeno Diâmetro", Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 200 pp.
- Elkow, K. J., Reskallah, K. S., 1997, "Void Fraction Measurement in Gas-Liquid Flow Under 1 - g and μ - g Conditions Using Capacitance Sensors", International Journal of Multiphase Flow, vol. 23, Nº 5, pp. 815-829.
- Saraiva, D. B., Materiais Elétricos, 1988, Ed. Guanabara Koogan S. A., 1ª edição.
- Werther, J., 1997, "Measurement Techniques in Fluidized Beds", Proceedings of the 4th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Bruxelas, pp. 1885-1905.
- Chang, J. S., Girard, R., Raman, R., Tran, F. B. P., 1984, "Measurement of Void Fraction in Vertical Gas-Liquid Two-Phase Flow by Ring Type Capacitance Transducers", In Mass Flow Measurements, New York: ASME Press, pp. 93-99.
- Xie, C. G., Stott, A. L., Plaskowski, A., Beck, M. S., 1990, "Design of Capacitance Electrodes for Concentration Measurement of Two-Phase Flow", Measurement Science and Technology, vol. 1, pp. 65-78.
- Calvert, J. R., 1990, "Pressure Drop for Foam Flow Through Pipes", International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 11, pp. 236-241.
- Grando, F., P., 2001, "Modelagem Computacional do Escoamento Bifásico com Formação de Espuma de uma Mistura de Óleo Lubrificante e Fluido Refrigerante em Dutos Retos", Dissertação de Mestrado, UFSC.

VOID FRACTION OF AN OIL-REFRIGERANT FLOW

Luiz G. C. Duarte

Federal Center of Technological Education of Bahia, Department of Mechanical and Materials Technology, Emídio dos Santos Street s/n, 40300-010, Salvador, BA

duarte@nrva.ufsc.br

Álvaro T. Prata

Federal University of Santa Catarina, Department of Mechanical Engineering, NRVA, 88040-910, Florianópolis, SC

prata@nrva.ufsc.br

Abstract. *The experimental void fraction determination of a biphasic flow is sometimes very hard and careful, but get valuable information about the flow. When no flow interference by probes is desire or when a layout change makes the measurement very difficult, capacitive sensors are a great alternative, especially because of low coast and simplicity related to this technique. In this work void fraction data of an oil-refrigerant mixture flow are shown. The test section where the mixture flows is a 10 m glass tube and several parameters like mass flow, temperature and solubility were controlled to get many data as possible that was very important to understand the flow studied. The best results are shown and discussed here.*

Key words. Capacitive sensors, calibration, void fraction, multiphase flow.