



DESENVOLVIMENTO DE SENSORES DE CONDUTIVIDADE PARA MEDIÇÃO EM ESCOAMENTOS BIFÁSICOS

Bianca Araújo Siqueira – bianca.0511@hotmail.com

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - FACET

Rua Manoel de Abreu s/n, Mutirão

68440-000 – Abaetetuba - Pará

Jessica Lorrany Ferreira Barbosa – lorrany-barbosa@hotmail.com

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - FACET

Rua Manoel de Abreu s/n, Mutirão

68440-000 – Abaetetuba - Pará

Dayse Dias da Silva – daysedias18@hotmail.com

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - FACET

Rua Manoel de Abreu s/n, Mutirão

68440-000 – Abaetetuba - Pará

Rosimeire Gomes Almeida – almeidampr@hotmail.com

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - FACET

Rua Manoel de Abreu s/n, Mutirão

68440-000 – Abaetetuba – Pará

Marcelo de Oliveira e Silva – mos@ufpa.br

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia - FACET

Rua Manoel de Abreu s/n, Mutirão

68440-000 – Abaetetuba - Pará

Resumo: *Este artigo apresenta as etapas da construção de um sensor de condutividade para medição de escoamentos bifásicos onde ocorre ascensão de bolhas. Na construção, agulhas de acupuntura são usadas para ser o corpo do sensor devido a características físicas de rigidez e resistência a corrosão. Ao longo de toda extensão da agulha faz-se ranhuras para melhorar a aderência e defini-se qual será o tamanho do sensor. Um fio condutor parcialmente desencapado é enrolado e soldado com maçarico. O revestimento, mistura de tinta isolante e clorofórmio, isola a parte metálica e a ponta que fica exposta capta os sinais emitidos do meio condutor/isolante. Este procedimento tem como objetivo construir um sensor através do qual pode-se obter dados experimentais em colunas de borbulhamento, processos de flotação, minerodutos etc. Para isso, é importante realizar cuidadosamente cada passo da construção afim de garantir um sensor que forneça resultados satisfatórios com a mínima intrusividade no sistema e a caracterização do sensor é adequadamente avaliada quanto a sua incerteza dimensional.*

Palavras-chave: *Sensores eletroresistivos, Escoamento bifásico, Análise de incertezas, erros de medição.*

Realização:

 **ABENGE**

Organização:



**O ENGENHEIRO
PROFESSOR E O
DESAFIO DE EDUCAR**



1. INTRODUÇÃO

O escoamento bifásico vertical é típico em indústrias químicas, petroquímicas e de produção de petróleo, e pode ocorrer nos circuitos de refrigeração de reatores nucleares (COSTA, 2007). A instrumentação para fazer estas medições é vital para a indústria. Os instrumentos tem produzido uma grande economia de tempo e mão de obra envolvida. Os sistemas de instrumentos agem como extensões dos sentidos humanos e facilitam o armazenamento da informação de situações complexas. O elemento sensor não é um instrumento, mas faz parte integrante da maioria absoluta dos instrumentos. O elemento sensor ou elemento transdutor é o componente do instrumento que converte a variável física de entrada para outra forma mais usável (RIBEIRO, 2004).

Uma das instrumentações utilizadas para a medição de escoamentos multifásicos é composta do sensor, de uma coluna de borbulhamento, um circuito eletrônico, um osciloscópio, placa de aquisição, uma câmera de vídeo que tenha um modo de gravação de alta velocidade, uma injeção de ar e um computador, todos estes elementos devem estar interconectados conforme mostra a figura 1.

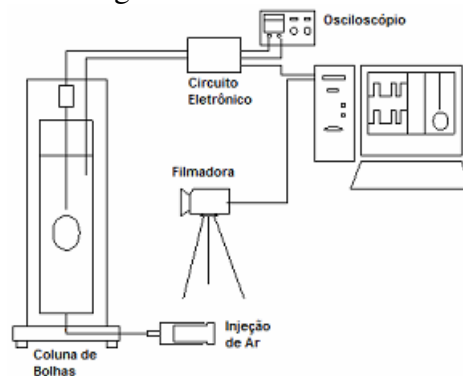


Figura 1—Instrumentação utilizada na medição de escoamentos multifásicos (Silva et al, 2007).

Água destilada desionizada misturada com 2 g/L de acetato de sódio é colocada na coluna de borbulhamento e com a injeção de ar formam-se bolhas de volumes pré-definidos caracterizando assim uma mistura bifásica composta de água e ar. O sensor fica inserido na parte superior, no centro do diâmetro da coluna. A bolha de ar ao subir tem a parte dianteira em contato com o sensor que capta a passagem para o meio isolante, ou seja, o ar; imediatamente o sensor que está ligado ao circuito, à placa de aquisição e ao computador emite um sinal representado por um pulso aberto que é visualizado no osciloscópio. Ao passar pela parte traseira da bolha, o sensor volta a entrar em contato com o meio condutor e o pulso é fechado. Os pulsos gerados ficam armazenados no computador e através deles é possível calcular a velocidade e a corda das bolhas. A câmera de vídeo é utilizada com o mesmo objetivo: a imagem dos quadros registra a passagem das bolhas pelo sensor e por estas imagens pode-se fazer um tratamento para determinar a velocidade e a corda das bolhas.

Aqui procurou-se construir um sensor de baixo custo feito artesanalmente. Exposto sua utilização, a seguir são descritos os passos na construção deste elemento.



2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A construção do sensor proposto e os detalhes de construção serão descritos e a caracterização do mesmo será apresentada. Através de análise de imagens, o sensor é dimensionado.

2.1. Construção do sensor de condutividade

A construção de um sensor com a finalidade de medição de um escoamento bifásico (água e ar no caso) começa com a escolha de uma agulha que será o canal de emissão de sinais. Após analisar o formato e espessura de diversas agulhas disponíveis no mercado, as agulhas específicas para acupuntura se mostraram as mais adequadas para a construção do sensor. O diâmetro ideal destas agulhas varia entre 0,5 e 0,3 mm devido a questões de rigidez e interferência destas sobre o escoamento (Fig. 2).

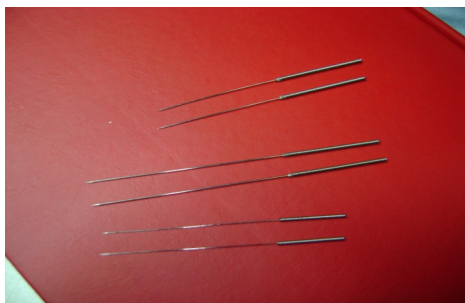


Figura 2—Agulhas de acupuntura usadas na construção do sensor.

Os materiais utilizados para o desenvolvimentos dos sensores foram selecionados de acordo com propriedades dos materiais, quanto ao isolamento elétrico, rigidez e dimensões. Para a construção do sensor são necessários os seguintes materiais:

- Agulha de acupuntura com diâmetro entre 0,3 e 0,5 mm;
- Cola de marca Super Bonder (isolante e rigidez);
- Estilete;
- Alicates de ponta fina;
- Fio condutor (0,5mm de diâmetro);
- Clorofórmio (solvente para tinta isolante);
- Maçarico (reforça a conexão entre o fio condutor e a agulha);
- Luva de borracha (proteção individual);
- Resina Epóxi (isolante e reforço na rigidez do sensor);
- Tinta isolante (camada isolante impermeável).

2.2. Preparação da agulha

De posse da agulha é necessário fazer em toda sua superfície ranhuras com um estilete para melhorar a aderência a outros materiais, pois posteriormente lhe será aplicadas camadas de tinta isolante que poderiam deslizar se a superfície estivesse lisa. Segura-se uma de suas



extremidades com um alicate e faz-se as ranhuras perpendiculares ao seu comprimento usando o estilete (Fig. 3). Após essa etapa, a parte superior da agulha (a parte mais grossa) é retirada usando o alicate. Dependendo da espessura da agulha, pode-se cortar um pouco mais embaixo (da parte mais grossa) para aumentar sua rigidez. Em seguida, deve-se desencapar parte de um fio condutor usando o estilete e enrolar a parte desencapada na parte superior da agulha de modo a manter o contato com o sensor. Note que o comprimento do fio condutor a ser cortado e desencapado deve ser específico ao seu tipo de aplicação (Fig. 4).



Fig. 3—Ranhuras sendo feitas na agulha.



Figura 4—Fio desencapado sendo enrolado na agulha.

Após envolver o fio na agulha, deve-se usar um alicate de ponta fina para apertar e fixar o fio condutor enrolado na agulha. Em seguida, usando uma luva de borracha deve-se aplicar “a mão” uma camada de cola do tipo Super Bonder sobre a região onde o fio está enrolado na agulha. Para fixar e prender o fio condutor e a agulha, um pequeno maçarico é usado para soldá-los. Deve-se tomar cuidado para não queimar a parte do fio que continua encapada. O ponto de solda ocorre quando é possível notar pequenas bolhas no metal do fio soldado.

2.3. Revestimento do sensor

Para o revestimento, usa-se uma mistura de tinta isolante e clorofórmio preparada em um tubo de ensaio. O revestimento tem por objetivo isolar o corpo da agulha de forma a deixar só a ponta metálica captando os sinais. O clorofórmio é usado para diluir a tinta e diminuir sua plasticidade, sendo possível revestir melhor o sensor. A proporção entre a tinta e o clorofórmio varia e deve ser feita de acordo com o estado da tinta: quanto mais viscosa mais clorofórmio é necessário. O sensor é revestido completamente, mergulhando-o na mistura. Esse procedimento deve ser realizado rapidamente, pois a volatilidade do clorofórmio faz com que a solução fique viscosa novamente após alguns segundos. Deve-se evitar que pedaços não diluídos de tinta fiquem no revestimento, retirando-os cuidadosamente do sensor antes que a solução seque.

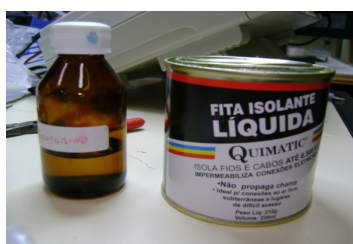


Figura 4—Clorofórmio e tinta isolante usados no revestimento.



Após secar a solução aplicada no sensor, o processo de revestimento deve ser repetido quantas vezes forem necessárias até que todo o sensor esteja coberto pela solução. Após secar a última camada de tinta, o sensor deve ser revestido por uma camada final de epóxi (ideal que seja o de secamento rápido) usando a luva de borracha para espalhá-lo sobre todo o comprimento do sensor. Isso tem por finalidade melhorar o isolamento e torná-lo mais rígido. Por fim, deve-se deixar o sensor em repouso por 24 horas para secar.

A ponta do sensor deve ser lixada para gerar o contato. Para tal, deve-se usar uma lixa fina, lixando suavemente até expor a ponta metálica da agulha. O ideal é remover de modo uniforme no contorno da ponta da agulha. A ponta do sensor fica com o tamanho médio exposto em torno de 0,2 mm.

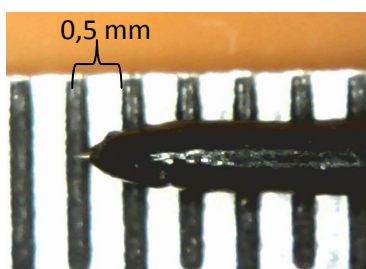


Figura 5—Sensor com a ponta exposta.

3. RESULTADOS

Os sensores desenvolvidos são avaliados em uma coluna de vidro vertical, onde volumes específicos de ar são injetados na base da mesma, conforme as imagens da Figura 7. A distância entre as pontas do sensor duplo desenvolvido foi determinada através de análise estatística de imagens de alta resolução. O tratamento adequado nas imagens obtidas permite obter a distância entre os sensores e sua respectiva incerteza. O método estatístico T-Student é usado para avaliação adequada da incerteza segundo a amostragem das imagens obtidas.

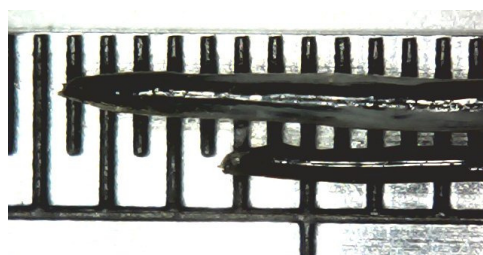


Figura 6: Sensor duplo desenvolvido, com distância entre as pontas de $2,46 \pm 0,03 \text{ mm}$.

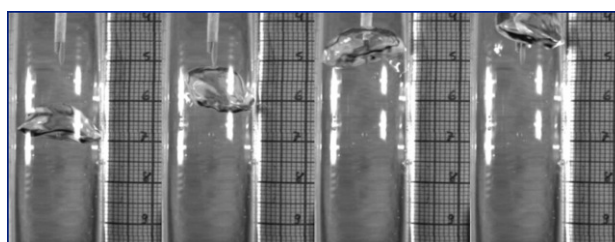


Figura 7: Bolhas de 0,5 ml atravessam o sensor na coluna de vidro vertical.



Bolhas geradas atravessam um sensor duplo, cuja passagem é registrada em osciloscópio. A passagem da bolha interrompe a corrente elétrica e pulsos são gerados através do sinal analógico captado. Os resultados da Figura 8, mostram que o sensor desenvolvido consegue representar de maneira adequada a passagem da bolha pelo sensor. Um tratamento mais apurado é feito para garantir a eficiência do sensor desenvolvido.

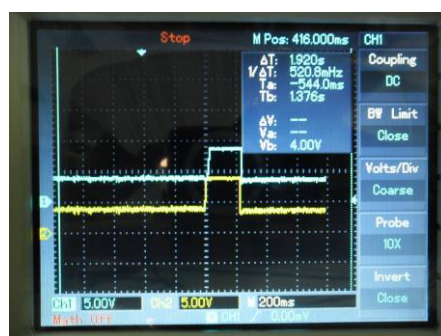


Figura 8: Bolhas Sinais Analógicos registrados devido à passagem da bolha pelo sensor duplo desenvolvido.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria necessita de instrumentos capazes de monitorar seus processos. Nem sempre é possível manter o controle apenas visualmente, como nos escoamentos em minerodutos ou caldeiras de flotação, sendo conveniente o uso de sensores para determinação da quantidade de cada uma das substâncias envolvidas. O sensor apresentado ao longo deste artigo vem a ser um dos instrumentos utilizados nessas medições. Sua função principal é ser o receptor dos sinais gerados pela diferença de condutibilidade elétrica no meio bifásico. A intrusividade é um fator a ser considerado tanto na elaboração quanto na determinação do erro que este fornece às medições. Por isso, deve-se construí-lo fino o suficiente tanto para ser rígido como bem isolado. Os resultados mostram que o sensor consegue representar de maneira adequada a fase gasosa do escoamento, e um método de calibração adequado poderá permitir uso confiável destes sensores para medição de parâmetros em escoamento bifásico, tais como tamanho de bolhas e suas velocidades.

Agradecimento

Os autores agradecem o financiamento da PROPES/UFPA para o desenvolvimento deste trabalho.

5. REFERÊNCIAS

COSTA, E. C. F.; SASSIM, N. A.; FRANÇA, F. A. *Caracterização do escoamento intermitente vertical com sonda condutiva intrusiva*. 4º PDPETRO, Campinas, SP, out. 2007. Disponível em: <http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/4/resumos/4PDPETRO_2_3_0290-1.pdf>. Acesso em: 10 de set. de 2011.

RIBEIRO, Marco Antônio. *Metrologia industrial: fundamentos da confirmação metrológica*. 6ª Ed. Salvador, 2004.



SILVA, M. O. et al. *Análise de técnica de sensores duplos de condutividade para a obtenção da velocidade e do tamanho de bolhas usando filmagem de alta velocidade*. XXXIII Congresso brasileiro de sistemas particulados—ENEMP. Aracaju: 2007.

BARBOSA, J. R. (1997), “O método dos senores eletro-resistivos aplicado à pluma de bolhas”. Dissertação de mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 112p.

BENDAT, J. S. e PIERSOL, A. G. (1966), “Measurements and Analysis of Random Data”, John Wiley & Sons Inc., New York.

CASTILLEJOS, A. H. e BRIMACOMBE, J. K. (1987), “Measurement of Physical Characteristics of Bubbles in Gas-Liquid Plumes: Part I. An Improved Electroresistivity Probe Technique”. Metallurgical Transactions B, Vol. 18bB, pp 649.

HOFFER, M. S. e RESNICK, W. (1975), “A Modified Electroresistivity Probe Technique for Steady and Unsteady-State Measurements in Fine Dispersions - I”. Chemical Engineering Science, Vol. 30, pp 473-480.

GUPTA, P., MUTHANNA, H. A., MILORAD, P. D., PATRICK, L.M. (2000), “A novel signal filtering methodology for obtaining liquid phase tracer responses from conductivity probes”, Flow Measurement and Instrumentation, Vol 11, p.123-131.

ISHII, M. e WU, Q. (1999), “Sensitivity study on double-sensor conductivity probe for the measurement of interfacial area concentration in bubbly flow”. Int. J. Multiphase Flow, Vol. 25, pp 155-173.

JONES, O. C. e ZUBER, N. (1975), “The Interrelation Between Void Fraction Fluctuations and Flow Patterns in Two-Phase Flow”. Int. J. Multiphase Flow, Vol. 2, pp 273-306.

MUÑOZ-COBO, J. L. et Al. (2007), “Monte-Carlo calculation of the calibration factors for the interfacial area concentration and the velocity of the bubbles for double sensor conductivity probe”. Nuclear Engineering and Design, Vol. 237, pp 484-496.

ZAHO, D. et Al. (2005), “An experimental study on local interfacial area concentration using a double-sensor probe”. Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol. 48, pp 1926-1935.



SENSORS CONDUCTIVITY DEVELOPMENT TO MEASURE IN TWO PHASE FLOW

Abstract: *This paper presents the steps of constructing a conductivity sensor for measuring flow in which biphasic rise of bubbles occurs. In construction, acupuncture needles are used for the sensor body due to physical characteristics of rigidity and anti corrosion. Throughout the entire length of the needle groove is made to improve the grip and which is set if the size of the sensor. A thread is wound partially bare torch and solder. The coating mixture of chloroform and insulating ink, isolates the metal tip is exposed and picks up signals transmitted through the conductor / insulator. This procedure aims to build a sensor through which one can obtain experimental data in bubble columns, flotation processes, pipelines etc.. For this, it is important to carefully every step of the construction in order to ensure a sensor that provides satisfactory results with minimal intrusiveness in the system and characterization of the sensor is properly avalaiado as its dimensional uncertainty.*

Key-words: *Conductivity Sensors, Two phase flow, uncertainty analysis, measurement errors.*