

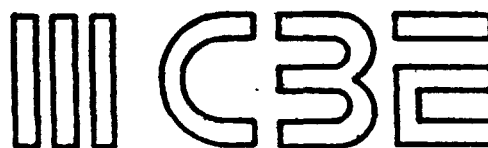
SUPERINTENDÊNCIA GERAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO
DEPARTAMENTO DE APOIO TÉCNICO

ESCOAMENTOS ÁGUA-AR ASCENDENTES EM
CANAL PRISMÁTICO DE BASE RETANGULAR

P.C. Tófani
Outubro 1984
NUCLEBRÁS/CDTN 483



ANAIS
PROCEEDINGS



Rio de Janeiro, Outubro de 1984

ESCOAMENTOS ÁGUA-AR ASCENDENTES EM CANAL PRISMÁTICO DE BASE RETANGULAR

Paulo de Carvalho Tófani

NUCLEBRÁS-CDTN
Belo Horizonte

Sumário

Os escoamentos de misturas líquido-gás proporcionam condição de simulação adequada dos escoamentos água-vapor d'água, os quais podem ocorrer no núcleo dos reatores nucleares. O domínio dos fenômenos físicos de transporte é de grande importância na análise termohidráulica desses sistemas. No escopo de programas de técnica, foram realizados testes objetivando investigar bem a natureza dos escoamentos ascendentes de água e ar, em seção de testes retangular, com auxílio de técnicas visuais e fotográficas, de sondas elétricas e de atenuação gama. Nesta contribuição, cartas de configuração de escoamento e correlações de fronteiras de transição de tipos de escoamento, distribuições de fração de vazio, espessura de película de líquido e fração de vazio média superficial são propostas e comparadas a resultados disponíveis na literatura.

Abstract

Two-phase liquid-gas mixtures provide suitable means to simulate water-water vapor flows, which may occur in nuclear reactor cores. The mastery of physical transport phenomena is of great importance, as far as the analysis of such thermal systems is concerned. Within the framework of thermal-hydraulic programs, experiments have been carried out to investigate the two-phase upward air-water flow structure, in a rectangular test section, by using independent measuring techniques, which comprise direct viewing and photography, electrical probes and gamma-ray attenuation. In this paper, flow pattern maps and correlations for flow pattern transitions, void fraction profiles, liquid film thickness and superficial average void fraction are proposed and compared to available data.

1. INTRODUÇÃO

A análise do processo de remoção da energia gerada nos reatores nucleares refrigerados a água, em regimes de operação normal ou de acidentes postulados, é baseada no conhecimento dos fenômenos físicos de transporte, relacionados à ocorrência e aos padrões de escoamentos bifásicos água-vapor d'água [1].

Programas de pesquisa de grande porte vêm sendo conduzidos, apoiados em investigações nas quais se recorre à simulação desses escoamentos com misturas bifásicas água-ar [2,3]. O estudo de fenômenos de transporte está associado à atividade de desenvolvimento de dispositivos experimentais e instrumentação e se traduz, em última análise, na proposição de modelos físicos e correlações [4].

No que refere aos escoamentos bifásicos, particularmente de misturas em diversas concentrações de água e ar concorrentes, em canais verticais, variadas técnicas e resultados vêm sendo incorporados ao acervo de conhecimento científico. Apresentam-se, neste trabalho, resultados obtidos em canal retangular [5,6] comparados a resultados disponíveis na literatura [7,8,9].

2. CONCEITOS

2.1 Configuração de Escoamento

Quando se admite, à entrada de um canal de escoamento vertical, uma mistura de líquido e gás, as distribuições espaço-temporais destas fases, correspondem padrões ou tipos de configuração de escoamento. No caso presente, são caracterizados os tipos bolha, bolsão, anular, bolha-bolsão e semi-anular, como se segue:

- bolha: o gás encontra-se distribuído, homogeneamente, na forma de pequenas bolhas, no meio líquido.
- bolsão: o gás ocupa, praticamente, toda a área de passagem do escoamento e o líquido encontra-se entre o bolsão de gás e a parede do canal. Bolsões consecutivos são ligados por pontes de líquido.
- anular: uma película de líquido mantém-se junta à parede do canal e o núcleo é constituído de gás.
- bolha-bolsão: as bolhas de gás aglomeram-se, formando grandes bolhas disformes, com trajetória sinuosa.
- semi-anular: os bolsões de gás tornam-se compridos e, por conseguinte, as pontes de líquido menos longas e o escoamento torna-se extremamente instável com golpes mecânicos sucessivos.

As cartas de configuração de escoamento apresentam fronteiras de transição das regiões nas quais conjuntos de condições físicas determinam cada tipo de configuração.

2.2 Parâmetros da Mistura Bifásica

Nos escoamentos bifásicos, definem-se velocidades superficiais ou aparentes das fases líquida (j_l) e gás (j_g), como velocidades reais dessas fases se atravessassem, isoladamente, um elemento de superfície transversal à direção predominante do escoamento, com a vazão volumétrica de fase que possui na mistura. A soma das velocidades aparentes é igual à velocidade média da mistura.

A fração de vazio (α), num elemento de volume de mistura líquido-gás é dada pela fração volumétrica ocupada pelo gás no elemento. Dos valores de fração de vazio, massas específicas e velocidades das fases derivam-se a densidade e o título termodinâmico da mistura.

As distribuições espaço-temporais de fração de vazio e velocidades das fases permitem a obtenção de valores integrados dessas grandezas e, por conseguinte, a correlação entre características locais e globais ou de controle de escoamento.

3. TESTES

3.1 Condições Experimentais

O circuito água-ar utilizado é constituído de dois ramos, os quais permitem a injeção simultânea desses fluidos em sistema de homogeneização de placas perfuradas, a vazões controladas de água de 0,1 a 1,7 l/s e de ar de 0,3 a 13,0 l/s. Nas condições de testes, foram mantidas a pressão de 2 atm e a temperatura ambiente.

3.2 Seção de Testes

Neste estudo, a seção de testes instalada no circuito tem geometria prismática de base retangular esquematizada na Figura 1. A direção predominante do escoamento é vertical e seu sentido ascendente. A altura da seção é de 1134 mm. A base do prisma retangular tem espessura 10 mm e largura 100 mm. Esta seção é construída em plexiglas. Analiticamente, far-se-á, no que se segue, corresponder à seção de testes, um sistema de coordenadas retangulares cujo zero se situa à entrada e no centro do canal. Neste caso, têm-se intervalos: $z=0$ a $z=h=1134$, $x=-a=-5$ a $x=a=5$ e $y=-b=-50$ a $y=b=50$, em milímetros.

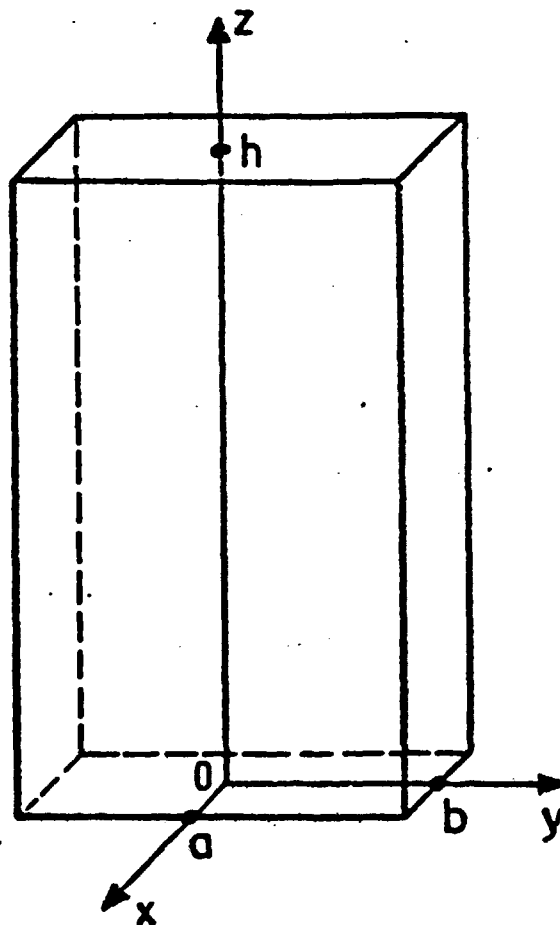


Figura 1. Esquema da Seção de Testes

3.3 Instrumentação

Três tipos de técnicas foram utilizadas nesta pesquisa: fotográfica, elétrica e radioativa.

Com auxílio de azul de metileno, como contraste adicionado à fase líquida, foram colhidas fotos dos diversos padrões encontrados. Um filme a cores de curta metragem foi, igualmente, realiza-

do. Estas técnicas de apoio à visualização permitem o melhor exame do desenvolvimento dos escoamentos ao longo do canal.

A técnica elétrica consiste em introduzir sondas no meio bifásico, as quais comportam polos em uma extremidade que são curto-circuitados, quando em presença de líquido, e abrem o circuito, em presença de gás. A eletrônica associada permitiu o registro de padrões das configurações e obtenção, por integração dos sinais, de valores médios temporais da fração de vazão no local de cada ponta de prova. Um pente de seis sondas foi instalado à cota $z=1000$ mm, podendo ser deslocado na direção x .

Na análise experimental baseada na técnica radioativa, foi utilizado um sistema constituído de fonte de Amerício-241 emissor de raios gama, os quais colimados incidem na seção através da direção x , e de detector de iodeto de sódio ativado com tálio para medida da radiação emergente. A atenuação da radiação relaciona-se à fração de vazão da mistura, cujo valor médio temporal, correspondente à espessura $2a$ é obtido por integração eletrônica. Este conjunto fonte-detector, montado à cota $z=900$ mm pode ser deslocado ao longo da direção y .

4. CONFIGURAÇÃO DE ESCOAMENTO

4.1 Carta de Configuração

Com a aplicação simultânea das técnicas instrumentais mencionadas, foram obtidos resultados [5] que permitem o traçado da carta de configuração de escoamento apresentada na Figura 2, tendo-se as velocidades superficiais de líquido e gás como coordenadas. As regiões caracterizadas anteriormente são, claramente, definidas.

4.2 Correlações das Fronteiras

As fronteiras das regiões, ou linhas de transição entre tipos de escoamento, podem ser representadas por correlações da forma [6].

$$j_l = c j_g + d \quad (1)$$

Os valores dos coeficientes c e d são dados na Tabela 1.

Tabela 1. Coeficientes das Correlações das Fronteiras

Fronteira	c	d	Correlação
bolha/bolha-bolsão	0,29	0,88	TF1
bolsão/semi-anular	0,63	-0,53	TF2
bolha-bolsão/bolsão e semi-anular	0,08	0,52	TF3
semi-anular/anular	-0,56	5,06	TF4

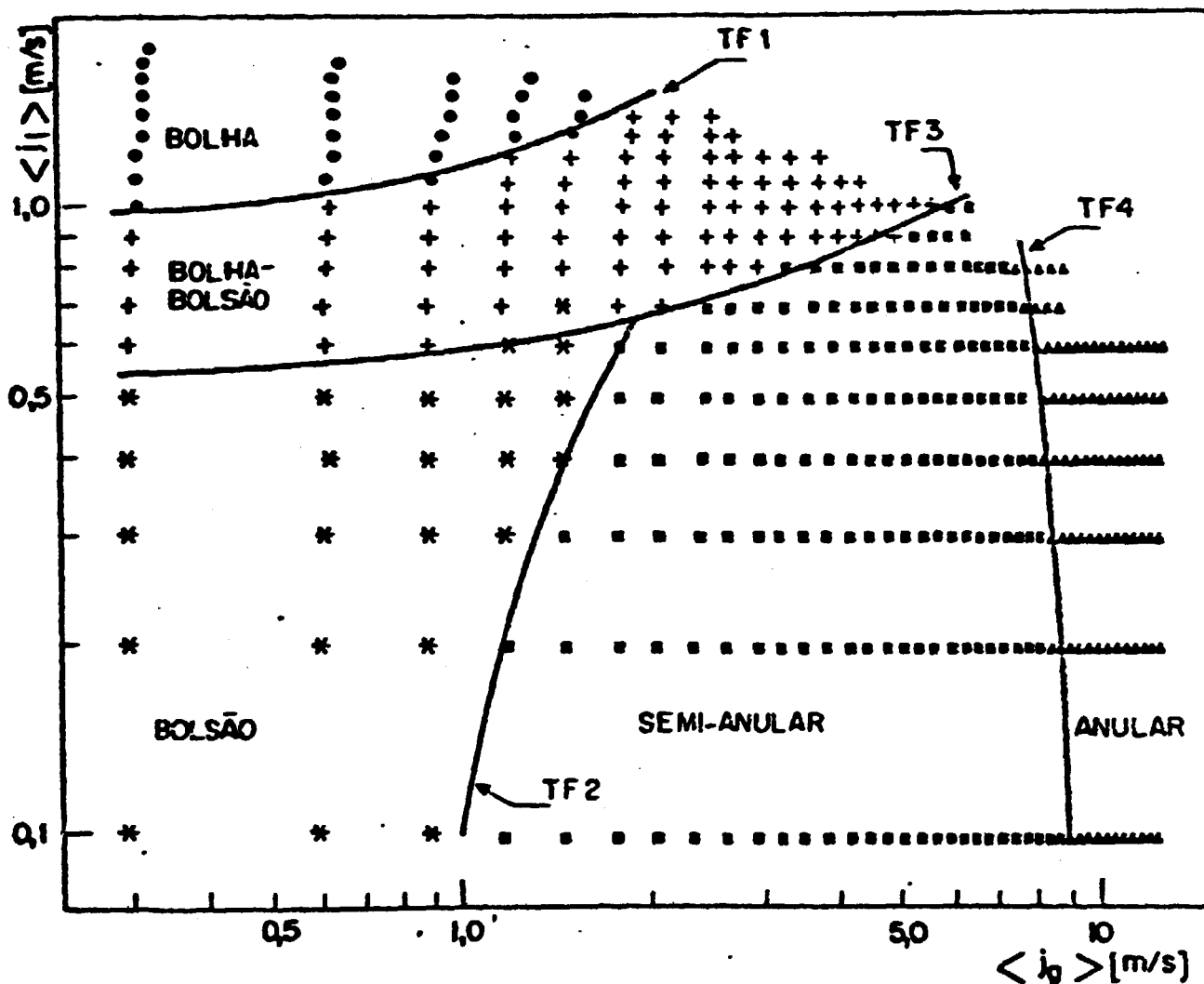


Figura 2. Carta de Configuração de Escoamento

4.3 Comparação de Resultados

As correlações estabelecidas são retomadas na Figura 3, onde são mostrados, igualmente, resultados obtidos por outros experimentadores [7], em seção cilíndrica de, aproximadamente, mesma razão diâmetro hidráulico-comprimento de canal, com escoamento igualar, à pressão atmosférica e temperatura ambiente. Nessa referência, as configurações dos tipos bolsão e semi-anular são confundidas. No contexto dos trabalhos desenvolvidos neste campo, a concordância entre os resultados é satisfatória.

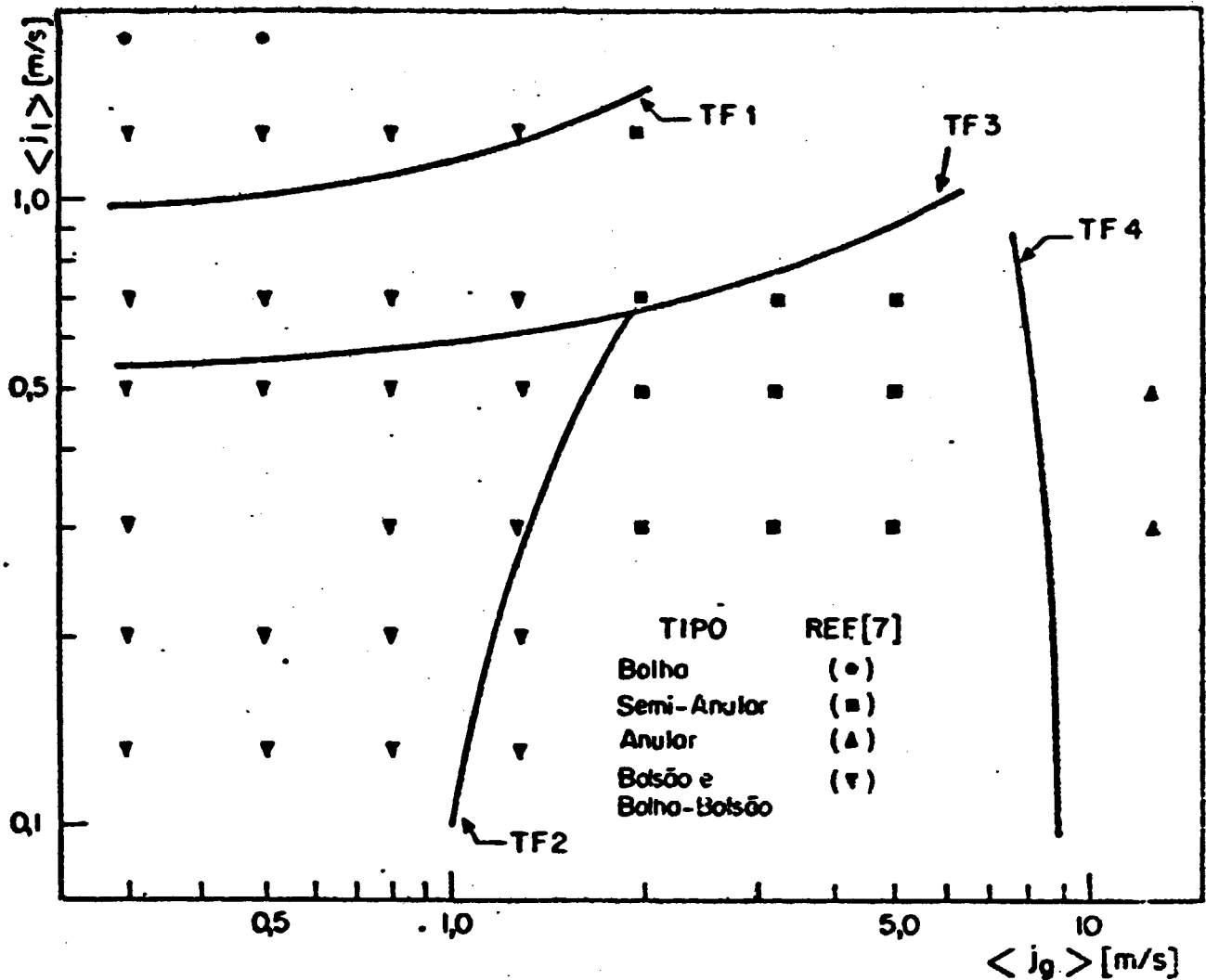


Figura 3. Comparação entre Correlações TF e Ref [7].

5. CARACTERÍSTICAS DOS ESCOAMENTOS BI-FÁSICOS

5.1 Fração de Vazio

Em cada região delimitada, foram obtidas distribuições da fração de vazio segundo y com o conjunto fonte-detector, em sete pontos: $y=0, \pm 13, \pm 26$ e ± 39 mm; à cota $z=900$ mm. Nestes pontos obtiveram-se, então, valores integrados no tempo, no intervalo $x \pm 25$ mm.

Na Figura 4 são apresentadas distribuições típicas da fração de vazio segundo a direção y , em termos de valores normalizados, dados por

$$\alpha_y^* = \frac{\alpha_y}{\alpha_0} \quad \text{e} \quad y^* = \frac{y}{b}, \quad (2)$$

onde α_0 é o valor da fração de vazio em $y=0$.

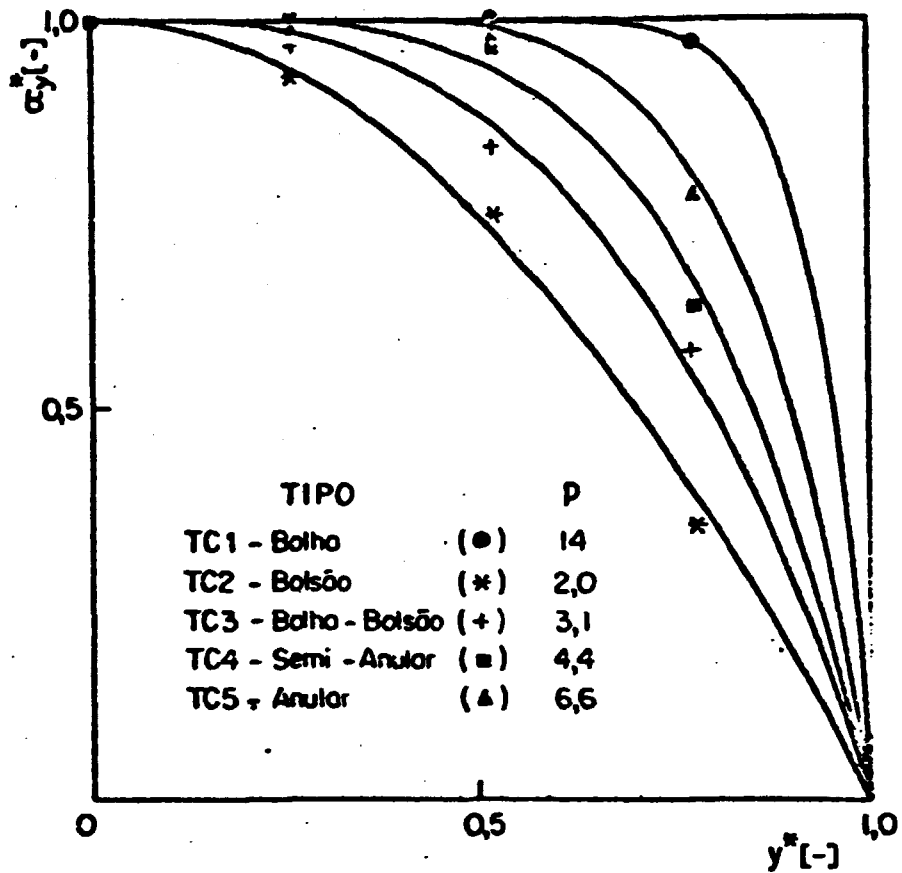


Figura 4. Distribuições de Fração de Vazio

Os resultados experimentais [5] admitem correlação da forma [6]:

$$\alpha_y^* = 1 - y^{*p} \quad (3)$$

O parâmetro de distribuição p assume valores característicos para cada tipo de escoamento e cresce à medida que o perfil se torna achatado. Admitindo-se esta correlação, infere-se a média temporal na superfície a uma cota dada (notação $\langle \rangle$) da fração de vazio como:

$$\langle \alpha^* \rangle = \frac{p}{p+1} \quad (4)$$

As faixas de valores do parâmetro p e as respectivas frações de vazio médias são fornecidas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros de Distribuição e Frações de Vazio Médias

Tipo	p	$\langle \alpha^* \rangle$	Correlação
bolha	10-∞	0,90-1,00	TC1
bolsão	1,6-2,3	0,62-0,70	TC2
bolha-bolsão	2,0-3,1	0,67-0,76	TC3
semi-anular	2,3-5,8	0,70-0,85	TC4
anular	4,0-7,6	0,80-0,88	TC5

5.2 Espessura de Película de Líquido

A partir da distribuição de fração de vazio dada pela equação (3), pode-se calcular a variação da espessura da película de líquido equivalente, nos tipos de configuração (exceto o do tipo bolha, naturalmente), segundo a correlação da forma [6]:

$$w = a[1 - (1 - y^{*p})\alpha_0], \quad (5)$$

a qual pode variar, teoricamente, de 0 a $x = |a|$.

5.3 Relação entre Parâmetros Locais e Globais

A correspondência entre as distribuições de fração de vazio e velocidades de fases e os parâmetros globais de controle em aplicações práticas, pode ser feita pela adoção de modelo bidimensional [8]. A aplicação deste modelo leva à correlação da forma

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\langle j_g \rangle}{q \langle j \rangle + r} \quad (6)$$

Os coeficientes q e r, ligados a parâmetros locais dependentes dos tipos de escoamento, são obtidos a partir de resultados das medidas [5], em representação da velocidade média real de gás ($\langle j_g \rangle / \langle \alpha \rangle$) em função da velocidade superficial total ou velocidade média da mistura, conforme mostrado na Figura 5. Os parâmetros q e r são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Parâmetros de Distribuição

Tipo	q	r	Correlação
bolha	1,64	-0,45	TC1
bolsão	1,55	1,40	TC2
bolha-bolsão	1,77	0,80	TC3
semi-anular	1,39	1,22	TC4
anular	1,00	4,70	TC5

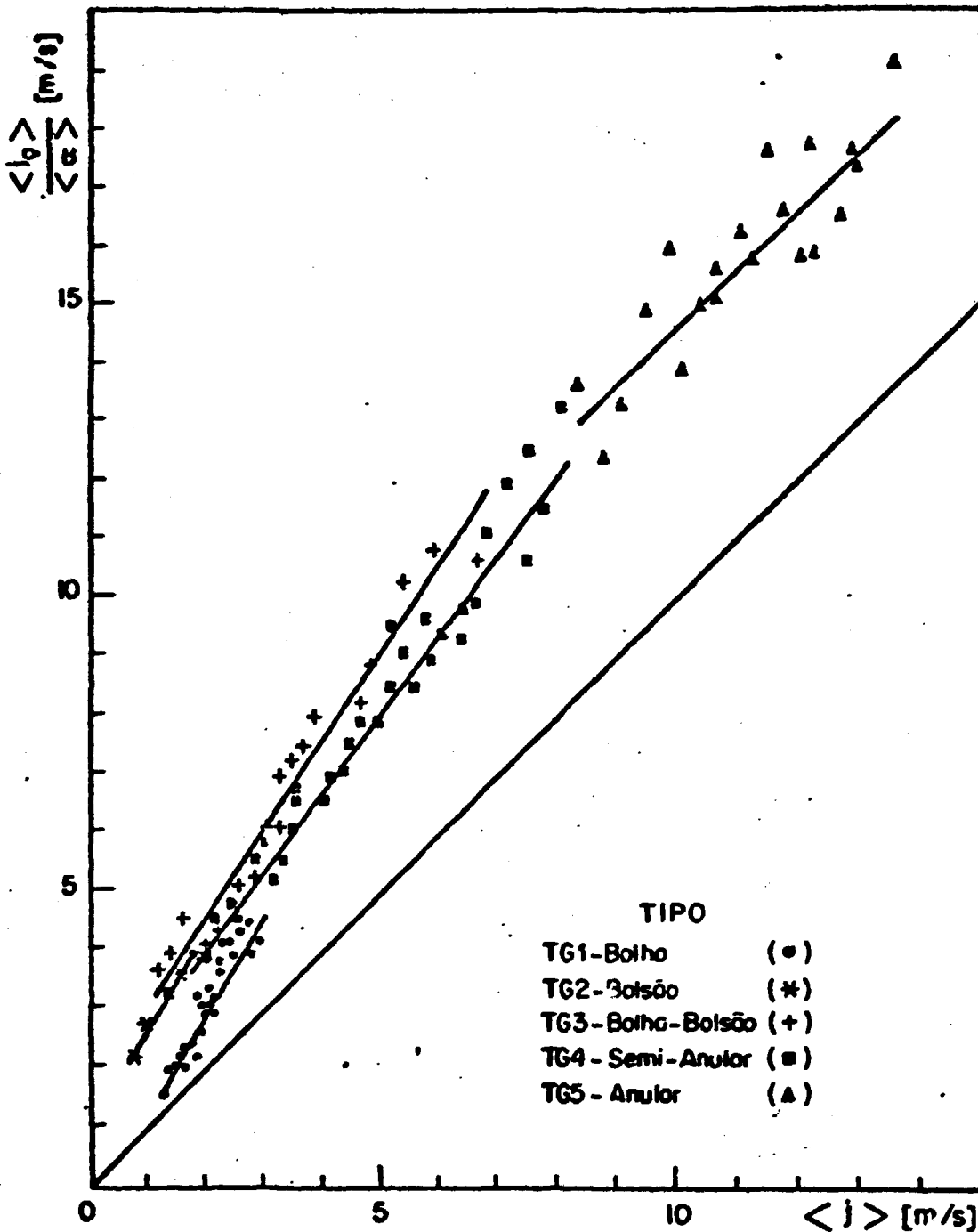


Figura 5. Correlações do Modelo Bidimensional

5.4 Comparação com Resultados

Na Figura 6 é feita a comparação com resultados disponíveis em canal retangular (5x64 mm) [9], onde seus autores distinguem três tipos de configuração: bolha, anular e um terceiro de transição, que se compara ao conjunto dos tipos bolsão, bolha-bolsão e semi-anular, em carta cujas coordenadas são os valores médios da velocidade superficial de líquido e da fração de vazio. Nesta representação, os pontos obtidos [5] permitem melhor delimitação das regiões de escoamento do que os dos outros pesquisadores, os quais apresentam, ainda, valores de $\langle \alpha^* \rangle$, tais como: 0,56 a 0,90

no tipo bolha, 0,53 a 0,85 no de transição e 0,81 a 0,99 no anular, comparáveis, com bons resultados, às faixas extremas do tipo de transição, com os dados da Tabela 2.

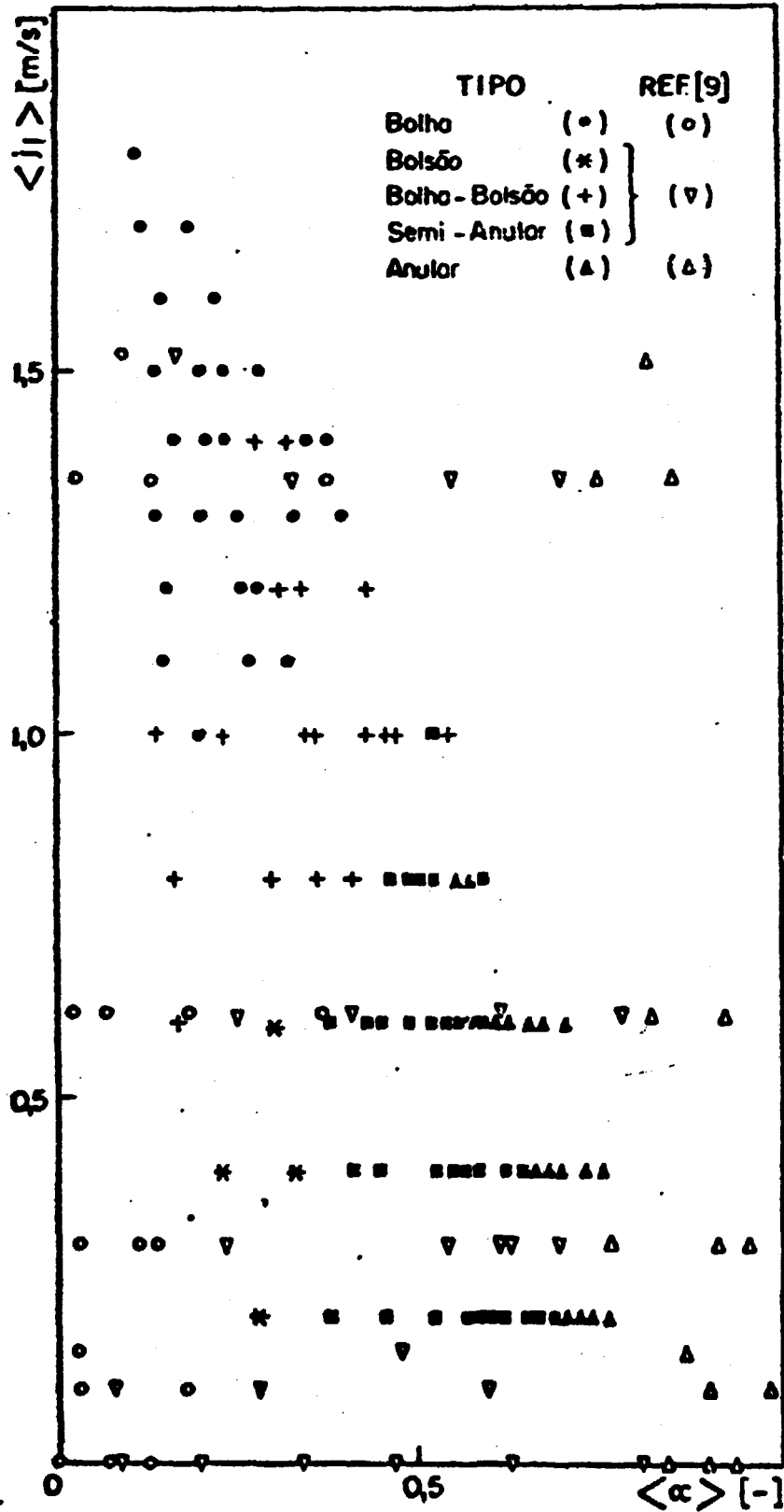


Figura 6. Comparação de Resultados

6. CONCLUSÃO

Os escoamentos bifásicos água-ar verticais ascendentes em canal retangular foram estudados experimentalmente [5]. Este estudo foi revisto e novos modelos e correlações propostos [6]. Os resultados obtidos nesta pesquisa, representam avanço de conhecimento no campo e comparados a resultados mais recentes [1,7,9], realizados em condições semelhantes, foram, em linhas gerais, confirmados.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] ROUHANI, S.Z., e SOHAL, M.S. (1983), "Two-Phase Flow Patterns: A Review of Research Results", Progress in Nuclear Energy, Volume 11, Número 3, Páginas 219-259.
- [2] IGUCHI, T., e MURAO, Y. (1983), "Water Accumulation Phenomena in Upper Plenum during Reflood Phase of PWR-LOCA by Using CCTF Data", Journal of Nuclear Science and Technology, Volume 20, Número 6, Páginas 453-466.
- [3] IGUCHI, T., OKUBO, T., e MURAO, Y. (1983), "Visual Study of Flow Behavior in Upper Plenum During Simulated Reflood Phase of PWR-LOCA" Journal of Nuclear Science and Technology, Volume 20, Número 8, Páginas 698-700.
- [4] TÓFANI, P.C., e LADEIRA, L.C.D., (1983), "Desenvolvimento de Instrumentação na Pesquisa de Fenômenos de Transporte em Equipamentos Térmicos", Anais do I Congresso Latino-Americano de Instrumentação e Controle de Processos, Rio de Janeiro, Páginas 357-385.
- [5] SIMBALISTA, O.C.R.L. (1972), "Análise Experimental da Estrutura dos Escoamentos Bifásicos Água-Ar Ascendentes em Canal Vertical de Seção Retangular", Tese de Mestrado em Ciências e Técnicas Nucleares, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [6] TÓFANI, P.C., (1972), "Estudos sobre Escoamentos Ascendentes Água-Ar em Canais Verticais", Instituto de Pesquisas Radioativas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- [7] TAITEL, Y., BORNEA, D., e DUKLER, A.E., (1980), "Modelling Flow Pattern Transitions for Steady Upward Gas-Liquid Flow in Vertical Tubes", American Institute of Chemical Engineers Journal, Volume 26, Número 3, Páginas 345-354.
- [8] ZUBER, N., e FINDLAY, J.A., (1965), "Average Volumetric Concentration in Two-Phase Flow Systems", Journal of Heat Transfer, Volume 87, Número 3, Páginas 453-468.
- [9] JONES, O.C., e ZUBER, N., (1975) "The Interrelation between Void Fraction Fluctuations and Flow Patterns in Two-Phase Flow", International Journal of Multiphase Flow, Volume 2, Número 3, Páginas 273-306.