

MODELAGEM DE UM SENSOR DE IMPEDÂNCIA APLICADO A ESCOAMENTO DE GÁS E LÍQUIDO

Eugênio Spanó Rosa, erosa@fem.unicamp.br

Fernanda Cristina Corrêa, fernanda@fem.unicamp.br

Niederauer Mastelari, niede@fem.unicamp.br

Érico Porto, ericoporto@yahoo.com.br

Faculdade de Engenharia Mecânica- Unicamp

Rua Mendeleiev, s/n - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Barão Geraldo - Campinas - SP

Caixa Postal: 6122 CEP: 13.083-970.

Resumo: A medida da concentração de gás numa mistura de gás e líquido é uma grandeza relevante para caracterização de escoamentos bifásicos. Há diversos métodos de medida de concentração de gás, entretanto os métodos por medida de impedância estão entre os mais populares. Baseados na diferença entre as propriedades elétricas das fases líquida e gasosa os sensores de impedância apresentam um sinal proporcional à concentração volumétrica do meio bifásico. Além disto este tipo de sensor é de construção simples e econômica. Porém, as faixas dos valores de impedância podem variar de seis ordens de magnitude dependendo se o fluido é condutor como a água salgada, por exemplo, ou um isolante como o óleo. Isto é, enquanto que no primeiro caso o princípio de funcionamento do sensor é devido à variação de resistividade do líquido, no segundo é devido à variação do dielétrico do meio. Este é um cenário típico na produção óleo e gás onde a água salgada se faz cada vez mais presente à medida que os poços se tornam maduros. O trabalho tem como objetivo propor um modelo para variação da impedância aplicável desde de misturas gás-óleo a misturas gás-soluções aquosas. Este modelo tem por finalidade fornecer parâmetros de projeto para o desenvolvimento do circuito eletrônico de medida assim como fornecer os fundamentos para compensação da medida devido as variações das propriedades elétricas do meio com a concentração e temperatura. Os resultados do modelo são comparados contra dados experimentais.

Palavras-chave: sensor de impedância, escoamento bifásico, medida de impedância elétrica.

1. INTRODUÇÃO

Escoamentos bifásicos de gás e líquido ocorrem com frequência em processos nas indústrias de geração de energia, nuclear, química e petrolífera. A análise e a modelagem deste escoamento requerem as dimensões típicas das fases e a identificação dos mecanismos físicos atuantes escoamento que, usualmente, são complexos devido ao acoplamento entre as fases e sua contínua deformação quando sujeita as tensões atuantes. Um dos parâmetros relevantes para a caracterização do escoamento bifásico é a concentração de gás também denominada por fração de vazios. Ela pode ser uma medida local ou média baseada no tempo ou no espaço que expressa a probabilidade de ocorrência da fase gás (Ishii & Hibiki 2006). Há diversas técnicas experimentais para medição de fração de vazios entre pode-se citar: fechamento rápido de válvulas (Costigan & Whalley 1997), atenuação de radiação (Jones & Zuber 1975), os métodos de medida de impedância (Ceccio & George 1996).

Este trabalho aplica-se especificamente aos métodos de impedância. Esta técnica, conforme apontada na revisão de Ceccio & Geoge (1996), aplica-se a medidas locais, ou a médias temporais, volumétricas ou mesmo baseadas na área da seção transversal do tubo. Por ser uma técnica relativamente simples e barata de ser implementada vem ganhando popularidade. Apesar desta técnica ser reconhecida como medida de impedância, ela é basicamente aplicada onde somente uma das componentes da impedância prevalece: ou a resistiva ou a reatância capacitiva. Ahmed (2006) traz uma revisão sobre os métodos capacitivos e propõe um método de projeto para sensores capacitivos com anéis paralelos ou placas côncavas. Métodos puramente resistivos são mais simples, porém aplicam-se somente para soluções aquosas, veja por exemplo Andreussi et al. (1988), Song et al. (1998) e Cho et al. (2005) que propõem sensores não intrusivos baseados em anéis paralelos ou placas paralelas.

A motivação deste trabalho está na aplicação dos sensores de impedância na área de produção de hidrocarbonetos para identificação da ocorrência das fases e também da fração de vazios. Devido as características particulares do petróleo há pouco dado experimental relativo a mistura de óleo e o gás natural. Há outros cenários que são igualmente carentes de dados experimentais tais como misturas de gás e emulsões de óleo e água salgada ou mesmo a ocorrência de água salgada livre com emulsão de óleo em proporções variando entre 70% a 95% de água livre, típica de reservatórios maduros. Apesar dos desenvolvimentos alcançados com a técnica de medida de impedância sua aplicação na área de petróleo não é direta por dois fatores: segurança intrínseca para operação deste instrumento no campo e operação num cenário que pode variar entre água salgada e gás natural até óleo puro e gás natural. Com relação a este último aspecto pode-se dizer que o instrumento tem que ser capaz de trabalhar quando a mistura apresenta propriedade puramente resistiva ou capacitiva, incluindo a faixa onde ambos efeitos podem ser dominantes na medida.

O problema de segurança operacional foi superado num novo projeto de sensor intrusivo formado pelo arranjo de uma haste metálica inserida transversalmente na tubulação metálica, veja Mastelari et al. (2005). O sensor utiliza a

tubulação como dos eletrodos do sensor de impedâncias e referência elétrica, a haste metálica representa o segundo eletrodo e a mistura gás e líquido é o meio que envolve os dois eletrodos. Este conceito de projeto mostrou-se eficaz para trabalhar em linhas operando com misturas de gás e petróleo até 100 Bar garantindo a integridade física e a estanqueidade do instrumento. Ele equivale ao conceito de sondas com um único fio posto transversalmente a uma parede plana utilizado em Huang et al. (2008) com a diferença que nesta aplicação a parede plana é substituída por uma tubulação.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma modelagem da variação da impedância elétrica no arranjo haste-tubo. O modelo propõe estimar a impedância equivalente e a corrente em função da altura de líquido no tubo. Ele aplica-se para misturas de comportamento elétrico puramente resistivo a puramente capacitivo com a fase da impedância variando entre zero a noventa graus.

2. MODELO TEÓRICO DO SENSOR DE IMPEDÂNCIAS

O sensor de impedância em análise é representado esquematicamente na Fig. 1. Ele consiste de uma haste metálica que cruza diametralmente um tubo cilíndrico metálico. A haste está em contato direto com a mistura de gás e líquido porém suas extremidades estão isoladas eletricamente do tubo metálico. A detecção das fases ocorre devido à diferença entre as impedâncias das fases gás e líquido. Uma previsão do comportamento do instrumento pode ser realizada identificando as diferentes componentes que compõem a impedância. Considera-se que a fase gasosa contribui com uma componente: a capacitância C_G entre a haste e o gás. A fase líquida pode possuir duas componentes: uma capacitiva C_L e outra resistiva R .

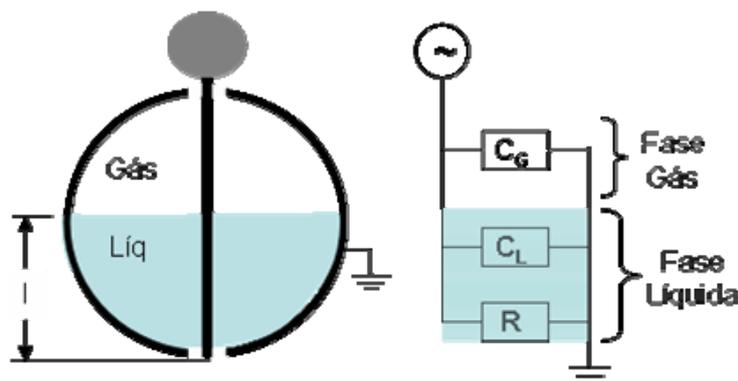


Figura 1. Representação do Sensor de Impedância e seu circuito equivalente.

Por sua vez as componentes de capacitância e de resistência das fases podem ser representadas em função da altura l do filme de líquido por meio dos modelos:

$$C_i = \kappa_i \epsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln\left(\frac{D}{d}\right)} \quad \text{onde } i = L \text{ ou } G \quad \text{e} \quad R = \rho \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{2\pi l} \quad (1)$$

onde D e d representam os diâmetro do tubo e da haste respectivamente, l a altura de líquido, $0 \leq l \leq D$, ρ é a resistividade da fase líquida, os sub-índices L e G representam as fases líquido e gás, ϵ_0 é a constante dielétrica do vácuo $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m e κ permissividade do meio (para ar $\kappa=1$, água $\kappa=80$ e óleos $2 < \kappa < 6$). O modelo da Eq.(1), baseia-se na capacitância ou resistência produzida por uma haste concêntrica a um cilindro. A geometria da haste transversal ao tubo pode ser aproximada para a geometria de haste e tubo concêntricos desde que a razão de diâmetros, $D/d \gg 1$. Nestas condições o decaimento do campo elétrico, que ocorre numa distância de $3d$, ocorre muito longe da parede do tubo de forma que sua curvatura pouco influencia na estimativa de c ou R pelo modelo da Eq.(1).

A proposta de modelo apresentada na Eq.(1) aplica-se tanto para o padrão estratificado onde a fase líquida se apresenta com uma espessura ' l ', como também para o padrão disperso. Neste caso é necessário introduzir o conceito de Espessura Equivalente de Camada de Líquido (EECL) que corresponde à espessura 'molhada' da haste de comprimento D .

A Fig. 2 ilustra a situação onde há bolhas dispersas num meio líquido. Cada bolha na vizinhança da haste, ou interceptada por ela, causa uma mudança no dielétrico equivalente a um capacitor em paralelo. Desta forma se houver ' N ' bolhas na vizinhança da haste pode-se dizer que a capacitância e resistência equivalentes para as fases gás e líquido passam a ser:

$$C_G = \epsilon_0 \frac{2\pi \sum_{i=1}^N L_G^i}{\ln(D/d)} \quad (2)$$

$$C_L = \kappa \epsilon_0 \frac{2\pi \left(D - \sum_{i=1}^N L_G^i \right)}{\ln(D/d)} \quad \text{e} \quad R = \rho \frac{\ln(D/d)}{2\pi \left(D - \sum_{i=1}^N L_G^i \right)} \quad (3)$$

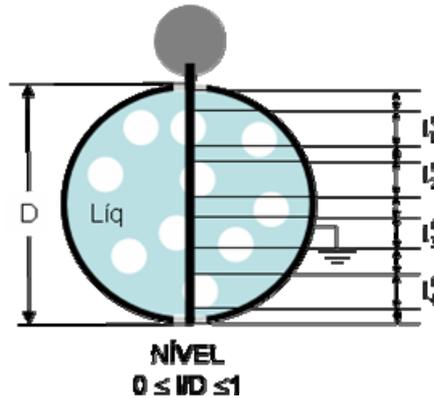


Figura 2. Espessura Equivalente de Camada de Líquido, 'l'.

A Espessura Equivalente da Camada de Líquido é dada pela Eq (4):

$$l = D - \sum_{i=1}^N L_G^i, \quad (4)$$

substituindo-se esta definição nas Eqs. (2) e (3) retorna-se a forma expressa pela Eq.(1).

O circuito elétrico equivalente representado na Fig. 1 tanto como os modelos para capacitância e resistência em função da Espessura Equivalente da Camada de Líquido são idealizações. Por este motivo refere-se a esta abordagem por “modelo teórico”. De fato, pode haver mais componentes no circuito tais como capacitância de polarização, condução elétrica se a solução for aquosa, impedância da instrumentação eletrônica entre outros efeitos. Além disto, a Eq. (1) é uma “aproximação” para a capacitância e a resistência, válida para haste com diâmetro muito menor que o diâmetro do tubo, isto é, $D/d \gg 1$.

Para determinar a impedância equivalente, \tilde{Z} , do circuito da Fig. 1 tem que se recorrer a teoria de fasores, conforme mostrado na Eq (5):

$$\frac{1}{\tilde{Z}} = \frac{1}{R} + j\omega C, \quad (5)$$

onde \tilde{Z} passa a ter componentes real e imaginária, sendo que $j = \sqrt{-1}$ e ω é dado em radianos por segundo. C é definido como sendo a capacitância equivalente das fases gás e líquido, isto é, $C = C_G + C_L$. A partir da Eq.(5) pode-se determinar o módulo e a fase de \tilde{Z} por como:

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad \text{e} \quad \phi_Z = \text{atan}(\omega CR). \quad (6)$$

O próximo passo é expressar o módulo e a fase de \tilde{Z} em função da altura l recorrendo aos modelos de C e R dados na Eq. (1). Enquanto que o modelo para R já está explícito na Eq. (1) a capacitância equivalente C depende da altura de líquido e de seu complemento, a altura de gás. Ela é representada por:

$$C = \epsilon_0 \frac{2\pi l}{\ln(D/d)} \left[1 + \left(\frac{l}{D} \right) (\kappa - 1) \right]. \quad (7)$$

Note que a Eq. (7) para $l=0$ (tubo cheio de ar) resulta na capacitância do ar, C_G . Já para $l=D$ (tubo cheio de líquido) ela resulta na capacitância do líquido, C_L . Substituindo a definição de R dada na Eq. (1) e da capacitância equivalente dada na Eq. (7) na Eq. (6), chega-se as expressões do módulo e da fase de \tilde{Z} em função do altura de líquido l :

$$Z = R^* \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{l}{D}\right)^2 + \left[\lambda \left(1 + \left(\frac{l}{D}\right)(\kappa - 1)\right)\right]^2}} \quad \text{e} \quad \phi_Z = \text{atan} \left[\frac{\lambda}{\left(\frac{l}{D}\right)} + \lambda(\kappa - 1) \right] \quad (8)$$

onde os parâmetros R^* e λ são definidos por:

$$R^* = \rho \frac{\ln(D/d)}{2\pi D}, \quad \lambda = \rho \epsilon_0 \omega. \quad (9)$$

Uma inspeção na Eq. (8) mostra que o módulo de Z é inversamente proporcional a (l/D) . Do ponto de vista de instrumentação esta característica não é desejável devido à falta de linearidade. Entretanto se for considerado a corrente circulante I , encontra-se que:

$$I = \frac{V_e}{Z} = \frac{V_e}{R^*} \sqrt{\left(\frac{l}{D}\right)^2 + \left[\lambda \left(1 + \left(\frac{l}{D}\right)(\kappa - 1)\right)\right]^2}, \quad (10)$$

onde V_e é a tensão de excitação do circuito. A Eq. (12) revela que I é proporcional a (l/D) , a V_e é inversamente proporcional a R^* . Observando que tanto R^* quanto λ dependem da resistividade do líquido pode-se antecipar que para soluções aquosas os efeitos de alteração na salinidade afetarão diretamente a corrente. Por outro lado sabe-se que constante dielétrica do meio, κ , tem dependência com a temperatura. Usualmente para soluções aquosas com alta concentração de íons livres o valor de κ tem pouca influência porque a resistividade domina o circuito equivalente.

Os valores que o parâmetro λ assume para óleos e soluções aquosas são distintos, enquanto que para o primeiro $\lambda \gg 1$, para soluções aquosas $\lambda \ll 1$. A dependência da corrente com (l/D) típica para óleos e soluções aquosas é determinada a partir da Eq. (11) fazendo o limite para $\lambda \rightarrow \infty$ e $\lambda \rightarrow 0$, respectivamente, Eqs. (11) e (12):

$$I = \lim_{(\lambda) \rightarrow \infty} \frac{V_e}{R^*} \sqrt{\left(\frac{l}{D}\right)^2 + \left[\lambda \left(1 + \left(\frac{l}{D}\right)(\kappa - 1)\right)\right]^2} = \frac{V_e}{R^*} \lambda \left(1 + \left(\frac{l}{D}\right)(\kappa - 1)\right), \quad (11)$$

$$I = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{V_e}{R^*} \sqrt{\left(\frac{l}{D}\right)^2 + \left[\lambda \left(1 + \left(\frac{l}{D}\right)(\kappa - 1)\right)\right]^2} = \frac{V_e}{R^*} \left(\frac{l}{D}\right). \quad (12)$$

Os limites assintóticos revelam o comportamento linear da corrente com (l/D) . Além disto, eles também revelam como as propriedades elétricas do meio, ρ e κ expressas através dos parâmetros R^* e λ , influenciam no valor da corrente. A Eq. (11) mostra que para óleo quando $(l/D)=0$ a corrente é diferente de zero devido a capacitância do tubo cheio de ar. Por outro lado, para líquidos, a corrente na origem existe, mas é muito pequena porque equivale àquela do tubo cheio de ar e, portanto pode ser desprezada fazendo com que a relação $I \times (l/D)$ passe pela origem, veja Eq. (12).

3. APARATO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foi construída uma seção de testes para determinar experimentalmente a variação da corrente com a altura de líquido para líquidos com propriedades elétricas distintas. Foram realizados testes com óleo SAE20W50, água comum e água salgada (60g/litro), as propriedades elétricas estão na Tabela 1. A seção de testes consiste de um tubo cilíndrico de aço com 59mm de diâmetro interno posicionado na horizontal, veja Fig 3. O tubo recebeu um banho de cromo para evitar a formação de óxido de ferro que poderia prejudicar as medidas. O tubo contém uma haste cilíndrica de aço inox 308 com 0,8mm de diâmetro. A haste cruza a seção do tubo e possui suas extremidades isoladas. Nos ensaios o líquido foi sendo acrescido em incrementos de aproximadamente 5 mm pela parte superior do tubo e as medidas de nível foram realizadas utilizando um paquímetro digital com uma incerteza de $\pm 0,1$ mm.

As medidas de corrente elétrica foram realizadas utilizando o circuito mostrado na Fig. 4. Este circuito tem como estrutura básica um divisor de tensão. O método baseia-se em excitar o transdutor com uma tensão senoidal, de amplitude V_e , e mede-se a corrente, I , que circula pela malha com o uso de um resistor de carga, R_c . O resistor de carga é mantido suficientemente pequeno, ou seja, $|R_c| \cong 0,05|Z|$. Neste circuito a corrente elétrica I é expressa pela Eq. (13):

$$I = \frac{V_e}{[Z + R_c]} \quad (13)$$

A impedância Z do meio medido no transdutor é formada por: R - Resistência do fluido; C - Capacitância devido as fases gás e líquido; C_p - Capacitância de polarização devido ao efeito de polarização dos íons presentes na fronteira entre o metal do eletrodo e o eletrólito. A capacitância de polarização é dependente da frequência e amplitude da tensão de excitação, da geometria da interface eletrodo eletrólito, do material do eletrodo, da concentração do eletrólito, Mirtaheri *et al.* (2005) e Song *et al.* (1998). As medidas foram realizadas utilizando-se frequência de 100kHz e amplitude de 1V. Nestas condições a reatância devido à capacitância de polarização pode ser desconsiderada, e o modelo recai aquele descrito na Eq. 5. O valor de I é determinado a partir da medida de queda de tensão no resistor de carga, isto é, $I = V_m/R_c$. De forma adicional o valor de Z também pode ser determinado por meio da Eq.(13) conhecendo-se I , V_e e R_c .

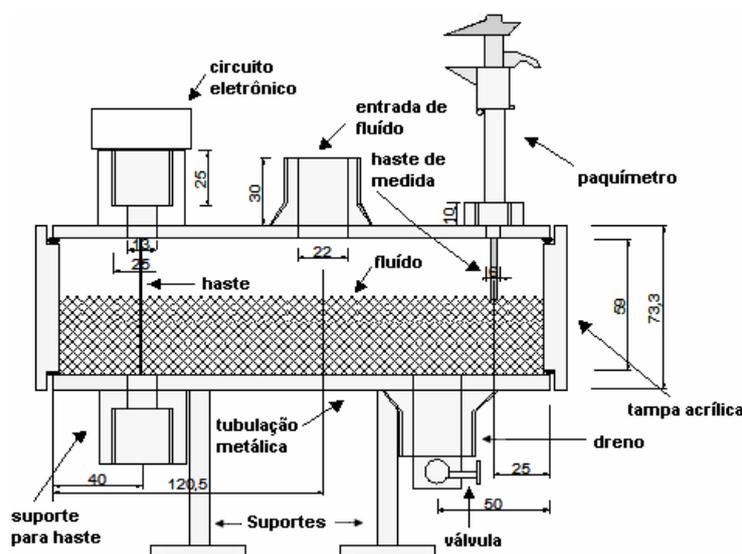


Figura 3. Montagem realizada para os testes.

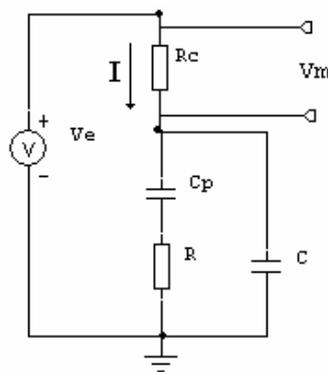


Figura 4. Modelo equivalente elétrico do sensor de impedâncias.

4. RESULTADOS

Esta seção compara os valores experimentais da corrente I contra os valores do modelo. Foram realizados testes com três pares de fluidos: óleo SAE20W50 e ar; água comum e ar e, água salgada (60g/litro) e ar. Cada teste consistiu de 8 leituras da corrente quando (l/D) variava entre 0 e 1. As propriedades elétricas dos fluidos, a frequência do oscilador e o parâmetro λ são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades dos Líquidos.

Líquido	Resistividade líquido (Ωm)	Dieletrico líquido (---)	Freq kHz	λ (---)
Água	4,E+01	80	100	2,22E-04
Água salgada	2,2E-01	80	100	1,22E-06
Óleo SAE20W50	1,E+10	2	100	5,56E+04

A Fig. 5 mostra as medidas experimentais (símbolos) e as estimativas do modelo (linha contínua) em função de (l/D) . Ela mostra que a corrente varia cerca de 6 ordens de magnitude entre os extremos: água salgada e óleo. O modelo é capaz de capturar a tendência dos dados experimentais tanto para fluidos puramente capacitivos como o óleo como para fluidos puramente resistivos como a água salgada. Os dados experimentais e o modelo também revelam que quanto menor for a resistividade maior será a corrente I .

A fase da impedância equivalente calculada a partir da Eq.(8) é mostrada na Fig. 6 em função de (l/D) para os três líquidos. Observa-se que para $(l/D) = 0$, isto é, o tubo está vazio, a fase é 90° para qualquer tipo de líquido indicando um efeito puramente capacitivo. Para líquidos dielétricos, tal como o óleo, a fase permanece constante com a variação de (l/D) . A água comum e a água salgada exibem um comportamento oposto ao do óleo. As fases da água comum e da água salgada são praticamente constantes, com exceção quando o tubo está vazio. Para a água comum a fase permanece em torno de 1° , e para a água salgada a fase é aproximadamente 0 .

5. CONCLUSÃO

Confirmou-se a partir de ensaios experimentais e do modelo que, independentemente das características elétricas da fase líquida, a medida da corrente no sensor é linear com a altura de líquido sendo esta uma desejável qualidade do instrumento. Os valores da corrente tiveram uma variação de seis ordens de magnitude indo desde um valor muito alto quando se trabalha com o óleo, que tem comportamento de dielétrico, até uma solução constituída principalmente de água salgada que se comporta como um condutor de baixíssima resistência. Estas características deverão ser incorporadas aos sensores desenvolvidos para a indústria do petróleo para atender os possíveis cenários de aplicação. O modelo teórico fornece valores para o projeto e dimensionamento do circuito elétrico. A influência da variação da propriedade elétrica da fase líquida também pode ser previstas pelo modelo permitindo que o projetista adote uma estratégia de compensação destas variações.

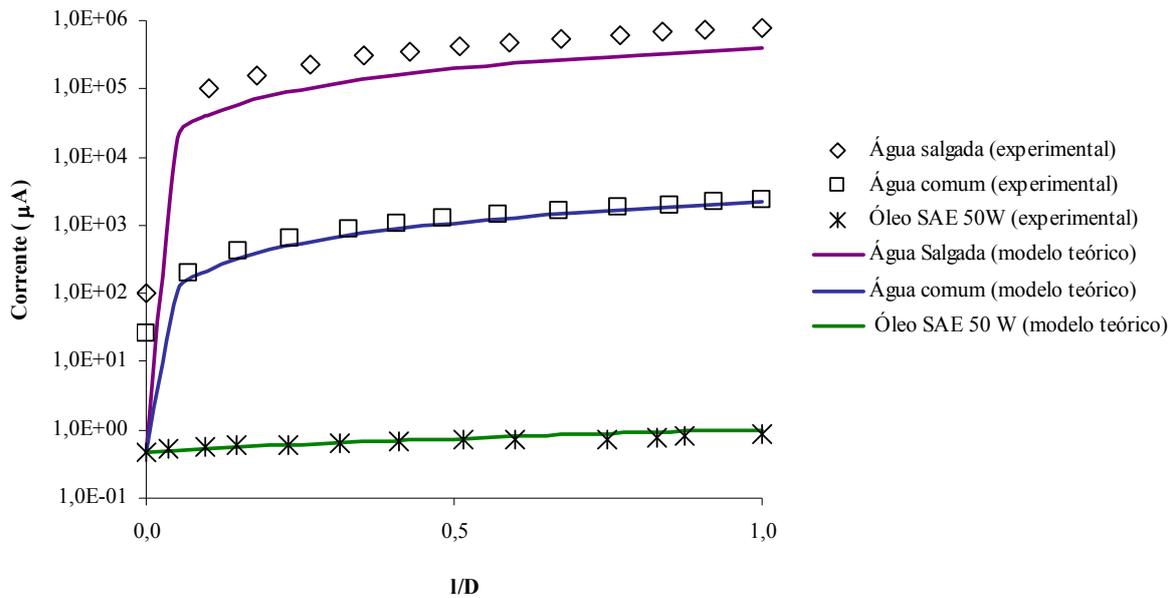


Figura 5. Comparação das correntes elétricas para diferentes fluidos utilizando o modelo teórico e o modelo experimental

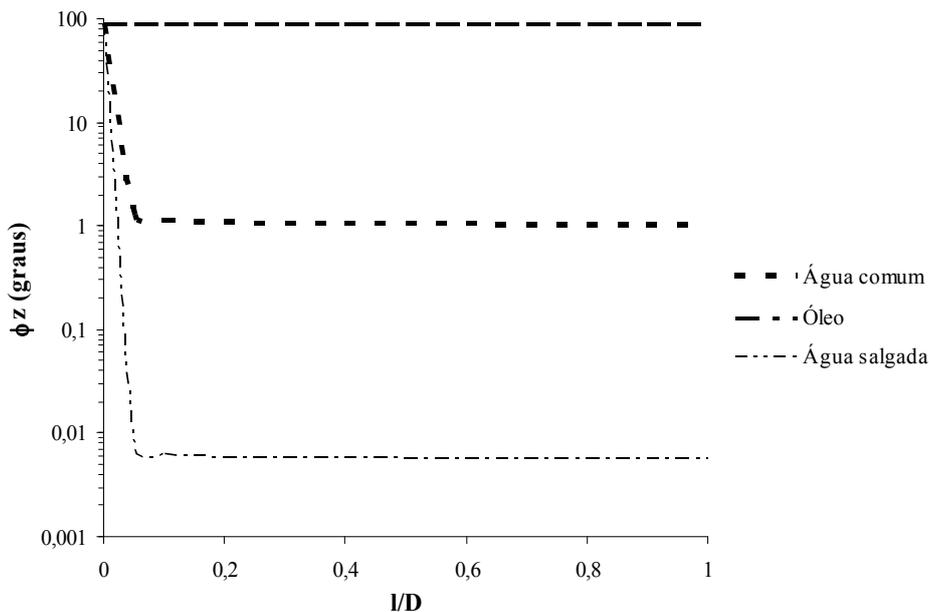


Figura 6. Variação da fase da impedância equivalente em função de (l/D) para três líquidos distintos

6. REFERÊNCIAS

- Andreussi, P., Di Donfrancesco, A. and Messia, M. (1988) "An impedance method for the measurement of liquid hold-up in two-phase flow". *Int. J. Multiphase Flow*, **14**, No. 6, 777-785.
- Ahmed, W. (2006) "Capacitance sensors for void-fraction measurements and flow-pattern identification in air-oil two-phase flow". *IEEE Sensors J.*, **6**, No. 5, 1153-1163.
- Ceccio, S. L. and George, D.L. (1996) "A review of electrical impedance techniques for the measurement of multiphase flows". *J. Fluids Engng*, June, **118**, 391-399.
- Costigan, G., Whalley, P. B., 1997, "Slug flow regime identification from dynamic void fraction measurements in vertical air-water flows", *International Journal Multiphase Flow* **23**, 263-282.
- Cho, J., Perlin, N. and Ceccio, S.L.. (2005) "Measurement of near-wall stratified bubbly flows using electrical impedance" *Meas. Sci. Technol.*, **16**, 1021-1029.

- Huang, S., Zhang, X., Wang, D. and Lin Z. (2008) "Equivalent water layer height (EWLH) measurement by a single-wire capacitance probe in gas-liquid flows", Int. J. Multiphase Flow, in press.
- Ishii, M. and Hibiki, T. (2006.) "Thermo-Fluid Dynamics of Two-Phase Flow", Springer.
- Jones, O.C. and Zuber, N. (1975) "The interrelation between void fraction fluctuations and flow patterns in two-phase flow". Int. J. Multiphase Flow **2**, 273-306.
- Mastelari, N., Zwanziger M., Rosa, S. E., 2005, "Capacitive Sensor for Dynamic Gas-Liquid Phase Detection ub Two-Phase Flows", 18th International Congress of Mechanical Engineering – Proceedings of COBEM.
- Mirtaheri, P., Grimnes S., Martinsen Ø. G., 2005, "Electrode Polarization Impedance in Weak NaCl Aqueous Solutions", IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 52, N^o. 12.
- Song N., C., Chung, M. K., No, H.C., 1998, "Measurements of void fraction by an improved multi-channel conductance void meter", Nuclear Engineering and Desing 184, 269-285.

MODELING IMPEDANCE SENSOR APPLIED TO GAS-LIQUID FLOW

Eugênio Spanó Rosa, erosa@fem.unicamp.br

Fernanda Cristina Corrêa, fernanda@fem.unicamp.br

Niederauer Mastelari, niede@fem.unicamp.br

Érico Porto, ericoporto@yahoo.com.br

Faculdade de Engenharia Mecânica- Unicamp

Abstract: *The measure of volumetric concentration of gas in a gas-liquid mixture is one of the most relevant quantities for characterization of two phase flow. There are several methods of measurement of volumetric concentration of gas, though the methods for measuring the impedance are among the most popular. Based on the difference between the electrical properties of liquid and gas phases by the impedance sensors have a signal proportional to the volumetric concentration of two phase flow. Besides, this type of sensor is simple and cheap. However, the range of the values of impedance may vary from six orders of magnitude depending if the liquid phase is salty water solution or an oil. That is, while in the first case the principle of operation of the sensor is due to variation of resistivity of the liquid, the second is due to variation of the dielectric between the gas and the liquid phases. This is a typical scenario in the oil and gas production where salt water is increasingly present as the wells become mature. A single sensor to impedances is not able to operate with a range of six orders of magnitude, however, this range of operation can be detected and corrected by using a sensor to compensate. The aim of this work is address this problem by presenting a single system to measure the impedance to compensate for changes in electrical properties of the liquid phase*

Keywords: *volumetric concentration, two-phase flow, impedance measure.*