

MEDIDA DE FRAÇÃO DE VAZIO EM TUBOS VERTICAIS
UTILIZANDO A TÉCNICA DE ABSORÇÃO GAMA

Raimundo Dias da Silva (IPEN/CNEN-SP)
Tufic Madi Filho (IPEN/CNEN-SP)
Antonio Luiz Pires (IPEN/CNEN-SP)

RESUMO

Neste trabalho são obtidos valores de fração de vazio utilizando a técnica de absorção de feixes gama, num tubo de lucite de 104 mm de diâmetro interno. Os regimes de escoamento anular e anular inverso são representados por modelos de lucite.

A comparação entre os resultados obtidos e os valores geométricos mostrou boa concordância.

ABSTRACT

This work was done to obtain the value of void fraction by gamma ray absorption technique measurements using a lucite tube with internal diameter of 104 mm, where are presented the annular and inverse annular flow by means of lucite blocks.

The results were compared with those obtained from geometrical measurements and they showed good agreement.

INTRODUÇÃO

A determinação da fração de vazio em misturas bifásicas água-vapor ou água-gás é essencial para um completo entendimento da fluido-mecânica associada ao escoamento.

Nos últimos anos, muitas técnicas de medida de fração de vazio tem sido desenvolvidas, e as já conhecidas aperfeiçoadas, com o objetivo de medi-la com maior precisão e rapidez. Pode-se citar várias técnicas largamente empregadas, tais como: sonda de condutividade elétrica [1], anemômetro a fio quente [2], sonda óptica [3], válvulas de fechamento rápido [4], que são técnicas que interferem no escoamento. As que não interferem no escoamento são: absorção e espalhamento de radiações, tais como: radiação beta [5], nêutrons [6,7], raios X [8] e raios gama [9].

Das técnicas citadas, a que nos propomos a estudar é a de absorção de raios gama. Esta, além de não interferir no escoamento, permite que se determine a fração de vazio média bidimensional (R_{g2}) utilizando fontes radioativas em blindagens portáteis de fácil manuseio.

A absorção de radiação gama é baseada na detecção de um feixe colimado de raios gama, que atravessa, perpendicularmente, uma secção de testes numa determinada posição.

Patrick e Swanson [10] mostram que é possível deduzir uma relação entre a quantidade de fótons transmitida e a fração de vazio média linear (R_{g1}) e desta, pode-se determinar a fração de vazio média bidimensional (R_{g2}).

Ferrell e McGee [11] utilizando a técnica desenvolvida por Patrick e Swanson, desenvolveram um sistema de colimação "one shot" para medir a fração de vazio média bidimensional em tubos de pequenos diâmetros.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é desenvolver a técnica de medida de fração de vazio, utilizando o método de absorção de raios gama. Esta foi aplicada em uma secção de testes cilíndrica.

ARRANJO EXPERIMENTAL

O dispositivo experimental é composto de uma secção de testes e um arranjo para medida de radiação, conforme esquematizado na Figura 1.

Secção de teste

A secção de teste consiste em um tubo cilíndrico de lucite com 104 mm de diâmetro interno, instalado em posição vertical, para estudo de escoamento bifásico, e dezenove(19) modelos de lucite para simular escoamento bifásico. Os modelos de lucite simulam dois regimes de escoamento: anular e anular inverso.

Regime anular - os fluxos de gás e líquido são contínuos e fluem separados com o gás ocupando a região central do tubo.

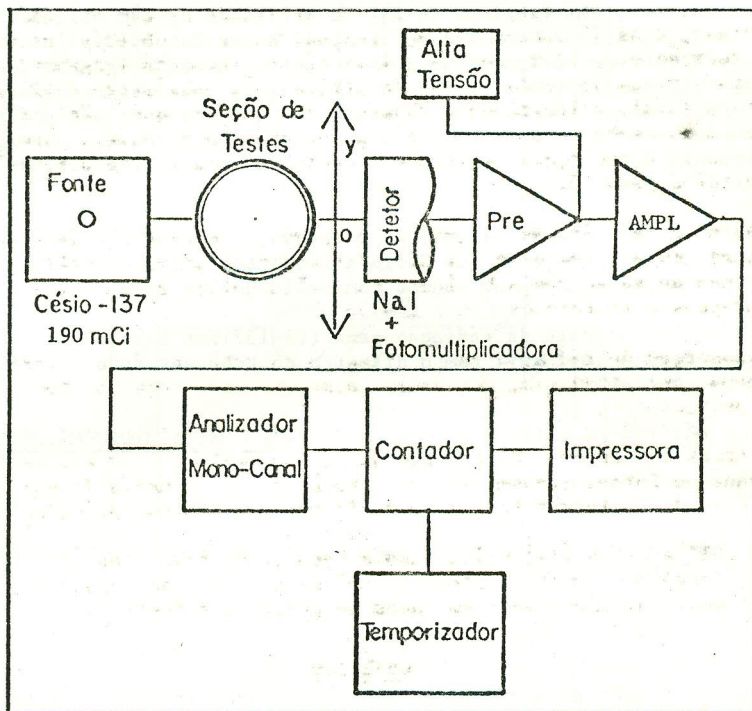


Figura 1. Esquema da Secção de Testes e do Sistema de Medida de Radiação.

Regime anular inverso - os fluxos de gás e líquido são contínuos e fluem separados com o líquido ocupando a região central do tubo.

Arranjo para medidas

O arranjo para medidas é composto de um irradiador com colimador de 4 mm de diâmetro, para uma fonte de Cs-137 de atividade de 190 mCi, detector tipo Iodeto de Sódio ativado com Tálcio, acoplado a uma fotomultiplicadora. Blindagem para o detector com colimador de 2 mm e eletrônica associada ao detector composta de: pré-amplificador, fonte de alta tensão, analisador monocanal, contador, temporizador e impressora. O irradiador e o detector são apoiados sobre uma mesa que pode efetuar movimentos verticais e horizontais permitindo fazer uma varredura do diâmetro do tubo em várias posições verticais. Na Figura 1 é apresentado um esboço do arranjo experimental.

Devido a sua alta eficiência de detecção, o detector utilizado foi um cristal cintilador de Iodeto de Sódio ativado com Tálcio, NaI(Tl), que foi envolvido por uma blindagem de chumbo com colimador de 2 mm.

A escolha da fonte de radiação gama (Cs-137) foi baseada na compatibilidade de sua energia (662 keV) com o diâmetro do tubo estudado e a atividade com o tempo de contagem.

MÉTODOS DE CÁLCULO DA FRAÇÃO DE VAZIO MÉDIA BIDIMENSIONAL

Fração de vazio linear

A fração de vazio linear R_{g1} em uma seção de testes, onde flui uma mistura bifásica, é dada por [12]:

$$R_{g1}(t) = \bar{R}_{g1} + \sigma R_{g1}(t) \quad (1)$$

onde:

\bar{R}_{g1} é a fração de vazio média linear num dado intervalo de tempo T
 σR_{g1} é um termo residual, função do tempo, com média zero

sendo:

$$\bar{R}_{g1} = \frac{1}{T} \int_T R_{g1}^*(t) dt \quad (2)$$

onde:

$R_{g1}^*(t)$ é dada por [1]:

$$R_{g1}^*(t) = \frac{\sum_i X_{dgi}(t)}{X_d} \quad (3)$$

sendo X_{dgi} o diâmetro característico da fase "g" presente no instante t, conforme Fig. 2.

Devido à dificuldade de se fazer uma medida dinâmica do diâmetro característico da fase gasosa, X_{dgi} , em sistemas bifásicos, foram desenvolvidos métodos estáticos onde são definidos regimes de distribuição das fases, escoando separadamente. No modelo série, a radiação ao atravessar a mistura bifásica sofre absorção devido a primeira fase que flui contínua e separadamente para depois sofrer da outra fase que, também, flui contínua e separadamente. No paralelo, uma parte do feixe sofre absorção devido à fase gasosa e a outra sofre

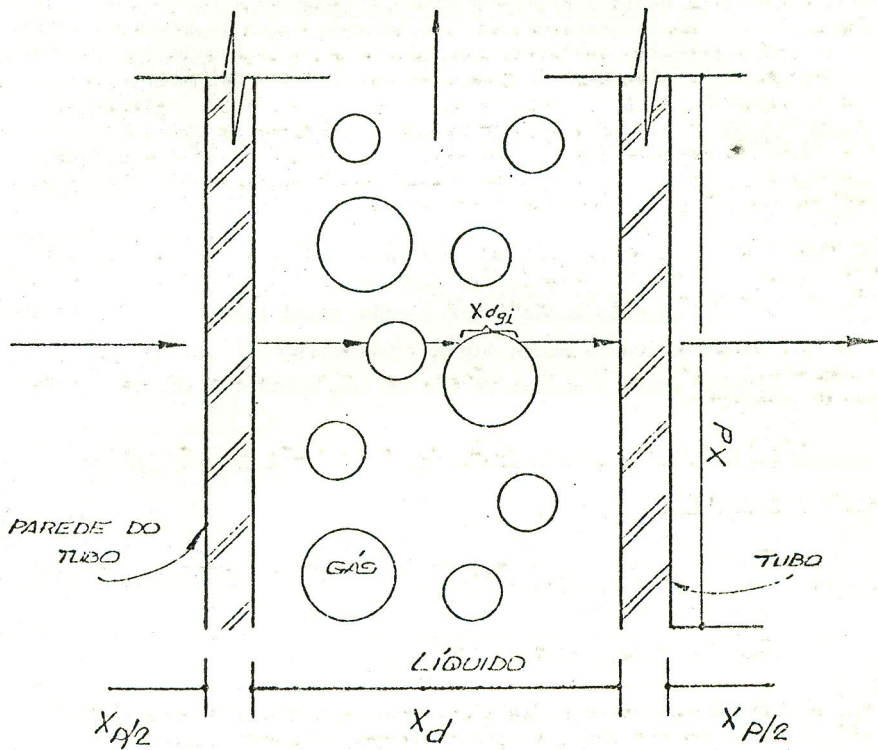


Figura 2. Modelo Dinâmico de Distribuição Bifásica.

devido a fase líquida que fluem separadas mas em blocos descontínuos .

O regime de escoamento a fases separadas e contínuas, em série, é o mais usual [9], sendo o adotado para este trabalho.

Fração de vazio média linear por absorção gama -- A técnica de absorção gama baseia-se na lei de absorção exponencial que sofre um feixe de fótons ao atravessar uma substância qualquer. Matematicamente, a intensidade de raios gama transmitida através de uma mistura bifásica é dada por [1,13].

$$N = N_i \exp(-\mu_p x_p) \exp[-\mu_g(1-\bar{R}_{g1}) x_d] \exp(-\mu_g \bar{R}_{g1} x_d) \quad (4)$$

onde: N = intensidade do feixe emergente (contagem/seg)
 N_i = intensidade do feixe incidente (contagem/seg)
 $\mu_p, \mu_g, \mu_\lambda$ = coeficiente de atenuação linear do material da parede do tubo, do gás e do líquido (cm^{-1})
 x = espessura total da parede (cm)
 x_d = comprimento da corda interna onde cruza o feixe de raios gama (cm)
 \bar{R}_{g1} = fração de vazio média linear (adimensional)

sendo \bar{R}_{g1} a relação entre o volume de gás em uma corda e o volume total da corda.

Evidenciando \bar{R}_{g1} , obtém-se:

$$\bar{R}_{g1} = \frac{\log(N/N_0)}{\log(N_1/N_0)} \quad (5)$$

onde: N = intensidade do feixe emergente para a secção de testes contendo uma mistura bifásica.
 N_1 = intensidade do feixe emergente para a secção de testes contendo apenas gás ($\bar{R}_{g1} = 1$)
 N_0 = intensidade do feixe emergente para a secção de testes contendo apenas água ($\bar{R}_{g1} = 0$)

Fração de vazio bidimensional

A fração de vazio média bidimensional, numa dada superfície transversal da secção de testes, é a relação entre a área ocupada pelo gás e a área transversal total.

Fração de vazio média bidimensional determinada por integração numérica de \bar{R}_{g1} -- Ao se percorrer a secção de testes, com um feixe de raios gama, ponto a ponto, até que toda a área seja varrida, a fração de vazio média bidimensional é dada por:

$$\bar{R}_{g2} = \frac{1}{A} \int_A \bar{R}_{g1} dA \quad (6)$$

onde: A = área da secção transversal interna da secção de testes.

Desenvolvendo (6) obtém-se que:

$$R_{g2} = \frac{2}{\pi R^2} \int_{-R}^R \frac{\log N/N_0}{\log N_1/N_0} \sqrt{R^2 - y^2} dy \quad (7)$$

Como o integrando de (7) só está definido para um número finito de pontos de -R a R a solução deve ser procurada por meio de integração numérica. Aplicando a regra 1/3 de Simpson, tem-se [14]:

$$\bar{R}_{g2} = \int_b^a f(y) dy \cong \frac{h}{3} [f(y_0) + 4f(y_1) + 2f(y_2) + \dots + 4f(y_{2m-1}) + f(y_{2m})] \quad (8)$$

onde: $h = y_{i+1} - y_i$;

$$f(y) = \frac{2}{\pi R^2} \sqrt{R^2 - y^2} \frac{\log N/N_0}{\log N_1/N_0} \quad \text{e } m, n^{\circ} \text{ inteiro} \quad (9)$$

Fração de vazio média bidimensional determinada por somatória das contagens ponto a ponto -- A fração de vazio média bidimensional pode ser determinada pela integral das contagens, "transformando" as medidas realizadas ponto a ponto como se fossem uma única medida que abrangesse toda a secção transversal da secção de testes de uma só vez (método "one-shot"). Logo:

$$\bar{R}_{g2} = \frac{\log \sum_1^m C/\sum_1^m C_0}{\log \sum_1^m C_1/\sum_1^m C_0} \quad (10)$$

onde: m = número de pontos medidos

$\sum_1^m C$ = somatória das contagens para uma mistura gás-água

$\sum_1^m C_0$ = somatória das contagens para apenas água

$\sum_1^m C_1$ = somatória das contagens para apenas gás

Fração de vazio média bidimensional determinada geometricamente -- A fração de vazio geometrica é calculada pela relação:

$$R_{g2} = \frac{A_v}{A_t} \quad (11)$$

onde: A_v = área de vazio na secção de testes

A_t = área da secção transversal da secção de testes

MEDIDAS

Utilizando-se o arranjo experimental descrito previamente, foram feitas medidas de transmissão de radiação gama no tubo. Estas medidas foram realizadas com o tubo vazio e introduzindo sucessivamente os vários modelos de lucite no tubo até o modelo maciço, simulando os dois regimes, anular e anular inverso. Para cada modelo foi feita a varredura de toda secção transversal, variando a posição da mesa, com o sistema detector-irradiador, de 2 mm em 2 mm.

Os valores médios obtidos para cada corda foram utilizados para o cálculo

de \bar{R}_{g2} . Na Figura 3 é apresentado o perfil do tubo para os regimes anular e anular inverso, utilizando os valores médios das contagens obtidos para cada corda.

RESULTADOS

Com os valores obtidos nas medidas, por procedimentos já descritos, foram calculados os valores de \bar{R}_{g2} .

As Tabelas 1 e 2 apresentam os valores de \bar{R}_{g2} calculados por três procedimentos diferentes para os regimes de escoamento anular e anular inverso.

A Figura 4, apresenta uma comparação entre a fração de vazio calculada por integração e por somatória com a fração de vazio geométrica para os dois regimes: anular e anular inverso.

Das tabelas, tabela 1 e tabela 2, pode-se notar que os valores obtidos neste trabalho são bem concordantes com os de \bar{R}_{g2} geométrico tomados como padrão. Sendo que o maior desvio apresentado, 7%, tem como causa maior a imprecisão de 2% no diâmetro interno do tubo (\bar{R}_{g2} geométrico).

CONCLUSÃO

Conclui-se que o método de determinação de \bar{R}_{g2} por somatória das contagens ponto a ponto é, além de simples, preciso e pode ser aplicado para cálculo da fração de vazio durante a operação de um sistema com escoamento bifásico gás-líquido ou vapor-líquido.

As técnicas aqui utilizadas, apesar de terem sido aplicadas para uma seção de testes específica, podem, perfeitamente, ser aplicadas a tubos de quais quer diâmetros internos, de preferência a tubos cujas paredes não sejam metálicas, pois estes absorvem muito a radiação gama dificultando a detecção de vazios na mistura bifásica. No entanto, ao se utilizar esta técnica, deve-se utilizar fontes com energia compatível com o diâmetro da seção de testes, compatibilidade esta que é determinada através do estudo da sensibilidade de detecção de vazio e precisão [9].

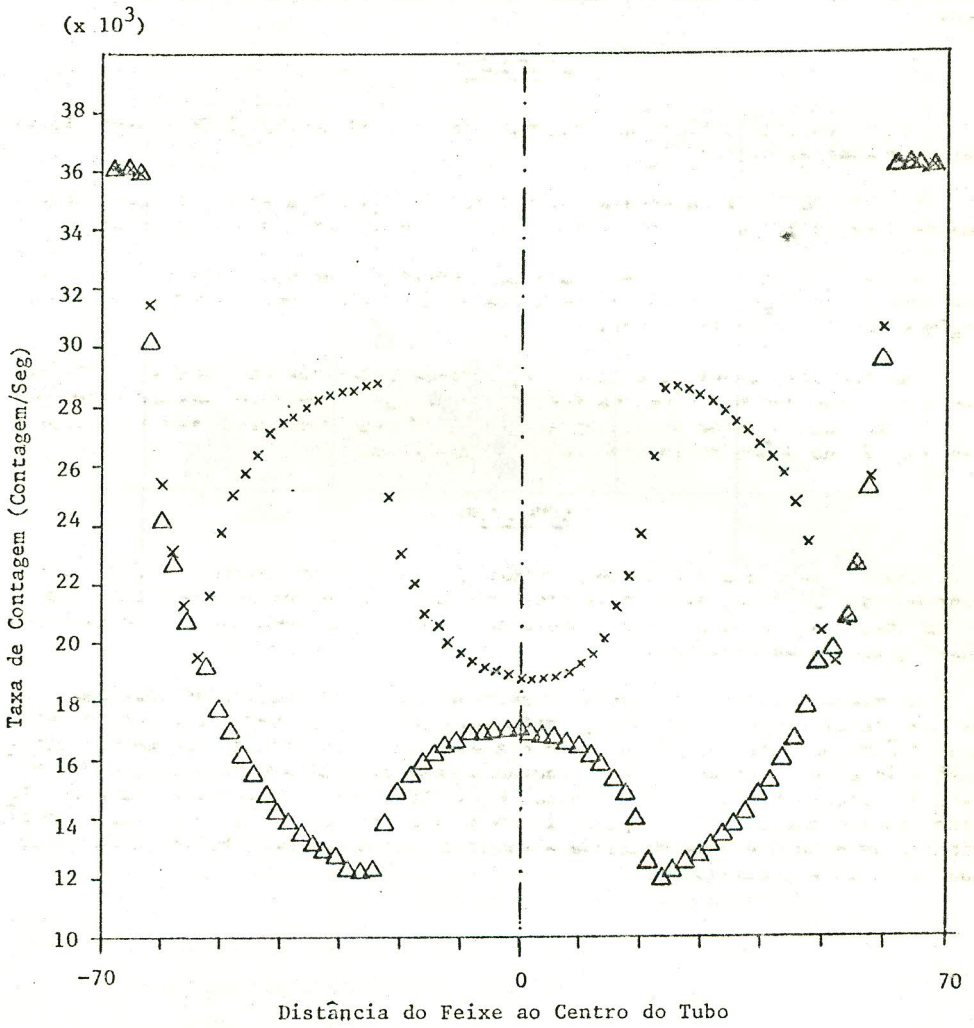


Figura 3. Perfil da Secção de Testes com os Regimes de Escoamento Anular e Anular Inverso, Contagem x Posição.

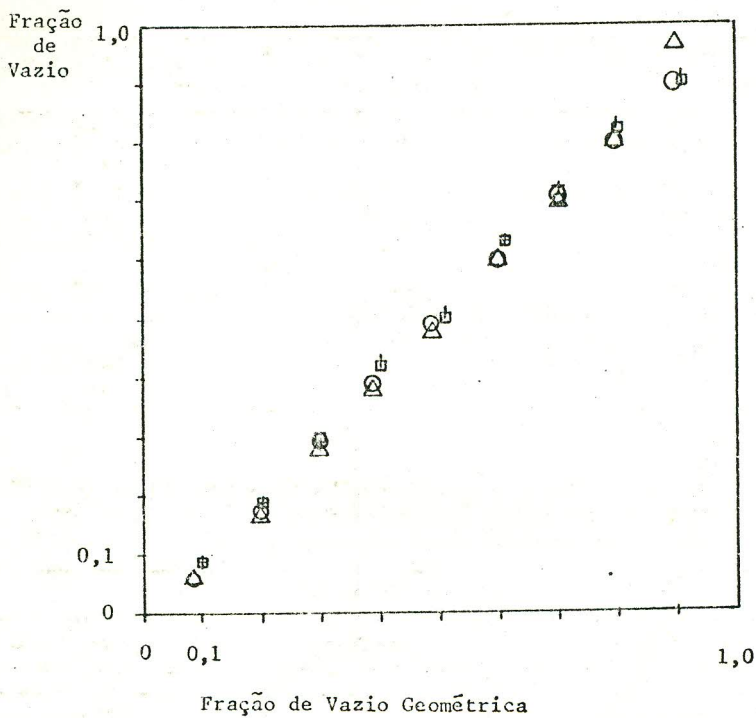


Figura 4. Fração de Vazio Calculada por Integração, por Somatória das Contagens para os Regimes Anular e Anular Inverso Versus Fração de Vazio Geométrico.

- Anular: + Fração de Vazio Obtida por Somatória
□ Fração de Vazio Obtida por Integração
- Anular Inverso: ○ Fração de Vazio Obtida por Somatória
△ Fração de Vazio Obtida por Integração

Tabela 1. Valores de Fração de Vazio, \bar{R}_{g2} , Calculados por Área, Integração Numérica de \bar{R}_{g1} e por Somatória das Contagens

REGIME ANULAR		
Fração de Vazio Geométrica	Fração de Vazio por Integração	Fração de Vazio por Somatória
0,00	0,00	0,00
0,10	0,09	0,09
0,20	0,19	0,19
0,30	0,30	0,29
0,40	0,42	0,43
0,51	0,50	0,51
0,61	0,63	0,63
0,70	0,70	0,72
0,80	0,82	0,83
0,91	0,90	0,91
1,00	1,00	1,00

Tabela 2. Valores de Fração de Vazio, \bar{R}_{g2} , Calculados por Área, Integração Numérica de \bar{R}_{g1} e por Somatória das Contagens

ESCOAMENTO ANULAR INVERSO		
Fração de Vazio Geométrica	Fração de Vazio por Integração	Fração de Vazio por Somatória
0,00	0,00	0,00
0,09	0,06	0,06
0,20	0,17	0,18
0,30	0,28	0,29
0,39	0,38	0,39
0,49	0,48	0,49
0,60	0,60	0,60
0,70	0,70	0,71
0,80	0,80	0,80
0,90	0,97	0,90
1,00	1,00	1,00

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos ao Dr. José Antonio Diaz Dieguez, Chefe do Departamento de Reatores e Circuitos Experimentais do IPEN-CNEN/SP, pelo apoio na execução e publicação deste trabalho.

Gostaríamos ainda de fazer um agradecimento especial a Senhorita Ana

Maria de Almeida pelo excelente trabalho de datilografia que permitiu a publicação deste.

REFERÊNCIAS

- [1] J.M. DELHAYE; M. GIOT e M.L. RIETHMULLER, Thermohydraulics of Two-Phase Systems for Industrial Design and Nuclear Engineering, Hemisphere - Mac Graw Hill, 1981.
- [2] R.T. LAHEY JR. e B.S. SHIRALKAR, Trans. Am. Nuclear Soc., 15(2), 880, 1972
- [3] N. ABUAF; O.C. JONES; G.A. ZIMMER; W.J. LEONHARD e P. SAHA, Transient Two-Phase Flow: Proceedings of the 2nd CSNI Specialists Meeting Held in Paris, 12-14 June, 1978, V. 2, p. 715-743, France 1980.
- [4] R. ROUMY, "Structure des Écoulements Difasiques Eau-Air, Etude de la Fraction de Vide Moyenne et des Configurations d'Écoulements" CEA-R-3892, Grenoble, France, 1969.
- [5] H.C. PERKINS JR.; M.YUSSUF e G. LEPPERT, Nucl. Sci. Eng., 11, 304-311, 1961.
- [6] S. UNTERMYER; L. KORNBLITH JR.; L.K. HOLLAND; M.A. HEAD; D. FISCHER; E. BECKJORD e L. WELSH, Peaceful Uses of Atomic Energy: Proceedings of the 2nd International Conference of the Peaceful Uses of Atomic Energy Held in Geneva, 1-13 September, V. 9, Geneva, 1958.
- [7] R.L. FREITAS, "Hydrodynamique des Écoulements Eau-Vapeur dans la Zone Remouillée d'un Tube Chauffant en Renoyage", Tese de Doutorado, L'Institut National Polytechnique, Grenoble, 1981.
- [8] B.K. MALAVIYA e R.T. LAHEY JR., Trans. Am. Nucl. Soc., 34, 876-877, 1980.
- [9] R.D. SILVA, "Medida de Fração de Vazio em Escoamento Bifásico, Gás- Água em Tubos Verticais Usando Absorção Gama", Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 1985.
- [10] M. DETRICK e B.S. SWANSON, The Review of Sci. Instruments, 29(2), 1079, 1958.
- [11] J.K. FERREL e J.W. MCGEE, Nucl. Eng. - Part XVI, 68(62) 113-120, 1970.
- [12] A.A. HARMS e C.F. FORREST, Nucl. Sci. Eng., 46, 408-413, 1971.
- [13] H.H. HOOKER e G.F. POPPER, "A Gamma-Ray Attenuation Method for Void Fraction Determinations in Experimental Boiling Heat Transfer Test Facilities", ANL-5766, Argonne National Laboratory, Illinois, 1958.
- [14] A.H. STROUD, Numerical Quadrature and Solution of Ordinary Differential Equations, Springer-Verlag New York inc., N.York, 1974. (Applied Mathematical Sciences, 10).