



CARACTERÍSTICAS DE UM SENSOR CAPACITIVO UTILIZADO NA MEDIÇÃO DA FRAÇÃO DE VAZIO

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@nrva.ufsc.br

Álvaro T. Prata

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, NRVA, 88040-910, Florianópolis, SC, prata@nrva.ufsc.br

Resumo. *Diversas são as situações em que se necessita realizar medições não intrusivas em escoamentos de fluidos. O motivo para tal exigência pode estar relacionado com a não perturbação do escoamento, com a dificuldade na realização das medições ou com as características do escoamento. A utilização de sensores capacitivos tem se destacado entre outras técnicas principalmente pelo seu baixo custo e facilidade de implementação. A técnica, não invasiva e não intrusiva, requer no entanto cuidados na confecção dos eletrodos para assegurar a adequação da técnica aos objetivos almejados. Este trabalho surgiu a partir de um cuidadoso estudo das características que envolvem a confecção dos sensores, visando utilizá-los na medição da fração de vazio de uma mistura que escoava em um tubo de vidro com 3 mm de diâmetro interno. Esta diminuta dimensão implicava em uma medição não intrusiva da fração de vazio. Uma quantidade muito grande de informações relacionadas aos sensores foi obtida e é aqui apresentada, culminando com a exploração de resultados do sensor que foi projetado e construído para a medição da fração de vazio no tubo de vidro que pertencia à seção de testes da bancada que deu origem a este trabalho.*

Palavras-chave: Sensores capacitivos, escoamento multifásico, fração de vazio, sensibilidade.

1. INTRODUÇÃO

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 domínio da capacitância.

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.

Segundo Abdul - Razzak et al (1995) 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. 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 vazão. 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.

Abdul-Razzak et al (1995) demonstraram que a constante dielétrica (ϵ) da fase líquida sofre uma variação com a temperatura, tornando-se necessário investigar a amplitude desta variação no experimento elaborado, e quando for o caso, utilizar estes resultados no cálculo da capacitância equivalente. Isto pode ser verificado na Tab. (1) para o refrigerante R-134A na fase líquida.

Tabela 1. Variação da constante dielétrica do R-134A - Dados de Barão et al (1996)

Temp. (K)	ϵ	Temp. (K)	ϵ	Temp. (K)	ϵ
238	14,79	268	11,73	298	9,45
248	13,67	278	10,91	305	9,01
258	12,69	288	10,27	308	8,68

2. TUBULAÇÃO

A técnica capacitiva não pode ser aplicada a todos os tipos de tubulações. É necessário que haja um isolamento entre os eletrodos, impedindo a sua aplicação em tubos metálicos e fazendo com que os trabalhos nesta área apresentem seções de testes com tubos de vidro, policarbonato, acrílico, nylon, resina, etc.

Nos experimentos realizados por Abdul-Razzak et al (1995) e Elkow e Reskallah (1996, 1997) a distância entre os sensores e o fluido foi de 0,65 e 0,50 mm respectivamente, sendo que Elkow e Reskallah destacaram que o pequeno valor utilizado deveu-se a um aumento da sensibilidade relacionado a esta dimensão, que corresponde exatamente à espessura de parede, exceto para os trabalhos de Elkow e Reskallah em que os sensores ficavam em uma posição intermediária da parede do tubo. O aumento da sensibilidade, além disto, deve-se, segundo eles, à proximidade entre os eletrodos. Xie et al (1990) também observaram uma maior sensibilidade para valores menores da espessura de parede. Elkow e Reskallah (1996) definem sensibilidade, δC , como a diferença entre a capacitância medida quando o tubo contém apenas líquido, $C(\alpha = 0) = C_0$, e a capacitância medida quando apenas vapor está presente, $C(\alpha = 1) = C_1$, onde α é a fração de vazão.

$$\delta C = C_0 - C_1 \quad (1)$$

Kendoush e Sarkis (1995) utilizaram valores bem mais elevados de espessura de parede, 2,6 e 3,0 mm respectivamente, e curiosamente Kendoush e Sarkis demonstraram que para vários valores da espessura de parede de um tubo de vidro, a sensibilidade independe da mesma.

3. GEOMETRIA DOS ELETRODOS

A geometria dos eletrodos utilizada na confecção de sensores capacitivos pode ser responsável pelo sucesso de uma configuração montada para o estudo de um escoamento bifásico. A correta escolha desta geometria poderá eliminar inconvenientes como a dependência com o regime de escoamento, linearidade da curva de calibração, alta sensibilidade entre outras particularidades dos sensores capacitivos. Na Fig. (1) são vistas algumas destas geometrias.

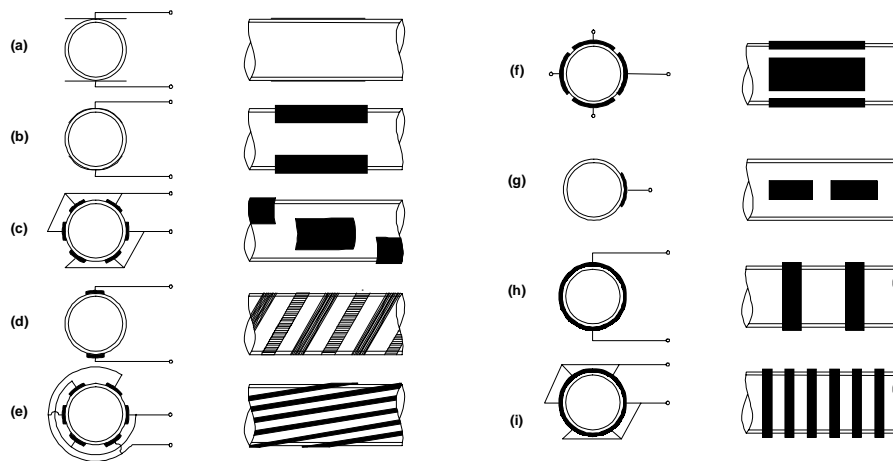


Figura 1. Tipos de geometrias de eletrodos

4. PROTEÇÃO CONTRA EFEITOS EXTERNOS

Qualquer que seja a configuração escolhida é imprescindível que seja observada a necessidade em se proporcionar um predomínio da capacitância sobre os demais componentes da impedância elétrica nas medições realizadas. Entre os recursos para garantir este domínio estão a proteção eletromagnética, o isolamento entre fluidos e eletrodos, o uso de eletrodos de guarda e a utilização de um circuito eletrônico de medição imune a capacitâncias parasitas.

Um dos cuidados a ser tomado relaciona-se com a proteção eletromagnética do sensor capacitivo. Isto é feito utilizando-se uma cobertura metálica sobre o conjunto do sensor capacitivo onde o campo magnético tende a concentrar-se, Kendoush e Sarkis (1996), protegendo os eletrodos de interferências de campos eletromagnéticos externos. Medidas de capacitância em escoamentos bifásicos normalmente situam-se na faixa de 0,1 a 10,0 pF, de modo que o efeito de capacitâncias parasita (stray capacitance) não é desprezível, já que podem superar a capacitância medida e o seu valor também pode flutuar interferindo negativamente nas medições.

O uso de eletrodos de guarda é outro artifício utilizado na proteção dos eletrodos de medição, eles minimizam os efeitos da capacitância parasita que é essencialmente qualquer capacitância indesejável que possa ocorrer entre fios do circuito, fios e chassis, ou componentes e chassis do equipamento eletrônico utilizado na medição, além dos efeitos de borda. Os trabalhos de Ma et al (1991) é um exemplo da utilização de eletrodos de guarda em trabalhos na literatura pesquisada. Os eletrodos de guarda minimizam capacitâncias relacionadas a efeitos de borda, e quando proporciona homogeneidade do campo diminui as capacitâncias parasitas entre eletrodos de medição e proteção eletromagnética.

Quando se utilizam eletrodos de guarda e os mesmos são aterrados, um curto-circuito através deles estará presente. Se por outro lado parte destes eletrodos está com o mesmo potencial dos eletrodos emissores, o campo elétrico formado através do volume em que deseja-se realizar a medição toma um formato bastante homogêneo.

Os eletrodos de guarda seriam responsáveis pela atenuação dos indesejáveis efeitos de borda, que são mais acentuados em frações de vazio muito baixas ou muito elevadas. Como a distância entre os eletrodos é mínima, quando a fração de vazio apresenta-se com valores muito reduzidos é como se os eletrodos estivessem em contato devido à alta intensidade do campo elétrico na área que engloba as bordas dos dois eletrodos, subestimando a fração de vazio. Hipoteticamente considera-se que há uniformidade do campo elétrico, mas são nas bordas dos eletrodos onde concentram-se as maiores discontinuidades do mesmo. Na situação reversa, valor elevado da fração de vazio, há uma tendência a superestimar a mesma.

Elkow e Reskallah (1996) descreveram um problema relacionado com a proteção eletromagnética que ocorreu devido à grande separação entre os eletrodos comparada à separação entre a proteção e os eletrodos. Como consequência, alguma carga nos eletrodos escapava para a

proteção. Aumentando-se a distância dos eletrodos para a proteção com um material isolante entre eles, aumenta-se a sensibilidade e mantém-se uma proteção eficiente.

Huang et al (1988a) realizaram um minucioso trabalho em que desenvolveram um circuito eletrônico baseado em formulações matemáticas para reduzir os efeitos indesejáveis de capacitâncias parasitas. Na Fig. (2a) é visto um sensor em que uma proteção ligada ao terra protege os eletrodos de interferências de campos elétricos externos, mas possibilita o aparecimento de capacitâncias parasitas entre a proteção e os eletrodos, C_{S1} e C_{S2} . Uma outra preocupação dos autores diz respeito a capacitâncias parasitas provenientes do medidor capacitivo conectado aos eletrodos, C_p , Fig. (2b). O efeito destas últimas, C_p , é menor do que as primeiras, C_{S1} e C_{S2} .

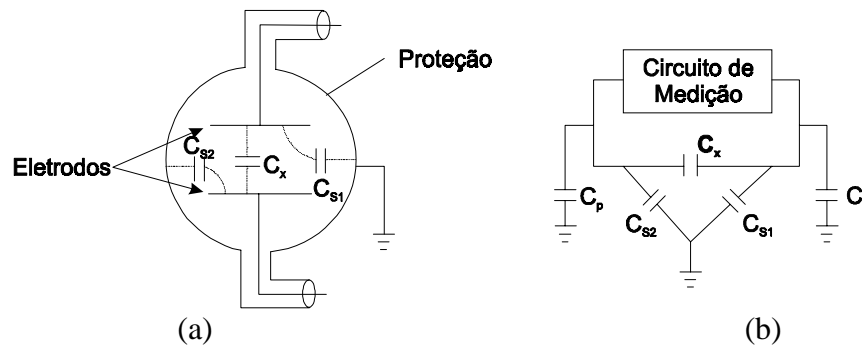


Figura 2. Capacitâncias parasitas do medidor capacitivo e proteção Huang et al (1988a)

Sabe-se que a correta escolha da frequência do medidor de impedância pode privilegiar o predomínio da capacitância ou da condutância (resistência), o que faz a maioria dos experimentos capacitivos deste gênero ser projetada para operar em uma frequência de 1MHz, Elkow e Reskallah (1997), Abouelwafa e Kendall (1980) e Huang et al (1988b). Talvez este valor comum esteja relacionado ao fato de que os medidores de impedância mais adequados a este tipo de uso têm o seu funcionamento limitado a uma frequência máxima de 1 MHz. Quando o medidor capacitivo é construído simultaneamente ao experimento pode-se trabalhar com frequências mais elevadas, como Geraets e Borst (1988) que fizeram experimentos em uma frequência de 2 MHz.

5. COMPRIMENTO DE TUBO COBERTO POR ELETRODOS

Este é um parâmetro que está diretamente relacionado à sensibilidade e acurácia da técnica capacitiva aplicada a seções de testes muito pequenas. A fração de vazio, por exemplo, é obtida como uma média no espaço em função do comprimento utilizado. Não seria prático a obtenção localizada da fração de vazio de uma única seção transversal por causa dos valores muito pequenos da capacitância envolvidos em medições deste tipo em seções de diâmetro reduzido.

Para verificar a influência do comprimento de eletrodos de placas côncavas (L_s), Kendoush e Sarkis (1995) realizaram medidas da fração de vazio em um tubo de 5 cm de diâmetro externo (D_e) com eletrodos de 2,5, 5,0, 7,5 e 10,0 cm de comprimento cujos resultados são reproduzidos na Fig. (3). É visto que a melhor acurácia é obtida quando $L_s/D_e > 1$. Nesta figura o erro relativo representa a incerteza na medição da fração de vazio.

Para capacitores de placa plana a capacitância é dada por,

$$C = \epsilon A / d \quad (2)$$

onde ϵ é a permissividade relativa do dielétrico, A é a área de cada placa e d é a distância separando os eletrodos. A capacitância medida por sensores de placas côncavas pode então ser incrementada diminuindo-se a distância entre as placas, por analogia com capacitores de placas planas, Elkow e Reskallah (1996).

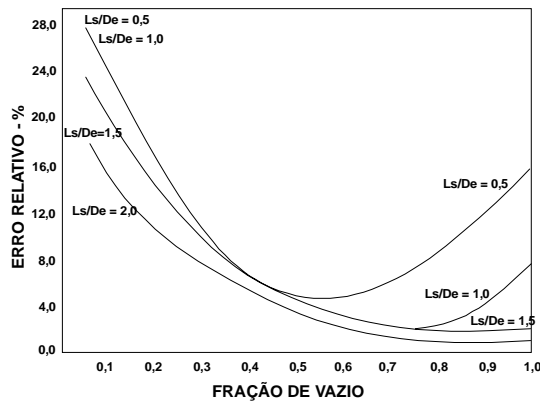


Figura 3. Influência do comprimento de eletrodos – Adaptado de Kendoush e Sarkis (1995)

A necessidade em se utilizar eletrodos de comprimento igual a pelo menos duas vezes o diâmetro do tubo é destacada por Xie et al (1990) como uma segurança contra efeitos de borda causados pelo finito comprimento dos eletrodos na direção do escoamento.

6. POSICIONAMENTO DE ELETRODOS DE PLACAS CÔNCAVAS

Chun e Sung (1986) apresentam resultados bastante estranhos para o regime estratificado no que diz respeito ao posicionamento de eletrodos de duas placas côncavas. Quando os eletrodos são posicionados verticalmente, Fig. (4a), a função que relaciona capacitância relativa com a fração de vazio (α) é representada por uma curva pouco sinuosa no intervalo $0,1 < \alpha < 0,9$. Já para o posicionamento horizontal dos eletrodos, Fig. (4b), a curva é inexpressiva para $\alpha < 0,5$ e a partir de então ela é praticamente linear, o que leva a crer que o posicionamento vertical dos eletrodos é indicado quando o regime estratificado estiver presente.

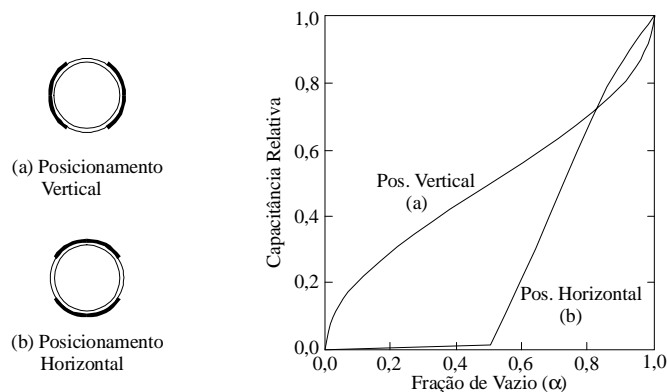


Figura 4. Posicionamento dos eletrodos - Adaptado de Chun e Sung (1986)

Xie et al (1990) utilizaram elementos finitos na simulação de diversos parâmetros relacionados à técnica capacitiva. Com relação ao posicionamento dos eletrodos sobre a tubulação foram estudados sete casos envolvendo os regimes estratificado, anular e central para diversas larguras (comprimento angular) de eletrodos de placas côncavas.

Foi mostrado por eles que quanto maior o comprimento angular, menor o efeito do posicionamento na medição capacitiva realizada. Para o regime estratificado os melhores resultados foram obtidos quando os eletrodos ficavam em uma posição intermediária aos posicionamentos horizontal e vertical.

Tollefsen e Hamer (1998) mostraram que a orientação dos eletrodos é um parâmetro mais significativo quanto maior for a diferença de permissividade entre os componentes, como acontece

com o par ar-água, $\Delta\epsilon \approx 80$. No presente trabalho este fator é menos crítico, $\Delta\epsilon \leq 5$, além disto há uma unanimidade entre os autores em afirmar que não há influência da orientação dos eletrodos sobre as medidas realizadas por um sensor capacitivo quando predomina o regime de bolhas no volume escolhido para estudo, como acontece neste trabalho.

7. DISTÂNCIA RADIAL ENTRE PROTEÇÃO E ELETRODOS

Xie et al (1990) mostraram que esta distância influencia o aparecimento de capacitâncias parasitas além de relacionar-se diretamente com a homogeneidade e intensidade do campo elétrico formado na região estudada.

Denominando o raio interno do tubo $R1$, o raio externo $R2$ (onde os eletrodos são fixados) e raio interno da proteção como sendo $R3$, os autores mostraram através de simulações que quanto menor a diferença $R3-R2$, maior é o valor da capacitância parasita que aparece entre eletrodos e proteção. Foi mostrado também que a diferença $R3-R2$ deve ser suficiente para garantir que o campo se concentre predominantemente no interior do tubo proporcionando uma maior homogeneidade do campo, o que reduz a dependência com o regime de escoamento.

Isto é mostrado na Fig. (5) em que pode ser comprovada a afirmação de que há influência da distância entre proteção e eletrodos sobre o campo magnético gerado. Na Fig. (5b) a proteção está muito próxima dos eletrodos, com isto intensificam-se as capacitâncias parasitas entre eles fazendo com que o campo elétrico seja não uniforme e tenha baixa intensidade no interior do tubo quando comparado com a situação mostrada na Fig. (5a) em que o problema praticamente desaparece. Nesta figura os dois eletrodos de placas côncavas estão posicionados horizontalmente e o seu comprimento angular é de $115,7^\circ$.

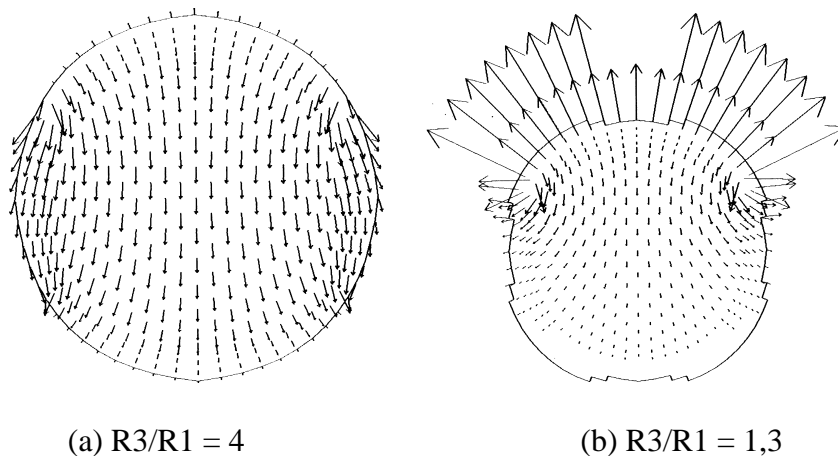


Figura 5. Campo elétrico no interior do tubo - Xie et al (1990)

8. ESPAÇAMENTO ENTRE ELETRODOS DE PLACAS CÔNCAVAS

Kendoush e Sarkis (1995) revisaram as equações desenvolvidas por Chun e Sung (1986) e obtiveram as seguintes equações para eletrodos de placas côncavas segundo um escoamento anular:

$$C^* = \frac{\alpha\epsilon_2(1 - 2z/\pi D)}{(\epsilon_1 - \epsilon_2)(\sqrt{\alpha} - \alpha) + \epsilon_2(1 - 2z/\pi D)} \quad (3)$$

$$C^* = \frac{(C - C_0)}{(C_1 - C_0)} \quad (4)$$

onde C^* é a capacitância relativa, C_0 é a capacitância quando $\alpha = 0$, C_1 é a capacitância quando $\alpha = 1$, C é a capacitância medida, ϵ_1 e ϵ_2 são as permissividades das fases que formam o dielétrico, D o diâmetro interno e z o espaçamento entre os eletrodos.

Segundo a Eq. (1) quanto maior o espaçamento entre os eletrodos z menor será C^* , sugerindo que z deve ter dimensões reduzidas, mas deve ser maior que zero.

9. PROJETO FINAL

Baseado nas informações descritas nas seções anteriores foi projetado um sensor capacitivo para ser utilizado na medição da fração de vazio de uma mistura composta por óleo lubrificante e fluido refrigerante que escoava em um tubo de vidro com diâmetro interno de 3 e externo de 8mm. Após a montagem do sensor foram verificadas algumas das suas características no sentido de confirmar se poderia haver a influência de algum fator que influenciasse negativamente as medições capacitivas.

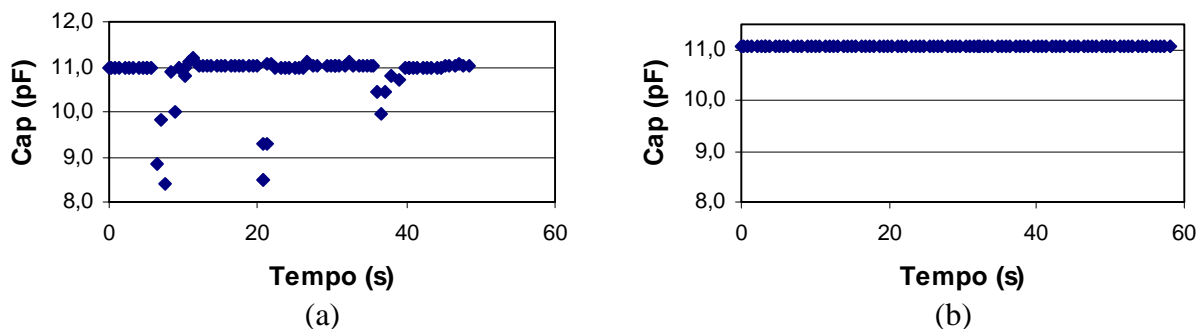


Figura 6. Medição capacitiva sem proteção eletromagnética (a) / com proteção (b)

A proteção eletromagnética utilizada, por exemplo, mostrou-se eficiente na eliminação dos campos externos como pode ser verificado pela Fig. (6). Com relação à frequência também foram feitos testes para avaliar se a frequência adotada neste trabalho estaria de acordo com os cuidados anteriormente descritos para este parâmetro. Os resultados podem ser vistos na Fig. (7).

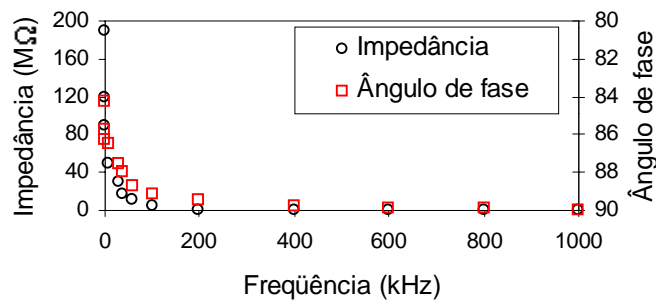


Figura 7. Influência da frequência utilizada

Segundo Barão et al (1996) a constante dielétrica dos fluidos refrigerantes varia com a temperatura. A variação é mais acentuada nos líquidos do que nos gases. Na Fig. (8) é vista uma representação da variação da capacitância do escoamento da mistura na fase líquida em função de uma variação na temperatura do escoamento. Nota-se que a capacitância sofre uma redução do seu valor quando ocorre um aumento da temperatura. Verificou-se que a modificação produzida na leitura da capacitância pelo sensor foi de 0,0061 pF que representa menos de 2,0 % da sensibilidade do transdutor. Como o gradiente de temperatura imposto ao escoamento neste teste foi muito maior do que as variações previstas para os ensaios não foi necessário fazer correção da capacitância.

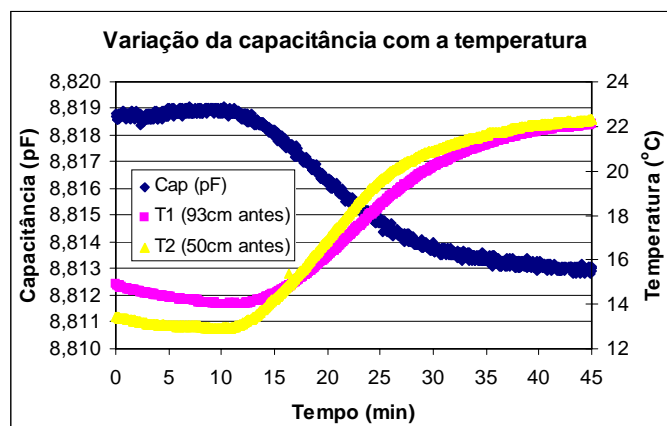


Figura 8. Variação da capacitância em função da temperatura

Para a montagem do sensor os eletrodos foram inicialmente fixados à tubulação com um filme de acetato autocolante, Fig. (9), e posteriormente cobertos com uma camada de silicone até que um diâmetro de 12,0 mm fosse atingido, Fig. (10). Os eletrodos, que foram confeccionados em cobre, tinham uma espessura de 0,1 mm, 11,1 mm de largura e 100,0 mm de comprimento. Os eletrodos foram circunferencialmente espaçados de 21°. Este espaço foi preenchido com silicone. O conjunto tubo-eletrodos-silicone foi ajustado no interior de um tubo de poliacetal com 12 mm de diâmetro interno e 51,5 mm de diâmetro externo. Este tubo tem como principal função manter eletrodos e proteção a uma distância satisfatória com material isolante entre eles. O comprimento do tubo foi de 130 mm para que após as extremidades dos eletrodos ainda se tivesse uma região protegida de capacitâncias parasitas e campos eletromagnéticos externos, Fig. (11).



Figura 9. Fixação dos eletrodos no tubo de vidro



Figura 10. Aplicação de silicone sobre os eletrodos

A seguir todo o conjunto do sensor foi posicionado no interior de um tubo de cobre com 130 mm de comprimento e 51,5 mm de diâmetro interno. Este tubo de cobre funciona como a proteção eletromagnética dos sensores construídos, Fig. (12). Tanto o tubo de cobre como o de poliacetal tinham furos por onde foram posicionados conectores BNC conforme Fig. (12). Estes conectores fazem a ligação entre eletrodos e medidor capacitivo com o auxílio de cabos coaxiais. O medidor capacitivo utilizado foi um HP 4284 A. A fração de vazio é obtida a partir das leituras de capacitância através de uma curva de calibração.

10. CONCLUSÕES

O sensor construído demonstrou responder adequadamente às expectativas da técnica capacitiva e com isto parece-nos que todas as informações que foram aqui relatadas devem ser apreciadas

quando do projeto de um sensor capacitivo. O sensor respondeu muito bem às menores variações na fração de vazio. Na Fig. 13 é visto um dos resultados obtidos nas medições realizadas com o sensor. Nesta figura os pontos com valores inferiores a 0,6 correspondem à passagem de maior quantidade de mistura líquida pelo sensor.



Figura 11. Tubo de poliacetal

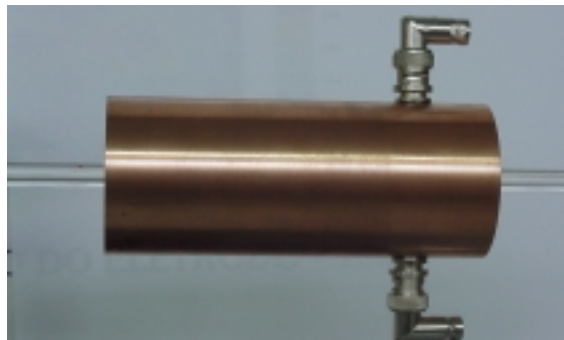


Figura 12. Proteção eletromagnética

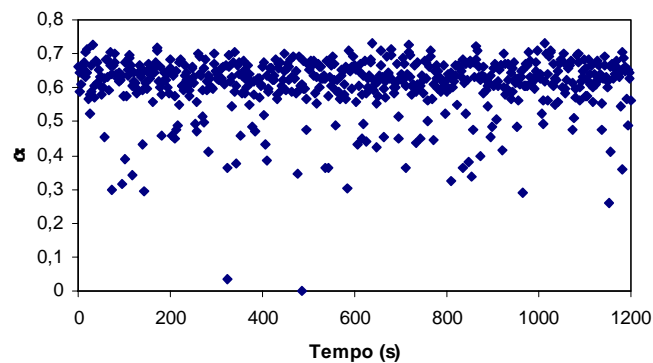


Figura 13. Medição da fração de vazio, $\dot{m} = 5,4 \text{ Kg/h}$

11. 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.
- Abouelwafa, M. S. A. and Kendall, E. J. M., 1980, "The Use of Capacitance Sensors for Phase Percentage Determination in Multiphase Pipelines", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 29, N^o 1, pp. 24-27.
- Barão, M. T., Mardolcar, U. V. and Castro, C. A. N., 1996, "The Dielectric Constant of Liquid HFC 134a and HCFC 142b", International Journal of Thermophysics, vol 17, N^o 3, pp. 573-585.

- Chang, J. S., Girard, R., Raman, R. and 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.
- 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^o 4, pp. 627-640.
- 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.
- Elkow, K. J. and Reskallah, 1997, K. S., "Void Fraction Measurement in Gas-Liquid Flow Under 1 - g and μ - g Conditions Using Capacitance Sensors", International Journal of Multiphase Flow, vol. 23, N^o 5, pp. 815-829.
- Geraets, J. J. M. and Borst, J. C., 1988, "A Capacitance Sensor for Two-Phase Void Fraction Measurement and Flow Pattern Identification", International Journal of Multiphase Flow, vol. 14, pp. 305-320.
- Huang, S., Green, R. G., Plaskowsky, A. and Beck, M. S., 1988a, "A High Frequency Stray-Immune Capacitance Transducer Based on the Charge Transfer Principle", IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 37, N^o 3, pp. 368-373.
- Huang, S. M., Fielden, J., Green, R. G. and Beck, M. S., 1988b, "A New Capacitance Transducer for Industrial Applications", Journal of Physics E: Scientific Instruments, vol. 21, pp. 251-256.
- Kendoush, A. A. and Sarkis, Z. A., 1995, "Improving the Accuracy of the Capacitance Method for Void Fraction Measurement", Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 11, pp. 321-326.
- 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.
- Tollefsen, J. and Hammer, E. A., 1998, "Capacitance Sensor Design for Reducing Errors in Phase Concentration Measurements", Flow Measurement and Instrumentation, vol. 9, pp. 25-32.
- Xie, C. G., Stott, A. L., Plaskowski, A. and Beck, M. S., 1990, "Design of Capacitance Electrodes for Concentration Measurement of Two-Phase Flow", Measurement Science and Technology, vol. 1, pp. 65-78.

CHARACTERISTICS OF A CAPACITIVE SENSOR USED FOR VOID FRACTION MEASUREMENT

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. *Several situations need non-invasive and non-intrusive measurements of fluid flow. The purpose of this is related with flow interference and difficulties to do the measurements or flow characteristics. The use of capacitive sensors has increased more than other techniques because it has low cost and is easy to apply. The capacitive technique needs cares about electrodes manufacturing to get best results. This work is a careful study of electrodes manufacturing characteristics to use the knowledge in void fraction measurements of a mixture flow in a glass tube with 3 mm inner diameter. This very small diameter forced a non-intrusive void fraction measurement. Much information related with capacitive sensors was obtain and is presented, including results of the sensor that was projected and manufactured to measure the void fraction of a glass tube that belongs to test section of the apparatus that was origin of this work.*

Key words. capacitive sensors, multiphase flow, refrigeration, void fraction,