

ESTUDO EXPERIMENTAL DE ESCOAMENTOS BIFÁSICOS E MEDIÇÃO DE VAZÃO COM PLACA DE ORIFÍCIO

Sonia Magalhães dos Santos

Departamento de Física – Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Av. Itália, km 8 - Campus Carreiros - Rio Grande/RS – Brasil – CEP: 96201-900
vnsantos@mikrus.com.br

Luiz Alberto Oliveira Rocha

Departamento de Física – Fundação Universidade Federal do Rio Grande (FURG)
Av. Itália, km 8 - Campus Carreiros - Rio Grande/RS – Brasil – CEP: 96201-900
dfsrocha@furg.br

Resumo. Este trabalho tem por objetivo o estudo experimental do escoamento bifásico água-ar em regime de bolhas dispersas, além da determinação do fluxo mássico deste escoamento. Em um tubo cilíndrico de acrílico transparente, são instalados quatro sensores resistivos e uma placa de orifício. O princípio de medida dos sensores é baseado nas diferentes resistividades do ar e da água. São realizadas aquisições de sinais com os sensores resistivos para diferentes fluxos mássicos, tanto de água como de ar, obtendo-se a fração de vazio local, o diâmetro das bolhas baseado no tempo de contato entre a bolha e o sensor, suas velocidades, flutuações de pressão e a frequência de passagem das bolhas durante o período de medida. Calcula-se o coeficiente de arraste e os números adimensionais característicos do estudo de bolhas, Morton, Archimedes e Eotvos, que independem da velocidade da bolha e Reynolds, Weber e Froude, que são dependentes da velocidade relativa da bolha, mostrando que a forma da bolha é resultado dos efeitos combinados de forças inerciais, gravitacionais, viscosas e tensão superficial. O fluxo mássico é calculado pela equação de Murdock, conhecendo-se as propriedades termodinâmicas dos fluidos, a fração de vazio e a perda de pressão medida pela placa de orifício, ligada a um sensor diferencial de pressão do tipo capacitivo.

Palavras-chave: escoamento bifásico, bolhas dispersas, aquisição de sinais, medição de fluxo, placa de orifício.

1. Introdução

O estudo experimental do escoamento bifásico realizado neste trabalho é caracterizado pelo escoamento em regime de bolhas dispersas para o caso específico Água – Ar, procurando assim descrever o comportamento de pequenas bolhas de ar ao longo de um escoamento de água, e através de aquisição de sinais determinar sua geometria, velocidade, fração de vazio para uma dada secção de tubo, além da determinação do fluxo mássico do escoamento bifásico através de placa de orifício por equação proposta por Murdock, 1962.

Segundo Lahey, 1974, um escoamento bifásico caracteriza-se por um elevado grau de irregularidade devido as variações aleatórias locais da fração de vazio, as quais podem ser definidas como a probabilidade de que um ponto no espaço seja circundado pela fase gasosa em algum tempo.

Winjgaardem, em 1968, descreveu o escoamento transiente, unidimensional de misturas bifásicas líquido-bolhas e investigou a dispersão linear e não linear de pulsos de pressão em mistura bifásica e concluiu que, embora as aproximações na sua análise não permitissem um resultado quantitativo exato, a teoria desenvolvida tornou claro que as misturas bifásicas água-ar são fortemente dispersivas e que pressões médias elevadas na mistura podem ocorrer durante o colapso não linear de bolhas individuais.

Kuznetsov et al, em 1985, investigaram uma grande faixa de parâmetros adimensionais caracterizando o processo de propagação de perturbações da pressão numa mistura líquido-gás como o número de Reynolds e a relação entre os valores de dispersão.

Theofanous e Sullivan, em 1982, mediram a turbulência em escoamentos bifásicos em tubulações num regime de bolhas dispersas, usando técnicas de velocimetria Laser Doppler e mostraram que as medidas da intensidade de turbulência possuem uma forte dependência com o título do escoamento.

Sheikholeslami e Patel, em 1988, propuseram uma modelagem numérica para calcular o campo de escoamento numa gama de configurações de placas de orifício e parâmetros do escoamento.

Fokin, em 1995, propôs uma descrição matemática aproximada para investigar o escoamento bifásico unidimensional, transiente e estabilizado adiabaticamente. Observou que a ausência de instabilidade das fases podia resultar num decréscimo de perda de energia de atrito quando comparado com o escoamento permanente sem

flutuações. Constatou que as flutuações dos parâmetros do escoamento bifásico real representam a superposição de um processo harmônico com um ruído.

Ponoth(2000a) e Ponoth(2000b) apresenta uma revisão dos diversos experimentos, realizados de 1953 a 1995 e de 1963 a 1996, respectivamente, sobre o movimento de bolhas em água e em outros líquidos.

Moreau(2000b) apresenta um estudo sobre a forma das bolhas e sua dinâmica, mostrando as grandezas físicas envolvidas, como coeficiente de arraste e, também, os números adimensionais característicos no estudo de bolhas, Morton, Archimedes e Eotvos, que independem da velocidade da bolha, e Reynolds, Weber e Froude, que são dependentes da velocidade relativa da bolha, mostrando que a forma da bolha é o resultado dos efeitos combinados de forças inerciais, gravidade, tensão superficial e viscosidade.

Existe uma grande quantidade de problemas em processos industriais que envolvem a medição de fluxo que, intencionalmente ou não apresentam mais de uma fase e que normalmente envolvem altos custos. O estudo do movimento de bolhas de gás em um líquido pode fornecer informações valiosas sobre as propriedades da interface líquido-gás, sendo um problema de engenharia de considerável importância nas indústrias químicas, petroquímicas, nucleares, de alimentação, aeroespaciais, estando presente nos setores de transporte pneumático, transporte hidráulico, bombeamento, pulverização, combustão gás-líquido, combustão com spray de gás, combustão em leito fluidizado, tratamento de água, agitadores, escoamento em reatores, desidratação e processos de granulação para produção de alimentos, tecnologia ambiental além de outros.

2. Bancada de Ensaios

A bancada para o estudo do escoamento bifásico água-ar, é constituída dos elementos apresentados na "Fig. 1":

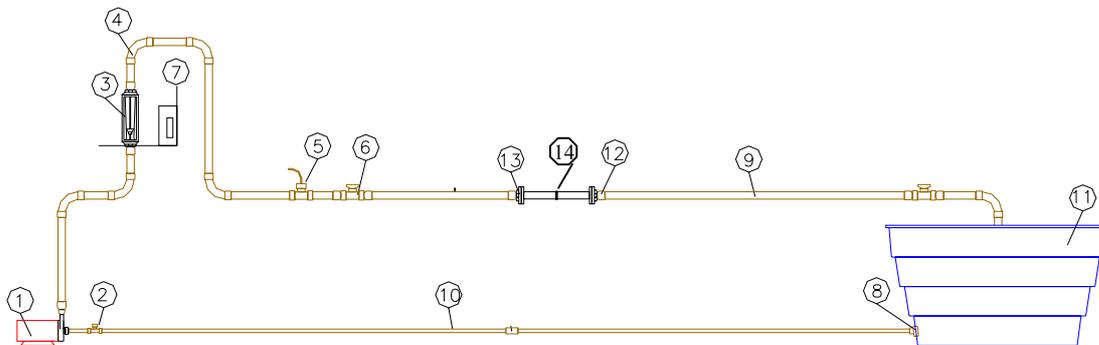


Figura 1. Bancada de Ensaios

Onde: 1) Bomba centrífuga $\frac{3}{4}$ cv; 2) Válvula de esfera PVC de 1"; 3) Rotâmetro para água; 4) Joelho PVC de 50mm; 5) "T" PVC de 50 mm ; 6) Válvula de esfera PVC de 2 "; 7) Rotâmetro para ar; 8) Flange para caixa d'água PVC de 1"; 9) Tubulação PVC de 50 mm; 10) Tubulação PVC de 1"; 11) Reservatório de água de 1000 litros; 12) Adaptador de 2 " para 50mm; 13) Flange de ferro fundido de 2 "; 14) Placa de orifício em tubo de acrílico de 2".

Um sensor de membrana (Smar, 1996) é usado para transformar uma diferença de pressão, entre as secções a montante e a jusante da placa de orifício, em voltagem, de modo que este sinal possa ser lido por um programa apropriado (Advantech, 2001). Sua incerteza é de 0,2% da leitura do visor do sensor e para a ddp, em volts, é de $\pm 0,005\%$. Seu princípio de funcionamento é do tipo capacitivo.

Os sensores resistivos localizam-se no tubo acrílico transparente e consistem em dois fios de níquel-cromo, sendo um deles curvado, ficando alinhado com o outro e tendo entre eles uma distância de 0,5mm, e uma resistência R de 1,5 k Ω ligada a um dos fios, conforme "Fig. 2". Os sensores são alimentados com uma tensão de 15 volts. No espaço entre os fios estará passando água ou ar, que possuem diferentes resistividades, funcionando como uma resistência em série com a resistência R . É medida a diferença de potencial, ddp, nos terminais do sensor. Como a resistividade do ar é muito maior que a da água, o circuito ficará aberto medindo-se uma ddp alta, equivalente à da fonte de tensão, quando a bolha passa. No caso do escoamento de água, será menor o valor da ddp adquirida pela placa de aquisição de dados numa frequência estipulada, diferenciando naquele momento se está passando água ou ar no sensor. O esquema de ligação dos quatro sensores resistivos ao computador, é mostrado na "Fig. 3". Na "Fig. 4" é mostrado o comportamento da ddp medida, durante a passagem de água e de ar.



Figura 2. Sensor resistivo.

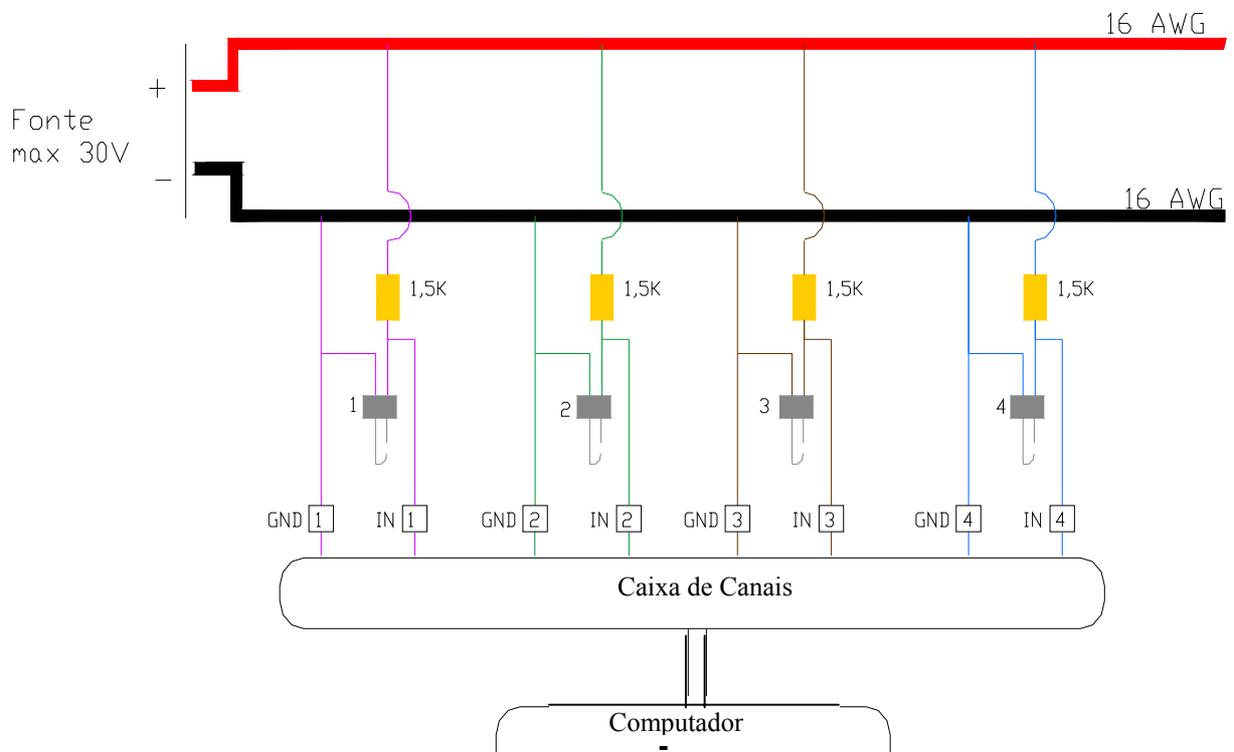


Figura 3. Esquema de ligação dos quatro sensores resistivos ao computador.

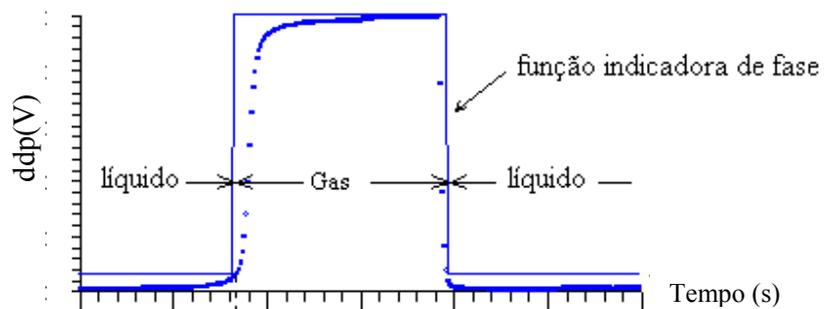


Figura 4. Comportamento da ddp medida, durante a passagem de água e de ar.

Utilizou--se a placa de aquisição de dados PL711B (Advantech, 2001) . Possui 8 canais, resolução de 12 bits, voltagem máxima de entrada de 35 Volts. Tem impedância de entrada de $10M\Omega$, incerteza de $\pm 0,01\% \pm 1$ LSB da leitura, faixa de trabalho de ± 10 Volts, frequência de aquisição de 20 KHz dependente do computador e taxa de conversão de analógico para digital de 40 μ s. Os sinais de saída são armazenados em arquivos digitais através do programa de aquisição de dados (Advantech Genie, 2001).

3. Estudo da geometria da bolha por aquisição de sinais

Os sinais captados pelos sensores resistivos possibilitam o cálculo do comprimento de uma das cordas (a) do eixo maior da bolha e a velocidade por esta atingida. A pequena dimensão do sensor garante o mínimo de perturbação ao escoamento. A "Fig. 4, a,b,c" ilustra a passagem da bolha através dos sensores.

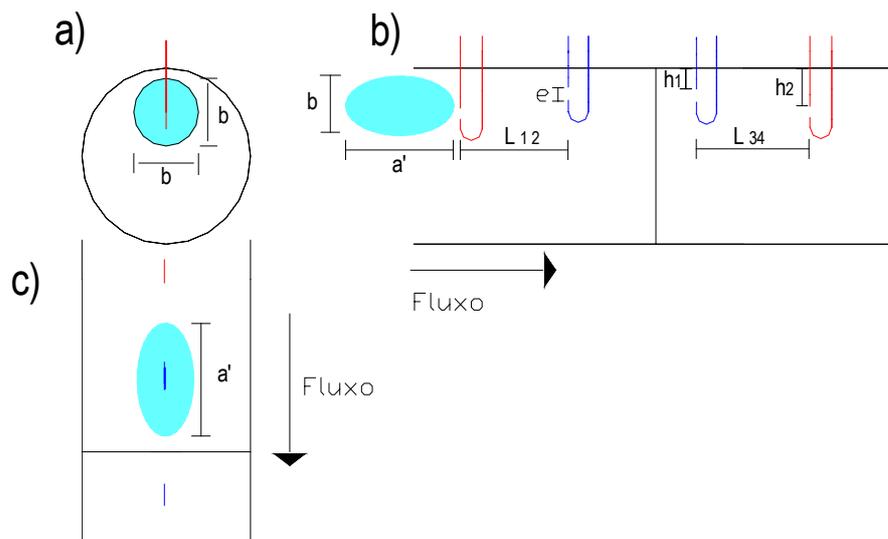


Figura 5. Passagem da bolha através dos sensores.

Sendo:

$L_{12} = 58,5\text{mm}$; $L_{34} = 60,7\text{mm}$; $h_1 = 2\text{mm}$; $h_2 = 3\text{mm}$; $e = 1,5\text{mm}$;

As "Equações 1 a 4" foram utilizadas para cálculo das velocidades v e geometria das bolhas através dos sinais adquiridos pelos sensores resistivos, de acordo com a "Fig. 5, a, b, c".

$$v = \frac{L_{12}}{t_{12} - t_{11}} \quad (1)$$

$$v = \frac{a}{t_{21} - t_{11}} \quad (2)$$

$$v = \frac{L_{34}}{t_{14} - t_{13}} \quad (3)$$

$$v = \frac{a}{t_{23} - t_{13}} \quad (4)$$

onde:

t_{11} = tempo inicial da bolha no sensor 1;

t_{12} = tempo inicial da bolha no sensor 2;

t_{21} = tempo final da bolha no sensor 1;

a = corda do eixo maior da bolha;

L_{12} = distância do início do primeiro sensor ao início do segundo sensor.

t_{13} = tempo inicial da bolha no sensor 3;

t_{14} = tempo inicial da bolha no sensor 4;

t_{23} = tempo final da bolha no sensor 3;

L_{34} = distância do início do terceiro sensor ao início do quarto sensor.

4. Classificação das bolhas

Segundo Clift, 1978, as bolhas em movimento sob a influência da gravidade podem ser agrupadas de três maneiras:

Esféricas: O termo “esférico” é utilizado para bolhas em que a razão entre o eixo menor e o eixo maior situa-se próximo de 1.

Elipsoidal: Bolhas oblatas com uma interface convexa (vista de dentro), em torno de toda superfície e achatada nos pólos (como a superfície da Terra).

Capa esférica ou Capa elipsoidal: Grandes bolhas possuem a tendência de adotar a base plana ou dentada, sendo assimétricas em relação aos seus eixos. Se a bolha possui uma depressão na parte traseira, ela é dita freqüentemente que possui uma “cova” (dimpled). Grandes bolhas com formas de capas esféricas ou elipsoidais podem arrastar finas camadas de fluidos dispersos; deformando-se, sua geometria assume a forma de abas.

Para caracterizar as bolhas são determinados os números adimensionais característicos do estudo de bolhas, Morton, Eotvos e Reynolds, a partir das variáveis:

d = diâmetro da bolha;

g = aceleração da gravidade;

ρ_l = massa específica do líquido;

μ_l = viscosidade do líquido;

σ = tensão superficial do líquido;

Q_L = fluxo em volume de líquido (m^3/s);

A = área do tubo de acrílico de 2".

w = velocidade relativa da bolha (velocidade da bolha, v - velocidade do líquido, V_L), sendo V_L dado pela "Eq 5".

$$V_L = \frac{Q_L}{A} \tag{5}$$

A "Equação 6" descreve o número de Eotvos (E_o), sendo este a razão entre a força da gravidade e a força devido a tensão superficial. Quando a tensão superficial é dominante sobre a pressão hidrostática, a superfície superior e inferior da bolha mantém-se esférica, caso contrário, ela tende a diminuir de altura, tornando-se um elipsóide ou outra forma de bolha .

$$E_o = \frac{\rho_l g d^2}{\sigma} \tag{6}$$

Em um escoamento em tubulação vertical, o número de Morton representa a tendência relativa das forças viscosas arrastarem lateralmente a bolha na forma de uma capa esférica. O número de Morton (M), é definido pela "Eq. 7", sendo a razão entre as forças viscosas e forças devido a tensão superficial.

$$M = \frac{g \mu_l^4}{\rho_l \sigma^3} \tag{7}$$

O Número de Reynolds(Re), é definido pela "Eq. 8", sendo a razão entre forças de inércia e forças viscosas.

$$Re = \frac{\rho_l w d}{\mu_l} \tag{8}$$

A "Figura 6" mostra a classificação das bolhas em função dos números de Morton, Eotvos e Reynolds.

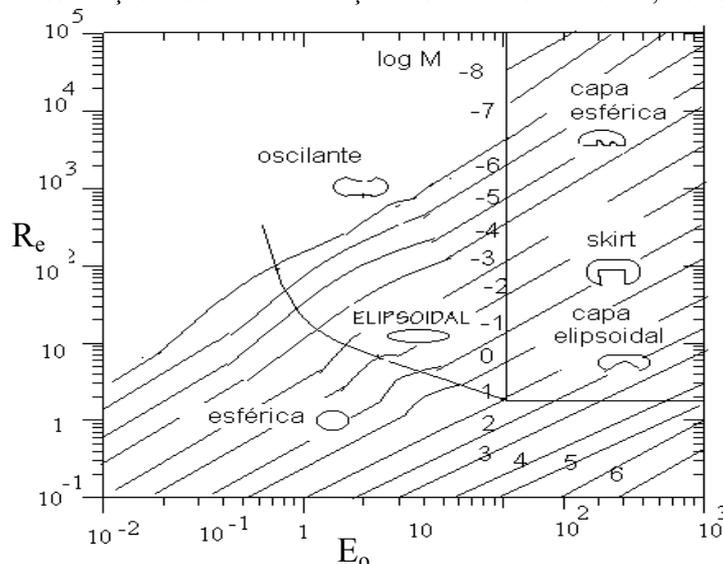


Figura 6. Geometria de Bolhas e Gotas em Movimento através de líquidos (Clift, 1978).

5. Determinação do fluxo de massa

Para obter-se os fluxos de massa dos escoamentos de ar, água e bifásico água-ar, a fração em massa de água, e a fração de vazio, utilizou-se o roteiro de cálculo descrito por Murdock (1962), conforme "Eqs.9 a 15".

$$\omega = \frac{K_G Y_G a_o \sqrt{2g \Delta P_{TP} \gamma_{G1}}}{(1-y) + 1,26 y \frac{K_G Y_G}{K_L} \sqrt{\frac{\gamma_{G1}}{\gamma_{L1}}}} \quad (9)$$

$$\omega_G = a_G (K_G Y_G)_{TP} \sqrt{2g \Delta P_{TP} \gamma_{G1}} \quad (10)$$

$$\omega_G = \rho_G \times Q_G \quad (11)$$

$$\omega_L = a_o K_L \sqrt{2g \Delta P_L \gamma_{L1}} \quad (12)$$

$$\omega_L = \rho_L \times Q_L \quad (13)$$

$$y = \frac{\omega_L}{\omega_G + \omega_L} \quad (14)$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_G}{\omega_G + \omega_L} \quad (15)$$

onde:

ω = fluxo de massa do escoamento bifásico água-ar (kg/s).

a_o = área do orifício (m²).

ΔP_{tp} = diferença de pressão no escoamento bifásico (N/m²)

γ_{G1} = peso específico do ar antes da placa de orifício (t = 26°C e p = 7bar).

γ_{L1} = peso específico da água antes da placa de orifício (t = 26°C e p = 17x10⁴ N/m²).

$K_G Y_G$ = fator de correção para gás devido a expansão volumétrica e a velocidade.

K_L = fator de correção para água.

ω_G = fluxo de massa de gás em (kg/s)

a_G = área ocupada pelo gás durante o escoamento bifásico

ρ_G = massa específica de gás em (kg/m³)

Q_G = fluxo em volume de gás (m³/s)

ω_L = fluxo de massa da água em (kg/s)

ΔP_L = diferença de pressão na fase líquida (N/m²), lido só com fluxo de água.

ρ_L = massa específica de líquido em (kg/m³)

Q_L = fluxo em volume de líquido (m³/s)

y = fração em massa de água

ε = fração em massa de ar ou fração de vazio

5. Resultados

5.1. Perda de pressão na placa de orifício para escoamento de água

Foram utilizadas quatro vazões de água, para as quais foram lidas, no sensor diferencial de pressão suas correspondentes ddp(volts). Através da curva de calibração do sensor Smar encontra-se os respectivos Δp_L (kPa), conforme "Eq. 16".

$$\Delta p \text{ (kPa)} = 56,439 \cdot \text{ddp (volts)} - 54,684 \quad (16)$$

5.2 Perda de pressão na placa de orifício para escoamento bifásico água-ar

Foram utilizadas 4 vazões de água e 10 de ar, para as quais foram lidas, no sensor diferencial de pressão as ddp (volts), e calculados os respectivos Δp (kPa), conforme mostram as "Figs. 7 e 8".

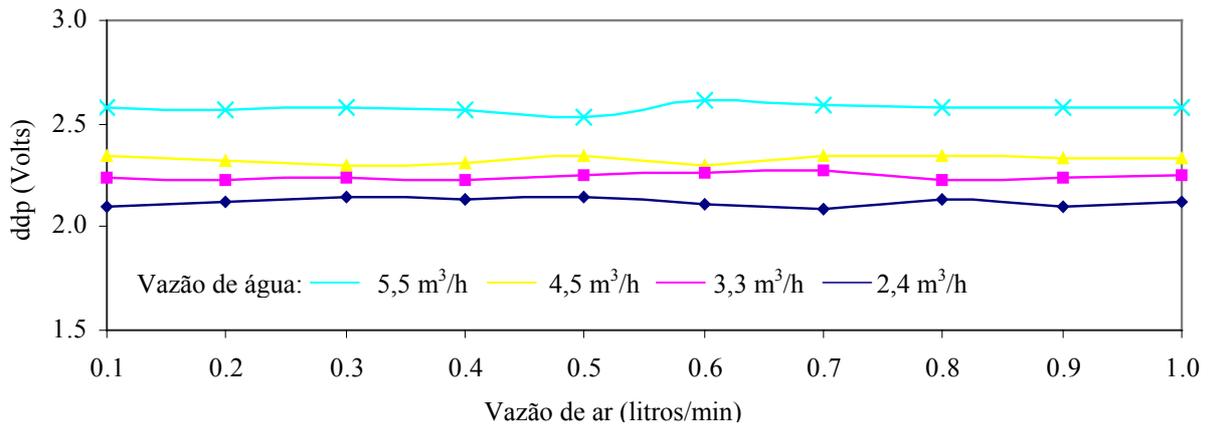


Figura 7. Curva de calibração da placa de orifício para o escoamento bifásico água-ar: ddp(Volts) x Vazão de ar (litros/min).

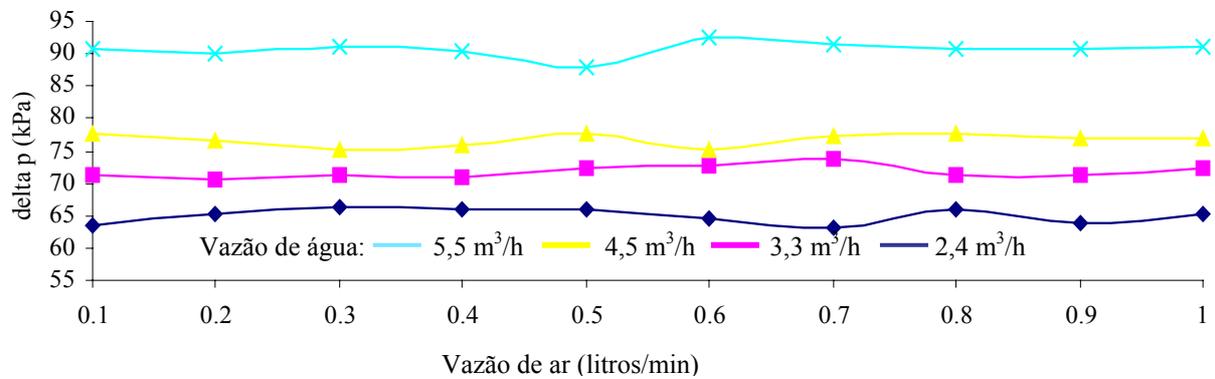


Figura 8. Curva de calibração da placa de orifício para o escoamento bifásico água-ar: delta p (kPa) x Vazão de ar (litros/min).

5.3 Geometria da Bolha por Aquisição de Sinais

Os sinais adquiridos nos sensores resistivos 1-2 no domínio do tempo, são representados na "Fig. 9", e no domínio da frequência na "Fig. 10", para as vazões de água e de ar de 4,5 m³/h e 0,8 l/min, respectivamente.

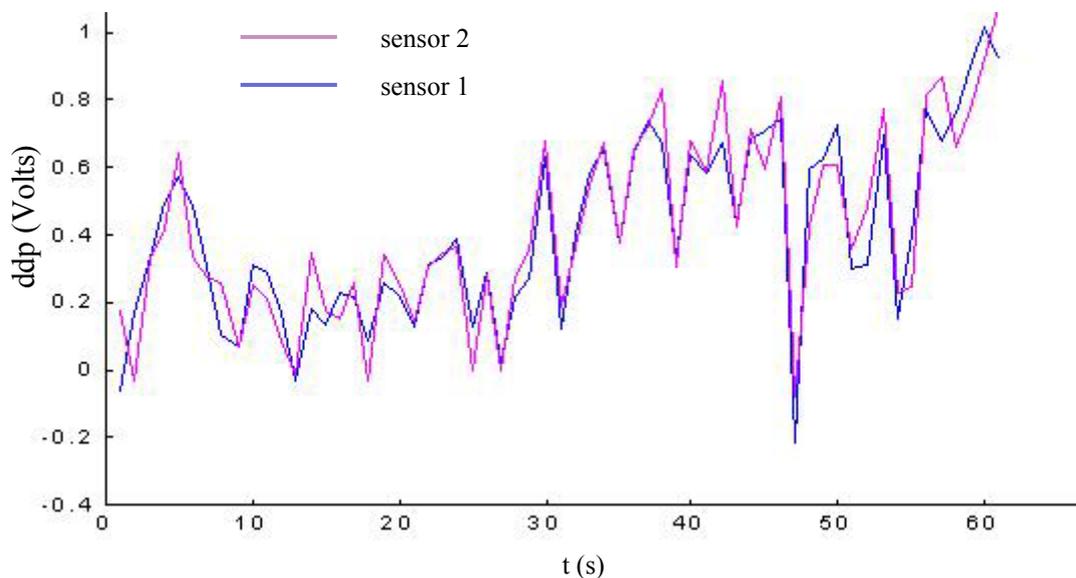


Figura 9. Passagem das bolhas pelos sensores 1 e 2 (água 4,5 m³/h e ar 0,8 l/min), no domínio do tempo.

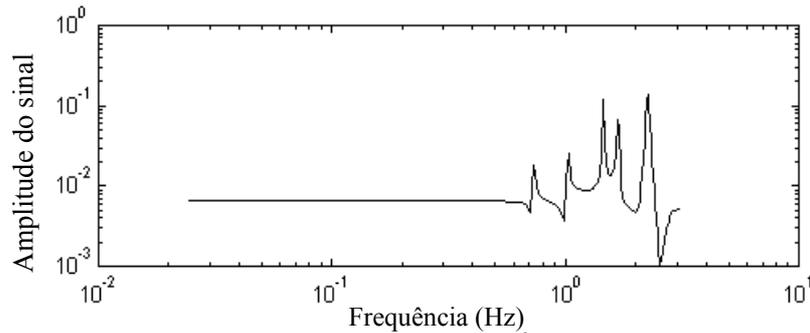


Figura 10. Passagem das bolhas pelos sensores 1 (água 4,5 m³/h e ar 0,8 l/min), no domínio da frequência.

Foi desenvolvido um programa computacional no Matlab 6.1 versão educacional, que analisa os dados adquiridos caracterizando a passagem da bolha em cada sensor, pela variação da ddp medida, calculando o número de bolhas, o tempo inicial e final da bolha em cada sensor, permitindo o cálculo do comprimento das bolhas, "a" (m), e a sua velocidade, "v" (m/s), para cada conjunto de vazão de água e de ar. A "Fig. 11" mostra o resultado para 4,5 m³/h de água e vazões de ar de 0,0 a 1,0 l/min.

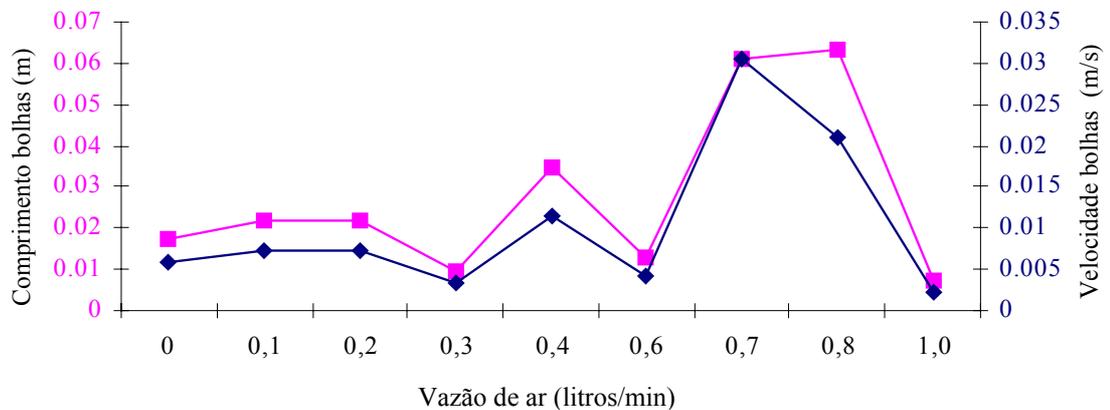


Figura 11. Comprimento médio das bolhas "a" (m) e velocidade média das bolhas "v" (m/s) para vazão de água de 4,5 m³/h e vazões de ar de 0,0 a 1,0 l/min.

5.4 Classificação das bolhas

Conforme seção 4 e "Eqs. 5 a 8", para caracterizar as bolhas são determinados os números adimensionais característicos do estudo de bolhas, Morton, Eotvos e Reynolds.

Retirando-se da "Fig. 11" as condições de vazão de ar e de água e as características das bolhas, obtém-se:

Vazão de água = 4,5 m³/h

Vazão de ar = 0,4 l/min

Diâmetro da bolha $d = a = 2,07 \times 10^{-2}$ m

Velocidade média da bolha, $v = 1,04 \times 10^{-2}$ m/s

Velocidade do líquido, $V_L = 0,5886$ m/s

$$w = v - V_L \text{ (velocidade relativa entre a bolha e o líquido)} = 0,5782 \text{ m/s}$$

Sendo:

$$\sigma = 0,00642 \text{ N/m}$$

$$\rho_{liq} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu_{liq} = 0,000891 \text{ Kg/m/s}$$

Então:

$$Re = 1,34 \times 10^4$$

$$M = 2,33 \times 10^{-8} \text{ ou } \log M = -7,63$$

$$Eo = 6,53 \times 10^2$$

Portanto, classifica-se a bolha, segundo a "Fig. 6", como uma Capa Esférica.

5.5 Fluxo de Massa do escoamento Bifásico

A "Tabela 1" apresenta o cálculo do fluxo de massa, w , para dados obtidos experimentalmente com o escoamento bifásico água-ar, e somente com água na bancada de testes, de acordo com "Figs. 4 a 11" e Eqs. 9 a 15".

Tabela 1. Determinação do fluxo de massa, ω , para escoamento bifásico água-ar.

| Q_{ar} | l/min | 1 | 0,8 | 0,7 | 0,6 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
|-----------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Q_{ar} | m ³ /s | 1,67E-05 | 1,33E-05 | 1,17E-05 | 1,00E-05 | 6,67E-06 | 5,00E-06 | 3,33E-06 | 1,67E-06 |
| $Q_{água}$ | m ³ /h | 4,50E+00 |
| $Q_{água}$ | m ³ /s | 1,25E-03 |
| γ_{ar} | N/m ³ | 1,18E+04 |
| ρ_{ar} | kg/m ³ | 1,20E+00 |
| ω_{ar} | kg/s | 2,00E-05 | 1,60E-05 | 1,40E-05 | 1,20E-05 | 8,00E-06 | 6,00E-06 | 4,00E-06 | 2,00E-06 |
| $\gamma_{água}$ | N/m ³ | 9,80E+03 |
| $\rho_{água}$ | kg/m ³ | 1,00E+03 |
| $\omega_{água}$ | kg/s | 1,25E+00 |
| a_0 orifício | m ² | 2,30E-04 |
| Δp_{TP} | kPa | 8,36E+01 | 8,33E+01 | 8,49E+01 | 8,37E+01 | 8,23E+01 | 8,24E+01 | 8,25E+01 | 8,39E+01 |
| Δp_{TP} | Pa | 8,36E+04 | 8,33E+04 | 8,49E+04 | 8,37E+04 | 8,23E+04 | 8,24E+04 | 8,25E+04 | 8,38E+04 |
| Δp_L | kPa | 8,26E+05 |
| Δp_L | Pa | 8,26E+04 |
| a_G bolha | m ² | 2,23E-02 | 1,98E-01 | 1,91E-01 | 1,51E-01 | 1,08E-01 | 8,69E-02 | 6,89E-02 | 6,89E-02 |
| $K_G Y_G$ | kg/N | 6,42E-07 | 5,78E-08 | 5,19E-08 | 2,10E-07 | 5,32E-08 | 1,41E-07 | 4,18E-08 | 2,07E-08 |
| K_L | kg/N | 4,29E-02 |
| y | | 1,00E+00 |
| ε | | 1,60E-05 | 1,28E-05 | 1,12E-05 | 9,60E-06 | 6,40E-06 | 4,80E-06 | 3,20E-06 | 1,60E-06 |
| ω | Kg/s | 1,28E-02 | 1,46E-03 | 1,51E-03 | 1,92E-03 | 2,66E-03 | 3,31E-03 | 4,18E-03 | 4,18E-03 |

6. Conclusões

Verificou-se que no escoamento bifásico em regime de bolha dispersas as descontinuidades (bolhas) apresentam suas formas geométricas espaciais aproximadamente elipsoidais e variam sua geometria com o tempo.

Observações mostraram variações na fração de vazio e na dimensão das bolhas que migram para a parte superior da tubulação sobre a influência dominante da força empuxo.

Conforme "Figura 8", a introdução da segunda fase (ar) no fluxo de água, para diferentes fluxos de água, gera flutuações de pressão. Verificou-se visualmente, que com o aumento do fluxo da fase líquida grandes bolhas tendem a se romper devido à turbulência, o que pode ser observado na pouca flutuação de pressão.

A análise dos dados experimentais, gerados pelos sensores resistivos permitiu obter um critério objetivo para discriminar o tipo de fase, de acordo com a "Fig. 9".

O escoamento com bolhas dispersas é um fenômeno de baixa frequência (<10 Hz) e ocorre uma amplificação na faixa de frequência analisada tornando-se mais elevados os picos atingidos, conforme "Fig. 10".

Os dados experimentais coletados através de sensores instalados na bancada de testes, possibilitaram a determinação das características geométricas das bolhas estudadas, além da determinação do fluxo mássico do escoamento bifásico água-ar por equação proposta por Murdock, 1962.

Verificou-se que a fração de vazio é influenciada pelos fluxos de massa da fase líquida e de gás, propriedades do fluido e pela geometria da seção de teste, conforme "Tab. 1".

7. Referências

Advantech Genie Demo, 1993, "Manual da placa de aquisição de Sinais placa PL-711B.

- Clift, R., 1978, "Bubbles, Drops and Particles", Ed. Academic Press, USA.
- Fokin, B.S., 1995, "Calculation of pulsation and Averaged Hydrodynamic Characteristics of Two-Phase Flow", *Russ. J. Eng. Thermophys*, Vol. 5, N^o 3, pp. 265-292.
- Kuznetsov, V.V., Nakorriakov, V.E., Pokusaev, B.G., Shreiber, I.R., 1985, "Propagation of Perturbation in a Gas-Liquid Mixture", *J.Fluid Mech*, Part 1, Vol.85, pp.85-96.
- Lahey, R.T.Jr., 1974, "Two-phase flow in boiling water nuclear reactors", NEDO - 13388.
- Murdock, J. W. 1962 "Two-Phase Flow Measurement With Orifices", *Journal of Basic Engineering*, December.
- Moreau, V., 2000 a, "Two phase flow in industry", <http://www.crs.4.it/~moreau/Twophaseflow/node1.html>.
- Moreau, V., 2000 b, "Bubbles shape and dynamics", <http://www.crs.4.it/~moreau/Twophaseflow/node8.html>.
- Ponoth, Shom. S., 2000a. "Experimental Studies of Bubble Motion", Clarkson University, <http://www.clarkson.edu/~jmclau/nersc/node3.html>.
- Ponoth, Shom. S., 2000b. "Theoretical Studies of Bubble Motion", Clarkson University, <http://www.clarkson.edu/~jmclau/nersc/node4.html>.
- Sheikholeslami, M.Z., Patel, B.R., 1988, "Numerical Modeling of Turbulent Flow Through Orifice Meters - A parametric Study, Second International Conference on Flow Measurement, London, UK, Paper B2, pp. 67-89.
- Smar, 1996. "Transmissor inteligente de pressão LD301", Manual de instruções, operação e manutenção.
- Theofanous, T., Sullivan, S., 1982, "Turbulence in Two-Phase Dispersed Flows", *J.Fluid Mech*, Vol.116, pp. 343-362.
- Winjgaardem, L. van, 1968, "On the Equations for motion of Mixtures of Liquid and gas Bubbles", *J.Fluid Mech*, Vol.33, part. 3, pp. 465-474.