



MEDIDA DE FRAÇÃO DE VAZIO EM ESCOAMENTO BIFÁSICO, GÁS-ÁGUA, EM TUBO VERTICAL USANDO ABSORÇÃO DE RAIOS GAMA

RAIMUNDO DIAS DA SILVA
 JOSÉ ANTONIO DIAZ DIEGUEZ
 IPEN - CNEN, SP



SUMÁRIO

No presente trabalho foram realizadas medidas de fração de vazio em escoamento bifásico água-nitrogênio, utilizando a técnica de absorção de raios gama. Foram simulados vários regimes de escoamento bifásico ascendente em tubo cilíndrico, variando-se as vazões de água e nitrogênio, respectivamente, de 0,15 a 0,44 m³/h e de 0,01 a 0,1 m³/h. Para cada condição de fluxo foi determinada a fração de vazio. A comparação entre os resultados obtidos e os dados de outros autores mostrou haver uma boa concordância.

INTRODUÇÃO

A importância do estudo de escoamento bifásico vem da ocorrência de escoamentos simultâneos de um líquido e um gás ou vapor em vários equipamentos industriais tais como, caldeiras, evaporadores, trocadores de calor e, mais recentemente, em reatores nucleares, devido à necessidade de aumento de potência térmica específica.

A obtenção de dados relativos às frações de vazio linear (\bar{R}_{g1}) e espacial (\bar{R}_{g2}), bem como à de terminação do regime de escoamento é de fundamental importância para o entendimento fluido-mecânico de escoamento bifásico.

Nos últimos anos muitas técnicas tem sido desenvolvidas e outras já existentes, foram aperfeiçoadas, com o objetivo de medir com maior precisão e rapidez a densidade bifásica ou fração de vazio, em sistemas de escoamentos bifásicos. Resumidamente, podem-se citar algumas técnicas largamente empregadas: "probe" de condutividade elétrica [7], anemômetro a fio quente [5], "probe" óptico [2], válvulas de fechamento rápido [11], atenuação e espalhamento de radiações, tais como, beta [8], nêutrons [1], raios X [4] e raios gama [9].

O objetivo do presente trabalho é desenvolver a técnica de medida de fração de vazio, utilizando o método de absorção de raios gama, para aplicação no laboratório de termohidráulica do Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais do IPEN-CNEN/SP.

MÉTODO UTILIZADO

Quando se deseja determinar a fração de vazio média espacial (\bar{R}_{g2}), o método de absorção de raios gama é um dos mais eficientes. Este método consiste em se atravessar a seção de testes com um ou mais feixes de raios γ e medir a intensidade transmitida, I . No caso de um único feixe, a seção de testes deve ser dotada de um mecanismo que permita a movimentação na horizontal, possibilitando, assim, que seja varrida toda a seção transversal do tubo.

A atenuação de um feixe de raios gama monoenergético ao atravessar uma substância segue a lei exponencial:

$$I = I_0 \exp(-\frac{\mu}{\rho} \rho x) \quad (1)$$

onde, μ/ρ é o coeficiente de absorção específico do material, I_0 é a intensidade do feixe incidente, I é a intensidade do feixe emergente, ρ a densidade e x a espessura do material.

O coeficiente μ/ρ geralmente diminui com o aumento da energia do fóton e independe do estado físico da substância (sólido, líquido ou gasoso) [3].

Quando um feixe de raios gama colimado atravessa uma seção de testes, onde flui uma mistura bifásica, ao longo de uma corda, a radiação é absorvida pelo material da parede do tubo, pelo gás e pela água. A intensidade emergente é dada por [3], [9]:

$$I = I_0 \exp(-\mu_p X_p) \exp[-\mu_g (1-\bar{R}_{g1}) X_d] \exp(-\mu_l \bar{R}_{g1} X_d), \quad (2)$$

onde: X_p = espessura total da parede

X_d = comprimento da corda interna do tubo

μ_p, μ_g, μ_l = coeficiente de absorção da parede, do gás e do líquido

\bar{R}_{g1} = fração de vazio média linear; relação entre o volume de gás em uma corda e o volume total (gás e água) na corda.

Para um fluxo de gás-líquido, a pressão e temperatura ambientes, μ_g é desprezível comparado com μ_l e pode-se demonstrar que [9]:

$$\bar{R}_{g1} = \frac{\log I/I_l}{\log I/I_g} \quad (3)$$

onde: I_l = intensidade emergente quando o tubo contém apenas líquido

I_g = intensidade emergente quando o tubo contém apenas gás

I = intensidade emergente quando o tubo contém uma mistura gás-água

A fração de vazio espacial, numa dada superfície transversal da seção de testes, é a relação entre a área ocupada pelo gás e a área transversal total da seção de testes. Quando um feixe colimado de raios gama varre essa seção transversal, a fração de vazio média espacial (\bar{R}_{g2}) é obtida integrando-se \bar{R}_{g1} :

$$\bar{R}_{g2} = \frac{1}{\pi R^2} \int_{y=-R}^{y=R} 2\sqrt{R^2-y^2} \bar{R}_{g1}(y) (dy) \quad (4)$$

onde R é o raio interno do tubo e y é a distância do eixo do tubo ao feixe.

ARRANJO EXPERIMENTAL

O dispositivo experimental é composto de um circuito de água, um circuito de gás, a seção de

teste, uma fonte de raios gama, detector de radiação e eletrônica associada.

a) Circuito de Água:

Esse circuito opera à pressão e temperatura ambientes e é constituído por um reservatório, bomba, secção de testes, mecanismo de movimentação, manômetros e rotâmetros, conforme a Figura 1.

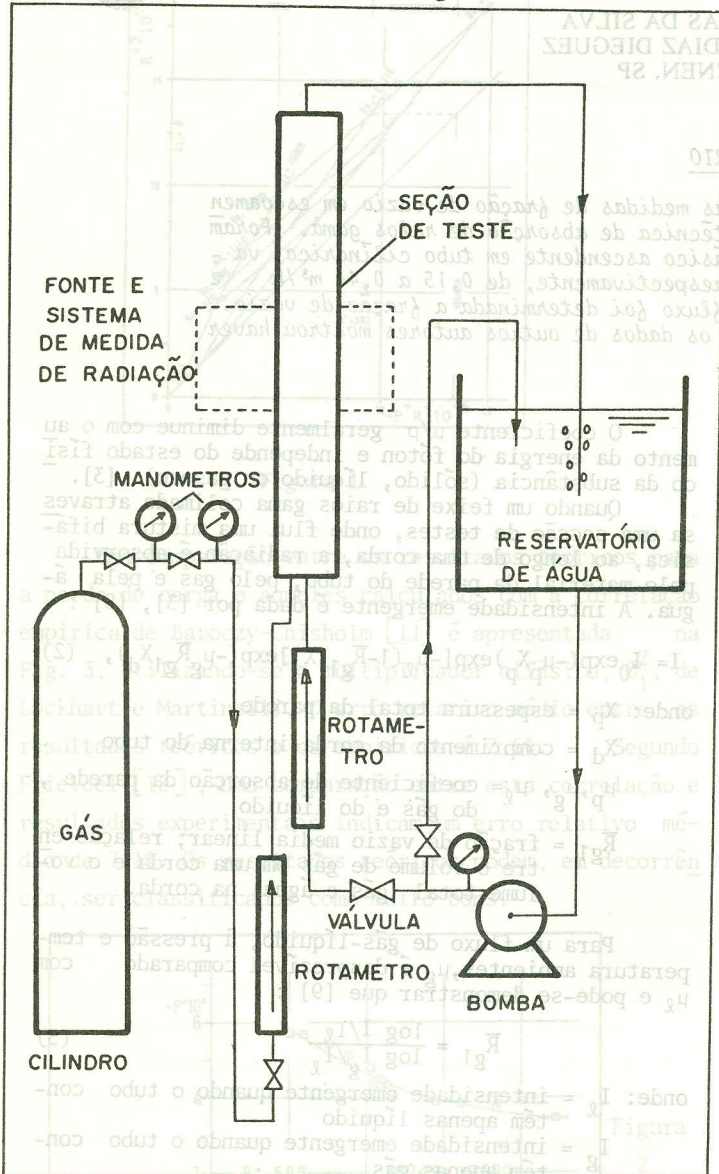


Figura 1. Esquema do Circuito Experimental

b) Circuito de Gás:

O gás, nitrogênio, é introduzido no circuito de água através de um bocal injetor. O bocal foi construído e montado de tal modo que o gás, quando injetado na água, se dispersa homogeneamente.

c) Secção de Testes:

A secção de testes consiste de um tubo cilíndrico de vidro na posição vertical, com 16mm de diâmetro interno, fixado em um mecanismo que permite sua movimentação tanto na horizontal quando na vertical.

d) Equipamentos de Medida de Radiação:

O sistema de medidas é composto de um detector Iodeto de Sódio ativado com Tálho acoplado a uma fotomultiplicadora, colimador de 2mm de diâmetro, pré-amplificador, fonte de alta tensão, amplificador linear, analisador monocal, temporizador e impressora, conforme Figura 2.

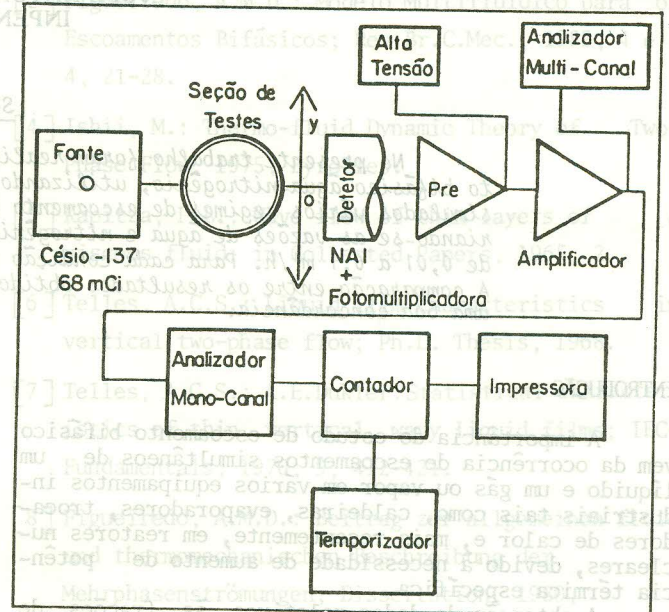


Figura 2. Esquema do Sistema de Medida de Radiação

e) Fonte de Raios Gama:

Foi utilizada uma fonte de raios gama de Césio-137 de 68 milicuries cuja meia vida ($T_{1/2}$) é de aproximadamente 30 anos e energia de emissão 662 KeV.

CARACTERIZAÇÃO DOS REGIMES DE ESCOAMENTO E MEDIDA DA FRAÇÃO DE VAZIO

Para escoamento bifásico ascendente, em tubos cilíndricos de 16mm de diâmetro interno, à pressão atmosférica, Roumy [11] correlacionou a fração de vazão (R_{g2}) com as velocidades superficiais do gás (J_G) e do líquido (J_L) através da expressão:

$$R_{g2} = 0,9 \frac{J_G}{J_L + 20} \quad (5)$$

onde a velocidade superficial é a relação entre a vazão do fluido pela área total de escoamento; J_G e J_L são dados em cm/s.

Foram simulados vários regimes de escoamento bifásico, variando-se as vazões de gás desde 0,01 a 0,1 m³/h e de água desde 0,15 a 0,44 m³/h. As frações de vazão foram calculadas, através da expressão (5), para cada regime observado visualmente e introduzidas na carta teórica de Taitel e Dukler [12], conforme Figura 3.

Medindo a intensidade emergente em cada corda, foram levantadas as curvas do perfil de escoamento para o tubo cheio de água, tubo vazio e para uma mistura gás-água (0,1 m³/h de gás e 0,17 m³/h de água), representadas na Figura 4. Como pode ser observado, a maior taxa de contagem ocorre com o tubo vazio, pois, praticamente não há absorção de radiação gama. A taxa de contagem na região interna do tubo vazio é menor do que a contagem na região externa à secção de teste, devido à absorção de radiação pelas paredes do tubo.

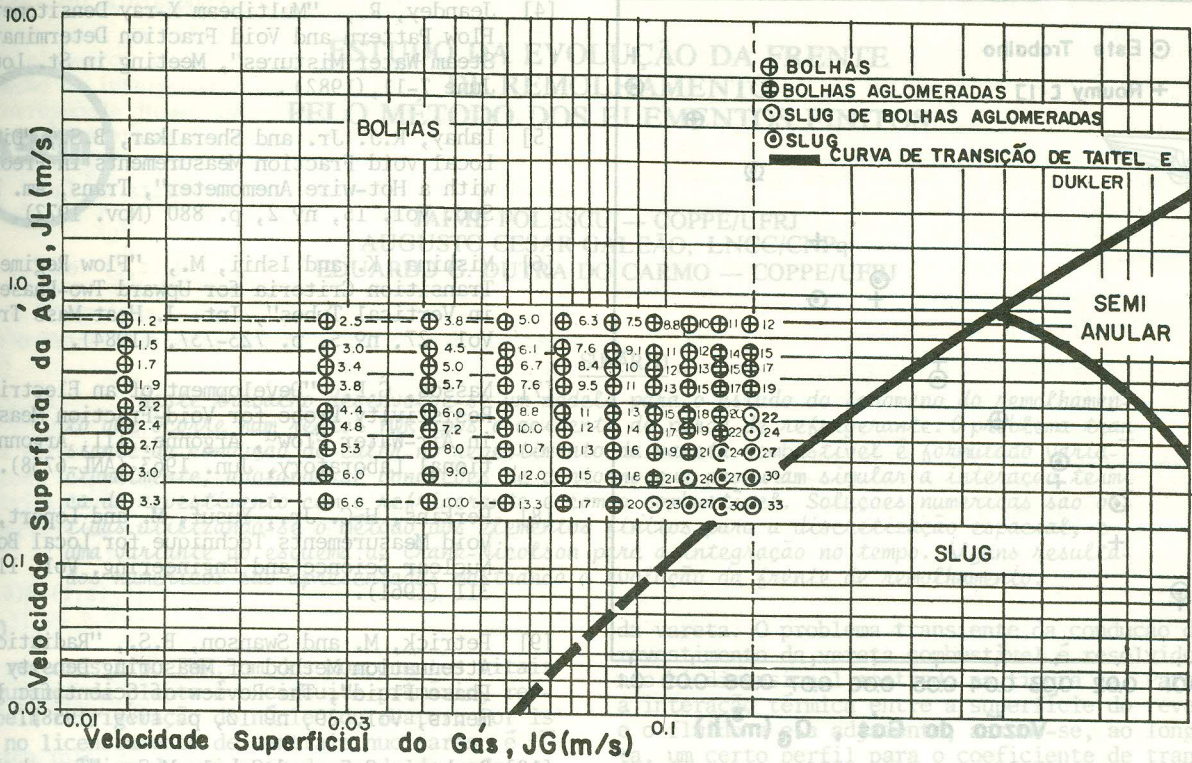


Figura 3. Mapa de escoamento bifásico ascendente em tubo cilíndrico com a Fração de Vazio (R_{g2}) em porcentagem, indicada.

Mantendo fixa a vazão de água em $0,17 \text{ m}^3/\text{h}$ e variando a vazão de gás de $0,01$ a $0,1 \text{ m}^3/\text{h}$, foram medidas as intensidades emergentes. Para cada par de vazão de água e nitrogênio, em cada corda do tubo, foram feitas 10 contagens de 40 segundos cada uma. Utilizando as relações (3) e (4) foram determinadas as frações de vazio médias linear e espacial, R_{g1} e R_{g2} . Na Figura 5 são apresentados os resultados obtidos para R_{g2} , em função da vazão do gás, Q_g .

DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para as faixas de vazões utilizadas, observou-se visualmente a predominância de dois regimes característicos: bolhas e "slug", comprovado pelos resultados experimentais da Figura 3. Para o regime "slug" há um desvio de comportamento entre os dados experimentais e os resultados de Taitel e Dukler [12] nas vizinhanças da curva de transição bolhas-"slug". Comparando com outros autores, por exemplo [6], verifica-se que esse desvio ocorre frequentemente quando se comparam entre si dados experimentais e teóricos, devido, principalmente, às pequenas diferenças na geometria e condições da experiência. Conclui-se, portanto, que os resultados obtidos estão coerentes e permitem a caracterização do regime de escoamento.

Referente à fração de vazio média espacial, observa-se na Figura 3 que, apesar de existirem poucos pontos, a transição do regime bolhas para "slug" se caracteriza por frações de vazio na faixa de 30%, concordando com os dados obtidos por Mishima [6] e Rouhani [10].

As frações de vazio obtidas por Roumy [11] utilizando a técnica de válvulas de fechamento rápido, foram introduzidas na Figura 5, para comparação com os resultados obtidos neste trabalho. Como pode ser observado, houve uma boa concordância entre os resultados dos dois trabalhos.

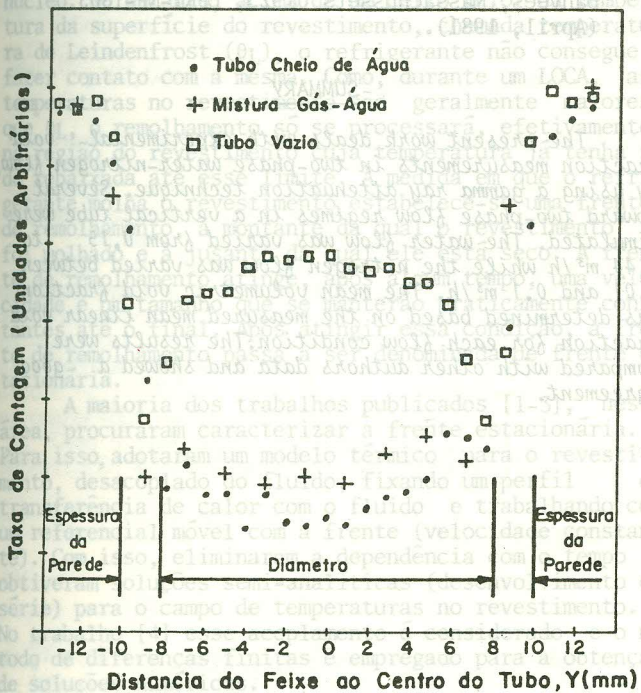


Figura 4. Curvas de perfil do escoamento para tubo cheio de água, tubo vazio e tubo com mistura gás-água ($0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ de gás e $0,17 \text{ m}^3/\text{h}$ de água)

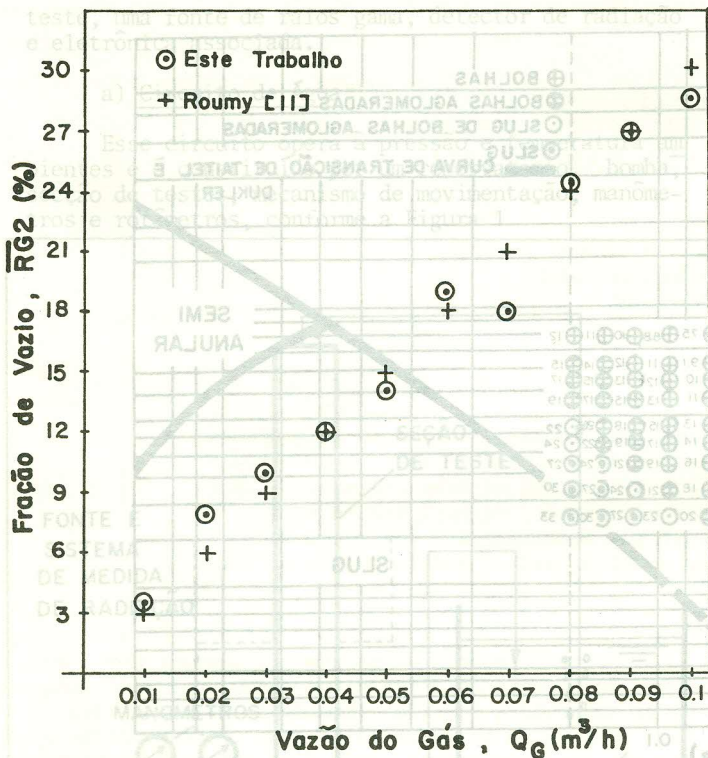


Figura 5. Comparação entre as frações de vazio medidas e as obtidas por Roumy [11], em escoamento bifásico ascendente dentro de um tubo de 16mm de diâmetro interno, à pressão atmosférica e temperatura ambiente.

REFERÊNCIAS

- [1] Banenjee, S., "Two-phase Flow void Fraction Measurements using Neutron Beams", Trans, Am. Nuclear Soc. Vol. 34, p. 799-802, (1980).
- [2] Bayoumi, M. and Charlot, R., "Local Voidage Measurements in Two-phase Flow System Using an Optical Probe", Atomkernenerg Kerntech V.37 (2) p. 110-112 (1981).
- [3] Delhaye, J.M., Giot, M. and Riethmuller, M.L., "Thermohidraulics of Two-phase Systems for Industrial Design and Nuclear Engineering", Hemisphere MacGraw-Hill, (1981).

- [4] Jeandey, R., "Multibeam X-ray Densitometer for Flow Pattern and Void Fraction Determination in Steam Water Mistures", Meeting in St. Louis, June 7-11, (1982).
- [5] Lahay, R.J. Jr. and Sheralkar, B.S., "Diabatic Local void Fraction Measurements in Freon-114 with a Hot-wire Anemometer", Trans, Am. Nuclear Soc. Vol. 15, nº 2, p. 880 (Nov. 1972).
- [6] Mishima, K. and Ishii, M., "Flow Regime Transition Criteria for Upward Two-Phase Flow in Vertical Tubes", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 27, nº 5, p. 723-737, (1984).
- [7] Nassos, G.P. "Development of an Electrical Resistivity Probe for Void-Fraction Measurements in Air-Water Flow", Argonne, 111, Argonne National Laboratory, Jun. 1963 (ANL-6738).
- [8] Perkins, H.C. Jr., Yusuf, M. and Lepert, G., "A Void Measurements Technique for Local Boiling", Nuclear Science and Engineering, Vol. 11, p. 304-311 (1961).
- [9] Petrick, M. and Swanson, B.S., "Radiation Attenuation Method of Measuring Density of a Two-Phase Fluid", The Review of Scientific Instruments, Vol. 29, nº 12, p. 1079 (1958).
- [10] Rouhani, S.Z. and Sohal, M.S., "Two-phase flow Patterns: A Review of Research Results", Nuclear Energy, Vol. 11, nº 3, p. 219-259 (1983).
- [11] Roumy, R., "Structure des Ecoulements Difasiques Eau-Air, Etude de la Fraction de Vide Moyenne et des Configurations d'écoulements", Grenoble, Fr., CEA, Centre d'Etudes Nucleaires Dec. 1969 (CEA-R-3892) (1969).
- [12] Snell, C.C. et al., "Flow Regime Characterization with a Multi-element Conductance Gauge, Aubiom International, Inc. One Southside Road Danvers, Massachusetts 01923, EPRI-NP-1805 (April, 1981).

SUMMARY

The present work deals with experimental void fraction measurements in two-phase water-nitrogen flow, by using a gamma ray attenuation technique. Several upward two-phase flow regimes in a vertical tube were simulated. The water flow was varied from 0,15 to 0,44 m³/h while the nitrogen flow was varied between 0.01 and 0.1 m³/h. The mean volumetric void fraction was determined based on the measured mean linear void fraction for each flow condition. The results were compared with other authors data and showed a good agreement.