

## CALIBRAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS PARA A MEDIÇÃO DA FRAÇÃO DE VAZIO EM ESCOAMENTOS BIFÁSICOS

**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](mailto:duarte@cefetba.br)

**Álvaro T. Prata**

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

[prata@nrva.ufsc.br](mailto:prata@nrva.ufsc.br)

**Resumo.** A maior virtude de um sensor capacitivo é a qualidade da sua curva de calibração. Esta deve ser capaz de correlacionar com extrema fidelidade os dados de capacitância e outras variáveis de interesse fazendo do sensor uma poderosa ferramenta no estudo de escoamentos multifásicos. Diversos são os procedimentos adotados na calibração de sensores capacitivos, e pode-se notar que quase a totalidade deles demonstra uma intrínseca preocupação com os padrões de escoamento. É mais do que sabido que o sinal de resposta de um sensor capacitivo, para determinado valor fixo de um parâmetro estudado, pode variar quando se altera o regime de escoamento. Este trabalho apresenta e discute a busca por um sensor indiferente às variações no regime de escoamento através de uma revisão de trabalhos anteriores e a apresentação da metodologia utilizada na calibração de sensores aplicados na medição da fração de vazio de um escoamento bifásico cujo regime predominante era o “bubbly flow”. O fator predominante para a linearidade da curva de calibração é a geometria adotada que também determina a maior ou menor dependência com o regime.

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

### 1. Introdução

A utilização de sensores capacitivos, sobretudo para a medição da fração de vazio, tem sido cada vez mais freqüente. Um ponto crucial que pode determinar o sucesso na aplicação da técnica capacitiva reside na calibração realizada com os sensores capacitivos. Inúmeras são as técnicas que podem ser empregadas nesta calibração e cada uma delas apresenta alguma característica que limita a sua utilização. Algumas destas técnicas serão descritas e discutidas a seguir identificando-se as suas potencialidades e finalmente será mostrada a alternativa utilizada para fazer a calibração de sensores capacitivos utilizados na medição da fração de vazio do escoamento de uma mistura óleo-refrigerante.

### 2. Técnicas de calibração

#### 2.1. Válvulas de fechamento rápido (Quick-closing-valves)

Quando é possível fazer um “bypass” em um trecho da tubulação da seção de testes, a utilização de válvulas de fechamento rápido, conhecidas na literatura como “quick - closing valves”, com atuadores controlados por solenóides, possibilitam o aprisionamento de uma parte do fluido que escoava em uma tubulação transparente limitada por duas válvulas. Utilizando-se válvulas de três vias, ao mesmo tempo em que o aprisionamento é efetuado, o fluxo é desviado através do “bypass”. Uma escala acoplada ao tubo permite que seja identificado o nível de líquido no trecho e com isto é obtida a fração de vazio.

A técnica é falha caso o aprisionamento do fluido não ocorra em um trecho vertical, pois diminui-se a exatidão da medida. Se as fases não se separam rapidamente, permanecendo a presença de bolhas ou a formação de espuma, fica difícil obter-se uma medida confiável no trecho observado, já que as propriedades do fluido mudarão com o tempo.

O diâmetro da tubulação também limita a possibilidade de uso desta técnica para tubos de diâmetro muito pequeno. O fechamento não instantâneo das válvulas, 0,2 segundo conforme Kockum e Jerniqvist (1998), pode resultar em um distúrbio do escoamento, o que é mais uma fonte de incerteza.

Elkow e Reskallah (1996) utilizaram sensores capacitivos na determinação da fração de vazio de um escoamento bifásico. Válvulas de fechamento rápido – QCV também foram utilizadas na mesma determinação e como fonte de dados para calibração. A distância entre as válvulas era de 1,4 m e a faixa de fração de vazio estudada foi  $0,1 < \alpha < 0,9$  devido ao volume localizado no interior das válvulas que não pôde ser monitorado visualmente. Os dados obtidos com as válvulas mostraram boa concordância com valores obtidos através de um densímetro gama.

## 2.2. Ultra-som

Se o regime predominante no escoamento é o anular ou o estratificado pode-se fazer uso de sensores ultrasônicos para realizar a medição da fração de vazio ou a calibração de alguma outra técnica que se deseje utilizar. Já que normalmente há uma variação da composição das fases em um escoamento é mais comum a utilização destes sensores para uma calibração estática. A partir da determinação do tempo de propagação das ondas ultrasônicas nos meios, da espessura de parede do duto e das velocidades do som na parede e no líquido pode-se facilmente determinar o nível de líquido contido no tubo, ou seja, a fração de vazio. A grande vantagem desta aplicação está no fato de que não é necessário trabalhar com tubos transparentes e os sensores são normalmente portáteis o que facilita o seu uso em locais distintos do laboratório de uma universidade.

Abdul-Razzak et al (1995) fizeram a medição da fração de vazio de um escoamento bifásico de R-134a utilizando um densímetro gama e sensores capacitivos obtendo ótima concordância entre as duas técnicas. Neste trabalho eles realizaram a calibração da técnica capacitiva utilizando QCV e a calibração do densímetro gama foi feita através de sensores ultrasônicos para situações estáticas de regime estratificado. O nível de líquido presente na seção de testes podia ser controlado e os resultados obtidos foram satisfatórios.

## 2.3. Moldes

Quando se esgotam as alternativas para realizar-se calibrações dinâmicas, ou quando existem impedimentos financeiros ao uso de outras técnicas para a etapa de calibração de sensores capacitivos, alguns autores buscam na fabricação de pequenos moldes a solução para seus problemas. A idéia é simples e bastante prática. Moldes que simulam os diversos regimes que se deseja estudar são fabricados de um material que possua as mesmas características dielétricas do fluido que escoar pela seção de testes. Estes moldes são introduzidos na seção de testes e medições capacitivas são realizadas para se efetuar a calibração. A fração de vazio referente aos moldes pode ser obtida por pesagem ou através das dimensões dos moldes.

Chun e Sung (1985) encontraram diferentes curvas de calibração para diferentes tipos de materiais utilizados nas simulações de regimes de escoamento. O trabalho deles, no entanto, não deixa muito claro como foram os cuidados tomados quanto à calibração, principalmente no que diz respeito ao uso de materiais com mesma constante dielétrica.

## 2.4. Fontes radioativas

Não há dúvida que quanto maior a tecnologia envolvida em um processo, maior deve ser a sua confiabilidade. Por isto mesmo o uso de fontes radioativas para a obtenção da fração de vazio é um sinal de qualidade dos resultados apresentados. Abdul-Razzak et al (1985) mostraram que o princípio da técnica está na medição da atenuação dos feixes radioativos emitidos por uma fonte. O número de fontes e detectores utilizados acrescenta rapidez e possibilita que uma imagem da seção transversal estudada seja mais facilmente determinada. Um algoritmo é utilizado para determinar a fração de vazio ou a distribuição das fases na seção estudada.

O ponto fraco ou o maior empecilho na utilização radioativa está no alto custo e às vezes no tamanho do equipamento que impede a realização das calibrações fora de um laboratório, já que normas de segurança devem ser atendidas. Os resultados obtidos com a técnica são bastante confiáveis e o número de trabalhos que referenciam esta técnica como padrão para a calibração de sensores ilustra bem a qualidade obtida com a mesma.

## 2.5. Calibração estática, calibração dinâmica e regimes de escoamento

Qualquer que seja o método utilizado para realizar a calibração dos sensores capacitivos deve-se sempre estar atento ao efeito causado sobre os resultados finais quando a calibração é estática. Por questões de praticidade é comum a realização de calibrações deste tipo com o fluido parado no interior do tubo ou com a utilização de moldes. Quando QCV estão presentes a necessidade em se obter uma rápida separação das fases está mais ligada aos efeitos causados sobre as propriedades do fluido do que com a não linearidade da curva de calibração. Quando esta não linearidade está presente é provável que a calibração estática acrescente erros adicionais à medição capacitiva. Ma et al (1991) encontraram uma diferença máxima de 20% entre calibrações dinâmicas e estáticas de um sensor capacitivo.

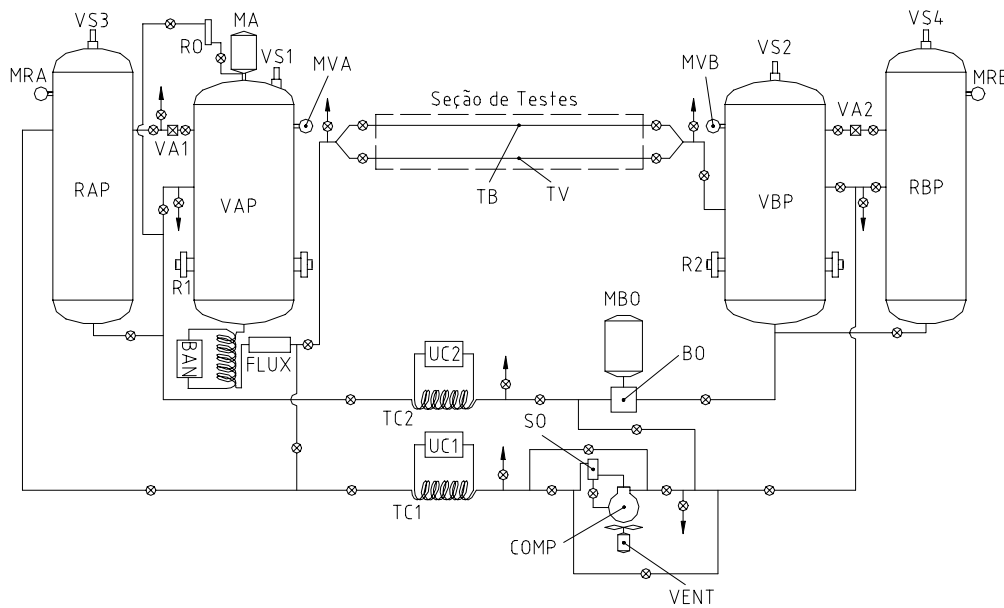
A não linearidade é normalmente relacionada com a variação dos regimes de escoamento presentes em um escoamento. O sensor capacitivo pode, e na maioria das vezes o faz, responder de forma diferente a uma mesma fração de vazio de escoamentos com diferentes padrões de escoamento. Isto, por sua vez, está relacionado com a uniformidade do campo elétrico que pode ser melhorada com uso de eletrodos de guarda. Quando esta uniformidade não acontece o campo tende a concentrar-se em regiões privilegiadas do volume de controle estudado o que faz com que determinadas disposições das fases proporcionem a super ou subestimação da fração de vazio medida.

Kok et al (1995) descreveram de forma muito clara como ocorre a dependência da capacitância com os padrões de escoamento. Segundo eles dois fenômenos causam esta dependência: o efeito causado pelo posicionamento de uma bolha entre os eletrodos e a interação entre as cargas de cada uma das bolhas. O primeiro efeito pode ser eliminado através de um projeto elaborado dos sensores e desconsiderado quando as medidas realizadas representam uma média de resultados. O segundo efeito, mais difícil de ser eliminado, tem na uniformidade do campo elétrico o fator crucial para o seu desaparecimento. Kok et al (1995) sugeriram que quando forem utilizados mais do que dois eletrodos a

medição de todas as capacitâncias elementares entre eles eliminaria o problema, pois seria criado um campo elétrico rotativo o que atenuaria o efeito da não uniformidade do campo elétrico. É uma boa solução para dutos de tamanho considerável. Neste trabalho o diâmetro externo do tubo da seção de testes, 8 mm, impossibilitaria esta opção o que obrigou o projeto dos sensores a contemplar a uniformidade do campo.

### 3. Escoamento estudado

O objetivo principal do questionamento sobre os métodos de calibração de sensores capacitivos foi o de aprimorar a técnica para que a mesma pudesse ser aplicada para a medição da fração de vazio em uma bancada existente. A bancada em que os sensores foram implementados é descrita em detalhes no trabalho de Duarte (2002) e um esquema da mesma é apresentado na Fig. 1. 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 através de três sensores capacitivos idênticos.



VAP – Vaso de alta pressão	RBP – Reservatório de baixa pressão	R1, R2 – Resistências elétricas
VBP – Vaso de baixa pressão	RAP – Reservatório de alta pressão	COMP – Compressor
TB – Tubo bundy	FLUX – Medidor de fluxo de massa	BAN – Banho termostático
TV – Tubo de vidro	SO – Separador de óleo	RO – Reservatório de óleo
BO – Bomba de óleo	UC1, UC2 – Unidades condensadoras	TC1, TC2 – Trocadores de calor
VS1, VS2, VS3, VS4 – Válvulas de segurança	MRB, MRA, MVB, MVA – Manômetros	VA1, VA2 – Válvulas solenóides
MA – Motor do agitador	MBO – Motor da bomba de óleo	VENT – Ventilador do compressor

Figura 1. Bancada experimental

A medição da fração de vazio foi feita com sensores capacitivos desenvolvidos para a bancada mostrada na Fig. 1 cuja descrição detalhada encontra-se no trabalho de Duarte e Prata (2000). O escoamento da mistura ocorre por diferença de pressão entre os dois vasos principais que compunham a bancada e que são interligados pelo tubo de vidro que compõe a seção de testes.

A Fig. 2 mostra o sensor capacitivo utilizado neste trabalho já implementado na bancada. A carcaça de cobre vista na figura tem a função de realizar a proteção eletromagnética do sensor e os dois conectores BNC também vistos na figura são usados para conexão entre eletrodos do sensor e o medidor capacitivo HP 4284A. Este medidor foi, por sua vez, conectado a um sistema de aquisição que realiza o registro das medições da fração de vazio e das demais variáveis envolvidas no experimento.

A utilização de fontes radioativas, alternativa preferencial, para a medição da fração de vazio visando a calibração dos sensores capacitivos esbarrou nas limitações financeiras relativas à aquisição de um equipamento deste tipo e na impossibilidade em transportar-se toda a bancada experimental até um local em as medições pudessem ser feitas. As características do escoamento desaconselhavam o uso de ultra-som, já que seria difícil controlar o nível de líquido no

interior do tubo e acreditava-se que uma película de líquido permanecesse na parede do tubo após a passagem do escoamento. O uso de moldes também seria prejudicado pelo diminuto diâmetro da seção de testes que dificultaria a confecção dos mesmos. Restou inicialmente a opção das válvulas de fechamento rápido .

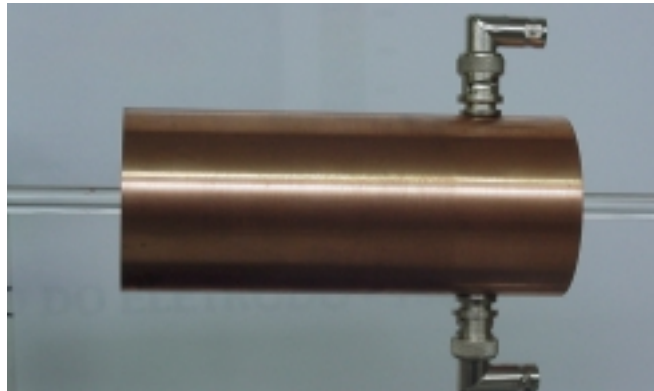


Figura 2. Sensor capacitivo

#### 4. Calibração realizada

Para o escoamento descrito anteriormente tentou-se inicialmente realizar a calibração através de válvulas de fechamento rápido, mas não se obteve sucesso pois neste tipo de escoamento as fases não se separam facilmente e em alguns casos não se separam nunca. A válvula solenóide situada na entrada da seção de calibração transformou-se em um ponto em que havia forte nucleação de bolhas modificando totalmente o escoamento que até então vinha sendo observado durante outros ensaios naquele trecho de tubo. Um outro problema de menor extensão foi o aquecimento das válvulas solenóides.

Facilmente os valores da fração de vazio máximos e mínimos eram obtidos preenchendo o tubo de vidro com a mistura líquida saturada de refrigerante e realizando vácuo nesta tubulação. Restava, porém, identificar o comportamento da curva de calibração neste intervalo. Um teste realizado durante os ensaios experimentais demonstrou que a resposta do sensor é uniforme ao longo do seu comprimento. Esta observação foi baseada na observação da passagem de uma bolha de aproximadamente 2mm de diâmetro pelos sensores. É vista na Fig. 3 o resultado desta observação para o sensor 2.

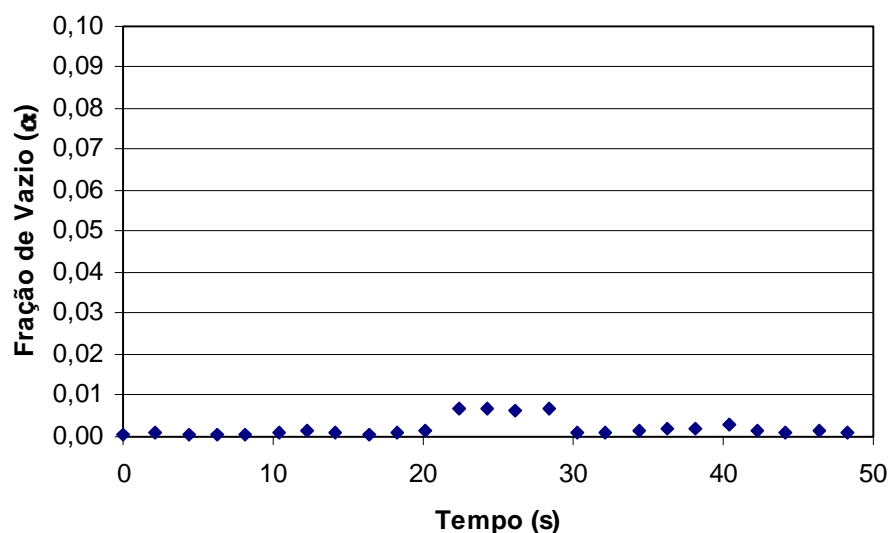


Figura 3. Passagem de uma bolha pelo sensor 2

O ensaio foi útil também na verificação da montagem do sensor, pois pôde-se constatar que qualquer que seja a posição da bolha no seu interior a resposta é a mesma. Apesar de simples este ensaio é muito interessante e traz informações que validam a hipótese sobre a capacidade dos sensores capacitivos em medir capacitâncias com valores muito pequenos.

Observa-se nesta figura que o sensor foi sensível à passagem de uma bolha que tinha aproximadamente 2mm de diâmetro, o que representou uma variação de  $2 \times 10^{-3}$  pF ou aproximadamente 0,60% da faixa estudada. Fazendo uma

analogia com o volume de gás que a bolha representa em relação ao volume total supostamente medido pelo sensor capacitivo, temos que o volume da bolha representa 0,59% do volume total estimado, o que é um resultado encorajador apesar da incerteza e simplicidade na obtenção destes valores. Esta observação sugeriu que o sensor, que já havia demonstrado independência da vazão para a medição capacitiva, teria uma resposta linear para a capacitância medida. Para confirmar esta hipótese resolvemos realizar uma calibração dinâmica utilizando as flexibilidades que a bancada oferecia. A opção em se realizar uma calibração estática foi evitada. Diversos são os trabalhos em que sensores capacitivos de placas côncavas apresentaram linearidade da curva de calibração, como por exemplo Lowe e Rezkallah (1999). Em particular o nosso sensor, além de possuir as características de sensores com respostas lineares, tinha um comprimento elevado que foi o fator preponderante para afirmar que a sua resposta seria linear.

A idéia da nova calibração foi a de preencher o tubo com a mistura na fase líquida permitindo uma leitura para a fração de vazio mínima,  $\alpha = 0$ , e lentamente forçar a passagem de uma bolha de aproximadamente 20cm de comprimento (slug) pelos sensores, ou partir da situação em que  $\alpha \cong 1$ . Desta maneira pôde-se observar o comportamento do sensor para um aumento linear da fração de vazio com o tempo no volume de controle estudado, considerando que a velocidade desta bolha era aproximadamente constante e os efeitos relacionados com a interação entre as duas fases podiam ser desprezados, mesmo sabendo que provavelmente haveria um ligeiro crescimento desta bolha enquanto estivesse se deslocando no interior do tubo. A situação reversa também foi testada quando a partir de uma situação em que praticamente não havia líquido no tubo escoava-se a mistura líquida com baixíssima velocidade a ponto de conseguirmos realizar a leitura capacitiva para o decréscimo da fração de vazio. Outras situações investigadas estiveram relacionadas com a observação da capacitância para misturas com diferentes solubilidades o que não alterou os resultados aqui apresentados. Os resultados foram muito satisfatórios e são apresentados na Fig. 4 e na Fig. 5 para dois dos três sensores construídos. Nos testes de calibração descritos acima não foi possível realizar uma leitura para a fração de vazio máxima,  $\alpha = 1$ , dado que uma fina película de líquido sempre permanecia sobre a parede do tubo. Como conhecíamos o valor da capacitância para este valor da fração de vazio notamos que, sendo a resposta do sensor linear, poderíamos calcular a espessura da camada de líquido que permanecia sobre a parede ou estimá-la em um escoamento do tipo anular ou slug-flow.

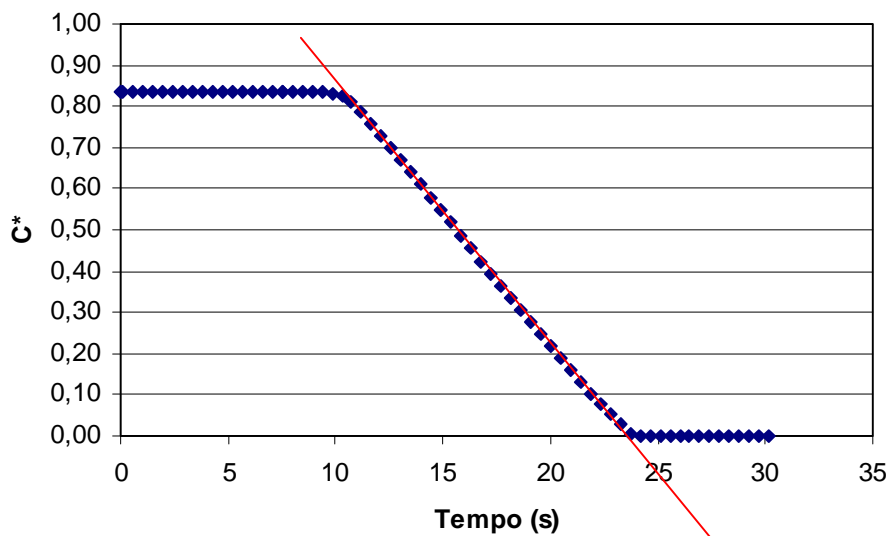


Figura 4. Linearidade de resposta do sensor 1

Na Fig. 5 encontra-se uma destas calibrações, em que fica muito claro que a resposta do sensor é quase que perfeitamente linear, o que só não aconteceu devido à falta de controle sobre a velocidade da bolha que era observada pelo sensor. Acredita-se que esta linearidade da curva de calibração está relacionada com o comprimento do transdutor que impede que seja realizada uma medição local da fração de vazio, mas sim uma média do volume de controle entre os eletrodos.

Como os valores extremos da capacitância medida já eram conhecidos, bastava apenas determinar uma curva de calibração que se ajustasse entre estes pontos segundo um ajuste linear. É necessário se observar que ao efetuar o ajuste linear de uma curva entre os dois pontos extremos da curva de calibração, e adotar esta curva como sendo a curva de calibração do sensor não se está arbitrando ou se impondo uma curva hipotética entre dois pontos conhecidos. Existe agora a certeza de que o sensor possui uma resposta linear e portanto apenas dois pontos são necessários para que se determine a curva de calibração. Apesar disto pontos intermediários da curva, obtidos de forma estática com o tubo na vertical, permitiram verificar a concordância com o procedimento descrito acima.

Elkow e Reskallah (1996) construíram também sensores com eletrodos tipo placas côncavas e, além de propiciarem um aumento significativo da sensibilidade em relação a sensores helicoidais, conseguiram linearidade na calibração para todos os regimes e fluxos de massa estudados.

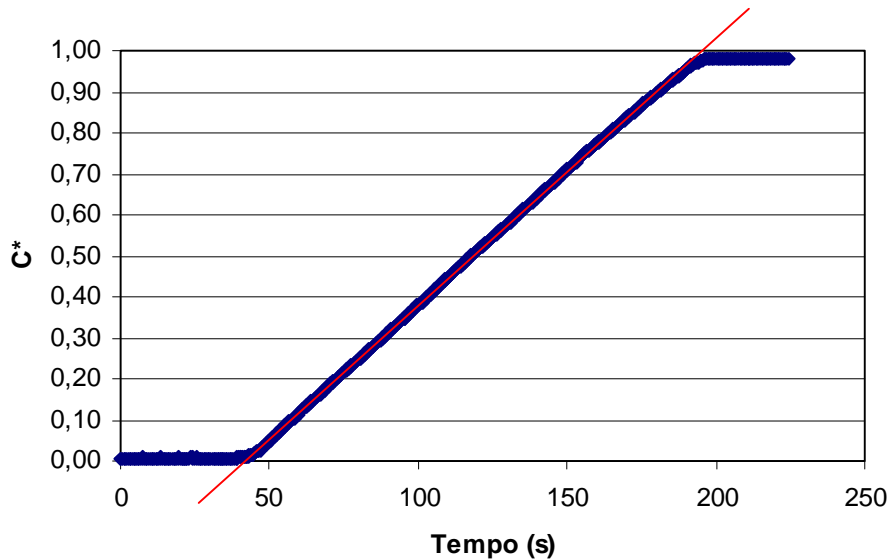


Figura 5. Linearidade de resposta do sensor 2

Devido à linearidade dos sensores uma curva geral para os sensores seria:

$$\alpha = C^* \tag{1}$$

onde a capacitância relativa  $C^*$  é dada por:

$$C^* = \frac{C - C_0}{C_1 - C_0} \tag{2}$$

$C$  é a capacitância medida,  $C_0$  é a capacitância para  $\alpha = 0$  e  $C_1$  é a capacitância para  $\alpha = 1$ .

As sensitividades dos sensores foram iguais a 0,34 pF, mas os valores de  $C_0$  e  $C_1$  diferiram de um sensor para o outro, provavelmente por detalhes construtivos, o que leva os sensores a terem diferentes curvas de calibração em função da capacitância medida:

$$\alpha_1 = \frac{C - 8,12}{0,34} \tag{3}$$

$$\alpha_2 = \frac{C - 8,80}{0,34} \tag{4}$$

$$\alpha_3 = \frac{C - 9,28}{0,34} \tag{5}$$

### 5. Resultados

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. Como foi mostrado na Fig. 3 os sensores foram construídos de modo a perceberem pequenas variações na composição dielétrica do volume de controle estudado e a resposta linear dos sensores, devido ao seu cuidadoso projeto, proporcionou resultados confiáveis.

Na Fig. 6 é mostrado um destes ensaios em que predominou a fração de vazio na faixa de  $0,5 < \alpha < 0,7$  em um escoamento em que o número de bolhas era muito grande. Mesmo assim, vez por outra foi vista uma célula de líquido com um comprimento considerável chegando ao sensor. O sensor percebeu a passagem destas células líquidas que são representadas na Fig. 6 pelos pontos que identificam quedas bruscas na fração de vazio. O sensor de que trata a Fig. 6 estava localizado em uma posição distante 8,2 m da entrada da seção de testes. A saturação da mistura foi realizada de tal maneira que a solubilidade final foi  $W=0,24$ , a vazão mássica do ensaio foi de 4,5 Kg/h e a pressão no vaso de alta pressão, PVAP, foi de 3 bar.

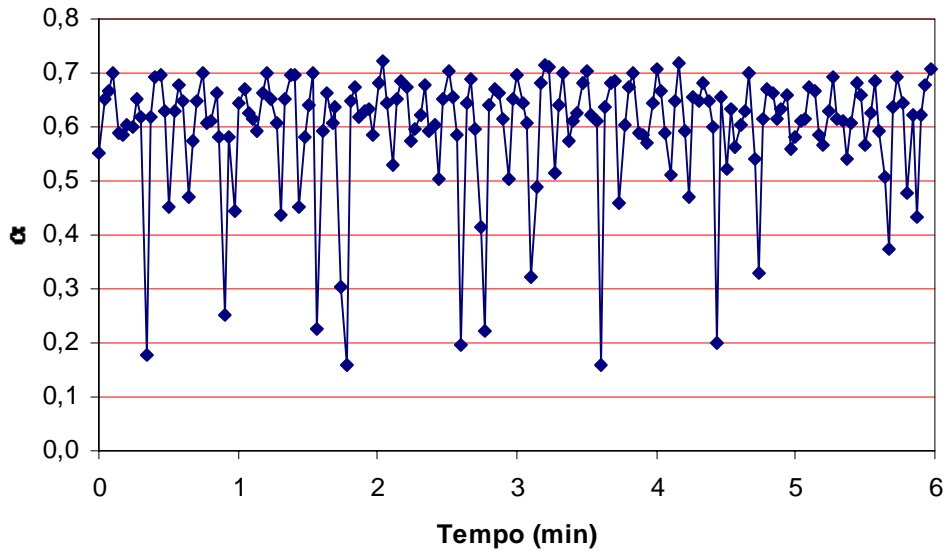


Figura 6. Fração de vazio ( $W=0,24$ ,  $\dot{m}=4,5\text{Kg/h}$ ,  $PVAP=3\text{bar}$ )

Já na Fig. 7 é visto um ensaio em que observou-se a formação de espuma, predominando o escoamento deste tipo durante o ensaio o que pode ser verificado pelo valor da fração de vazio medida que ficou entre  $0,6 < \alpha < 0,7$  excetuando-se os instantes em que, devido à transitoriedade do escoamento observado, valores menores estiveram presentes. Esta situação de mudanças acentuadas na fração de vazio deve-se às características de escoamentos bifásicos cuja nucleação ocorre pela queda de pressão ao contrário de outros trabalhos que utilizam resistências elétricas para aquecimento do fluido, mas as características da mistura utilizada também contribuem para gerar o efeito transiente do escoamento.

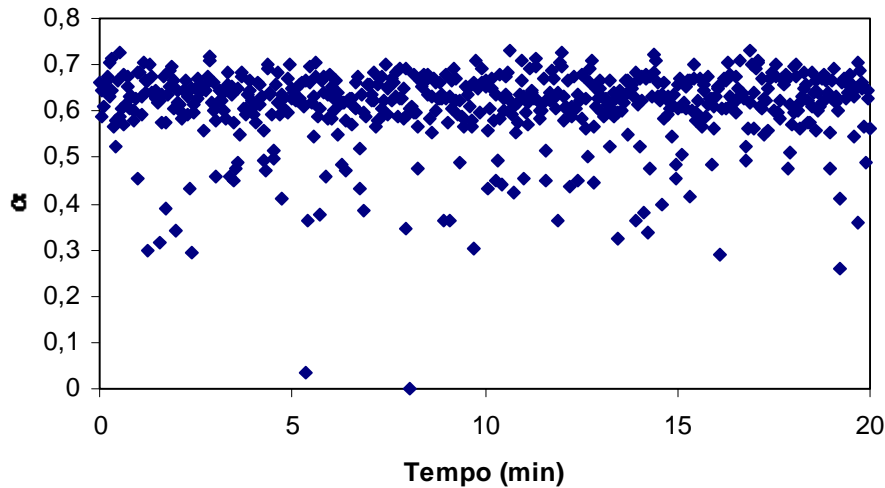


Figura 7. Fração de vazio, ( $W=0,24$ ,  $\dot{m}=5,4\text{Kg/h}$ ,  $PVAP=2\text{bar}$ )

### 6. Conclusões

Fica claro pelas técnicas apresentadas que diversos autores têm tido sucesso na aplicação de cada uma delas e que isto está diretamente relacionado com o tipo de escoamento estudado, as características dos fluidos, mas sobretudo com a dependência do regime de escoamento. A preocupação em se realizar uma calibração que se aproxime ao máximo da realidade deve estar presente a partir do momento em que se cogita utilizar sensores capacitivos para a medição de parâmetros do escoamento. Se o projeto do sensor privilegiar a uniformidade do campo elétrico a calibração será facilitada, pois qualquer técnica utilizada será bastante satisfatória.

Na aplicação desenvolvida neste trabalho o projeto dos sensores facilitou a calibração pois os sensores apresentaram uma resposta linear para a variação da fração de vazio devido à uniformidade do campo elétrico gerado e do comprimento dos eletrodos utilizados, 100 mm. Esta uniformidade foi também verificada por Duarte e Prata (2001) através da simulação do campo elétrico gerado entre os sensores.

## 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.
- Chun, M. H. and Sung, C. K., 1986, "Parametric Effects on the Void Fraction Measurement by Capacitance Transducers", International Journal of Multiphase Flow, vol. 12, N<sup>o</sup> 4, pp. 627-640.
- Duarte, L. G. C., Prata, A. T., 2000, "Void Fraction Measurement in Small Diameter Tubes", 8<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências Térmicas - ENCIT, Porto Alegre.
- Duarte, L. G. C., Prata, A. T., 2001, "Electric Field Simulation In Capacitive Sensors", 16<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - COBEM, Uberlândia.
- 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. and Reskallah, K. S., 1996, "Void Fractions Measurements in Gas-Liquid Flows using Capacitance Sensors", Measurement Science Technology, vol. 7, pp. 1153-1163.
- Kockum, H., Jernqvist, A., 1998, "Boiling Vertical Two-Phase Flow at Sub-Atmospheric Pressures", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 41, pp. 2909-2924.
- Kok, H. V., Heerens, W. C., van der Hagen, T. H. J. J. and van Dam, H., 1995, "A New Principle for Designing Optimal Capacitive Void Fraction Sensors Applied to a Rod-bundle Geometry", Measurement, vol. 15, pp. 119-131.
- Lowe, D. C., Rezkallah, K. S., 1999, "Flow Regime Identification in Microgravity Two-phase Flows Using Void Fraction Signals", International Journal of Multiphase Flow, vol. 25, pp. 433-457.
- Ma, Y. P., Chung, N. M. and Pei, B. S., 1991, "Two Simplified Methods to Determine Void Fractions for Two-Phase Flow", Nuclear Technology, vol. 94, pp. 124-133.

## CAPACITIVE SENSORS CALIBRATION TO MULTIPHASE 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](mailto: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](mailto:prata@nrva.ufsc.br)

**Abstract.** *The goal of a capacitive sensor is the quality of your calibration curve. It must be able to correlate with fidelity capacitance data and other parameters of interest. Many procedures are used to do it, and almost all of it have a preoccupation with flow patterns. The signal of a capacitive sensor can be different to different flow patterns. This work shows and discuss a choice of a sensor that is not influenced by the flow patterns, throw old works review and presenting a new idea to do calibration of a capacitive sensor in a multiphase flow that bubbly-flow was the pattern predominant. The sensor geometry is responsible for calibration curve linearity and it also determine the intensity of flow patterns dependence.*

**Key words.** capacitive sensors, calibration, void fraction, multiphase flow.