

NUCLEBRÁS

Empresas Nucleares Brasileiras SA

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR

CAIXA POSTAL, 1941 - 30.000 - BELO HORIZONTE - BRASIL

DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO NA
PESQUISA DE FENÔMENOS DE TRANSPORTE
EM EQUIPAMENTOS TÉRMICOS

P.C. Tófani

L.C.D. Ladeira

NUCLEBRÁS/CDTN-458 - NOVEMBRO 1983

I CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE
INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS

Rio de Janeiro, 8 a 11 de novembro de 1983

DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO NA PESQUISA DE
FENÔMENOS DE TRANSPORTE EM EQUIPAMENTOS TÉRMICOS

Paulo de Carvalho Tófani*
Luiz Carlos Duarte Ladeira**

NUCLEBRÁS-CDTN
C.P. 1941-BELO HORIZONTE-MG

R E S U M O

Há cerca de quinze anos, foi implementado no Instituto de Pesquisas Radioativas da UFMG, hoje o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear da NUCLEBRÁS, um programa de pesquisa sobre os processos de remoção do calor gerado nos reatores nucleares refrigerados a água.

No desenvolvimento desse programa foram implantados dispositivos experimentais nos quais se instalam seções de testes onde são simuladas as complexas características geométricas e térmicas dos feixes combustíveis nucleares.

O estudo dos fenômenos de transporte de massa, quantidade de movimento e energia, básicos na análise dos equipamentos térmicos convencionais, foi realizado paralelamente ao desenvolvimento de instrumentação, objetivos freqüentemente superpostos.

As investigações levadas a termo, relatadas neste trabalho, referem-se, particularmente, aos escoamentos mono e bifásicos, em condições adiabáticas e com troca de calor, com eventual mudança de estado físico, em regimes permanente e transitório, ao longo de canais verticais com seção transversal de geometria simples e complexa.

* Departamento de Apoio Técnico

** Departamento de Tecnologia de Reatores

I CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE
INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE DE PROCESSOS

Rio de Janeiro, 8 a 11 de novembro de 1983

DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTAÇÃO NA PESQUISA DE
FENÔMENOS DE TRANSPORTE EM EQUIPAMENTOS TÉRMICOS

Paulo de Carvalho Tófani*
Luiz Carlos Duarte Ladeira**

NUCLEBRÁS-CDTN
C.P. 1941-BELO HORIZONTE -MG

1. INTRODUÇÃO

Em 1966, no Instituto de Pesquisas Radioativas da Universidade Federal de Minas Gerais, foram iniciados estudos sobre aspectos inerentes ao processo de extração do calor gerado nos reatores nucleares a água pressurizada [1]. Os resultados desses estudos apontaram a necessidade de se iniciarem investigações de natureza experimental [2], o que se tornou possível com apoio da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Foram, então, estabelecidas diretrizes de um programa de térmica de reatores, dando origem à implantação de infra-estrutura de laboratório [3]. Posteriormente [4], essas diretrizes foram adotadas pela Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear, sucedida pelas Empresas Nucleares Brasileiras S.A. - NUCLEBRÁS, nos programas do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, em Belo Horizonte.

Propõe-se, nesta contribuição, discorrer sobre resultados desse esforço de aquisição de competência em térmica experimental de reatores, ao longo dos últimos anos, através da abordagem de aspectos considerados relevantes em pesquisa básica sobre fenômenos de transporte, susceptíveis de aplicação na análise de reatores nucleares e equipamentos térmicos convencionais, fundamentada no desenvolvimento simultâneo de instrumentação e métodos experimentais.

* Departamento de Apoio Técnico

** Departamento de Tecnologia de Reatores

3. TERMOHIDRÁULICA EXPERIMENTAL DE REATORES

3.1. Simulação dos fenômenos de transporte

Os feixes de barras combustíveis nucleares e os invólucros que os contêm determinam canais de escoamento de pequenas dimensões e seção transversal de geometria complexa através dos quais flui água de refrigeração, podendo ocorrer ebulição local ou generalizada. Os fluxos de calor na superfície das barras, as vazões e pressões do refrigerante e os níveis de temperatura são, relativamente, elevados e, eventualmente, funções complexas das variáveis espaço e tempo.

As condições reinantes e as dificuldades de acesso ao núcleo sugerem, para estudo, a reprodução dos fenômenos de transporte em dispositivos experimentais com características amplamente controláveis. Nestes, são instaladas seções de testes que representam, no todo ou em parte, a geometria dos elementos combustíveis e se distinguem por suas seções transversais de formas variadas. As condições de geração de calor, quando simuladas, são por aquecimento elétrico. A escolha do fluido simulador recai em misturas a dois componentes água e ar, em proporções variáveis, ou em apenas um componente água ou freon, em escoamentos mono e/ou bifásicos. Os valores das grandezas físicas do sistema são simulados em regimes permanente ou transitório.

A combinação das opções consideradas na simulação das condições de geração e remoção de calor dos feixes possibilita grande diversidade de estudos experimentais, requerendo grande esforço de desenvolvimento de instrumentos e métodos.

Por sua natureza de pesquisa básica dos fenômenos de transporte, os resultados obtidos aplicam-se e conferem alto grau de confiabilidade na análise dos equipamentos térmicos convencionais.

3.2. Dispositivos experimentais

A reprodução ou simulação das condições de geometria, carga térmica e escoamento da água de refrigeração dos feixes combustíveis de reatores é realizada em dispositivos experimentais de laboratório, em sua maioria circuitos termohidráulicos. Na implantação deste laboratório faz-se necessária a montagem de uma série de dispositivos, possibilitando a realização de testes em escala crescente de complexidade. Para seu funcionamento são implantados, igualmente, sistemas auxiliares de suprimento de potência em corrente contínua e alternada, de água desmineralizada, de refrigeração por torre, de ar comprimido e outros, bem como montagens destinadas especialmente a aferições dos instrumentos de medida.

Os dispositivos experimentais contam, para sua operação, com instrumentos de medida, cobrindo por vezes larga gama de valores de parâmetros tais como concentrações de fases, pressões, vazões, temperaturas, potências elétricas, resistividades elétricas, níveis de líquido, teores de gás dissolvido, concentrações de traçadores, etc. São, igualmente, incorporados aos dispositivos, os sistemas de controle eletromecânicos e adotados sistemas de coleta e processamento de dados, em geral disponíveis no mercado nacional.

Dentre os dispositivos implantados no Laboratório de Termohidráulica do CDTN (Quadro 1) destacam-se o Circuito Térmico: CT-1 [7, 8] (Figuras 1 e 2), o Circuito Hidráulico: CS-0 [9] (Figura 3), o Circuito Água-Ar: CS-2 [10] (Figura 4) e o Circuito Suporte: CS-1 [11] (Figura 5).

Circuito	Fluidos	Potência (kW)	Vazão (l/s)	Pressão (ata)	Seção de Testes (m)
Térmico (CT-1)	água	560	5	15	3
Hidráulico (CS-0)	água	-	3	1	2
Água-ar (CS-2)	água/ar	-	3/40	6	2
Suporte (CS-1)	água	20	0,1	6	1

QUADRO 1: CARACTERÍSTICAS DOS CIRCUITOS TERMOHIDRÁULICOS

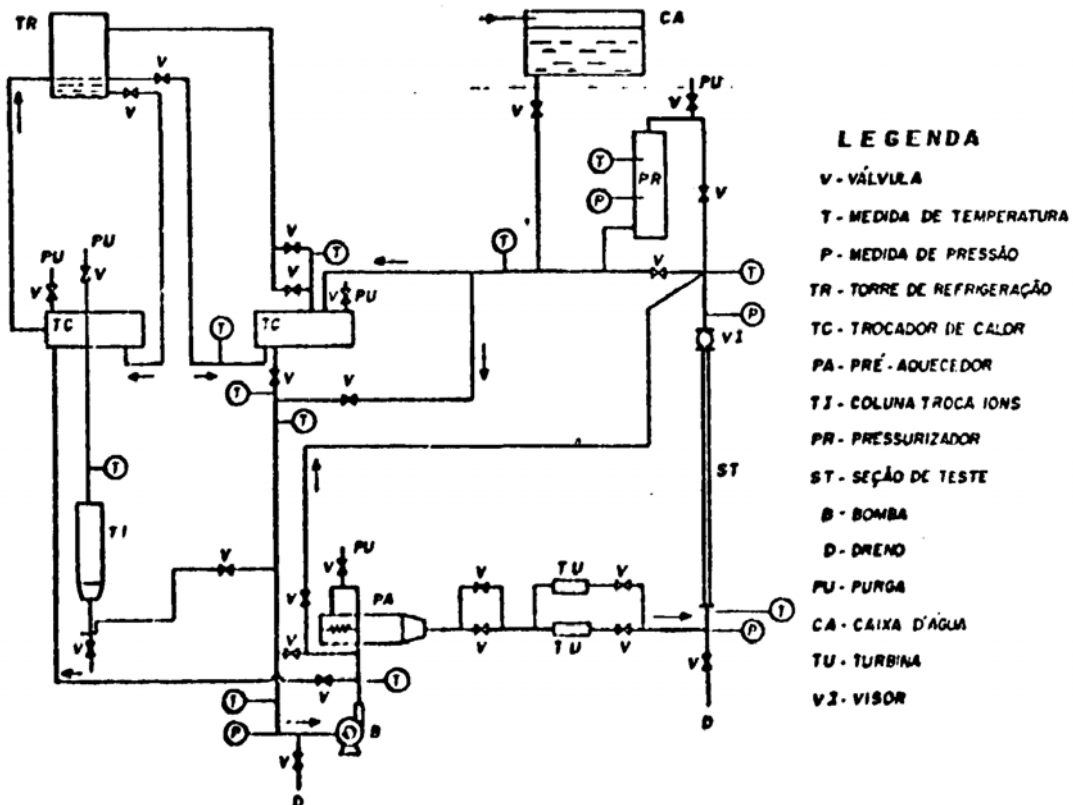


FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DO CIRCUITO TÉRMICO

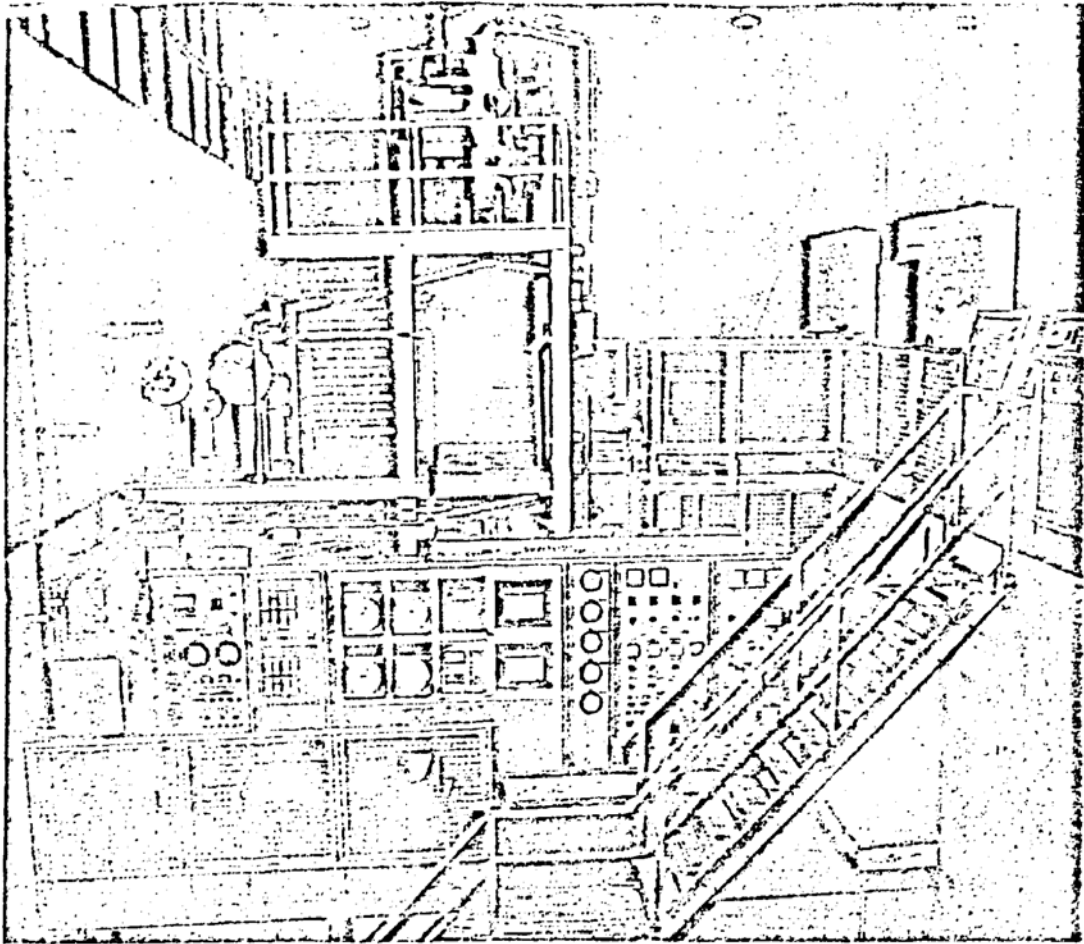


FIGURA 2 - VISTA DO CIRCUITO TÉRMICO

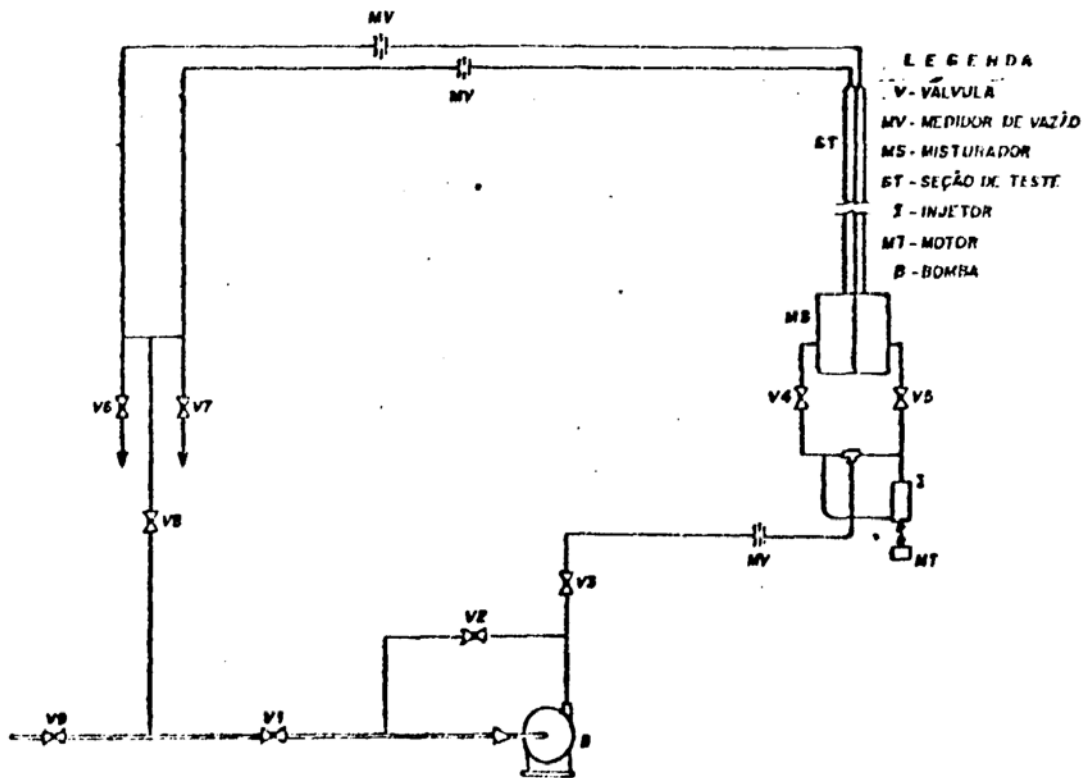


FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO CIRCUITO HIDRÁULICO

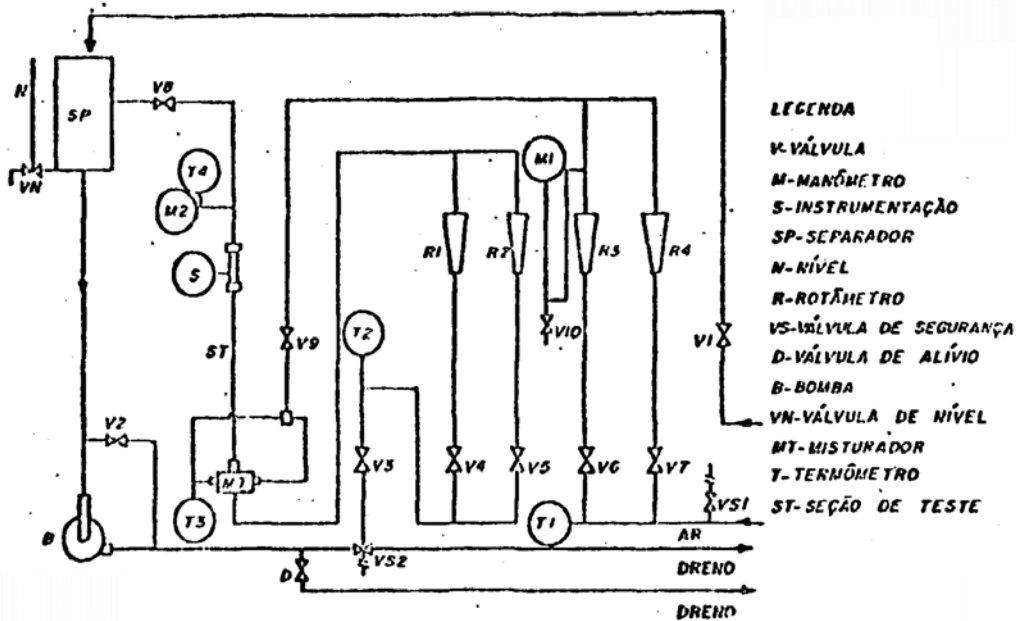


FIGURA 4-FLUXOGRAMA DO CIRCUITO AGUA-AR

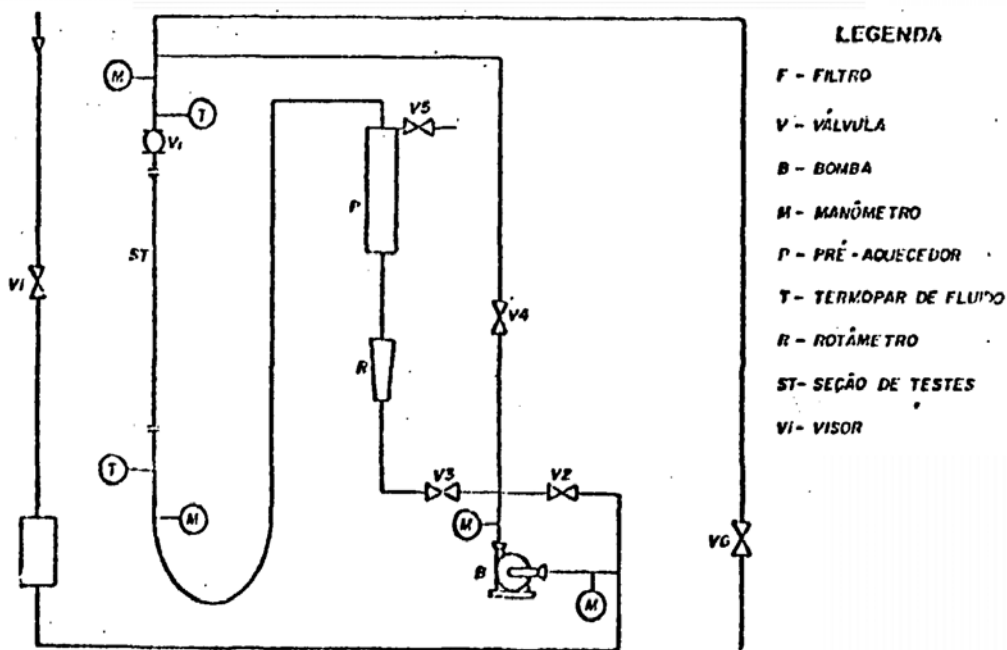


FIGURA 5-FLUXOGRAMA DO CIRCUITO SUPORTE

3.3. Seções de testes

A seção de testes, instalada nos circuitos termohidráulicos, consiste de um trecho facilmente intercambiável destes sistemas. Sua geometria é função da natureza do fenômeno a ser investigado e suas dimensões são tais que permitam acesso de instrumentação. As seções utilizadas tem, normalmente, seções transversais circulares, anulares, retangulares, em subcanais de feixes ou em feixes (Figura 6).

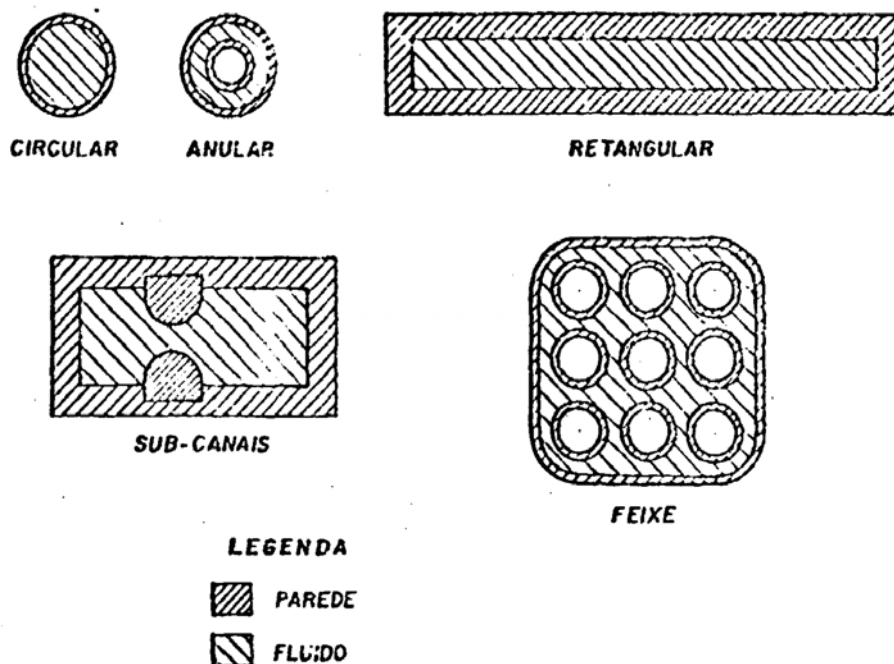


FIGURA 6-CANAIS DE ESCOAMENTO

No caso dos testes com dissipação de calor, este é, normalmente, gerado por efeito Joule na (ou nas) paredes metálicas do canal. No processo diabático o fluido de refrigeração poderá mudar de fase. Em condições adiabáticas as seções de testes são, normalmente, de material plástico, recorrendo-se ao ar como simulador de vapor.

Tendo-se em mente a finalidade eclética dos dispositivos, os quais permitem diferentes tipos de estudos experimentais, a instrumentação necessária a estudos específicos é incorporada ao sistema, em particular, à seção de testes, caso a caso. Por conseguinte, depende dos testes o nível de sofisticação da instrumentação e do processamento de dados. Neste caso, os métodos experimentais são desenvolvidos, com auxílio de sensores fabricados e aferidos, sendo a eletrônica associada quase sempre disponível no mercado.

Neste trabalho, enfocam-se, principalmente, os fenômenos que ocorrem na seção de testes e instrumentação correspondente, razão pela qual apresentar, no que se segue, os resultados relativos aos escoamentos adiabáticos de um componente monofásico, aos escoamentos adiabáticos de dois componentes monofásicos e aos escoamentos diabáticos de um componente mono ou bifásico, em diversos tipos de seções.

4. ESCOAMENTOS ADIABÁTICOS DE UM COMPONENTE MONOFÁSICO

Os escoamentos de um componente, água ou freon, são neste caso tratados num único estado físico. Tanto no caso de condições adiabáticas quanto naqueles com troca de calor e mudança de fase, os componentes monofásicos podem estar presentes em parte ou no todo da seção de testes. Alguns métodos experimentais, instrumentos de medidas e modelos teóricos foram desenvolvidos para estudo desses tipos de escoamentos ao longo de toda a seção, utilizando-se principalmente o dispositivo CS-0 (Figura 3), e são, em seguida, abordados.

4.1. Pressões e Vazões

Para utilização nas gamas de parâmetros dos dispositivos experimentais apresentados, foram desenvolvidos manômetros de fole com mola e de membrana espessa [12] para medidas de pressão estática os quais, com auxílio de transformadores diferenciais de variação linear (TDVL), permitem sinal elétrico de saída (Figura 7). Manômetros diferenciais [13, 14] foram desenvolvidos de modo a medir baixos gradientes de pressão, igualmente com saída elétrica (Figura 8).

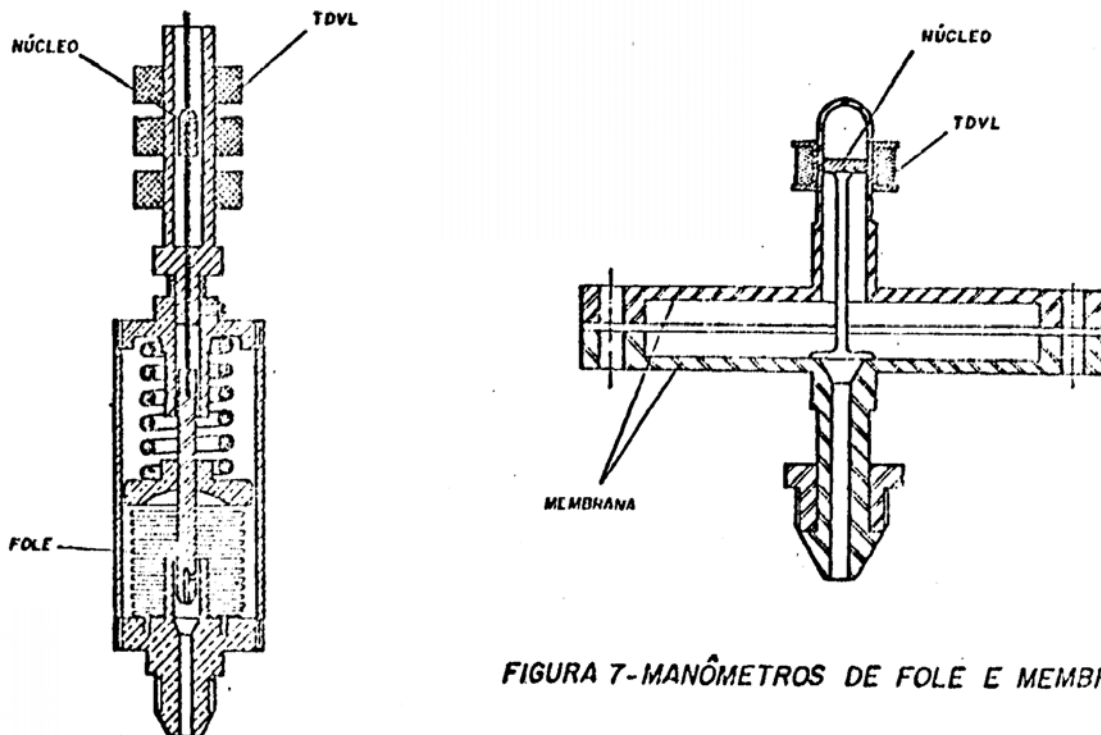


FIGURA 7-MANÔMETROS DE FOLE E MEMBRANA

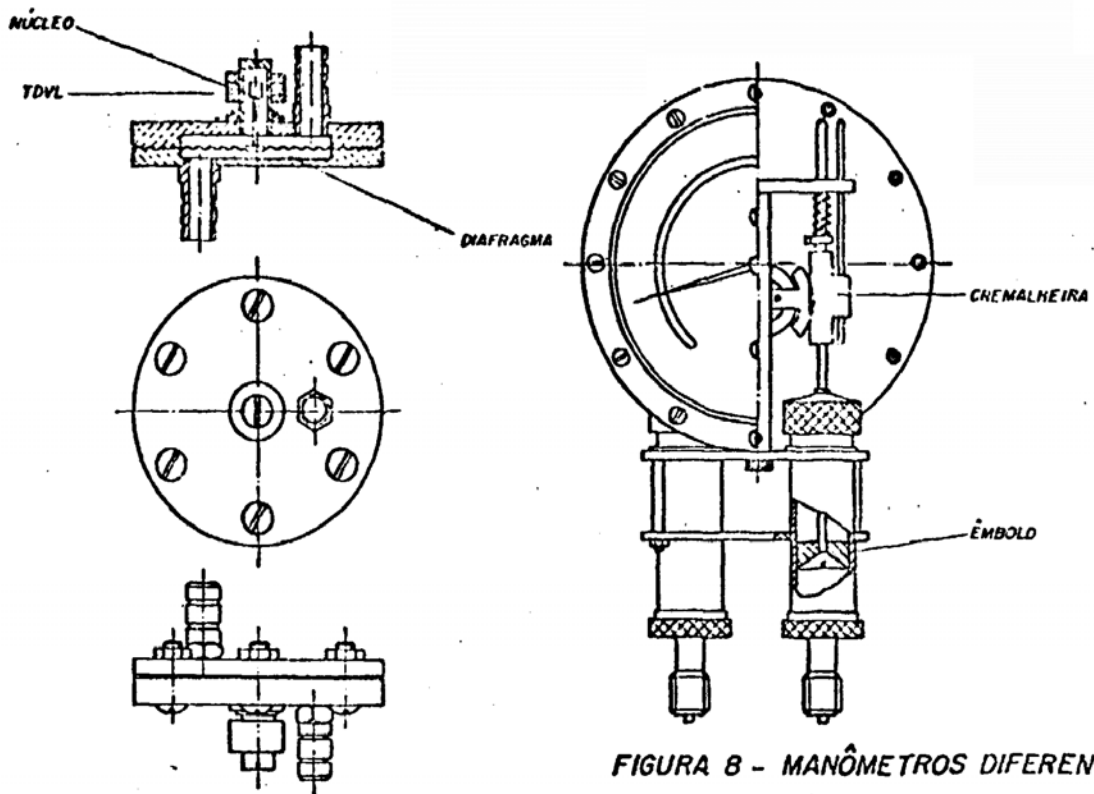


FIGURA 8 - MANÔMETROS DIFERENCIAIS

Nas mesmas condições, protótipos de medidores de vazão com sinal de saída elétrico [14] foram desenvolvidos, a saber, rotâmetros munidos de transformadores diferenciais de variação linear (Figura 9) e disco de impacto associado a um extensômetro (Figura 10).

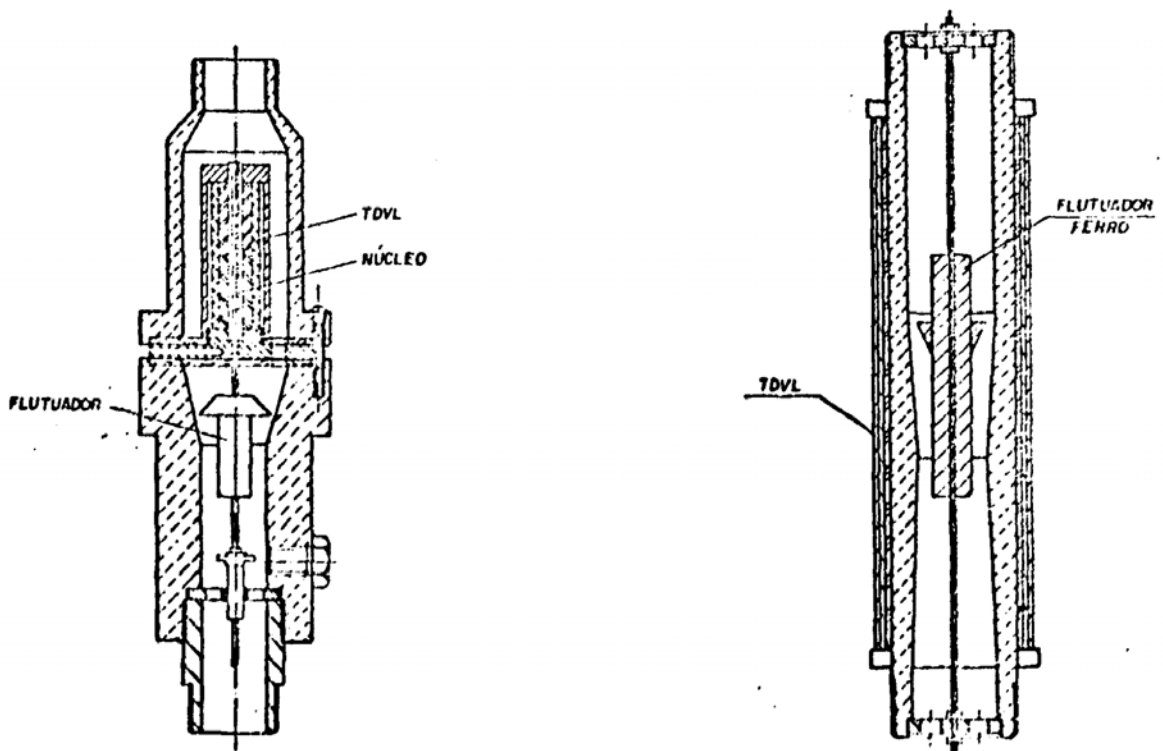


FIGURA 9 - ROTÂMETROS

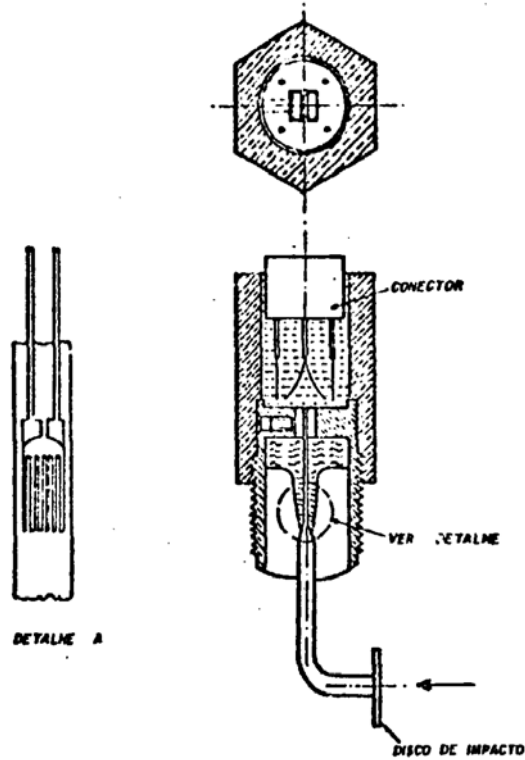
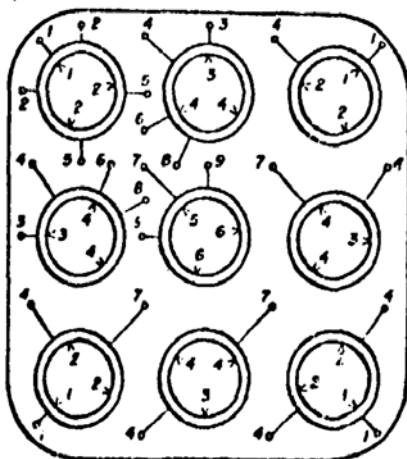


FIGURA 10 - MEDIDOR DE VAZÃO POR IMPACTO

4.2. Coefficientes de mistura

Na análise dos escoamentos ao longo de um feixe de tubos é de grande importância o conhecimento do coeficiente de mistura (S) entre subcanais, razão entre a vazão secundária, ortogonal à direção predominante, de um subcanal a outro, e a vazão primária.

Em condições de geometria, aquecimento e refrigeração complexas estes coeficientes foram determinados em função de diversos parâmetros, a partir de campos de temperatura obtidos com microtermopares distribuídos no feixe [15 e 17] (Figura 11).



• - TERMOPARES DE FLUIDO
 V - TERMOPARES DE PAREDE

FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DE TERMOPARES

Esses mesmos coeficientes e sua dependência de parâmetros geométricos e hidrodinâmicos de verificação inviável nos testes anteriores foram estudados em condições mais cômodas, recorrendo-se à analogia entre os processos de difusão turbulenta de massa e energia, simulando-se a geometria complexa com seção de testes com dois subcanais simétricos, com fendas de intercomunicação variáveis transversalmente, através da injeção, extração e balanços de massa de traçador radioativo [9]. A instrumentação desenvolvida permitiu a injeção constante, num subcanal, de solução contendo Manganês-56 e sua detecção com conjuntos cintiladores-fotomultiplicadoras à entrada e à saída da seção de testes (Figura 12).

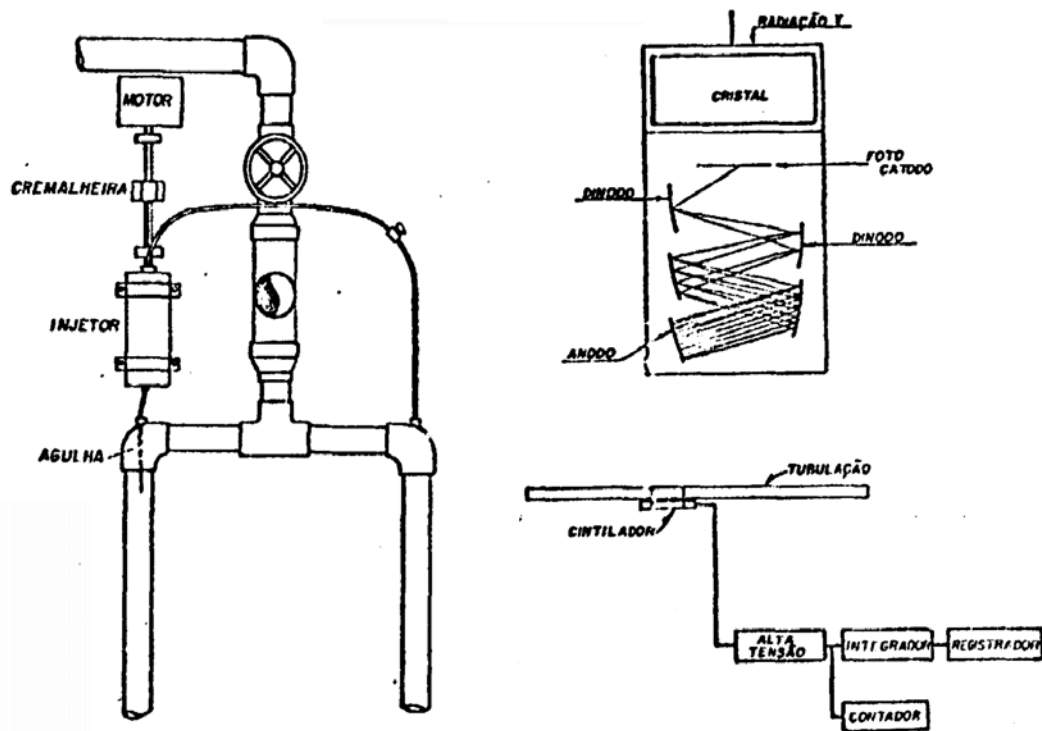


FIGURA 12 - SISTEMAS DE INJEÇÃO E DETECÇÃO

Em outra pesquisa sobre difusão turbulenta, hipóteses adicionais foram investigadas com o emprego de técnica espectrofotométrica [18]. Nesses testes, onde se utilizou o azul de metileno como traçador, foram, além de novas determinações dos coeficientes de mistura, estudadas a influência da fenda de intercomunicação variável longitudinalmente (Figura 13) e transversalmente (Figura 14).

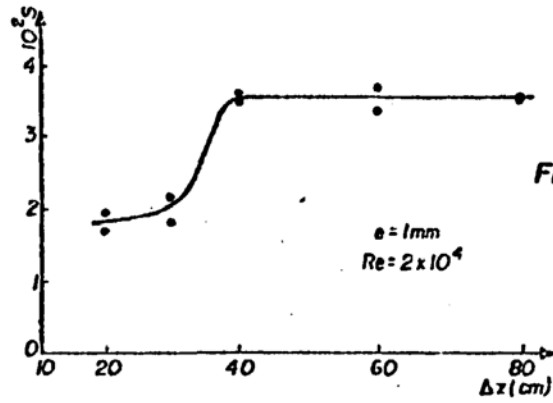


FIGURA 13-INFLUÊNCIA DA FENDA LONGITUDINAL

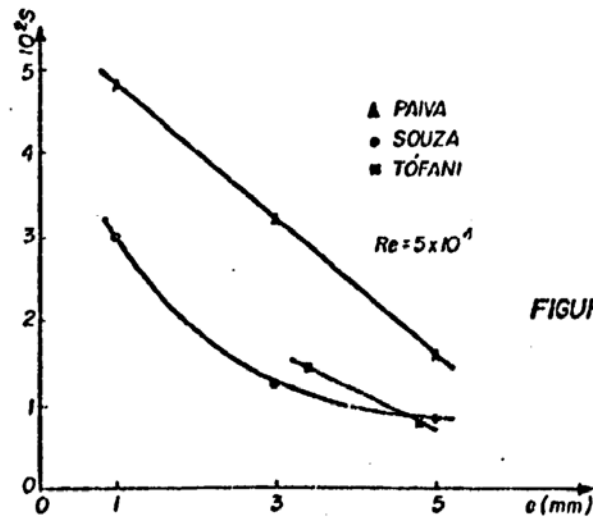


FIGURA 14-INFLUÊNCIA DA FENDA TRANSVERSAL

Os resultados obtidos do coeficiente de mistura entre subcanais com as três técnicas mencionadas foram intercomparados, em função do número de Reynolds global do escoamento para diversas dimensões transversais de fendas (Figura 15).

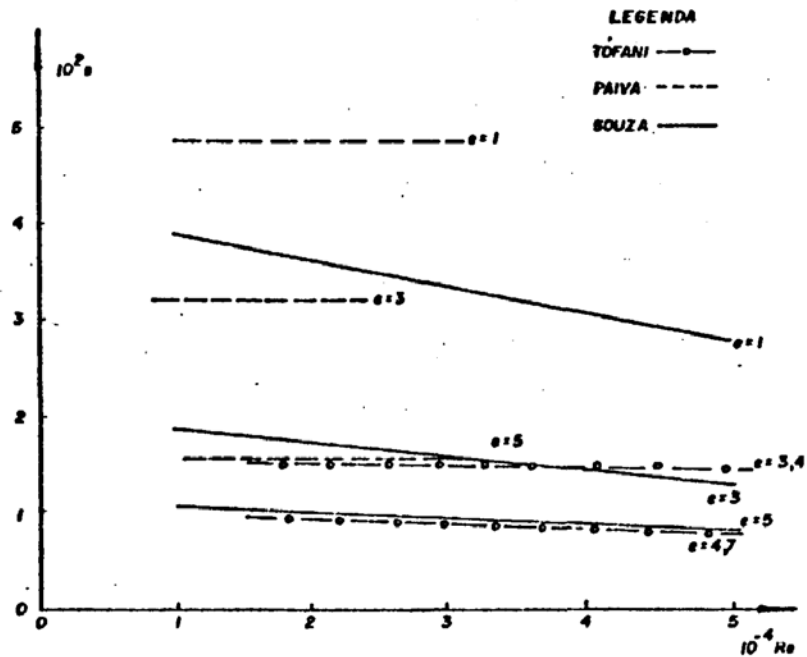


FIGURA 15 - INFLUÊNCIA DO Re NOS COEFICIENTES DE MISTURA

5. ESCOAMENTOS ADIABÁTICOS DE DOIS COMPONENTES MONOFÁSICOS

Os escoamentos a dois componentes, no caso água e ar, em estados líquido e gasoso, respectivamente, em condições adiabáticas e proporções variadas foram analisados com instrumentação, métodos experimentais e modelos físicos desenvolvidos com auxílio do dispositivo CS-2 (Figura 4), alguns destes apresentados no que se segue.

5.1. Evoluções de pressão

Linhas piezométricas em escoamentos água-ar ao longo de seção de testes circular, em função de parâmetros de controle, foram obtidas com tomadas de pressão em orifícios praticados em sua geratriz e conectados a bancada de medidas diferenciais [10]. Uma forma global de parametrização dos resultados obtidos é apresentada em gráfico do gradiente de pressão em função das vazões volumétricas de ar e água (Figura 16).

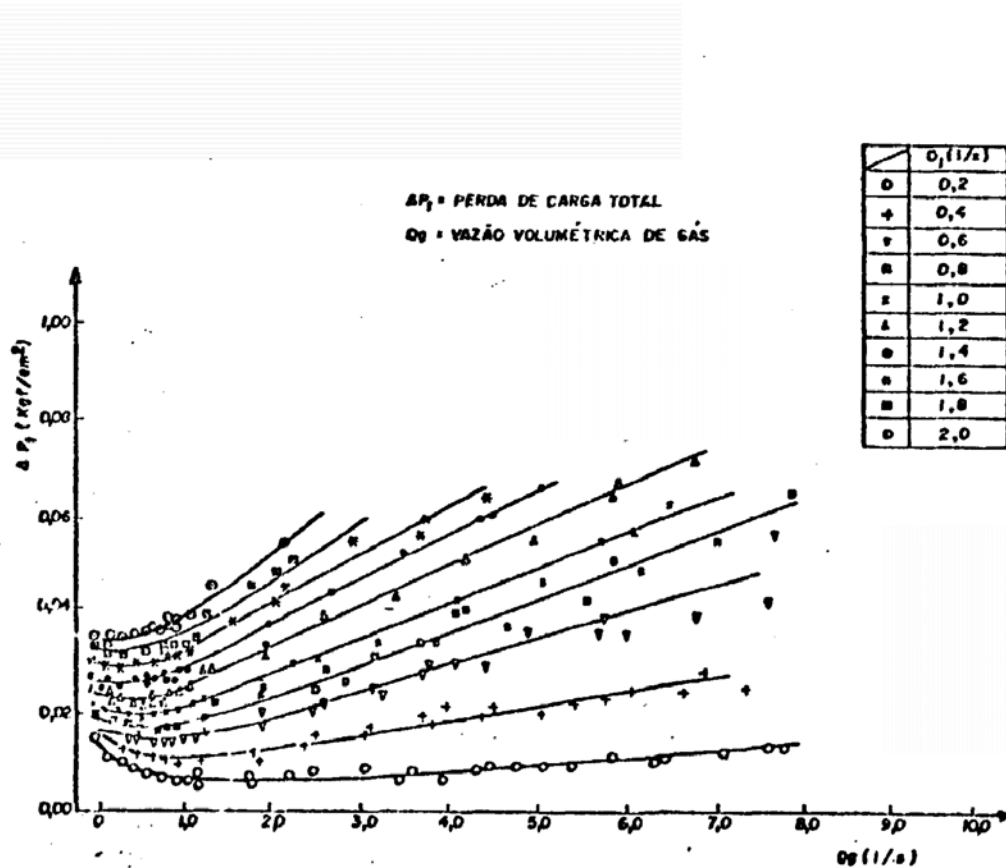


FIGURA 16 - PERDA DE CARGA EM CANAL CIRCULAR

5.2. Configurações de escoamento

Uma mistura em proporções e condições diversas de água e ar em escoamento em canais apresenta-se, em função de diversos parâmetros, com aspectos diferentes de configuração, ou seja, em diferentes distribuições espaço-temporais das fases (Figura 17). Diversas cartas de configuração foram obtidas com uso de algumas técnicas, em canais de seção transversal circular e retangular [19 a 21].

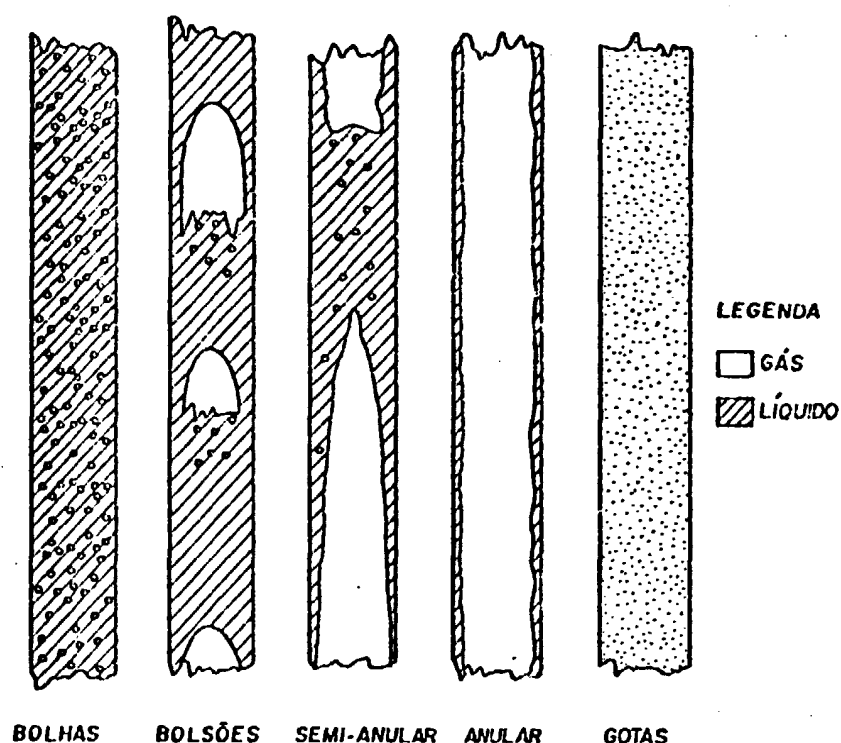


FIGURA 17 - CONFIGURAÇÕES DE ESCOAMENTO

Foi desenvolvida uma sonda elétrica resistiva [19], basicamente constituída de uma ponta de prova que imersa em água fecha um circuito elétrico e o abre quando em ar (Figura 18). Esta sonda, deslocada ao longo do diâmetro de canal circular opaco, permitiu determinação da estrutura do escoamento, mostrada em coordenadas que representam velocidades superficiais de água e ar (Figura 19),

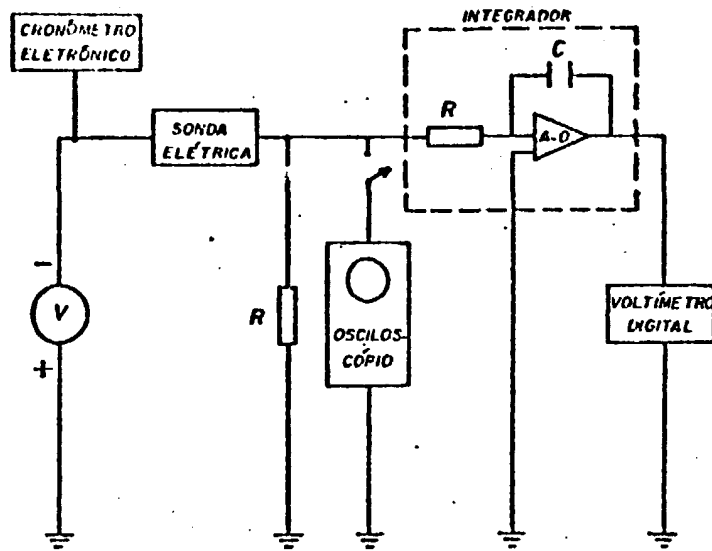


FIGURA 18 - ELETRÔNICA DA Sonda RESISTIVA

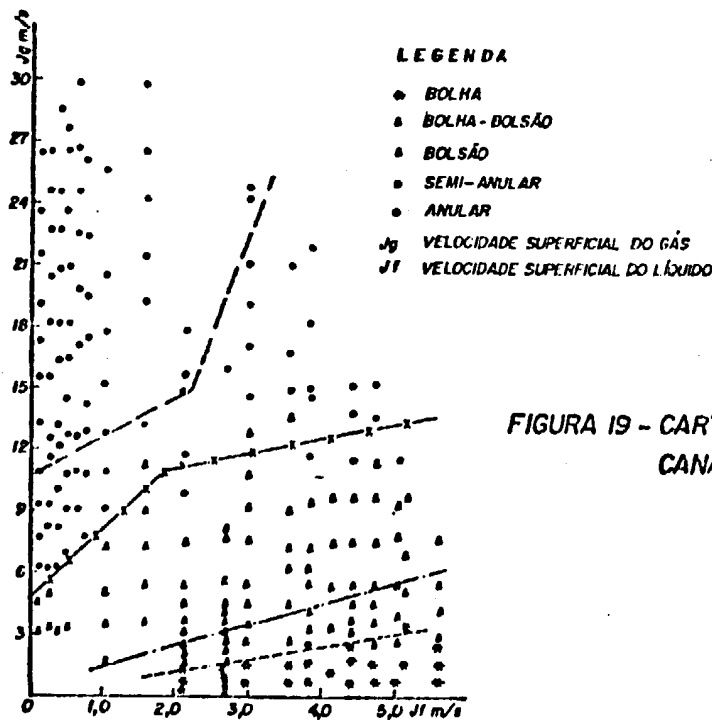


FIGURA 19 - CARTA DE CONFIGURAÇÃO EM CANAL CIRCULAR

Noutra etapa, num canal retangular transparente de plexiglass munido de um pente de sondas resistivas (Figura 20), resultados obtidos foram confrontados com a análise visual da estrutura do escoamento, auxiliada pelo uso de corante azul de metileno dissolvido na água, com recursos cinematográficos [20, 21]. Cartas de configuração da estrutura do escoamento foram igualmente obtidas.

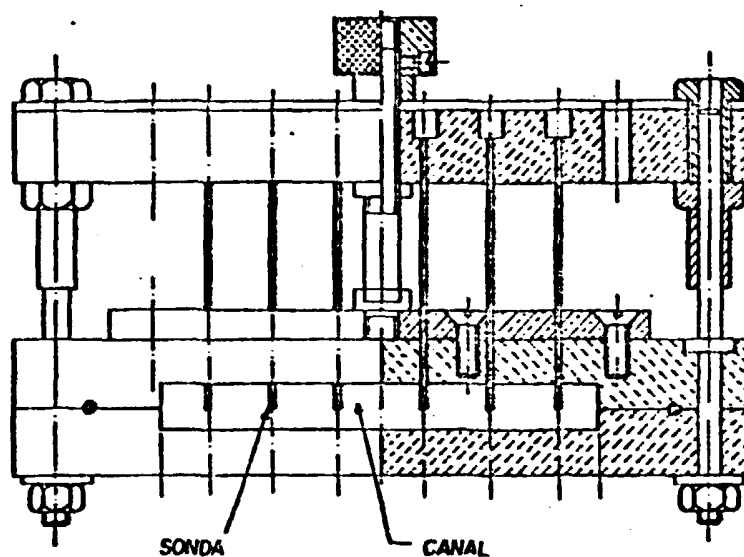


FIGURA 20 - CANAL RETANGULAR COM PENTE

5.3. Frações de vazio

A fração de vazio num elemento de mistura é dada pela fração volumétrica ocupada pelo gás no elemento. Desta definição e de informações sobre massas específicas e velocidades de fase deriva a determinação de densidade e título de mistura. Aplicada a uma seção transversal, a dada cota ao longo de um canal onde os valores são integrados no tempo, tem-se a fração de vazio média espaço-temporal superficial.

O desenvolvimento da eletrônica associada às sondas resistivas permitiu o seu emprego na medida de fração de vazio nas extremidades superiores de seção de testes circular deslocando a ponta da sonda ao longo do diâmetro do canal e de seção retangular mantendo fixas sondas em seis posições [20, 21] (Figura 20). Outra técnica, baseada no desenvolvimento de dispositivo da medida de fração de vazio por atenuação radioativa [20, 21], foi empregada na análise

do escoamento em seção retangular. Um sistema fonte de Americio-242/
/cintilador-fotomultiplicadora (Figura 21) com possibilidade de deslo-
camento ao longo da maior dimensão da seção retangular (Figura 20)
permitiu a determinação de valores integrados na menor dimensão e
distribuição ao longo da dimensão maior (Figura 22).

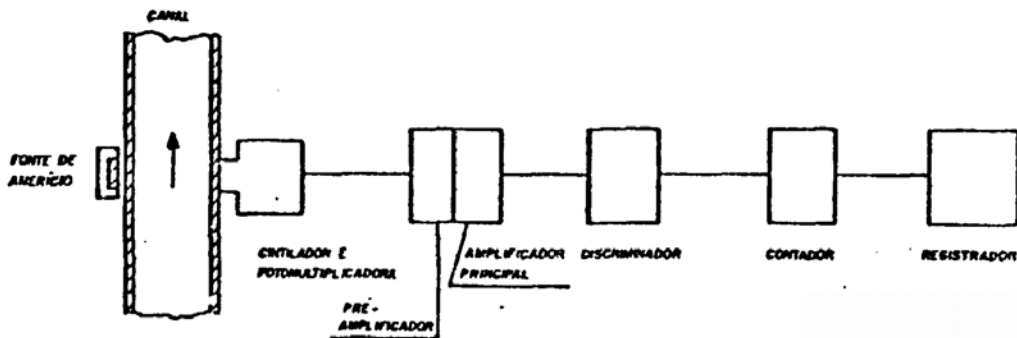


FIGURA 21-SISTEMA DE DETECÇÃO GAMA

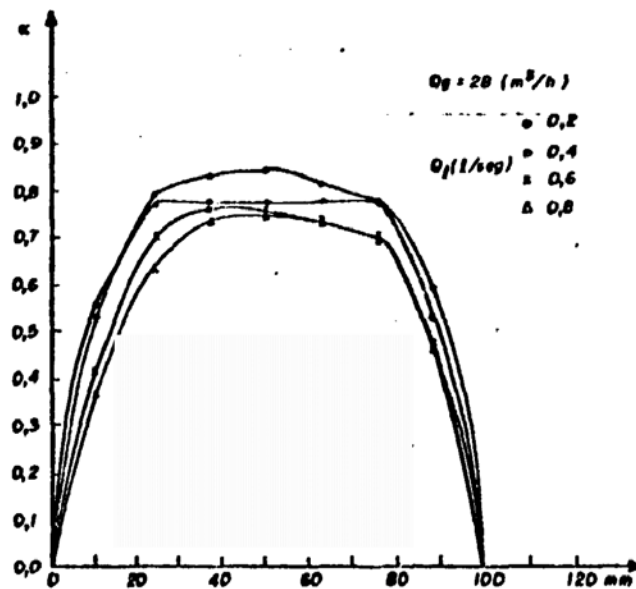


FIGURA 22-FRAÇÕES DE VAZIO

Este conjunto de resultados permitiu a proposição de valores de parâmetros (Quadro 2), correspondentes às retas obtidas no plano velocidades reais de gás e mistura, características dos tipos de escoamentos bifásicos (Figura 23).

	Coefficiente Angular
Bolha	1,64
Bolha-bolsão	1,55
Bolsão	1,77
Semi-anular	1,39
Anular	1,00

QUADRO 2: PARÂMETRO K

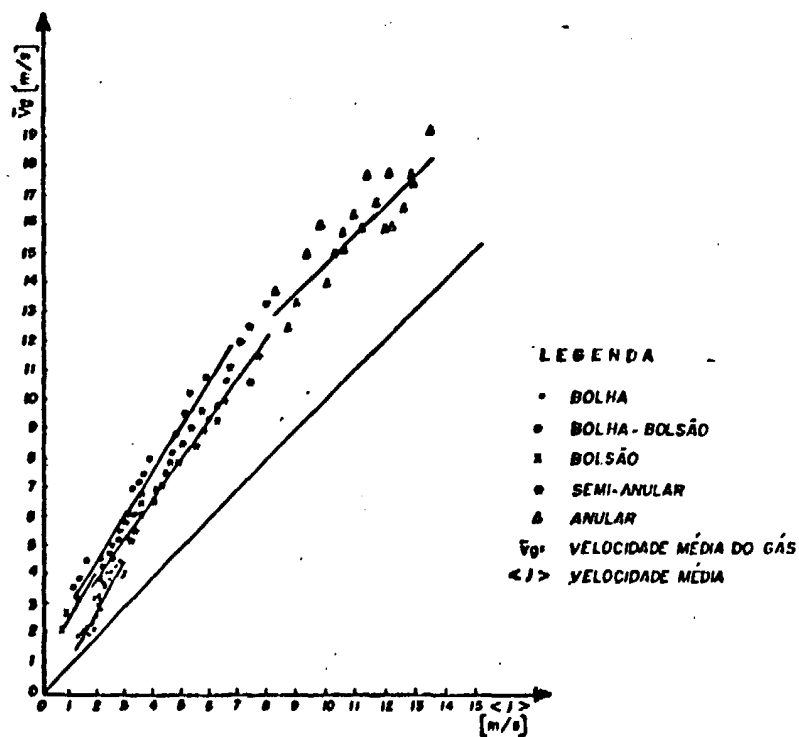


FIGURA 23 - DIAGRAMA DE VELOCIDADES DE GÁS E MISTURÁ

6. ESCOAMENTOS DIABÁTICOS DE UM COMPONENTE MONO OU BIFÁSICO

Nos escoamentos de um componente, por exemplo, água ou freon, este é introduzido na seção de testes aquecida eletricamente em estado líquido podendo ocorrer ebulição subresfriada e/ou generalizada ao longo do canal. Para análise desses escoamentos foram desenvolvidos instrumentos, técnicas experimentais e modelos teóricos baseados nos testes realizados, principalmente, nos dispositivos CT-1 (Figura 1) e CS-2 (Figura 5), com resultados comentados a seguir.

6.1. Evoluções de pressão

Linhas piezométricas foram obtidas em canal circular aquecido com escoamento de água [22]. Neste estudo foram desenvolvidas tomadas de pressão, conectadas ao longo da geratriz do canal, eletricamente isoladas e com precauções para se evitar ebulição localizada nos orifícios (Figura 24), ligadas a uma bancada de manômetros diferenciais.

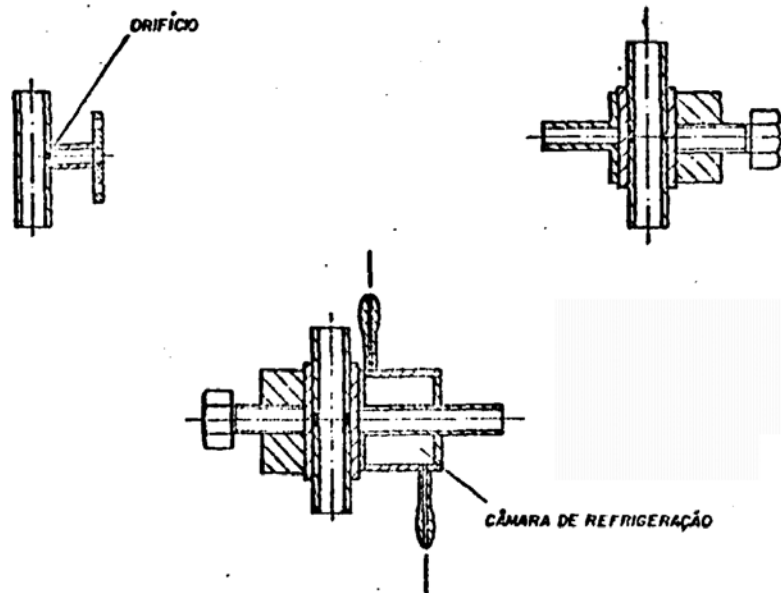


FIGURA 24 - TOMADAS DE PRESSÃO

Das medidas realizadas foram obtidas correlações para o coeficiente de atrito em condições isotérmicas:

$$f_{iso} = 0,065 Re^{-0,23} (\pm 3\%),$$

e para o coeficiente de atrito com troca de calor, em função das viscosidades dinâmicas a temperaturas de fluido na camada limite laminar e média:

$$\frac{f}{f_{iso}} = \left(\frac{\mu_p}{\mu_m}\right)^{0,26} (\pm 7\%)$$

6.2. Regimes de transferência de calor

No escoamento convectivo forçado em canal aquecido o fluido admitido em estado líquido pode entrar em ebulição ao longo do canal, acarretando vários tipos de configuração e regimes de transferência de calor respectivos (Figura 25), onde diversos parâmetros atuam.

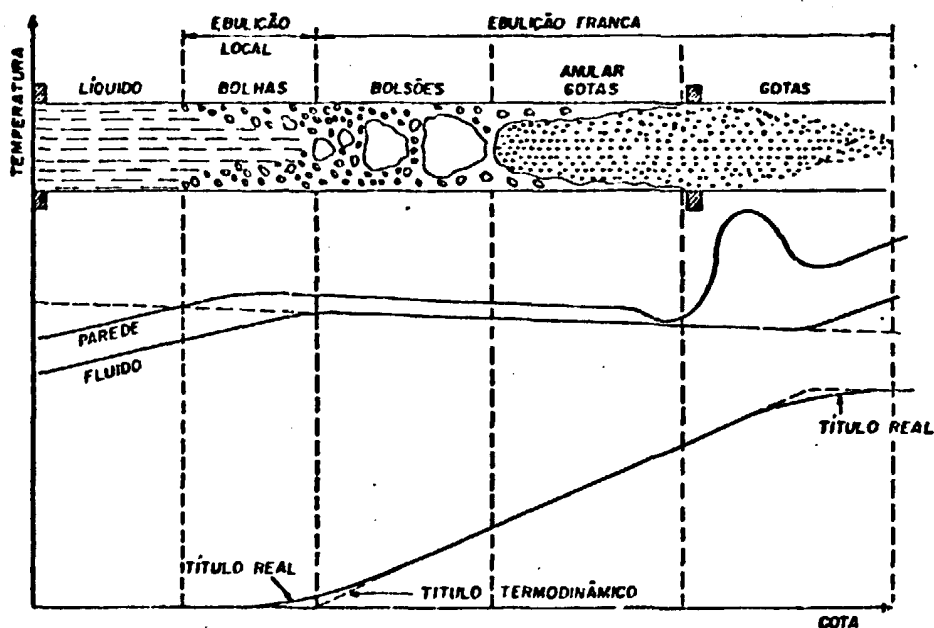


FIGURA 25 - EVOLUÇÃO DA CONFIGURAÇÃO DO ESCOAMENTO

Foi desenvolvida pesquisa [23] sobre os regimes de transferência de calor em canal aquecido uniformemente e refrigerado a água com mudança de fase, com auxílio de medidas de temperatura com termopares de parede seca, isolados eletricamente, conectados ao longo de geratriz de canal circular (Figura 26), levando ao estabelecimento de metodologia de determinação do coeficiente de película e do superaquecimento de parede.

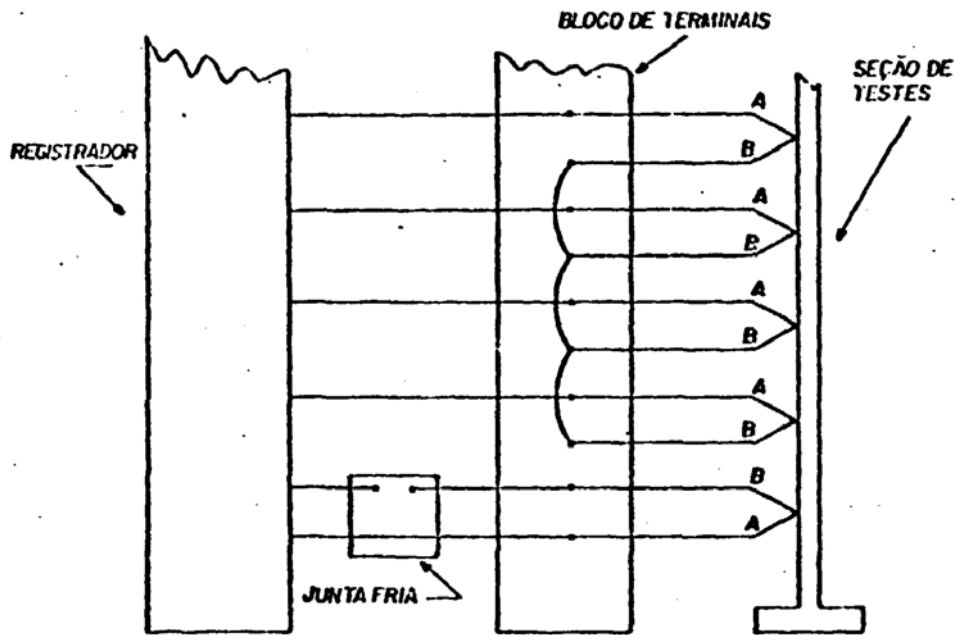


FIGURA 26-LIGAÇÃO DOS TERMOPARES

Com auxílio da técnica desenvolvida, investigação foi realizada em condições abrangentes [24], obtendo-se para o número de Nusselt a correlação:

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,4} (\pm 15\%)$$

para razão entre comprimento do canal e diâmetro hidráulico de 182, números de Reynolds entre $1,5 \times 10^4$ e $2,1 \times 10^5$ e Prandtl entre 1,3 e 4,3.

Para o superaquecimento de parede foi obtida a correlação:

$$\Delta T_{sat} = 6,4 \phi^{0,32} (\pm 10\%),$$

dados ΔT_{sat} em $^{\circ}C$ e ϕ em W/cm^2 , para pressão entre 5 e 10 ata e fluxo menor ou igual a $150 W/cm^2$.

Foram parametrizados os efeitos do subresfriamento do refrigerante à entrada do canal e da vazão volumétrica, na evolução da temperatura de parede com o fluxo de calor (Figuras 27 a 28).

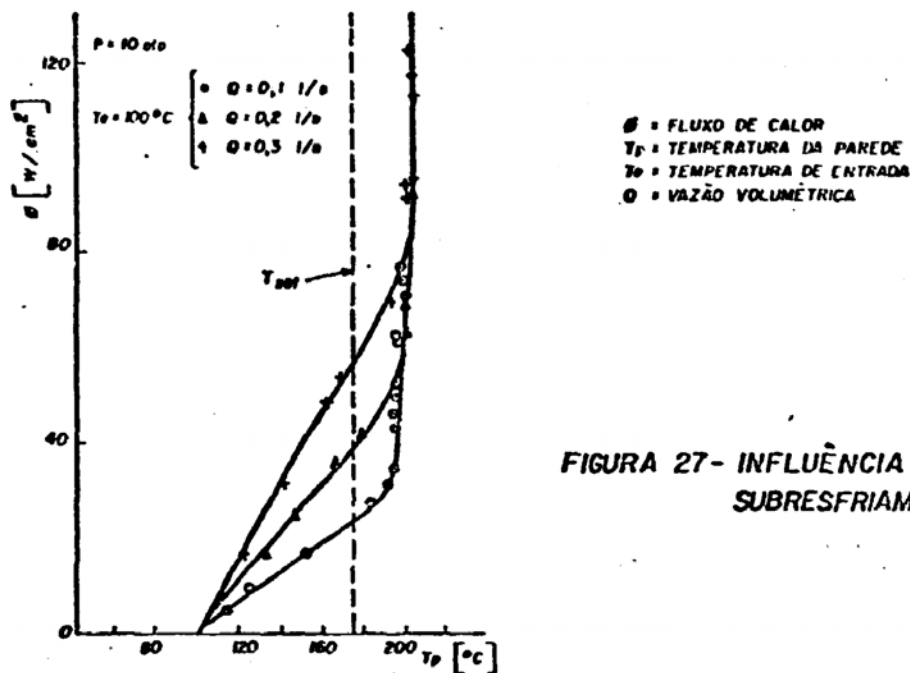


FIGURA 27- INFLUÊNCIA DO SUBRESFRIAMENTO

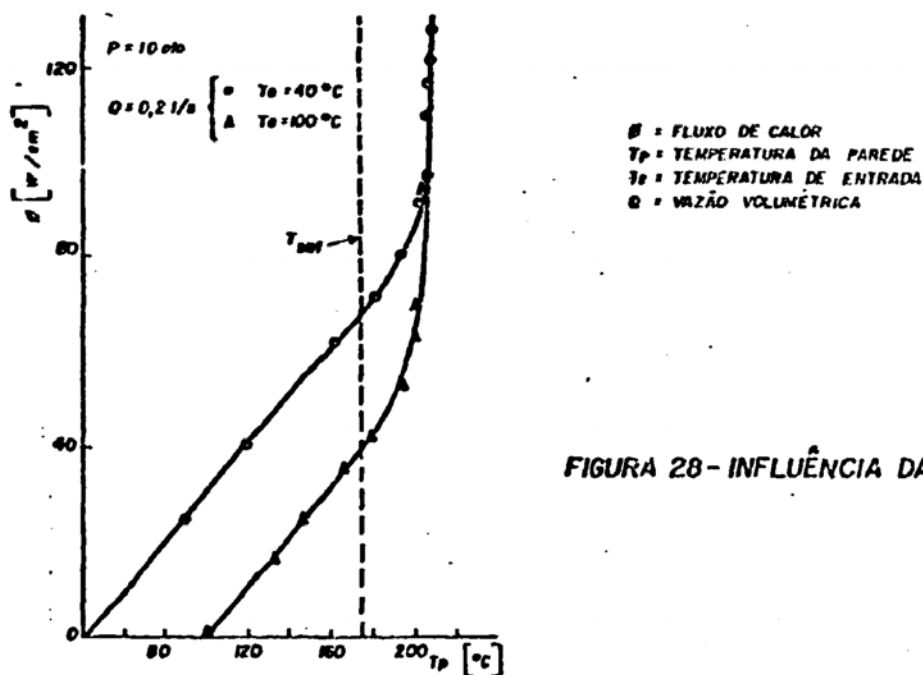


FIGURA 28- INFLUÊNCIA DA VAZÃO

6.3. Condições críticas de transferência de calor

Em certas combinações das condições de aquecimento e refrigeração de canais, o processo de troca de calor pode se degenerar, acarretando flutuações bruscas de temperatura da parede aquecida, as quais podem levar à sua deteriorização ou fusão [25]. Estudos foram realizados em canal circular, com água a baixa pressão, através do emprego de termopares soldados na parede externa do canal como detectores de flutuações [11]. A influência de diversos parâmetros no fluxo crítico de transferência foi investigada (Figura 29).

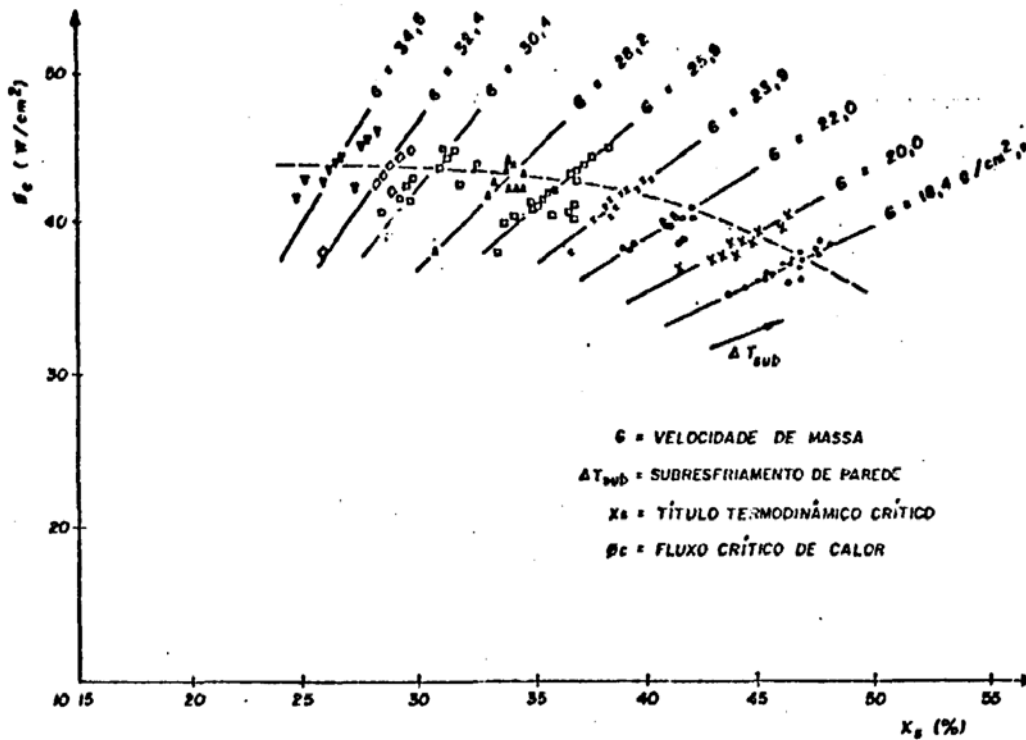


FIGURA 29-FLUXO CRÍTICO DE CALOR

Esta pesquisa, estendida em termos de condições de variação dos parâmetros de controle [26], permitiu o estabelecimento de correlação para o fluxo crítico em função do comprimento, vazão de massa e da entalpia de subresfriamento à entrada do canal, dada por:

$$q_c = a + bL + (c+dL)G + (e+fL+1,2 \times 10^{-7} G^{2,6}) \Delta H_e (\pm 10\%),$$

cujos coeficientes a, b, c, d, e e f são função da pressão (Quadro 3). Esta correlação é válida para valores de diâmetro hidráulico de 1,26 cm e comprimento do canal entre 100 e 200 cm, vazão volumétrica, entre 0,2 e 0,3 l/s, temperatura de fluido entre 60 e 140°C à entrada da seção e pressão entre 5 e 10 ata.

pressão (ata)	a	b	c	d x 10 ³	e	f x 10 ⁴
5	70	-0,4	1,155	-0,25	0,34 x 10 ⁻⁷	-7,5
10	295	-0,9	1,525	-4,25	-5,00 x 10 ⁻³	2,5

QUADRO 3: CONSTANTES DA CORRELAÇÃO

6.4. Analogia água-freon

O uso de freon a baixa pressão, em particular do dicloro-difluorometano, na simulação da crise de ebulição e outros fenômenos em água é de interesse devido a substancial economia de energia [27]. Essa técnica foi utilizada em seções anulares [28], onde se estudou a influência de obstruções em canais de escoamento na crise de ebulição e em seção de feixe [15, 29] com distribuições transversais de fluxo complexas, onde se pesquisou a influência de diversos parâmetros nos campos de temperatura de fluido e início de ebulição.

6.5. Refrigeração de emergência

Visando colher dados experimentais sobre as condições de refrigeração de uma barra previamente aquecida pela injeção vertical e ascendente de água, foram realizados estudos com seções circulares e anulares [30], a pressão atmosférica. Evoluções de temperatura com o tempo, obtidas por quatro termopares soldados ao longo da seção de testes, instalada em adaptação do dispositivo CS-1 (Figura 30), em função dos tempos de remolhamento a partir de condições iniciais impostas, foram pesquisadas (Figura 31).

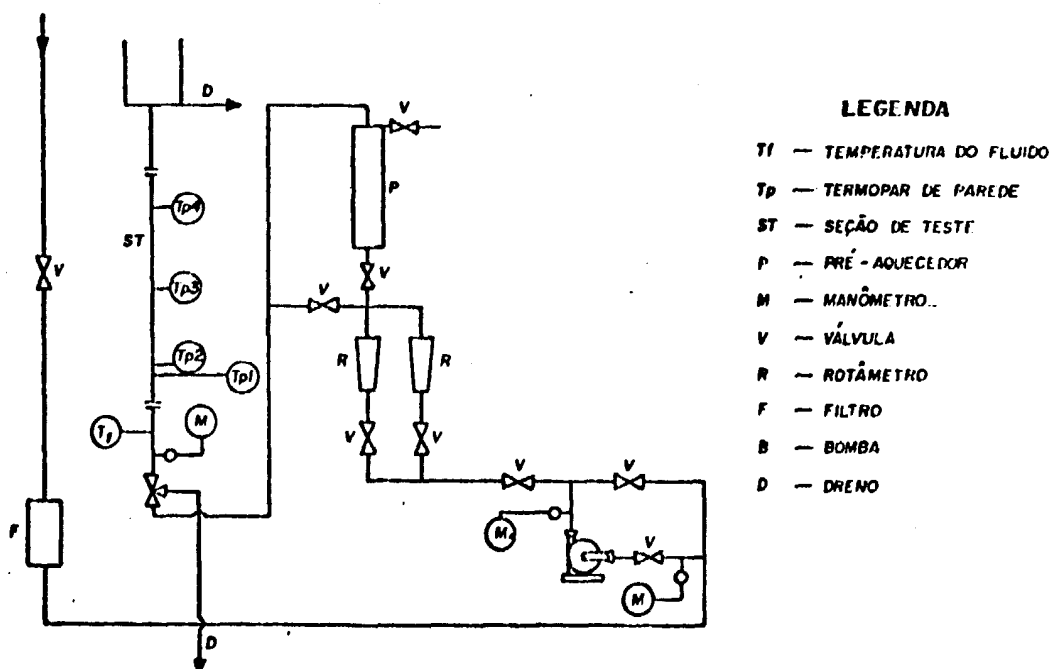


FIGURA 30- INSTALAÇÃO DE REINUNDAÇÃO

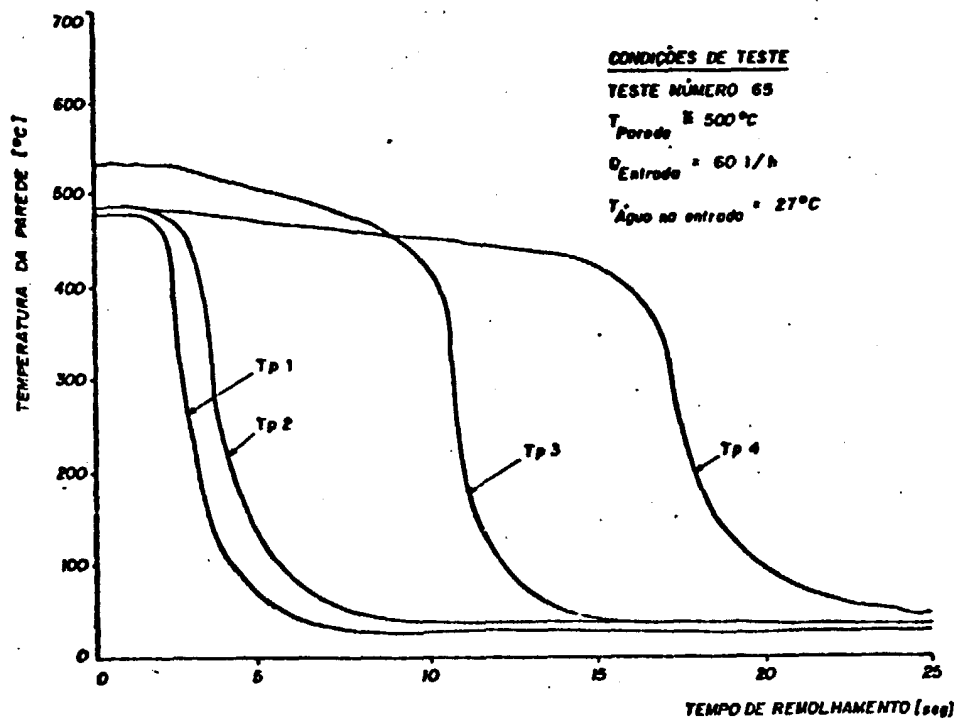


FIGURA 31 - REMOLHAMENTO DA PAREDE

6.6. Testes em feixes de barras

Uma série de estudos experimentais em seções de testes de geometria, condições de aquecimento e refrigeração complexas está em curso [31, 32]. Esta seção é constituída de nove barras, em arranjo três por três, em envólucro quadrado (Figura 6). Esses estudos em água a média pressão cobrem os realizados com freon simulando alta pressão em feixe três por três [15] e com água a alta pressão em feixe cinco por cinco [33].

7. CONCLUSÕES

Foi relatada parte dos resultados de pesquisas realizadas no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear da NUCLEBRÁS, anteriormente Instituto de Pesquisas Radioativas da UFMG, ressaltando-se o esforço de estabelecimento de competência na área de térmica experimental de reatores nucleares no País.

Nos problemas enfocados e nas suas respectivas soluções observa-se que os resultados alcançados na análise de fenômenos de transporte são suscetíveis de aplicação em equipamentos térmicos convencionais. Esses estudos referem-se, basicamente, à análise dos processos de transferência em escoamentos mono e bifásicos, em condições diabáticas e adiabáticas, com mudança de estado físico, em regimes permanente e transitório, ao longo de canais verticais com seção transversal de geometria complexa.

Visando simular os fenômenos que ocorrem nos feixes combustíveis nucleares foi implantada infra-estrutura de laboratório, consistindo, basicamente, de circuitos termohidráulicos e sistemas auxiliares, onde se instalam seções de testes maquetes desses feixes.

O desenvolvimento de instrumentação em térmica e a pesquisa de fenômenos de transporte foram realizados, paralelamente, por serem intimamente ligados, ressaltando-se nesta apresentação, conforme o caso, um ou outro desses aspectos.

8. BIBLIOGRAFIA

1. BRITO, S.S.; TÓFANI, P.C. - Projeto INSTINTO: Cálculo Hidro-térmico - I Simpósio Brasileiro de Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos - São José dos Campos - Dezembro 1966.
2. GRUPO DO TÓRIO - Projeto INSTINTO: Relatório Final. Período 1966/67 - IPR/UFMG-CNEN - Belo Horizonte - Dezembro 1967.
3. CAMPOS, J.L.; TÓFANI, P.C. - Implantação de um Laboratório de Térmica de Reatores no Instituto de Pesquisas Radioativas de Belo Horizonte - II Simpósio Brasileiro de Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos - Belo Horizonte - Julho 1971.
4. TÓFANI, P.C. - Projeto Circuito Térmico - CBTN/IPR - Belo Horizonte - Janeiro 1973.
5. GOMES, A.A. - Análise por Subcanais de Feixes Combustíveis - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Junho 1971.
6. VELOSO, M.A. - Análise Termohidráulica de Reatores a Água Pressurizada - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Dezembro 1979.
7. FIUZA NETO, F.P. - Projeto de Dispositivo Experimental para Estudos de Transferência de Calor em Água em Regime de Convecção Forçada com Mudança de Fase - Tese de Mestrado - COPPE/UFRJ - Rio de Janeiro - Maio 1971.
8. SOUZA, A.M.T.; COLARES, K. - Descrição Final do Circuito Térmico - NUCLEBRÁS/DTD/IPR - Belo Horizonte - Março 1975.
9. PAIVA, I.P.V. - Determinação Experimental do Coeficiente de Mistura entre Subcanais Simétricos - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Fevereiro 1972.
10. PAULA, J.G. - Estudo Experimental sobre Evolução de Pressão em Escoamentos Bifásicos Água-Ar - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Abril 1972.
11. FERNANDES, M.P. - Determinação Experimental das Condições Críticas de Transferência de Calor, em Convecção Forçada de Água, a Baixa Pressão, em Canal Circular - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Abril 1973.
12. MELLO, F.L.V. - Desenvolvimento, Projeto e Construção de um Manômetro de Saída Elétrica para o Circuito Térmico do IPR - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Maio 1971.

13. SANTARINE, G.A. - Desenvolvimento e Otimização de Sistema de Medição de Pressões Diferenciais Reduzidas - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Dezembro 1980.
14. MACHADO, E.E.V.P. - Medidores de Vazão com Saída Elétrica - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Agosto 1972.
15. TÓFANI, P.C. - Etude du Mélange dans un Assemblage d'Éléments Combustibles en Grappe de Réacteur Nucléaire - Tese de Doutorado - Universidade de Grenoble - Grenoble - Março 1970.
16. TÓFANI, P.C. - Mixing Study in a Heated Rod Bundle - XVII Annual Meeting of the American Nuclear Society - Boston - Junho 1971.
17. TÓFANI, P.C. - Analyse par Sous-Canaux d'un Assemblage d'Éléments Combustibles en Grappe - XVI Congresso Nucleare di Roma - Roma - Março 1971.
18. SOUZA, A.M.T. - Estudo Experimental sobre o Coeficiente de Mistura em Seções de Testes Comportando Subcanais Simétricos pelo Emprego de Técnica Espectrofotométrica. Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Dezembro 1972.
19. NEIVA, B.C. - Desempenho de uma Sonda Elétrica Resistiva em Escoamento Bifásico Água-Ar em Duto Cilíndrico Vertical - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Julho 1972.
20. SIMBALISTA, O.C.R.L. - Análise Experimental da Estrutura dos Escoamentos Bifásicos Água-Ar Ascendentes em Canal Vertical de Seção Retangular. Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Dezembro 1972.
21. SIMBALISTA, O.C.R.L.; TÓFANI, P.C. - Estrutura dos Escoamentos Bifásicos Água-Ar Ascendentes em Canal Vertical de Seção Retangular - Suplemento Ciência e Cultura 29(7) - São Paulo - Julho 1977.
22. FERREIRA, A.F.M. - Evolução de Pressão em Escoamento Vertical Ascendente de Água ao Longo de um Canal Cilíndrico Aquecido - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Abril 1978.
23. LADEIRA, L.C.D. - Regimes de Ebulição em Convecção Forçada - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Dezembro 1975.
24. TÓFANI, P.C.; SIMBALISTA, O.C.R.L.; LADEIRA, L.C.D. - Transferência de Calor em Escoamentos de Água Monofásicos e em

- Ebulição - Suplemento Ciência e Cultura 29(7) - São Paulo -
- Julho 1977.
25. TÓFANI, P.C. - Influence de la Forme Axiale de Flux de Chaleur sur les Conditions Critiques dans des Canaux Chauffants - Universidade de Grenoble. - Março 1970.
26. ASSIS, M.C.V. - Condições Críticas de Transferência de Calor em Escoamentos Bifásicos - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Fevereiro - 1980.
27. FLÔRES, L.F.V. - Anteprojeto de Simulador Água-Freon para a Otimização de Elementos Combustíveis de Reatores Nucleares. Tese de Mestrado - UFMG/CPGET - Belo Horizonte - Dezembro 1979.
28. KATSAOUNIS, A.; ORLOWSKI, R.; LADEIRA, L.C.D.; FULFS, H.; HOFMANN, K. - Burnout Experiments in Freon 12 using Different Types of Orifices to Simulate the Core Grids - European Two-Phase Flow Group Meeting - Estocolmo - Maio 1978.
29. TÓFANI, P.C.; COURTAUD, J.M. - Mixing in a Nine Rod Bundle - - European Two-Phase Flow Group Meeting - Milão - Junho 1970.
30. PEREIRA, V.Q. - Resfriamento de Segurança por Imersão - Tese de Mestrado - UFMG/CCTN - Belo Horizonte - Setembro 1981.
31. LADEIRA, L.C.D.; NAVARRO, M.A.; - Testes Termohidráulicos em Maquete de Elemento Combustível Nuclear - VII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - Uberlândia - Dezembro 1983.
32. LADEIRA, L.C.D. - Sistema de Coleta de Dados para o Laboratório de Termohidráulica - NUCLEBRÁS/CDTN - Belo Horizonte - Julho 1978.
33. LADEIRA, L.C.D. - Acompanhamento dos Testes Realizados no AEEW, sob Contrato da KWU, para o Elemento Combustível de Angra I - - NUCLEBRÁS/CDTN - Belo Horizonte - Novembro 1978.

Datilografia: Vera do Pilar Costa

Desenhos : Fernando Luiz Pugliese e Daniel Funghi de Souza