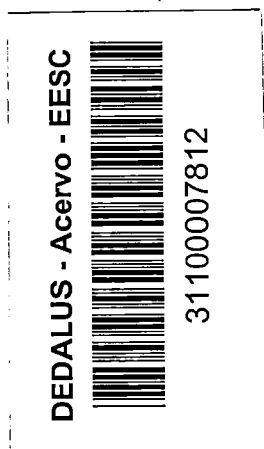


UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

Influência das características geométricas nos Coeficientes de Perdas em
junções “ T ” bidimensionais



José Antônio Cunha de Almeida

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos, da Universidade de São Paulo,
como parte para obtenção do título de mestre
em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Fazal Hussain Chaudhry

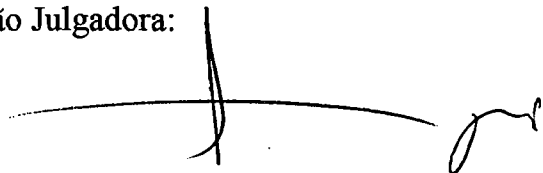
São Carlos

1999

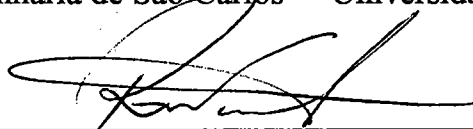
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **JOSÉ ANTONIO CUNHA DE ALMEIDA**

Dissertação defendida e aprovada em 29-4-1999
pela Comissão Julgadora:



Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



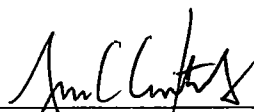
Prof. Doutor **RODRIGO DE MELO PORTO**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor **ADEMIR PACELI BARBASSA**
(Universidade Federal de São Carlos - UFSCar)



Prof. Associado **EDUARDO CLETO PIRES**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento



JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Aos meus pais e irmã pessoas de

fé, coragem e medos.

A “Lyda e Laura”

Mulher e filha.

Agradecimentos

Ao grande amigo “Fazal”, mestre e incentivador.

Ao Eng. José Toledo, pela amizade e ajuda sem a qual talvez não seria possível a conclusão desta.

Ao Sr. Ataíde Borges seja onde estiver.

A Sandoval e Ataidinho.

Aos amigos Willian, Petter, Sandro, Eduardo, Sander, e a tantos outros que convivemos no cotidiano.

Em especial aos funcionários da *USP* – Penazzi, Adolfo, Edson, Sr Fransisco, Osni e ao “*Jatobá*”.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela bolsa de estudo concedida.

Ao Departamento de Hidráulica e Saneamento.

À Universidade de São Paulo – São Carlos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS.....	IV
LISTA DE SIMBOLOS.....	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
1 - INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4 – MATERIAIS E MÉTODOS	16
4.1 – DESCRIÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL	19
4.2 – EQUIPAMENTO EXPERIMENTAL.....	22
4.2.1 – Caixa coletora de mina.	23
4.2.2 – Reservatório inferior.	23
4.2.3 – Bomba de recalque.....	23
4.2.4 – Tubulação de recalque.....	24
4.2.5 – Reservatório superior	24
4.2.6 – Tubulação de chegada	25
4.2.7 – Caixa tranquilizadora de fluxo.....	25
4.2.8 – Duto de acrílico	28
4.2.9 – Manômetros	31

4.2.10 – Medidores de vazão tipo diafragma	31
4.3 – PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	34
4.3.1 – Calibração dos diafragmas	34
4.3.2 – Medidas no duto	35
4.4 – FORMA DE ANÁLISES DOS RESULTADOS DE PERDAS DE CARGA	35
5 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS	40
5.1 – COEFICIENTES DE PERDAS DE CARGA NA JUNÇÃO – INFLUÊNCIA DA RAZÃO DE ÁREAS	40
5.1.1 – Ensaio com razão de área unitária ($R_a = 1$).....	41
5.1.2 – Ensaio com razão de área ($R_a = 0,5$).....	43
5.1.3 – Ensaio com razão de área ($R_a = 0,2$).....	45
5.2 COEFICIENTE DE PERDA DE CARGA NA JUNÇÃO – INFLUÊNCIA DO RAIOS DE CURVATURA.	45
5.2.1 – Junção em canto vivo ($R_c = 0$).....	45
5.2.2 Junção com raio de curvatura $R_c = 0,1$	48
5.2.3 – Junções com raios de curvatura $R_c = 0,2$ e $R_c = 0,5$	48
5.3 – DISTRIBUIÇÃO DE PRESSÃO NO DUTO DE SAÍDA.	52
6 – CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICE – A.....	57
APÊNDICE B.....	86

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1– Configuração de fluxos	2
FIGURA 2- Esboço dos fluxos (MacNown 1953)	5
FIGURA 3- Relações de energia (McNown 1953)	6
FIGURA 4-. Configuração de fluxos ensaiados por Ito e Imai (1973).....	8
FIGURA 5- Raios de Curvatura (R_c) utilizados por ITO e IMAI, 1973.....	9
FIGURA 6 – Coeficiente adimensional de perda de carga na junção “T” (Ito e Imai 1973).....	10
FIGURA 7- Junção “T” e volume de controle (SERRE et al. 1.....	13
FIGURA 8- Determinação de Δh_{ud} de um ensaio típico (Serre et al. 1994)	15
FIGURA 9 – Canaleta de ensaio para medidas de vazões e pressões	17
FIGURA 10 – Representação esquemática da canaleta de ensaio	18
FIGURA 11– Canaleta de ensaio em Perspectiva	20
FIGURA 12– Detalhamento da canaleta.....	20
FIGURA 13 – Canaleta em corte (CORTE AA).....	21
FIGURA 14- Detalhes construtivos dos raios de curvaturas (R_c)	22
FIGURA 15– Reservatório inferior	24
FIGURA 16– Representação esquemática da caixa tranquilizadora.....	25
FIGURA 17- Caixa Tranquilizadora	26
FIGURA 18– Tubo Estabilizador	26

FIGURA 19– Representação esquemática da transição bocal boca de sino	27
FIGURA 20 a e b – Transição em boca de sino e Caixa Tranquilizadora	28
FIGURA 21– Detalhe das peças utilizadas para construção do canto da junção “T”.	
.....	30
FIGURA 22 a e b - Manômetros	32
FIGURA 23– Especificações construtivas do medidor de orifício tipo.....	33
FIGURA 24 a, b e c – Detalhes dos medidores de orifício tipo diafragma.	34
FIGURA 25- Coeficiente de perda de carga adimensional para razão de áreas $R_a= 1$ e, diferentes raios de curvatura	42
FIGURA 26- Coeficiente de perda de carga adimensional para razão de áreas R_a $=0,5$ e, diferentes raios de curvatura R_c	44
FIGURA 27- Coeficiente de perda de carga adimensional para razão de áreas $R_a=$ $0,2$ e, diferentes raios de curvatura.....	46
FIGURA 28- Coeficiente de perda de carga adimensional para mesmos raios de curvatura ($R_c=0$), e diferentes. razões de áreas (R_a)	47
FIGURA 29 - Coeficiente de perda de carga adimensional para mesmos raios de curvatura ($R_c=0,1$), e diferentes, razões de áreas (R_a).....	49
FIGURA 30- Coeficiente de perda de carga adimensional para mesmos raios de curvatura ($R_c=0,2$), e diferentes, razões de áreas (R_a).....	50
FIGURA 31- Coeficiente de perda de carga adimensional para mesmos raios de curvatura ($R_c=0,5$), e diferentes, razões de áreas (R_a).....	51
FIGURA 32- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a =1,0$ e raio de curvatura $R_c=0$	87
FIGURA 33- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,1$	88

FIGURA 34- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 1,0 e raio de curvatura Rc=0,2.....	89
FIGURA 35 - Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 1,0 e raio de curvatura Rc=0,5.....	90
FIGURA 36 - Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 0,5 e raio de curvatura Rc=0,0.....	91
FIGURA 37- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 0,5 e raio de curvatura Rc=0,10.....	92
FIGURA 38- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 0,5 e raio de curvatura Rc=0,2.....	93
FIGURA 39- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 0,5 e raio de curvatura Rc=0,5.....	94
FIGURA 40- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 0,2 e raio de curvatura Rc=0,0.....	95
FIGURA 41- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 0,2 e raio de curvatura Rc=0,1.....	96
FIGURA 42- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 0,2 e raio de curvatura Rc=0,2.....	97
FIGURA 43- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área Ra = 0.2 e raio de curvatura Rc=0,50,5.....	98

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $R_a = 1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,5$	58
TABELA 2 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a = 1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,5$	59
TABELA 3 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $R_a = 1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,5$. Segundo ensaio.....	60
TABELA 4 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a = 1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,5$. Segundo ensaio.	61
TABELA 5 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,2$. Primeiro ensaio	62
TABELA 6 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,2$. Primeiro ensaio.	63
TABELA 7 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,2$. Segundo ensaio.	64
TABELA 8 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,2$. Segundo ensaio.	65
TABELA 9 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" pPara a razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,1$	66

TABELA 10 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,1$	67
TABELA 11 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" pPara a razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0$	68
TABELA 12 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0$	69
TABELA 13 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $R_a=0,5$ e raio de curvatura $R_c=0,5$	70
TABELA 14 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a=0,5$ e raio de curvatura $R_c=0,5$	71
TABELA 15 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $R_a=0,5$ e raio de curvatura $R_c=0,2$	72
TABELA 16 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a=0,5$ e raio de curvatura $R_c=0,2$	73
TABELA 17 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $R_a=0,5$ e raio de curvatura $R_c=0,1$	74
TABELA 18 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a=0,5$ e raio de curvatura $R_c=0,1$	75
TABELA 19 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $R_a=0,5$ e raio de curvatura $R_c=0$	76
TABELA 20 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $R_a=0,5$ e raio de curvatura $R_c=0$	77
TABELA 21 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" pPara a razão de área $R_a=0,2$ e raio de curvatura $R_c=0,5$	78

TABELA 22 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $Ra=0,2$ e raio de curvatura $Rc=0,5$	79
TABELA 23 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $Ra=0,2$ e raio de curvatura $Rc=0,2$	80
TABELA 24 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $Ra=0,2$ e raio de curvatura $Rc=0,2$	81
TABELA 25 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $Ra=0,2$ e raio de curvatura $Rc=0,1$	82
TABELA 26 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $Ra=0,2$ e raio de curvatura $Rc=0,1$	83
TABELA 27 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $Ra=0,2$ e raio de curvatura $Rc=0$	84
TABELA 28 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área $Ra=0,2$ e raio de curvatura $Rc=0$	85

LISTA DE SIMBOLOS

Re_y	- Número de Reynolds
‘T’	- Forma de bifurcação de um acessório
‘Y’	- Forma de bifurcação de um acessório
v	- Velocidade média, LT^{-2}
v_i	- Velocidade na seção i ($i=1,2,\dots$), LT^{-2}
T_i	- Tomadas de pressão instalada ao longo do modelo bidimensional, onde ($i = 1,2,\dots,14$), L^1T^0
R_i	- Peças utilizadas nos cantos das junções com diversos raios de curvatura ($i = 1$ e 2), L^1T^0
l_1	- Comprimento entre T_2 e a junção, L^1T^0
l_2	- Comprimento entre a junção e T_{14}
d	- Diâmetro interno de tubos circulares, L^1T^0
d_1	- Diâmetro interno equivalente para seção de chegada variável, L^1T^0
d_2	- Diâmetro interno equivalente para seção de saída variável, L^1T^0
Δh_{1n}	- Perda de carga no trecho de aproximação de T_2 a junção ‘T’, onde ($n = a; b$ ou c de acordo com o processo de cálculo), L^1T^0
Δh_{2n}	- Perda de carga no trecho de saída da junção ‘T’ a T_{14} , onde ($n = a; b$ ou c de acordo com o processo de cálculo), L^1T^0

K_{12n}	- Coeficiente adimensional de perda de carga, L^1T^0
h_f	- Perda de carga por atrito, L^1T^0
h	- Altura piezométrica, L^1T^0
ν	- Viscosidade cinemática da água, L^2T^{-1}
ϕ	- Diâmetro, L^1
ρ	- Massa específica, $FT^{-2}L^{-4}$
g	- Aceleração da gravidade, L^1T^{-2}
$P_{1,2,3,\dots,14}$	- Pressão relativa as tomadas T_i , L^1T^0
$Q_{1,2 \text{ e } 3}$	- Vazão nos dutos de entrada e saídas, L^3T^{-1}
Q_2/Q_1	- Relações de vazões ensaiadas
r	- Raio da Borda da Junção, L^1T^{-2}
R_c	- Raio de curvatura, L^1T^{-2}
R_a	- Relação de áreas a

RESUMO

ALMEIDA, C. J. A., Influência das características geométricas nos Coeficientes de Perdas em junções “T” bidimensionais, São Carlos, 1999, 99p, Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O problema da determinação da perda de carga causada pela combinação e divisão de fluxos em junções “T” de canalizações tem sido objeto de pesquisas por muitos anos, devido a sua importância em diversos ramos da engenharia. O presente trabalho estuda o comportamento de perda de carga ao longo da divisão de fluxo em junções “T” para diversas relações de vazão afluyente (duto principal) e vazão distribuída em bifurcações laterais. Ensaaiaram-se junções “T” de diversos raios de curvatura e razões de áreas dos dutos principais e laterais num modelo bidimensional montado no laboratório. Analisou-se a perda de carga observada em termo de um coeficiente adimensional em função das razões geométricas adimensionais e relações de vazões.

Observou-se que a influência do raio de curvatura sobre os coeficientes de perda de carga diminui a medida que reduz-se a dimensão relativa do duto de chegada. Os coeficientes de perda carga apresentam variação com respeito às relações de vazões de forma diferenciada dependente das características geométricas das junções.

Palavras Chaves: Junções “T”; divisão de vazão; perdas de carga; dutos ramificados; bifurcações em dutos; manifolds.

ABSTRACT

ALMEIDA, C. J. A., Influence of the geometrical Characteristics on head loss coefficients in 2-dimensional “T”Junctions, São Carlos, 1999, 99 p, Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The problem of determination of head loss due to division of discharge by “T” junctions in ducts has been object of research for many years due to its importance in various branches of engineering. This work studies the behavior of head loss in the bifurcation for different ratios of discharges in the inflow and outflow ducts. “T” junctions of various radii of curvature of the edges and duct area ratios were tested in an experimental 2-dimensional set-up mounted in the laboratory. The observed head loss was analyzed in terms of a dimensionless coefficient as function of geometrical and discharge ratios. It was observed that the effect of radius of curvature on the head loss coefficients diminishes as the relative area of the inflow duct decreases. These coefficients show different variation with respect to the discharge ratios depending upon the geometrical characteristics of the junctions.

Key words: “T” junctions; division of flow; head loss; branching conduits; right-angle pipe junctions; manifold flow.

1 - INTRODUÇÃO

A perda de carga distribuída nos escoamentos em tubulações é muito bem estudada e caracterizada na literatura. As perdas associadas aos acessórios particularmente às bifurcações em forma de “T” são de igual importância quando do cálculo da divisão ou combinação de fluxos de fluidos. Tais escoamentos se verificam em diversos tipos de aplicações na engenharia. Mencionam-se, por exemplo, sistemas de irrigação por aspersão, distribuição de águas de abastecimento ou sistemas de coletas de águas usadas.

A divisão de fluxo entre várias saídas de uma tubulação ou a coleta depende de diversos parâmetros geométricos e dinâmicos. Estes parâmetros dependem dos fluxos nas relações de energia no duto distribuidor ou coletor chamado de tubo principal e nas derivações chamadas de tubos laterais. A região do escoamento na vizinhança das bifurcações abriga o escoamento perturbado devido à confluência das correntes ou de sua divisão. Por esta razão o estudo de perdas nas bifurcações se concentram na investigação dos acessórios “T”.

Apesar de existirem trabalhos sobre perdas em junções, estes não exaurem toda a gama de variações geométricas presente neste tipo de acessório. Enquanto as bifurcações em forma de “Y” acham aplicações em acessórios especiais como distribuidores de fluxos entre várias turbinas hidroelétricas, a maioria das bifurcações emprega junções de 90°. Neste tipo de junção “T”, a perda de carga é determinada

por relações geométricas como razão de áreas do tubo principal e tubo lateral, raio de curvatura interno da junção relativa ao diâmetro interno do tubo principal e pela razão de vazões. Observa-se, entretanto, da literatura relevante que há lacunas quanto a compreensão e descrição da perda de carga em junções observadas experimentalmente considerando o efeito conjunto do raio de curvatura e relação de áreas. Portanto, desenvolve-se nesta dissertação, um estudo experimental para obter informações mais detalhadas relativas às bifurcação em “T” em linhas de divisão de vazão. Este estudo realiza medidas de distribuição de pressão ao longo do escoamento em um duto retangular para caracterizar as perdas de cargas durante a divisão desigual de vazão por um “T”

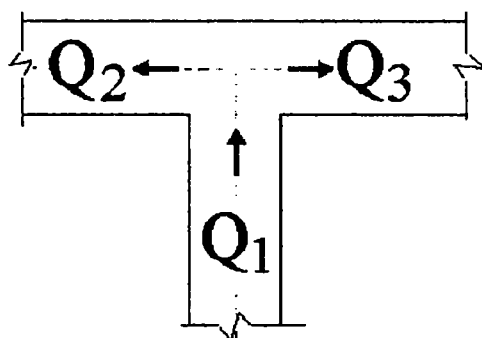


FIGURA 1– Configuração de fluxos

2 OBJETIVO.

É objetivo desta dissertação investigar a influência das dimensões e a forma dos cantos de junções “T” bidimensionais e, ainda, das relações das vazões de entrada e saída sobre a perda de carga durante a divisão de fluxos por meio de ensaios de laboratório. São objetivos específicos:

1 – Montagem de um equipamento experimental que permita realização de ensaios sobre junções “T” bidimensionais variando-se as suas características geométricas como a largura do duto de chegada e os raios curvatura dos cantos das bifurcações.

2 – Realização de ensaios sobre distribuição de pressão nos ramos de chegada e saída das junções para diferentes combinações de características geométricas e vazões de entrada e saída.

3 – Análises das perdas de carga através de coeficientes adimensionais em junções para revelar a influência de vários fatores.

4 – Examinar a variação da pressão nos dutos de saída para diferentes condições experimentais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bibliografia sobre divisão/cominação de vazão através de bifurcações em forma de “T” é extensa até 1970 e dirigida à determinação do coeficiente de perda de carga que ocorre durante a passagem do fluxo. Há trabalhos que buscam analisar o problema teoricamente e experimentalmente para descrever suas diversas propriedades.

A presente síntese abrange os trabalhos mais relevantes para expor os avanços no conhecimento a respeito de junção de 90°. Tendo em vista a sua ampla utilização na engenharia desde usinas hidroelétricas, grandes adutoras, redes de distribuição de água, pequenas instalações residenciais, o problema da determinação da perda de energia causada pelo fluxo em junções tem sido alvo de pesquisas há algumas décadas.

O primeiro trabalho a abordar de maneira analítica o escoamento nas bifurcações é de McNown (1953). A análise deste escoamento, de acordo com o autor, requer a previsão de: (I) a perda nas regiões de fluxo paralelo; (II) a variação de pressão e perdas na junção. Em alguns casos as bifurcações são próximas entre si e que a interação entre as junções sucessivas afeta estes valores; uma simplificação útil pode ser a utilização de uma única junção num duto em que o fluxo é uniforme em toda a sua extensão, pois o fluxo não sofre alteração a uma certa seção a montante da junção.

McNown (1953) formulou o problema de junções separadamente para divisão e combinação de fluxos (Figuras 2 e 3) através da equação da energia e quantidade de movimento, incluindo termos para perdas de carga para os tubos lateral e principal. A terminologia e linhas de energia estão reproduzidas na Figura. -

3. Seguindo esta terminologia, as referidas equações são:

- Divisão de fluxo:

$$\frac{\Delta h}{\frac{V^2}{2g}} = \frac{p_c - p}{\frac{\rho V^2}{2}} = 1 - \left(\frac{V_c}{V}\right)^2 - \frac{h_f}{\frac{V^2}{2g}} = \frac{Q_l}{Q} \left(2 - \frac{Q_l}{Q}\right) - \frac{h_f}{\frac{V^2}{2g}} \dots \dots \dots (1)$$

onde: V é a velocidade média, g aceleração da gravidade, p pressão, ρ densidade, h_f perda por atrito, Q a vazão. E os subscritos c e l são indicados na Figura 2.

$$\frac{\Delta h'}{\frac{V_l^2}{2g}} = \frac{p_l - p}{\frac{\rho V_l^2}{2}} = 1 - \left(\frac{V}{V_l}\right)^2 - \frac{h_f'}{\frac{V_l^2}{2g}} \dots \dots \dots (2)$$

e onde $\Delta h'$ refere-se a perda devido ao fluxo que vai para a lateral.

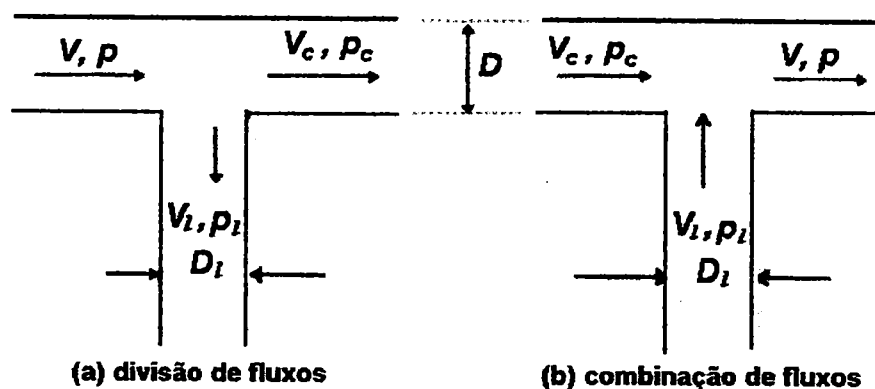


FIGURA 2- Esboço dos fluxos (MacNown 1953)

- Combinação de fluxo:

McNown(1953), apresentou a seguinte equação(2) e (3) em substituição as equações (1) e (2).

$$\frac{\Delta h}{\frac{V^2}{2g}} = 1 - \left(\frac{V_c}{V}\right)^2 + \frac{h_f}{\frac{V^2}{2g}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\Delta h'}{\frac{V_l^2}{2g}} = 1 - \left(\frac{V}{V_l}\right)^2 + \frac{h_f'}{\frac{V_l^2}{2g}} \dots\dots\dots (4)$$

McNown (1953) comparou os resultados experimentais sobre perda de carga em escoamentos nos dutos principal e lateral com as previsões teóricas obtendo boa correlação. Utilizaram-se para esta finalidade os resultados obtidos anteriormente (McNown e Hsu 1951) sobre bifurcações bidimensionais. Segundo estes autores, há uma correspondência estreita entre escoamento bidimensional e axissimétrico quando os efeitos gravitacionais são desprezíveis. Eles apresentaram diversos exemplos em que as previsões a respeito das características do escoamento em um caso aplica-se a outro.

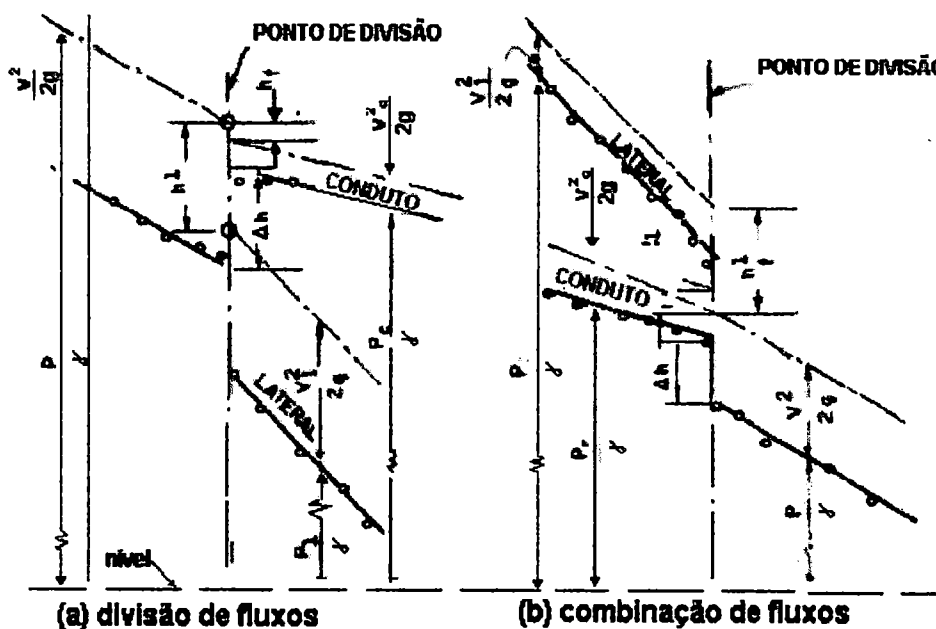


FIGURA 3- Relações de energia (McNown 1953)

IWANAMI et al. (1968) desenvolveram um estudo teórico e experimental sobre as características dos escoamentos através de junções de 90° por meio da teoria de escoamento bidimensional. Os autores obtiveram resultados sobre linhas de fluxos e distribuição de pressão ao longo das bifurcações de canais e compararam com dados experimentais em junções axissimétricas obtendo coincidência razoável. De acordo com os autores, a perda de carga no escoamento é equivalente àquela correspondente a expansão repentina e que a perda de carga através de escoamento lateral equivale à soma das perdas de carga devido a contração abrupta e uma expansão imediata.

JAMISON e VILLEMONTTE (1973) verificaram através de revisão bibliográfica, a falta de trabalhos tratando de escoamento laminar através das junções e procederam a análise teórica e experimental deste tipo de fluxo. Eles apresentaram o fator de perda de carga para a junção em função do número de Reynolds e identificaram modelos para previsão da perda de carga. Os seus resultados experimentais se parecem ao diagrama de Moody para escoamentos em tubos retos. Verificaram que os comprimentos dos dutos necessários para restabelecimento no caso de escoamento laminar são bem maiores do que aqueles para escoamento turbulento.

RHONE (1973) apresenta um sumário do estado da arte sobre fenômenos de fluxos em junções que resume resultados do estudo realizado por um comitê da ASCE. De acordo com o autor, os resultados experimentais disponíveis na literatura naquela data eram adequados apenas para projetos preliminares e que investigações experimentais em modelos reduzidos eram essenciais para assegurar operações satisfatórias de estruturas hidráulicas com junções. Observou-se que não existem informações documentadas de protótipo. Foi apontada ainda a necessidade de

eliminar a confusão na nomenclatura e definições empregadas na apresentação de resultados experimentais.

ITO e IMAI (1973) estudaram a perda de carga em “T” para aplicação na engenharia. Detalhes experimentais foram levantados para esclarecer as perdas de carga causadas pela combinação e divisão de fluxos em “T” lisos com razão de diâmetro unitário ($R_d = D_p / D_L$, onde: R_d razão de diâmetro; D_p diâmetro do tubo principal; D_L diâmetro do tubo lateral). Estes autores devotaram grande atenção para esclarecer o efeito do raio de curvatura ($R_c = r / d$, onde: R_c raio de curvatura; r raio da borda da junção; d diâmetro interno da tubulação principal) do canto na junção dos dutos sobre os coeficientes de perda (Figuras 4 e 5). As fórmulas empíricas são fornecidas para o cálculo dos coeficientes de perda de carga e perda de potência para todas as configurações possíveis através de “T”.

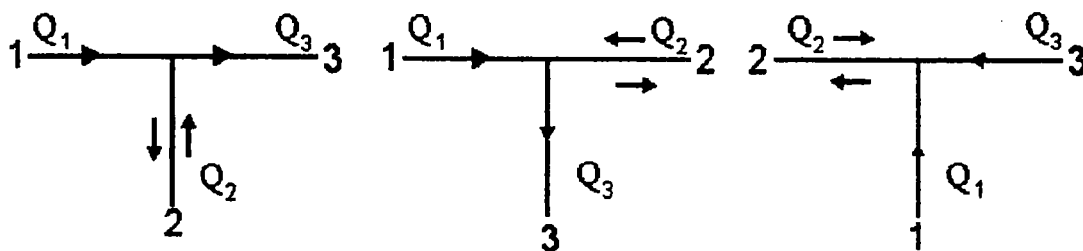


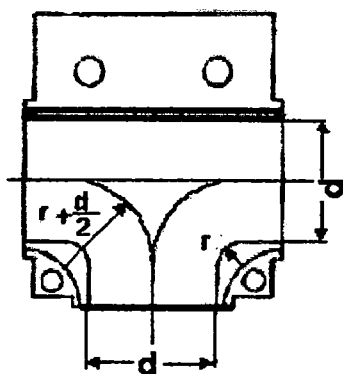
FIGURA 4-. Configuração de fluxos ensaiados por Ito e Imai (1973)

ITO e IMAI (1973) utilizaram tubos com razão de diâmetros internos unitária, com $D_p = D_L = 35$ mm e com o raio de curvatura (R_c) interno variando de zero até metade deste diâmetro. Os tubos utilizados foram polidos, e os resultados sobre a perda de carga obtidos a partir da equação de energia e dos coeficiente de divisão (ζ_d) e de convergência (ζ_c) de fluxo entre seção 1 e 3 (fig. 4) definidos como a seguir:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + \frac{v_3^2}{2g} + f_1 \frac{l_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g} + f_{13} \frac{l_3}{d_1} \frac{v_3^2}{2g} + \Delta h_{13} \dots \dots \dots (5)$$

$$(\zeta_d)_{13} = \frac{\Delta h_{13}}{\frac{v_1^2}{2g}} \dots \dots \dots (6)$$

$$(\zeta_c)_{13} = \frac{\Delta h_{13}}{\frac{v_3^2}{2g}} \dots \dots \dots (7)$$



Tee No	d, mm	r, mm	r/d
1	34.97	0	0
2	34.99	3.17	0.091
3	35.00	6.59	0.181
4	34.94	17.55	0.502

FIGURA 5- Raios de Curvatura (R_c) utilizados por ITO e IMAI, 1973

Os resultados encontrados por ITO e IMAI (1973) demonstram que a borda da junção é causadora de aumento da perda de carga, apresentando perda de carga mínima para o raio de curvatura de 0,5 d. O coeficiente da perda de carga em trechos retos na divisão de fluxo é praticamente independente do raio relativo da curva. E quando comparados os resultados encontrados com os de outros pesquisadores, estes se mostraram satisfatórios. Ainda, no caso de divisão de fluxos do tubo principal em ambos os lados para os laterais, observou-se uma peculiaridade ocorrida no coeficiente de perda de carga apresentados na Figura. – 6, quais seja a

brusca variação da perda de carga para raios de curvaturas intermediários ($R_c = 0,091$ e $0,188$) com a relação de vazões entre 0 e 0,2 e 0,8 e 1,0.

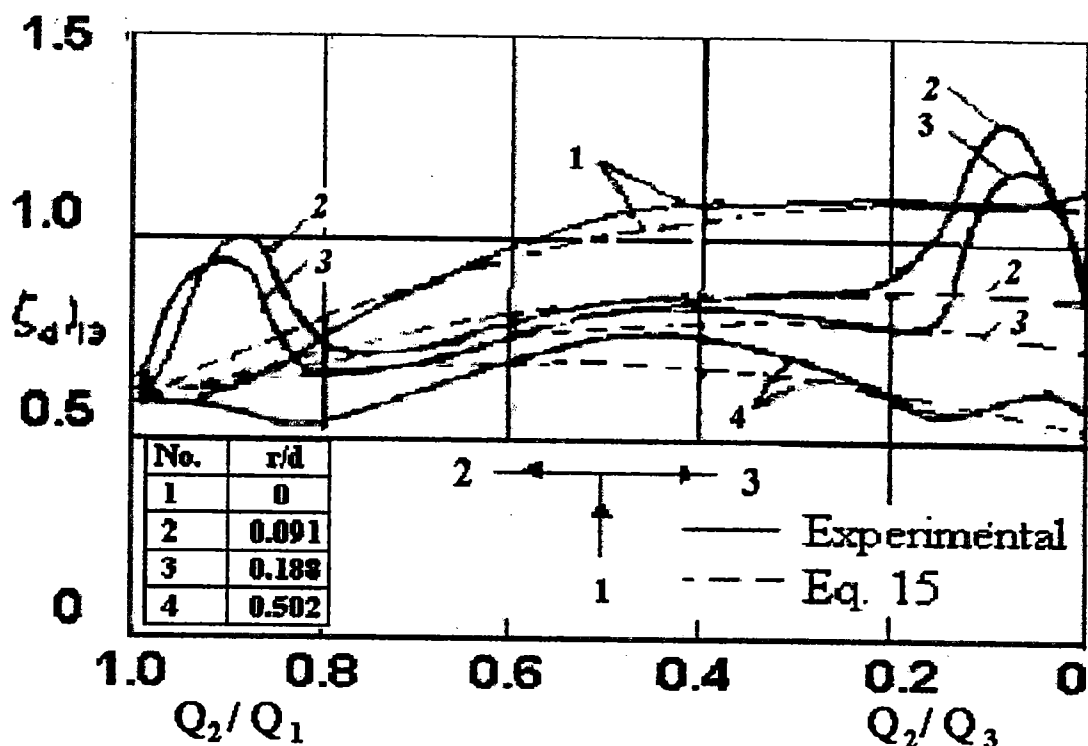


FIGURA 6 – Coeficiente adimensional de perda de carga na junção “T” (Ito e Imai 1973)

WILLIAMSON e RHONE (1973) concluíram, a partir da comparação entre os dados medidos no laboratório e aqueles observadas no protótipo, que as perdas de carga para o protótipo poderão ser menores que os obtidos nos testes de modelos reduzidos.

WILLIAMSON (1973) notou que a falta de informações para determinar a perda de carga através da bifurcação para condutos hidráulicos tem motivado os pesquisadores a desenvolver estudos sobre esta matéria. Entretanto, os tipos de divisão nos sistemas de condutos hidráulicos para a distribuição variam amplamente,

de grandes diâmetros a pequenos acessórios. Tem havido poucos estudos experimentais segundo o autor.

Variáveis que afetam as perdas nas divisões envolvem, geometria, condição de fluxo e propriedades do fluidos, segundo WILLIAMSON (1973). As principais variações da geometria nas divisões são determinadas pelos ângulos formados pelas divisões, a razão da divisão de área do tubo lateral e principal, a forma de entrada da divisão (cônica, cilíndrica ou com curva e a forma das bordas), e se a divisão lateral é individual ou "Y". As condições de fluxos consideradas, no mesmo, são fluxos combinados (as quais por definição incluem fluxos de combinação reversa), e fluxos de divisão reversa. O autor afirma que muitos pesquisadores tem concluído que o coeficiente de perda é independente do número de Reynolds, mas seus testes se limitam a valores de 10^4 a 10^5 .

WILLIAMSON (1973), para determinar as perdas devidas às divisões, estipulou que as mudanças na carga total devem ser medidas e isto envolve observação da pressão estática e da energia cinética do fluxo nas seções a montante e a jusante da divisão. As perdas de carga serão parcialmente devidas às perdas nos acessórios propriamente ditos e a perda por atrito entre as seções de medida.

Mais recentemente, KAWASHIMA et al. (1982) consideraram escoamento resultante da confluência de duas correntes numa bifurcação para observar experimentalmente os padrões de escoamento, reconhecendo a complexidade do processo envolvidos tais como o fenômeno de separação e escoamento secundário a jusante da confluência. Segundo os autores, o efeito do padrão de escoamento a jusante da confluência não tinha sido investigado anteriormente. Assim, formularam o problema da perda de carga em termos da teoria da quantidade de movimento verificando através da comparação entre os resultados teóricos e experimentais que

os coeficientes de perda de carga calculados pela teoria foram inferiores aos valores obtidos experimentalmente. Observaram, ainda, que as perdas de carga observadas para valores maiores de razões de áreas entre o canal principal e o lateral foram maiores enquanto que a teoria não previa tal efeito.

Na década de 90, houve poucos trabalhos sobre escoamento em junções de tubulações. SERRE et al. (1994) reportaram um estudo de perda de carga nas junções com escoamento confluyente em sistemas de tubulações para passagem de peixe a montante de uma barragem. Os autores buscaram um projeto para as tubulações que minimizasse as perdas de cargas. Para isso, além de determinar as perdas por atrito na canalização, determinaram a real perda de carga provocada pela combinação de fluxos e da confluência dos orifícios (tubo lateral) com o tubo principal. Necessitaram, ainda, trabalhar numa faixa limitada de velocidade para que não provocasse danos aos peixes. O funcionamento do equipamento experimental está apresentado na Figura. 7.

Os autores exprimem a equação da energia da seguinte forma:

$$h_u + \frac{v_u^2}{2g} = h_d + \frac{v_d^2}{2g} + \Delta H_{ud} + \Delta H_f \dots \dots \dots (8)$$

$$h_b + \frac{v_b^2}{2g} = h_d + \frac{v_d^2}{2g} + \Delta H_{bd} + \Delta H_f \dots \dots \dots (9)$$

onde: h = altura piezométrica; v = velocidade; Q = vazão; g = aceleração da gravidade; ΔH = diminuição da energia principal; e os subscritos u , b e d são as respectivas seções.

Os termos de perda principais ΔH_{ud} e ΔH_{bd} são expressos através do produto do coeficiente de perda adimensional K , e a carga cinética no duto descrito abaixo:

$$\Delta H_{ud} = K_{ud} \frac{v_d^2}{2g} \dots \dots \dots (10)$$

$$\Delta H_{bd} = K_{bd} \frac{v_d^2}{2g} \dots\dots\dots (11)$$

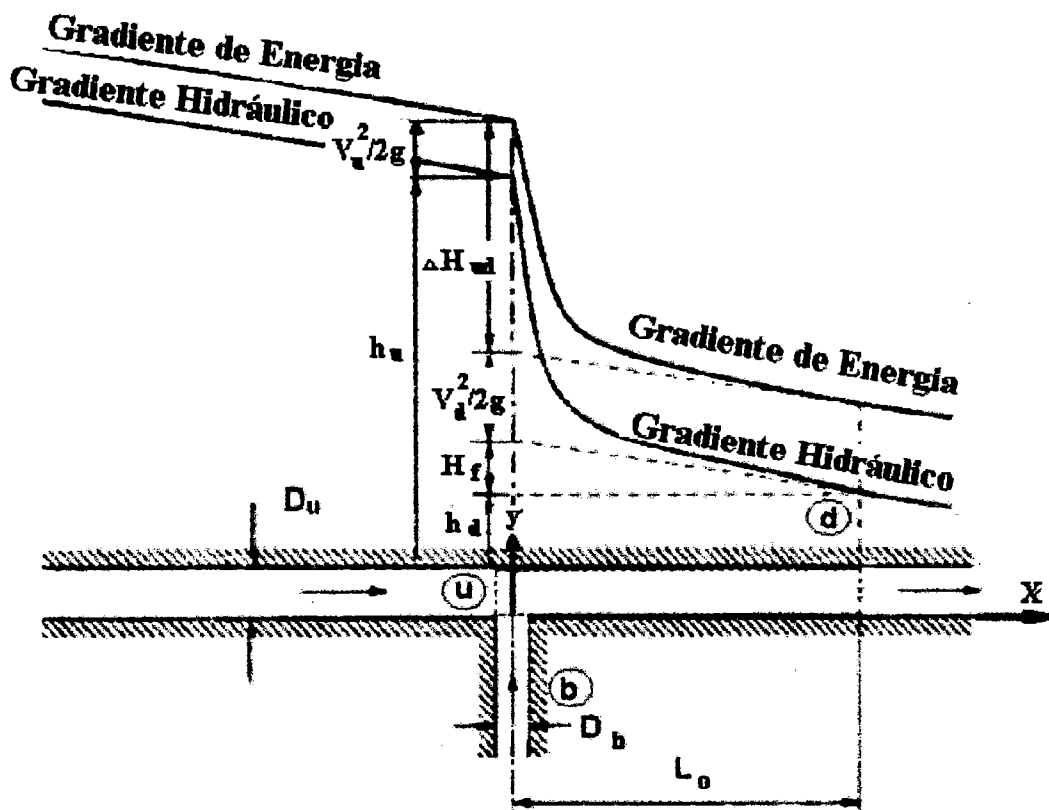


FIGURA 7- Junção "T" e volume de controle (SERRE et al. 1

Os autores pesquisaram o efeito da relação de área entre tubo lateral e principal e da relações de vazões nestes tubos sobre o coeficiente de perda de carga na confluência para a junções de canto vivo ensaiando quatro razão de áreas ($R_a = A_b/A_d$ iguais a 0,210, 0,118, 0,052 e 0,020), e para cada, a razão de descarga Q_b/Q_d variou entre 0 e 1. A perda por atrito foi determinada através do gradiente hidráulico e para diferentes vazões e o fator de atrito foi determinado usando a relação de Darcy - Weisbach.

Foi notada uma grande dependência nos coeficientes de perda de pressão em relação à razão entre a divisão da área do tubo lateral e a área do tubo principal. Foi observado, ainda, que o decaimento de energia de 80 a 90% ocorre de 3 a 4 d abaixo da junção, e o restante de 10 a 20% ocorre durante todo o comprimento restante (Figura. -8). O fluxo dentro da canalização sofre uma deflexão próximo a junção criando alta pressão na parte superior e baixa pressão na parte inferior do tubo. Estas pressões são a principal causa da distorção do perfil de velocidade antes existente na canalização, causando um aumento da tensão de cisalhamento na parede do tubo neste trecho.

Para as quatro razões de área testadas (R_a), e para cada, razão de descarga (Q_b/Q_d), foram feitas vários testes permitindo que se traçasse a variação do coeficiente de perda de carga. Analisando os dados, percebe-se alta dependência dos coeficientes de perda em relação a razão de área para pequenos valores A_b/A_d . O estudo mostrou que a análise da quantidade de movimento do fluxo devia incluir as contribuições da quantidade de movimento associada, (i) com a deflexão e a distorção da distribuição da velocidade do tubo lateral antes no tubo principal, (ii) com o aumento da tensão de cisalhamento no tubo principal devido a deformação local da distribuição de velocidade neste. E os dados obtidos mostraram que o restabelecimento do fluxo se dá a 50 d a jusante da junção.

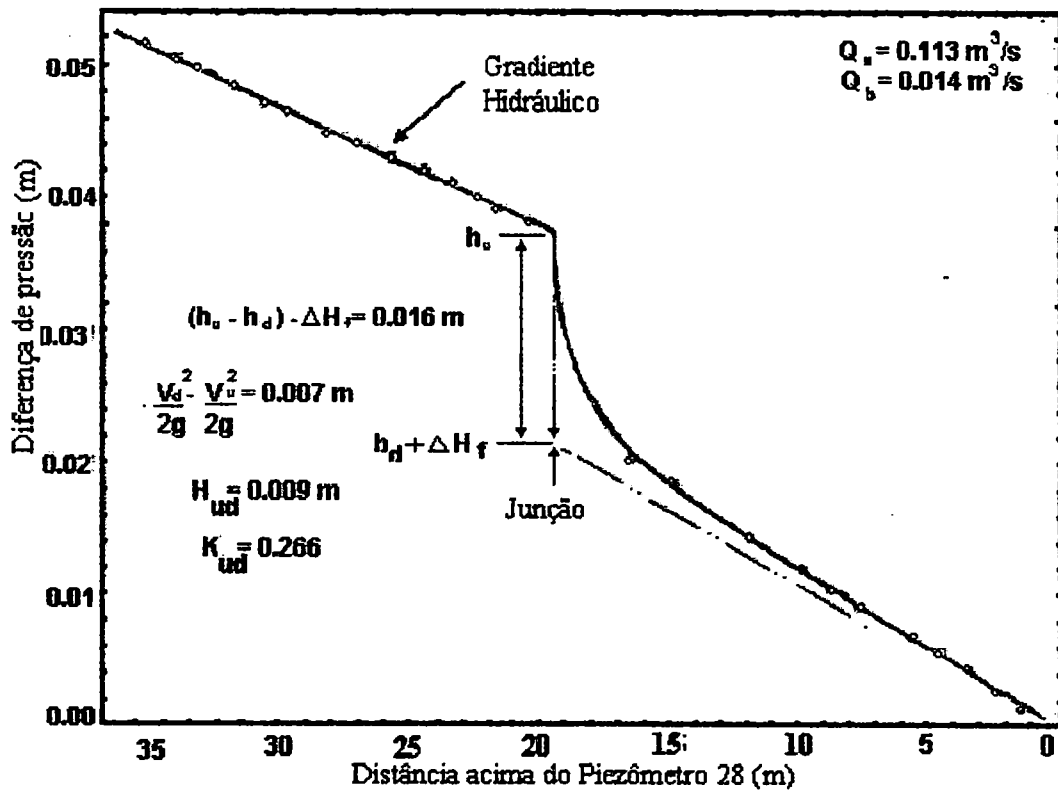


FIGURA 8- Determinação de Δh_{ud} de um ensaio típico (Serre et al.1994)

4 – MATERIAIS E MÉTODOS

No presente capítulo, descreve-se a montagem da canleta de ensaios e com os respectivos materiais empregados para realização de ensaios propostos.

Montou-se a bancada experimental com o auxílio da infra-estrutura do Laboratório de Hidráulica Ambiental do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), localizado junto à Represa do Lobo Município de São Carlos, como apresentado nas Figuras 9 e 10.

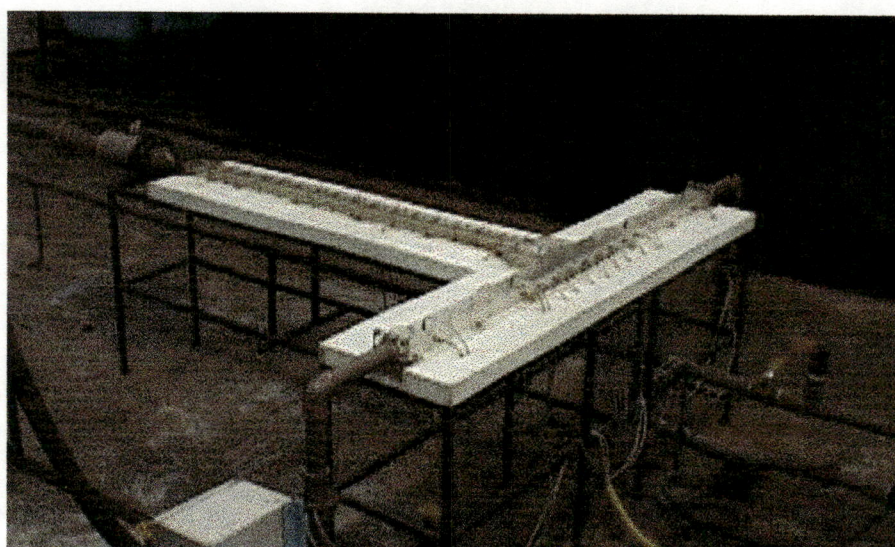
Tendo em vista a inexistência de abastecimento de água tratada, recorreu-se a um local próximo ao Ribeirão do Lobo. A água para a bancada experimental foi captada em uma mina localizada próxima a este rio, a qual foi conduzida a um tanque para armazenamento próximo à casa de bombas do laboratório e, posteriormente bombeada para o reservatório de nível constante. O nível deste reservatório foi garantido por uma chave bóia que acionava automaticamente a bomba externa quando havia variação do nível de água.

O reservatório de nível constante foi localizado sobre a laje de forro do laboratório, vide Figura 10, sendo que a água escoava sob efeito de gravidade e o succionamento era feito pela bomba de reabastecimento que fazia parte do circuito fechado. O circuito estava constituído por duas tubulações de seção circular de 300 mm de diâmetro, as quais chegavam a uma caixa tranquilizadora de fluxo, e depois passavam por um bocal (boca de sino) fazendo com que, o escoamento circular passasse para escoamento bidimensional de maneira suave, entrando assim no duto

de acrílico como mostrado nas Figuras 17 e 18. Tal duto representa um braço de entrada no “T” com seção transversal de largura variável (60 mm a 12 mm) e altura de 20 mm. Os trechos dos dutos de saída do “T” tinham dimensões fixas de 60 mm x 20 mm como apresentado na Figura 10 e 11.

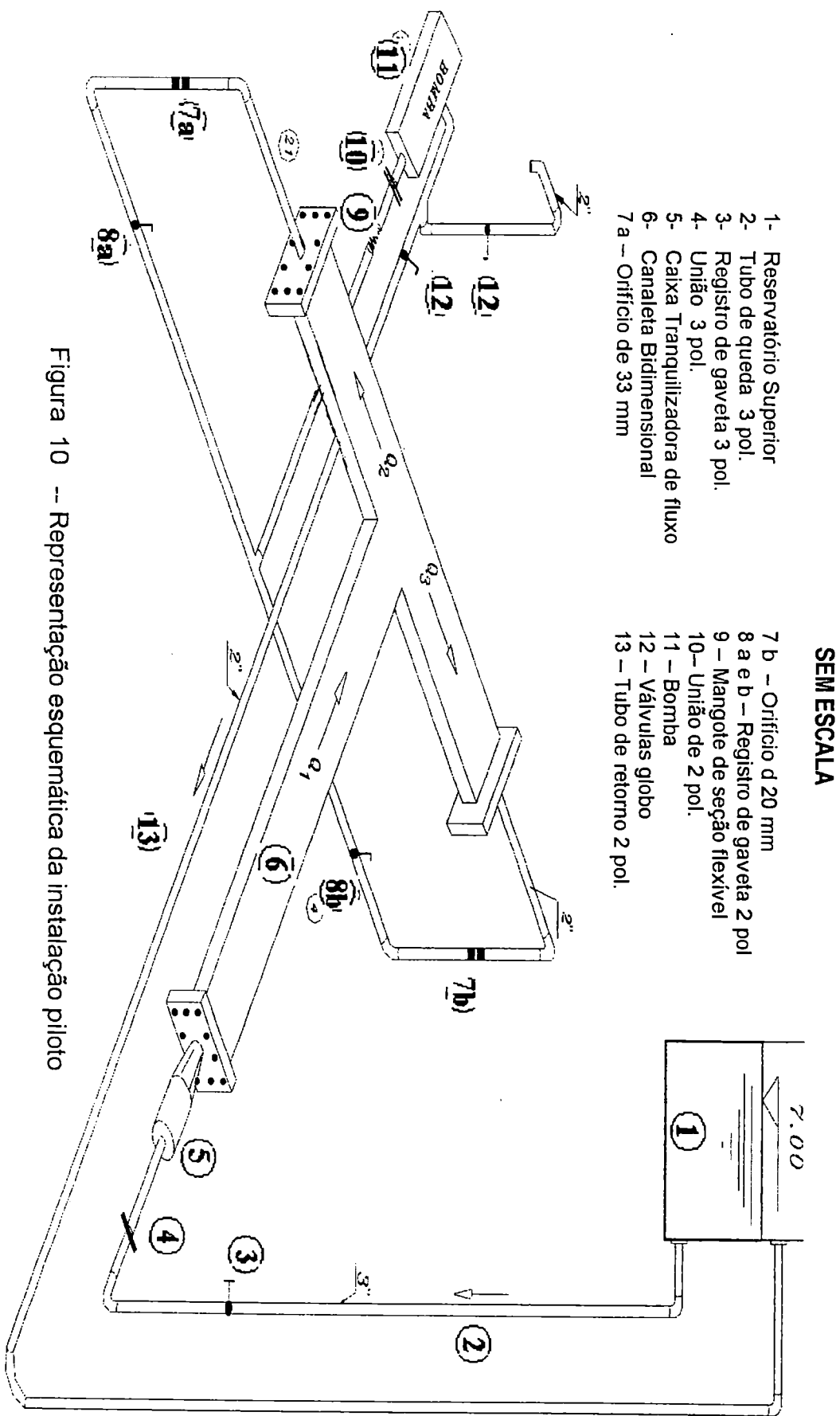


(a)



(b)

FIGURA 9 – Canaleta de ensaio para medidas de vazões e pressões



- 1- Reservatório Superior
- 2- Tubo de queda 3 pol.
- 3- Registro de gaveta 3 pol.
- 4- União 3 pol.
- 5- Caixa Tranquilizadora de fluxo
- 6- Canaleta Bidimensional
- 7 a - Orifício de 33 mm

SEM ESCALA

- 7 b - Orifício d 20 mm
- 8 a e b - Registro de gaveta 2 pol
- 9 - Mangote de seção flexível
- 10- União de 2 pol.
- 11 - Bomba
- 12 - Válvulas globo
- 13 - Tubo de retorno 2 pol.

Figura 10 -- Representação esquemática da instalação piloto

Ao longo dos dutos de acrílico foram colocadas tomadas de pressão e ligadas a um conjunto de manômetros com uma câmara de ar, possibilitando assim a medida da distribuição de pressões relativas em pontos pré determinados conforme mostrado na Figura 12. Nas duas saídas do duto retangular em “T” foi colocado outro sistema de flanges que permitia sua conexão a tubos circulares de 2”. Nestes tubos, haviam medidores de vazão com suas tomadas de pressão ligadas a manômetros de mercúrio e água. Após os orifícios, estes tubos se juntavam para sua ligação a uma bomba via mangote de 2”. Ao passar pela bomba a água retornava ao reservatório de nível constante, fechando o circuito hidráulico.

4.1 – Descrição da Bancada Experimental

O esquema geral do duto em “T” está apresentado na Figuras 10. A bancada de ensaio constituía-se de uma canaleta de acrílico com seções variáveis na entrada (60x20; 30x20 e 12x20 mm), de duas saídas com seções constantes (60x20 mm) e com possibilidade de variar os raios de curvatura do “T” (Raios 30; 12; 6 e 0 mm). Tanto os raios quanto as seções de entrada do “T” foram modificadas de acordo com o ensaio a ser realizado. Instalaram-se diversas tomadas de pressões para determinar a perda de carga dentro dos dutos.

Montou-se o equipamento sobre uma prancha de madeira (compensado naval) apoiada sobre uma estrutura metálica.

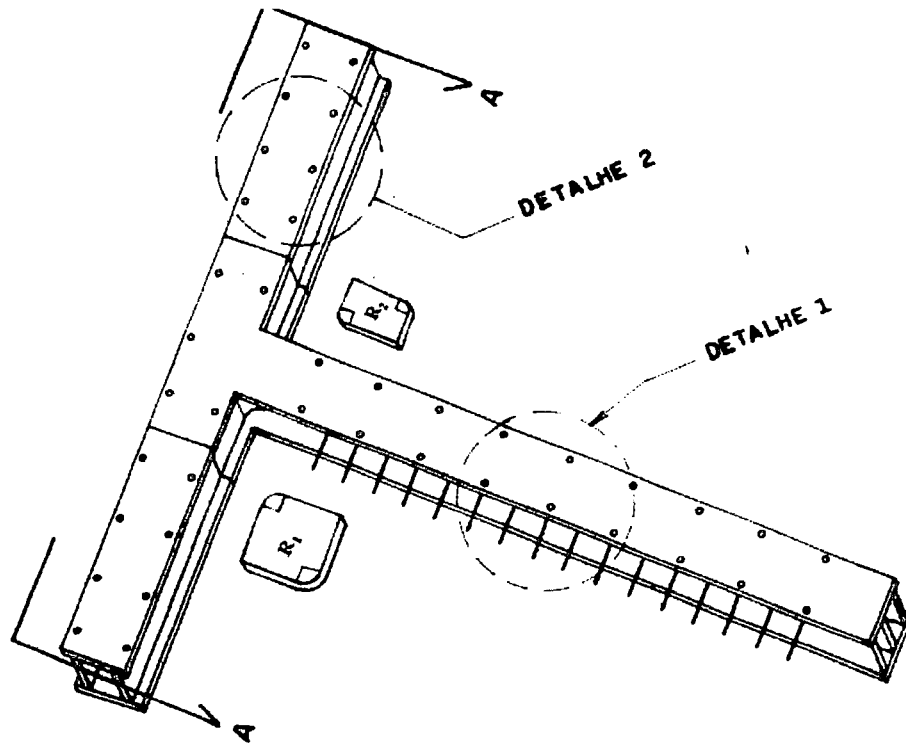


FIGURA 11- Canaleta de ensaio em Perspectiva

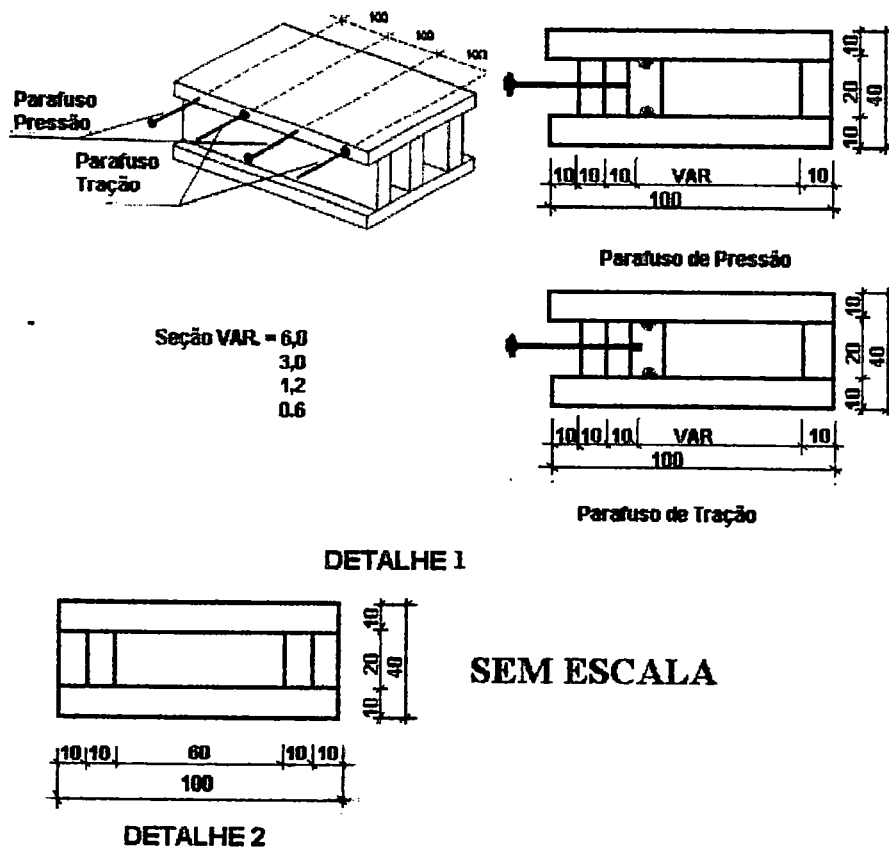


FIGURA 12- Detalhamento da canaleta



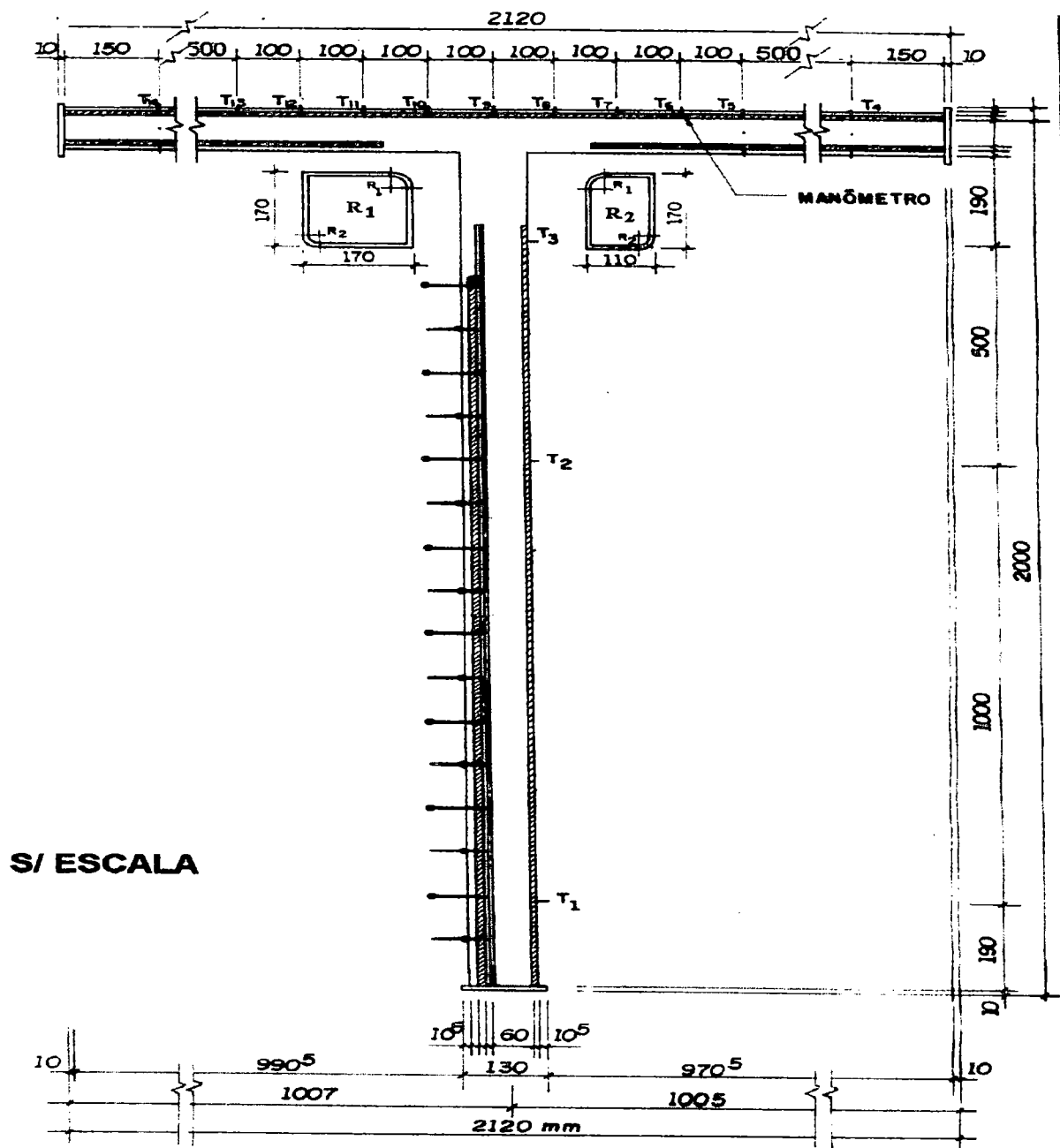


FIGURA 13 – Canaleta em corte (CORTE AA)

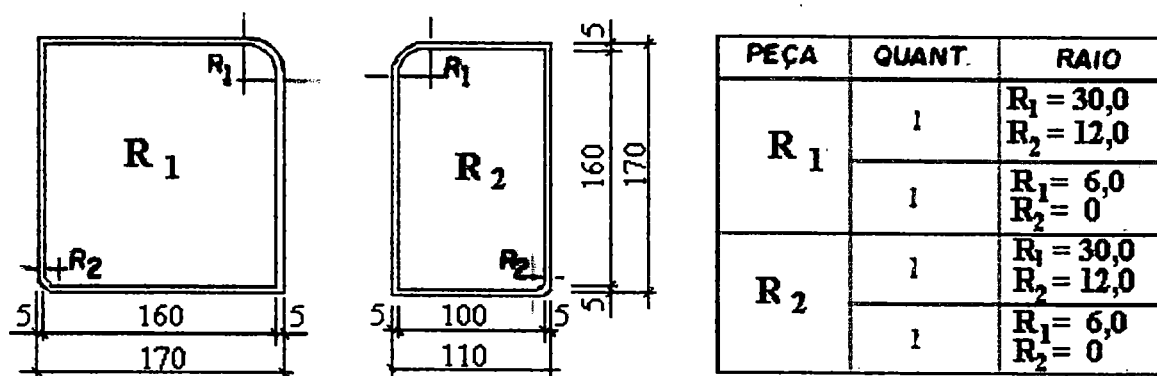


FIGURA 14- Detalhes construtivos dos raios de curvaturas (R_c)

4.2 – Equipamento Experimental

Todo os serviços técnicos de execução de componentes usados para construção do modelo e a montagem foram realizados pelo corpo técnico nas oficinas da Escola. A execução da bancada se deu através das seguintes etapas:

- Projeto de execução do duto
- Construção das peças de raios de curvatura do “T”.
- Execução da caixa tranquilizadora e bocal boca de sino.
- Montagem da bancada experimental.
- Modificações e construções necessárias no laboratório.

A montagem e a execução do duto foram realizadas na oficina central da EESC. A construção da boca de sino em fibra de vidro foi feita no Laboratório de Hidráulica Ambiental pelo candidato utilizando técnicas de manuseio transmitidas pelo pessoal técnico do laboratório de aeronaves (Figura 17). A construção dos medidores de vazão, ajuste do duto, serviços de reformas hidráulicas, elétricas e de

construção foram realizado na oficina de apoio do CRHEA. Os componentes do circuito e do modelo propriamente dito (Figura. 10) são descritos nos itens abaixo:

4.2.1 – Caixa coletora de mina.

Tendo em vista a necessidade de obter água com baixa turgidez e, não dispondo de água tratada no laboratório de recursos hídricos, optou-se pela captação de água em uma mina já explorada por moradores locais. Para captação foram construídas caixas coletoras, que, direcionavam o fluxo para uma tubulação em PVC. O fluxo era conduzido por gravidade até o reservatório inferior.

4.2.2 – Reservatório inferior.

Aproveitou-se um tanque de metal com grande capacidade de armazenamento de água de, montou-se o reservatório inferior junto a casa de bombas do Laboratório de Recursos Hídricos, visando o aproveitamento da rede de energia elétrica, utilizada para alimentação da bomba de recalque (**Figura 15**).

4.2.3 – Bomba de recalque

Esta trabalhava afogada pelo reservatório inferior, o seu acionamento era efetuado por uma chave bóia instalada no reservatório superior. O acionamento elétrico da bomba de recalque se fazia necessário para manutenção de um nível constante no reservatório.

4.2.4 – Tubulação de recalque.

Constituída de tubos de PVC de 1", a tubulação foi enterrada após a saída da bomba de recalque até o Laboratório de Hidráulica Ambiental, onde se instalou a tubulação aparente na parede externa seguindo sobre o forro até o reservatório superior.



FIGURA 15– Reservatório inferior

4.2.5 – Reservatório superior

Constituído de duas caixas de fibrocimento de 1000 l cada, sendo as duas interligadas através de uma tubulação de 3", o reservatório é mantido com um nível constante (7 m) por meio da utilização da chave bóia .

4.2.6 – Tubulação de chegada

Tubulação de PVC de 3” é ligada ao reservatório superior com o uso de flanges, virando 90° e descendo na vertical fixada através de braçadeiras a uma coluna. Com o uso de outro cotovelo a tubulação sai na horizontal terminando em uma flange para ligação a caixa tranquilizadora.

4.2.7 – Caixa tranquilizadora de fluxo

A entrada de água à seção de teste se dá através de uma caixa tranquilizadora. Esta foi construídas em duas partes: a primeira constitui-se de um Tubo Estabilizador circular de PVC e a outra de seção de transição em forma de Boca de Sino de fibra de vidro para obter entrada suave de água para a seção retangular (ver FIGURA 16 e 17).

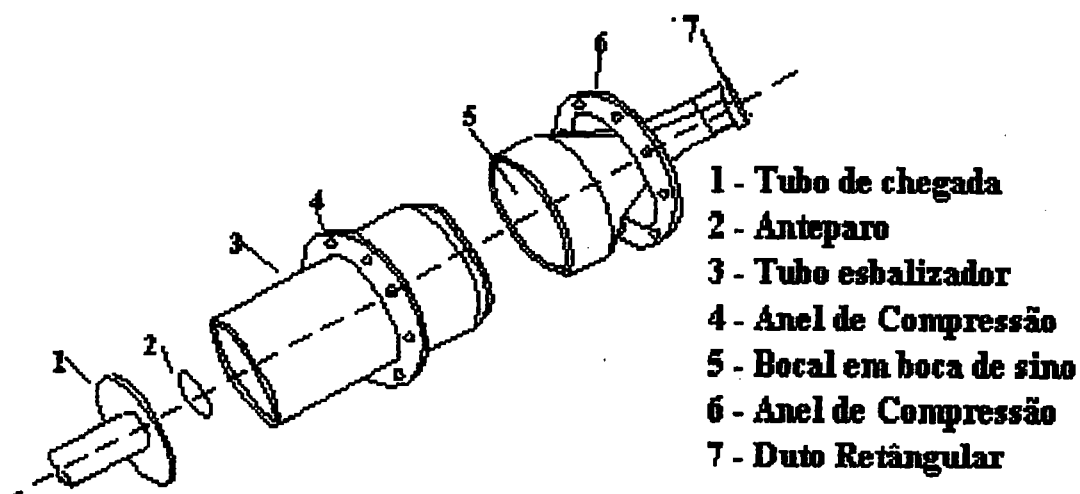


FIGURA 16– Representação esquemática da caixa tranquilizadora

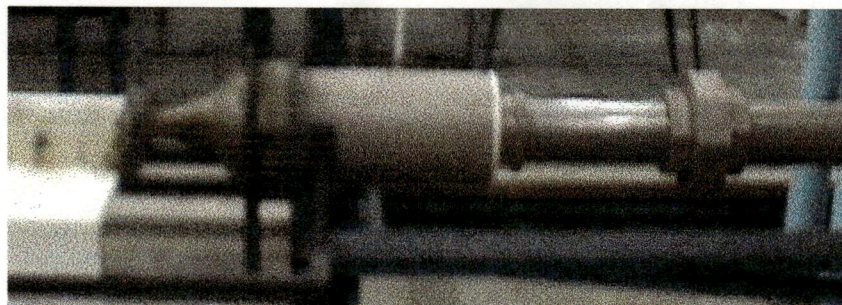
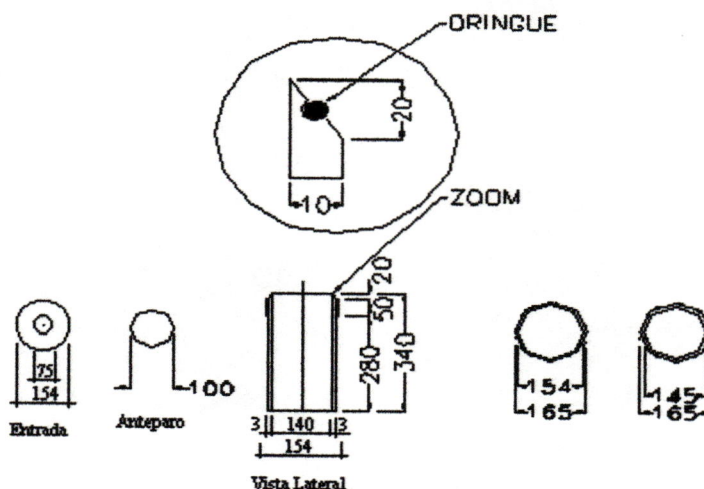


FIGURA 17- Caixa Tranquilizadora

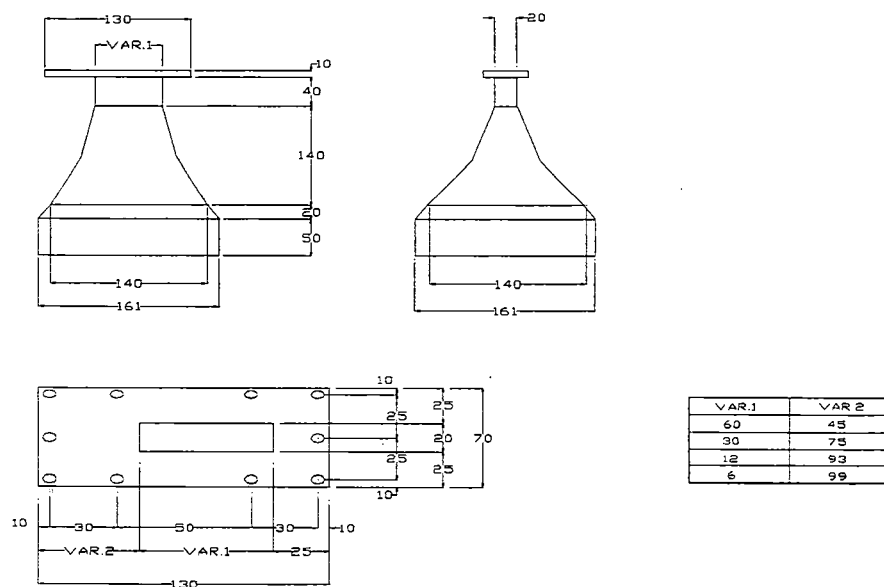
Tubo Estabilizador - O tubo de PVC foi usinado na circunferência exterior em seus dois extremos para obter as formas desejadas para acoplamento a outras peças (FIGURA 16 - 18). O escoamento proveniente do tubo de PVC ϕ 75 mm entra na caixa tranquilizadora e choca-se com um anteparo de 100 mm para dissipação de energia e, posteriormente, alarga-se passando para uma seção circular de ϕ 140 mm. No tubo (ϕ 140 mm), fez-se um corte com inclinação de 30° e um sulco para colocação de oringue na seção externa da saída, vedando assim a ligação da peça com a boca de sino. Ainda, no tubo estabilizador, desgastou-se a parede externa na entrada para colocação de um anel de compressão para vedação.



Sem escala

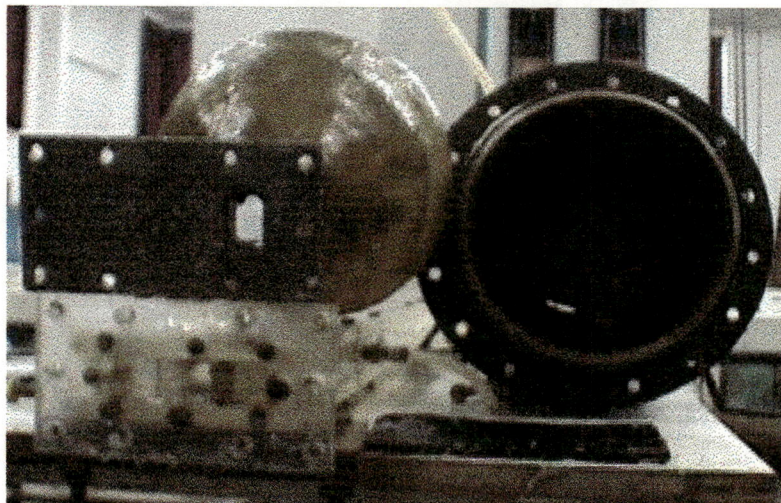
FIGURA 18- Tubo Estabilizador

Boca de Sino - A seção após o tubo estabilizador contrai suavemente para produzir uma entrada em forma de boca de sino, fazendo assim transição do fluxo axissimétrico para o bidimensional ou seja, partindo de uma seção circular de diâmetro de 140 mm para seções retangulares de 60x20, 30x20, ou 12x 20 (FIGURA. 19 e 20). Para construção da peça, optou-se pela utilização da fibra de vidro devido a sua alta resistência e sua facilidade de moldagem. Utilizaram-se moldes de madeiras torneados até o diâmetro de 150 mm, o mesmo diâmetro do tubo de PVC da caixa tranquilizadora, e com a mesma inclinação do chanfre até o diâmetro de 140 mm. A forma de boca de sino, foi incorporada ao molde de maneira mais suave permitida pela fresadora. No final da boca de sino colocou-se uma chapa de metal para obter-se maior resistência mecânica, a chapa sendo perfurada para passagem de parafusos de compressão para fins de vedação.



Sem escala

FIGURA 19– Representação esquemática da transição bocal boca de sino



a



b

FIGURA 20 a e b – Transição em boca de sino e Caixa Tranquilizadora

4.2.8 – Duto de acrílico

A junção “T” bidimensional foi construída com seção retangular em chapa de acrílico, de 10 mm de espessura, a qual foi cortada em peças e coladas

Tal proposição foi adotada tendo em vista as restrições impostas pelas dimensões da chapa de acrílico adquirida na praça e pela necessidade de comprimentos adequados de aproximação à bifurcação e de afastamento da mesma.

O comprimento do duto de aproximação deveria ser superior a cinquenta vezes o diâmetro equivalente ($De = 30 \text{ mm}$) e vinte vezes nos dutos, para observar o perfil de pressão estática pela colocação das tomadas de pressão.

As duas peças laterais possuem a mesma dimensão interna dos braços para fluxo de saída, qual seja, $20 \times 60 \text{ mm}$ e foram coladas rigidamente. A seção de entrada do duto foi preparada de tal forma que se pudesse variar sua largura, para diferentes razões de áreas, através do uso de parafusos para aumentar ou diminuir a mesma. Estabeleceu-se a dimensão máxima de largura do duto de entrada de 60 mm igual ao do duto de saída para se obter razão de áreas unitárias. Tal largura da seção poderia ser obtida colocando-se uma tira ajustável de acrílico de dimensão ($10 \times 20 \text{ mm}$) junto a uma das paredes da seção fixa ($70 \times 20 \text{ mm}$) do duto de aproximação, detalhamento mostrado na Figura 12. Outras larguras da seção menores que 60 mm poderiam ser obtidas ajustando-se a posição dessa tira por meio de um conjunto de 16 parafusos sendo 8 rosqueados a uma parede do duto e os restantes fixados a tira. Desta forma, poder-se-ia utilizar metade dos parafusos para avançar a tira e a outra metade para puxar a mesma para a parede. A tira de acrílico teve sua altura ligeiramente diminuída para que se pudesse colocar oringues em suas faces para obter vedação adequada.

O ajuste da seção do tubo de entrada requeria também o ajuste da seção junto à bifurcação ao mesmo tempo que se obtinha o raio de curvatura desejado. Tendo em vista que se adotaram quatro raios de curvatura para ensaiar e, tendo os dois lados requerendo mesma curvatura, providenciaram-se quatro combinações dessas curvaturas mostradas na Figura 14. Tais peças tem dimensões variadas já que no lado da largura variável a peça deveria absorver a folga devido a posição variável da tira através de rasgos providenciados para fixação. Para confecção dos raios de

curvatura, utilizou-se uma chapa de acrílico de espessura de 22 mm. Suas faces foram desgastadas até 19mm, e foi feito um sulco em todo seu contorno onde colou-se oringue para vedação das peças. Os raios de curvatura foram executados em posições inversas para o aproveitamento da mesma peças para dois ensaios, ver Figuras 14 e 21.

Ao se diminuir a largura de entrada do duto colocavam-se peças com comprimentos equivalentes à diminuição da seção . Nestas junções e nos cantos dos raios de curvatura, onde não foi possível vedar com oringue , usou-se silicone.

O duto de acrílico em “T” descrito acima foi apoiado e fixado a uma plataforma de madeira também em forma de “T”. Instalaram-se 14 tomadas de pressão no duto sendo 3 na seção de aproximação e 11 na parede da parte de saída onde impinge o escoamento (Figura 13).

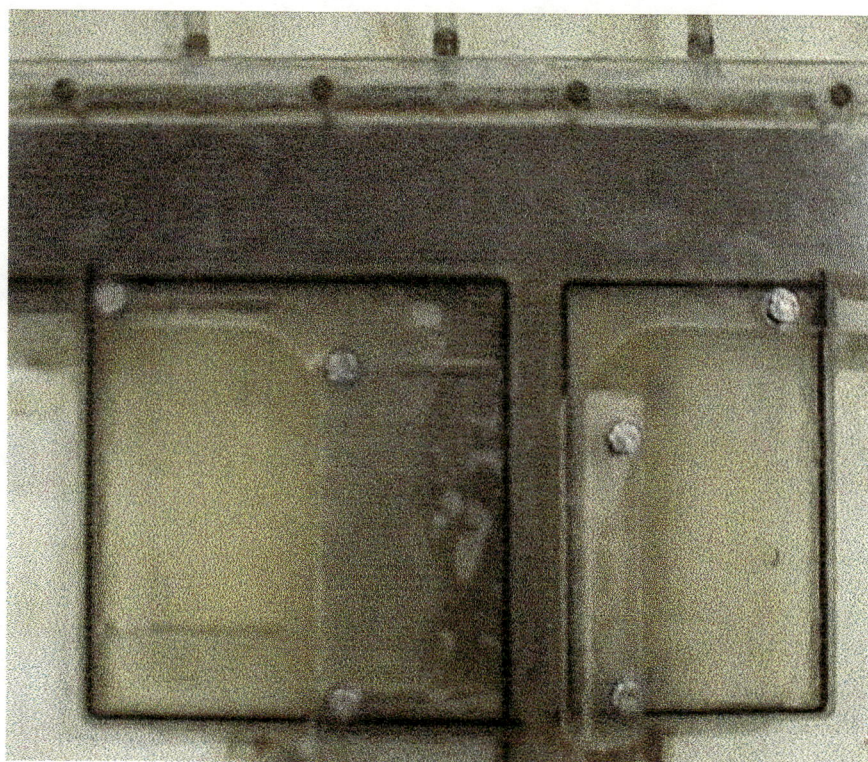


FIGURA 21– Detalhe das peças utilizadas para construção do canto da junção

“T”.

4.2.9 – Manômetros

Utilizaram-se 14 manômetros com água como fluido mostrados na Figura 22 para medidas de pressão ao longo do duto. Estes manômetros são montados num quadro com uma câmara de ar comum no topo. O quadro permite observar a variação da pressão ao longo do duto. Os manômetros são de mangueira transparente e com escala milimétrica. O desnível máximo permitido pelos manômetros corresponde a 3.400 milímetros.

Utilizaram-se dois manômetros, de mercúrio e de ar comprimido, apresentados na Figura 22, para medidas diferenciais de pressão nas tomadas a montante e a jusante do diafragma. Cada manómetro foi adaptado com válvula de distribuição para o de mercúrio, ou para o de ar comprimido, cujas indicações foram feitas em mm.Hg ou mm.H₂O Para as maiores vazões, usou-se o mercúrio, e para as menores o de ar comprimido. O desnível máximo permitido pelos manômetros corresponde a 1.500 milímetros.

As oscilações de pressões nos manômetros, tanto nos utilizados para medidas de vazões quanto nos empregados para medidas de pressões dentro do duto, foram atenuadas pelo estrangulamento das mangueiras situadas na base dos manômetros

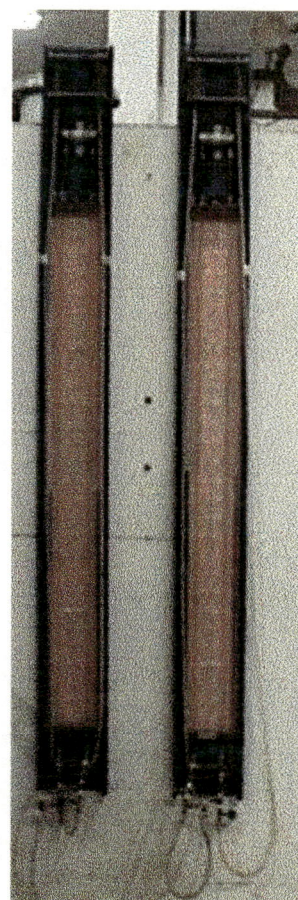
4.2.10 – Medidores de vazão tipo diafragma

De acordo com o teorema de Bernoulli, a diminuição da seção transversal do escoamento num duto provoca um aumento local na velocidade do escoamento do fluido e uma correspondente diminuição na pressão estática. Esta variação na pressão registrada em torno do medidor de vazão tipo diafragma por intermédio de um

manômetro diferencial permite calcular a vazão através de uma curva de calibração experimentalmente estabelecida, ou por meio de fórmulas normalizadas.



(a) - Manômetros de água



(b) - Manômetros diferenciais de água e mercúrio

FIGURA 22 a e b - Manômetros

O orifício de placa tipo diafragma foi o escolhido devido à sua simplicidade e boa precisão. A disposição e a construção dos medidores de orifício tipo diafragma, obedeceram aos prescritos da Norma DIN, traduzida por Vieira (1965) para medidores de vazão. As exigências mais específicas da norma para construção de medidores encontram-se detalhadas na Figura 23 e 24. Este medidor é composto de uma placa fina em latão (orifício), de câmaras anulares também em latão, das quais partem duas tomadas de pressão em bronze. Utilizaram-se dois orifícios de 20 e 33 mm e de manômetros diferenciais, conforme descrito no item anterior .

As câmaras anulares em contato com a pressão do fluido em toda a circunferência do conduto, permitem a diminuição dos efeitos causados por qualquer assimetria no escoamento

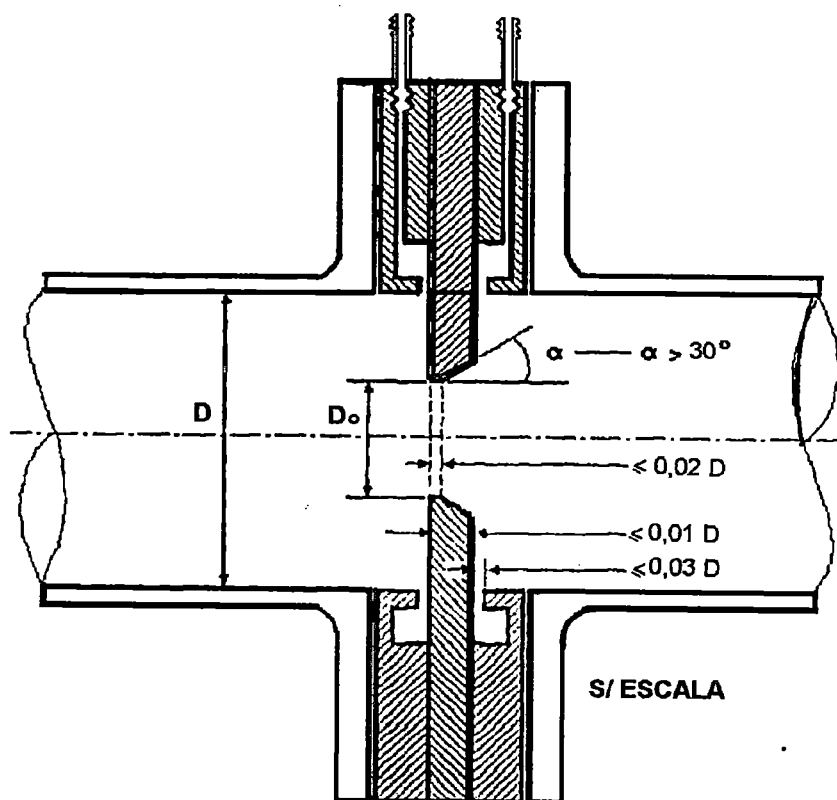


FIGURA 23– Especificações construtivas do medidor de orifício tipo

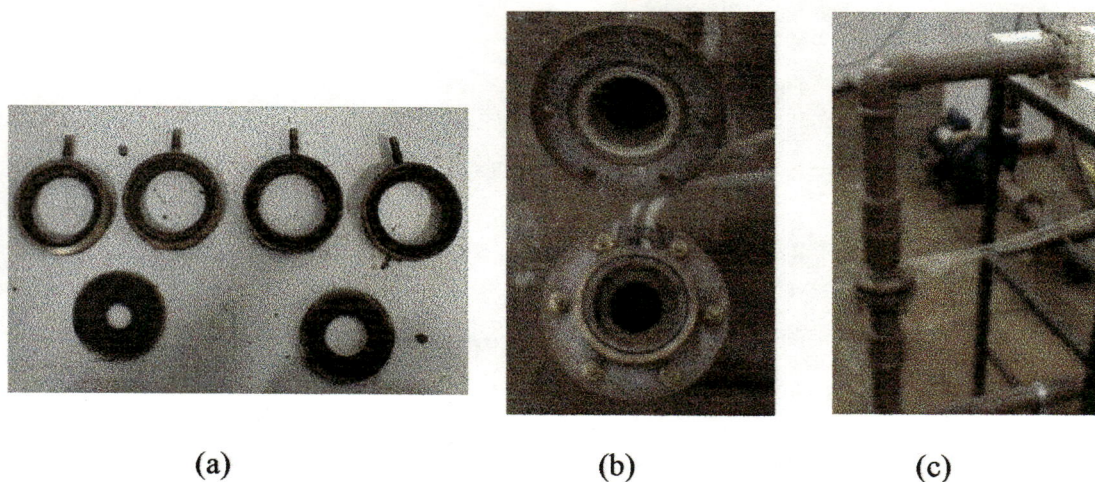


FIGURA 24 a, b e c – Detalhes dos medidores de orifício tipo diafragma.

4.3 – Procedimento Experimental

4.3.1 – Calibração dos diafragmas

Calibrou-se cada orifício em separado, através do fechamento de registros determinados. Por exemplo, durante a calibração do orifício 5 (Figura 10), fechou-se o registro (7b) e com o controle do registro (7a), regulava-se a vazão. Na tubulação de retorno do fluxo para o reservatório de nível constante, instalou-se uma saída lateral com dois registro globo (11a e 11b) possibilitando desviar o fluxo para medida volumétrica de vazão. O fluxo desviado era dirigido para um reservatório com volume de água calibrado em função do seu nível. Fechava-se o registro de globo (11b) da tubulação de retorno, ao mesmo tempo que se abria o outro registro da saída lateral (11a) desviando o fluxo para o reservatório, acionando-se o cronômetro ao mesmo instante deste procedimento. Após o enchimento adequado do reservatório, procedia-se de forma inversa para manuseio dos registros acionando outra vez o cronômetro para obtenção do tempo percorrido o diferencial de pressão era observado no manômetro utilizado durante o intervalo de enchimento do reservatório. Diversas medidas simultâneas de vazão e pressão permitiram obter curvas de calibração para os dois gráficos e, por meio de regressão definiram-se equações de ajuste para cálculo da vazão.

4.3.2 – Medidas no duto

Para o estudo da divisão de vazão na junção “T”, foram realizados diversos ensaios para varias combinações de razões de área e raios de curvatura dos cantos de bifurcação. Durante estes ensaios, foram feitas observações de pressões diferenciais em torno dos dois orifícios e, ainda, a distribuição pressão ao longo dos dutos. O ensaio com uma determinada combinação de áreas e raio de curvatura era repetido para diversas vazões de entrada e de saída (Q_1 , Q_2 e Q_3). Inicialmente, o registro (7b) do lado direito da junção “T” era deixado todo aberto, modificando-se gradativamente a abertura do registro esquerdo (7a) obtendo diversas combinações de Q_1 , Q_2 e Q_3 e conseqüentemente as razões Q_2/Q_1 . O registro (7b) começava a ser fechado gradativamente a partir da relação Q_2/Q_1 maior que 0,4.

4.4 – Forma de análises dos resultados de perdas de carga

Para o cálculo da perda de carga na junção “T”, pode se rescrever a equação de energia utilizada por Ito e Imai.(1973) eq.(5), entre os pontos T_2 e T_{14} do equipamento experimental, detalhes na Figura 13, da seguinte forma:

$$\Delta h_{12} = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_{14}}{\gamma} + \frac{V_{14}^2}{2g} \right) - \Delta h_1 - \Delta h_2 \dots \dots \dots (12)$$

onde: P_i pressão relativa a seção ($i = 1, 2$); v_i velocidade na seção i ; Δh_1 = a perda de carga distribuída no trecho da aproximação do ponto 2 até a junção “T”; Δh_2 = a perda de carga distribuída no trecho de saída da a junção “T” até ponto 14.

As perdas de carga Δh_1 e Δh_2 podem ser estimadas a partir das observações localizadas ao longo dos diversos trechos do duto ou, pela fórmula universal

atribuindo-se um valor ao fator de atrito pela fórmula de “Blasius” conforme indicado por Ito e Imai (1973).

$$R_{ey} = \frac{V \times D_{equiv}}{\nu} \dots \dots \dots (13)$$

$$f = \frac{0.316}{R_{ey}^{1/4}} \dots \dots \dots (14)$$

onde: R_{ey} é o número de “Reynolds”, V é a velocidade da água no duto, ν é viscosidade cinemática da água, D_{equiv} é o diâmetro equivalente do duto retangular.

Para o cálculo do diâmetro equivalente, utilizou-se a fórmula do raio hidráulico comparando o duto retangular com um tubo circular como se mostra na equação (15).

$$R_{hid} = \frac{A_{circ}}{P_{circ}} = \frac{A_{ret}}{P_{ret}} = \frac{\pi \times D_{equiv}^2 / 4}{\pi \times D_{equiv}} = \frac{a \times b}{2 \times (a + b)}$$

$$R_{hid} = \frac{D_{equiv}}{4} = \frac{a \times b}{2 \times (a + b)}$$

$$D_{equiv} = \frac{2 \times a \times b}{a + b} \dots \dots \dots (15)$$

Assim o valor do diâmetro equivalente das seções ensaiadas é de:

Seção 60x20----- d_{equiv} = 3,0 cm

Seção 30x20----- d_{equiv} = 2,4 cm

Seção 12x20----- d_{equiv} = 1,5 cm

Para avaliar o coeficiente de perda adimensional para divisão de fluxo em dutos circulares, Ito e Imai (1973) utilizaram a eq.(6), para raios de curvatura diferentes ($R_c = r/d = 0,00; 0,091, 0,188, 0,502$) e, para razão de área unitária ($R_a = 1$). Serre et al (1994) avaliou o mesmo coeficiente, porém para um mesmo raio de curvatura ($R_c = 0$) e, para diferentes razões de área ($A_1/A_2 = 0,210, 0,118, 0,052$ e $0,200$).

$$K_{12} = \frac{\Delta h_{12}}{v_1^2 / 2g} \dots\dots\dots(16)$$

Foram ensaiados nesta pesquisa diferentes razões de área (R_a) e, diferentes raios de curvatura ($R_c = r/d$) como apresentado no quadro abaixo:

Seção	R_a	$R_c = r/d$
60x20	1	0,50
	1	0,20
	1	0,10
	1	0,00
30x20	0,50	0,50
	0,50	0,20
	0,50	0,10
	0,50	0,00
12x20	0,20	0,50
	0,20	0,20
	0,20	0,10
	0,20	0,00

A utilização das perdas de cargas distribuídas obtidas pela fórmula de “Blasius” para dutos lisos é questionável, na parte de saída, tendo em vista que nesta região, o escoamento é altamente perturbado devido ao choque do jato de água à parede do duto. Tal região é caracterizado por alta turbulência e perfil de velocidade indefinido.

Desta forma pode-se proceder de três maneiras para avaliar as perdas de carga distribuídas no trecho de entrada e saídas, Δh_1 e Δh_2 :

- (a) Estimar Δh_1 pela fórmula universal e, Δh_2 , pelos dados observados de pressão nas tomadas T_{13} e T_{14} . Matematicamente:

$$\Delta h_1 = f_1 * \frac{l_1}{d_1} * \frac{v_1^2}{2g} \dots \dots \dots (17)$$

Onde: f_1 é o fator de atrito; $l_1 = 69\text{cm}$ é o comprimento do trecho entre T_2 e a entrada do “T”; d_1 é o diâmetro equivalente que varia de acordo com a seção ensaiada.

$$\Delta h_2 = \frac{l_2}{50} \left(\frac{P_{13} - P_{14}}{\gamma} \right) \dots \dots \dots (18)$$

Onde: nesta equação 50 cm representa a distância entre as tomadas de pressão P_{13} e P_{14} e, l_2 o comprimento do trecho de saída que oscilava entre 84,0 e 88,0 cm dependendo da seção de entrada ensaiada

(b) Utilizar as perdas de cargas, Δh_1 e Δh_2 , observadas nos trechos de entradas e saídas, ajustando as mesmas aos comprimentos respectivos. Assim Δh_1 é calculado:

$$\Delta h_1 = \frac{l_1}{50} \left(\frac{P_2 - P_3}{\gamma} \right) \dots\dots\dots (19)$$

Onde: $l_1 = 69,0$ cm é a distância entre a tomada de pressão T_2 e o centro do “T”, e 50 cm representa o comprimento do trecho entre as tomadas de pressão T_2 e T_3 .

(c) Estimar as duas perdas de carga pela fórmula universal conforme Ito e Imai (1973).

$$\Delta h_2 = f_2 * \frac{l_2}{d_2} * \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (20)$$

Onde: f_2 é o fator de atrito; l_2 é o comprimento do trecho entre a saída do “T” até tomada de pressão T_{14} , o seu valor varia de 84,0 a 88,0 cm de acordo com a seção ensaiada.

Obviamente o procedimento (b) é o mais correto porque evita estimar as perdas teoricamente. Entretanto, na análise dos resultados apresentado no próximo capítulo, os coeficientes de perdas nas junções pelos três métodos revela o grau de aproximação envolvido nos outros dois procedimentos.

5 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DOS RESULTADOS

O Apêndice A apresenta planilhas de dados de pressão observadas ao longo do duto de entrada (T_1, T_2, T_3), dos dutos de saída da junção “T” ($T_4, T_5, T_6, \dots, T_{14}$), Figura 13, e ainda, os diferenciais de pressão em torno dos dois orifícios para medir a vazão. Tais dados foram analisados para calcular Q_2, Q_3, Q_1 e Q_2/Q_1 , durante todos os ensaios realizados para as mesmas combinações geométricas (R_a, R_c). Os números destes ensaios variam entre 15 e 18 para cobrir a faixa de Q_2/Q_1 entre 0 e 1.

Além dos dados de vazão, cada planilha referente a um ensaio qualquer apresenta os cálculos de perdas de carga na junção ($h_{12a}, h_{12b}, h_{12c}$), de acordo com as formas discutidas no item 4.4 (a, b e c), e adimensionalizadas com base na carga cinética no duto de entrada ($K_{12a}, K_{12b}, K_{12c}$).

Apresenta-se a seguir, de forma gráfica, os resultados sobre coeficientes de perda de carga e variação de pressão ao longo dos dutos.

5.1 – Coeficientes de Perdas de carga na Junção – Influência da Razão de Áreas

Com as dimensões da junção “T” tanto do duto de chegada quanto dos tubos de saídas, foram realizados seis ensaios para quatro raios de curvatura ($R_c = 0,5, 0,2, 0,1$ e 0).



Foram repetidos os dois primeiros valores de R_c relacionados, com o intuito de verificar a repetitibilidade do procedimento experimental.

Conforme se verifica das tabelas constantes do Apêndice A, os escoamentos no duto de chegada eram sempre turbulento com o número de Reynolds variando entre $5 \cdot 10^4$ e $1,5 \cdot 10^5$. Entretanto, nos dutos de saídas, o escoamento apresenta números de Reynolds menores ficando entre 2.000 e $5 \cdot 10^4$.

5.1.1 – Ensaios com razão de área unitária ($R_a = 1$).

Figura (25 a, b e c) apresenta coeficientes adimensionais de perda de carga para diversos raios de curvatura (R_c) segundo as três formas de análises mencionadas no capítulo anterior. De maneira geral, a influência do raio de curvatura da junção é no sentido de aumentar as perdas de cargas para todas as relações de vazões de divisão Q_2/Q_1 . Observa-se que no caso do canto vivo, ($R_c=0$) o coeficiente de perda de carga é quase constante em torno de $Q_2/Q_1= 0$ até 0,4 após o qual começa a aumentar de forma exponencial. Reduzindo-se os raios de curvatura ($R_c<0,5$), verifica-se que o aumento da perda de carga ocorre para Q_2/Q_1 de forma crescente. Na realidade, para o maior R_c ensaiado o coeficiente de perda de carga diminui atingindo um mínimo em torno de 0,4 da divisão igual de vazão ($Q_2/Q_1= 0,5$). Os valores do coeficiente de perda de carga em $Q_2/Q_1= 0$ se situam na faixa de 0,5 e 0,6 para diferentes raios de curvatura. A comparação entre as curvas constantes da Figura 25 revelam comportamento similar para diferentes formas do cálculo do coeficiente de perda de carga (a, b e c) do item 4.4.

O comportamento do coeficiente de perda de carga acima, para o caso bidimensional, enquanto apresenta a mesma influência dos raios de curvatura, é

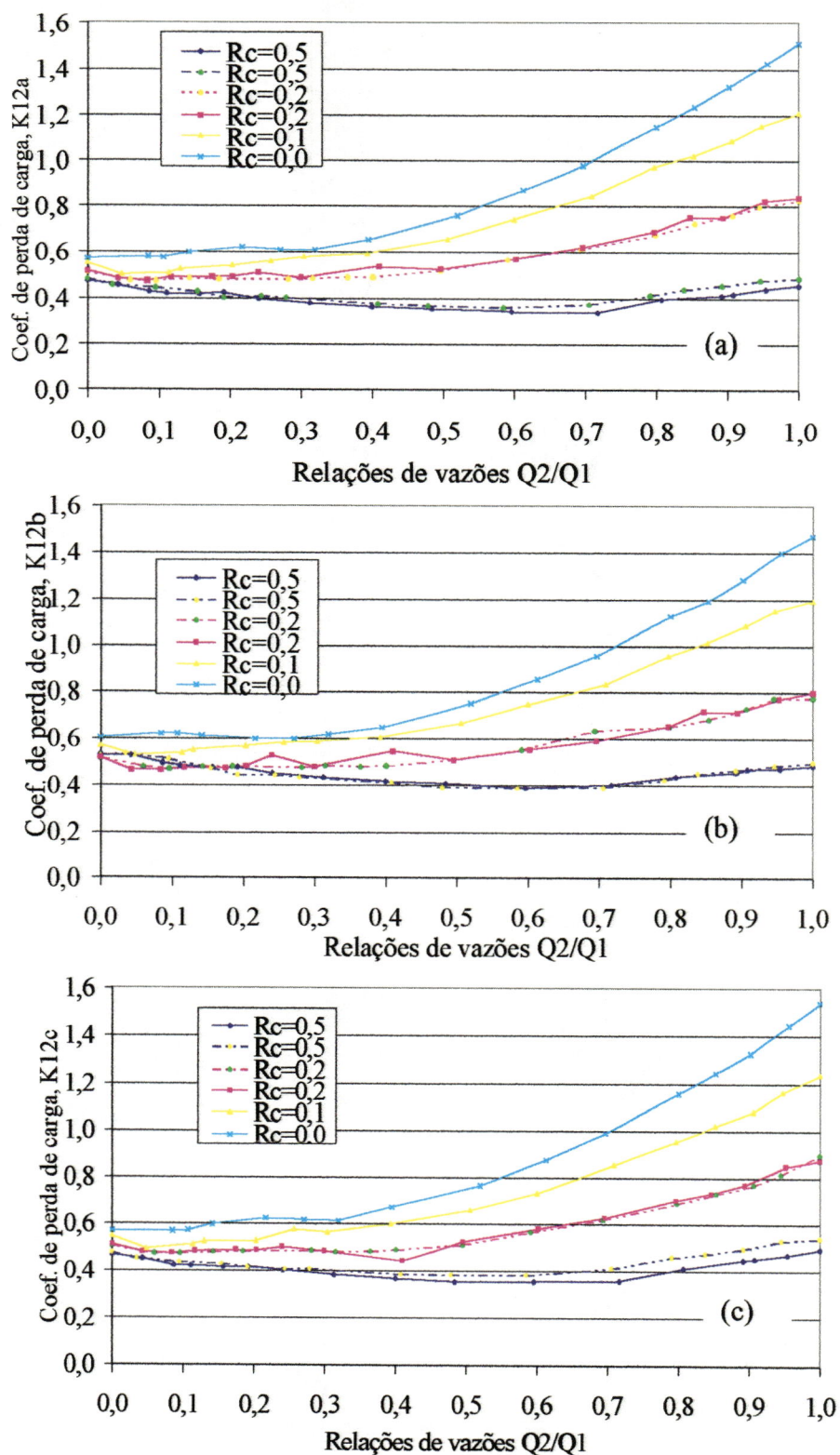


FIGURA 25- Coeficiente de perda de carga adimensional para razão de áreas $R_a = 1$ e, diferentes raios de curvatura

completamente diferente daquele apresentado por Ito e Imai (1973) com relação a divisão de vazão para a junção “T” em tubos circulares com $R_a = 1$, Figura 6. O coeficiente de perda de carga mesmo para o caso de canto vivo ($R_c = 0$) através de um “T” em tubos circulares é diferenciado aumentando a medida que Q_2/Q_1 aumenta de zero tendendo a um valor constante para $Q_2/Q_1 = 1,0$. Para raios de curvatura maiores que zero ($R_c > 0$), Ito e Imai (1973) observaram grandes variações de perda de carga nas proximidades de $Q_2/Q_1 = 0$ e $Q_2/Q_1 = 1,0$ (Figura 6).

A comparação acima mostra que este comportamento de grande oscilação no coeficiente de perda de carga em relação a variação de vazão (Q_2/Q_1) é fenômeno particular dos dutos circulares já que a variação do coeficiente de perda de carga no caso bidimensional é bem suave.

5.1.2 – Ensaio com razão de área ($R_a = 0,5$)

A variação dos coeficientes adimensionais de perda de cargas através de bifurcação (“T”) para razão de área dos dutos de chegadas e saídas, $R_a = 0,5$, e vários raios de curvatura são apresentados na Figura 26, dependendo das análises referidas anteriormente. O efeito do raio de curvatura sobre os coeficientes de perda de carga neste caso não é tão significativo quanto para $R_a = 1$, observados no item anterior. Verifica-se, para esta relação de áreas, que os coeficientes de perda pouco variam com as relações de vazões Q_2/Q_1 . Particularmente, no caso de maior curvatura ($R_c = 0,5$), o coeficiente de perda de carga é constante em torno de 0,6 para qualquer divisão entre os dois lados das bifurcações. No caso de canto vivo tem-se um pequeno crescimento de perda de carga com o aumento de Q_2/Q_1 , e tais observações se confirmam para todas as formas de análises de perda de carga.

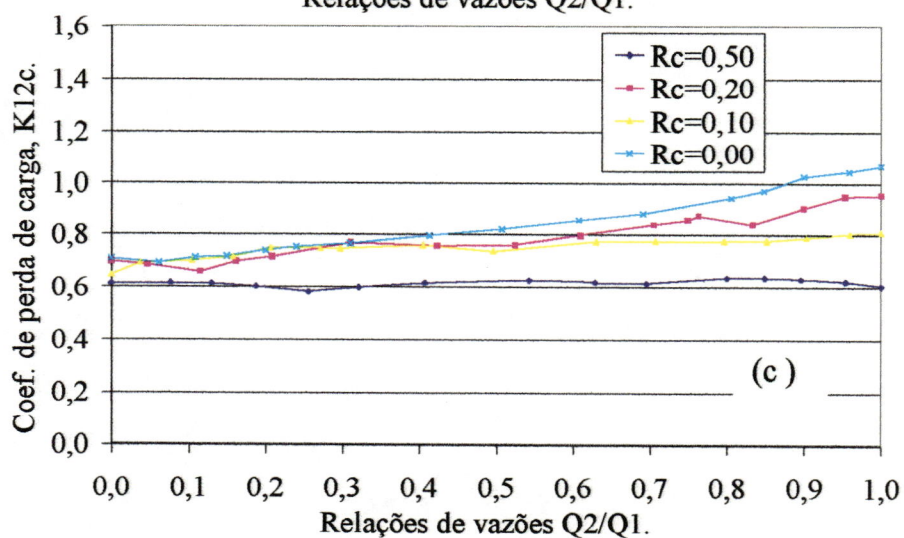
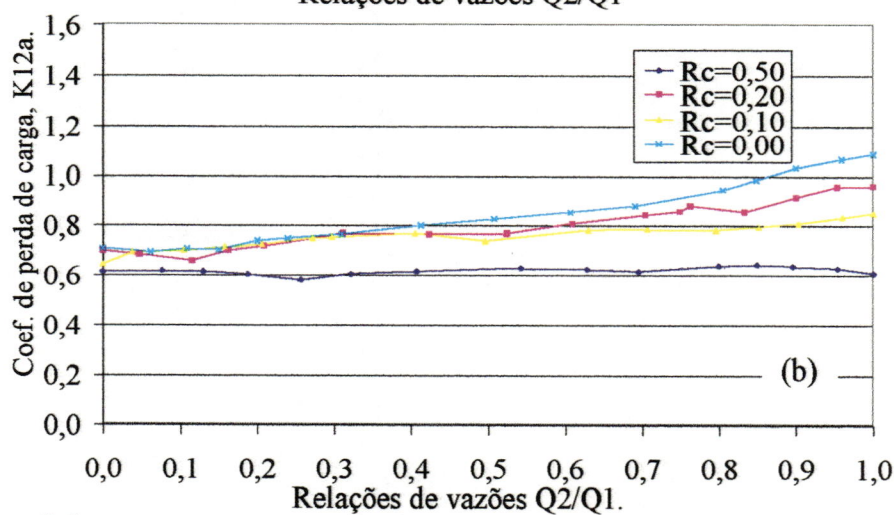
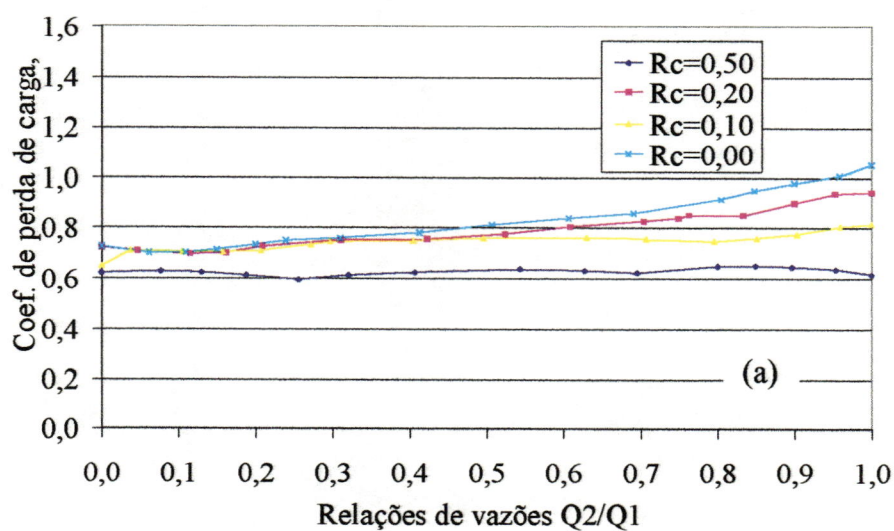


FIGURA 26- Coeficiente de perda de carga adimensional para razão de áreas

$R_a = 0,5$ e, diferentes raios de curvatura R_c .

Ressalta-se, ainda, que no caso atual ($R_a = 0,5$) os valores de perda de carga para fluxo dirigido para um lado da bifurcação ($Q_2/Q_1 = 0$), se situam na faixa de 0,6 e 0,7, pouco superiores aos observados anteriormente ($R_a=1$).

5.1.3 – Ensaios com razão de área ($R_a = 0,2$).

Neste ensaio com duto de chegada a junção “T”, de dimensões muito menor que o duto de saída ($R_a = 0,2$), sendo apresentado na Figura 27, os coeficientes de perda de carga, enquanto, não variam com a relações de vazões (Q_2/Q_1), apresentam valores significativamente maiores que as relações de áreas discutidas acima, particularmente para baixos valores de Q_2/Q_1 .

Vê-se, ainda, que a faixa do coeficiente de 1,1 a 1,3 para desvio completo da vazão para um lado da junção, é bem superior às observadas para as áreas das seções de entrada e saídas mais próximas. O efeito de raio de curvatura é no sentido de diminuir as perdas de carga.

5.2 Coeficiente de Perda de carga na junção – Influência do Raio de Curvatura.

5.2.1 – Junção em canto vivo ($R_c = 0$).

Os resultados sobre perda de carga correspondentes ao ensaio com junção em canto vivo, são apresentados na Figura 28 para diferentes razões de áreas e formas de análises. Observa-se que, a medida que a seção de chegada diminui o coeficiente de perda de carga na junção tende a apresentar variação reduzida para diferentes relações de vazões Q_2/Q_1 . Por exemplo, a diferença entre o coeficiente de perda de carga para $R_a = 1$ com nenhuma vazão de chegada dirigida para o lado 2 ($Q_2/Q_1 = 0$;

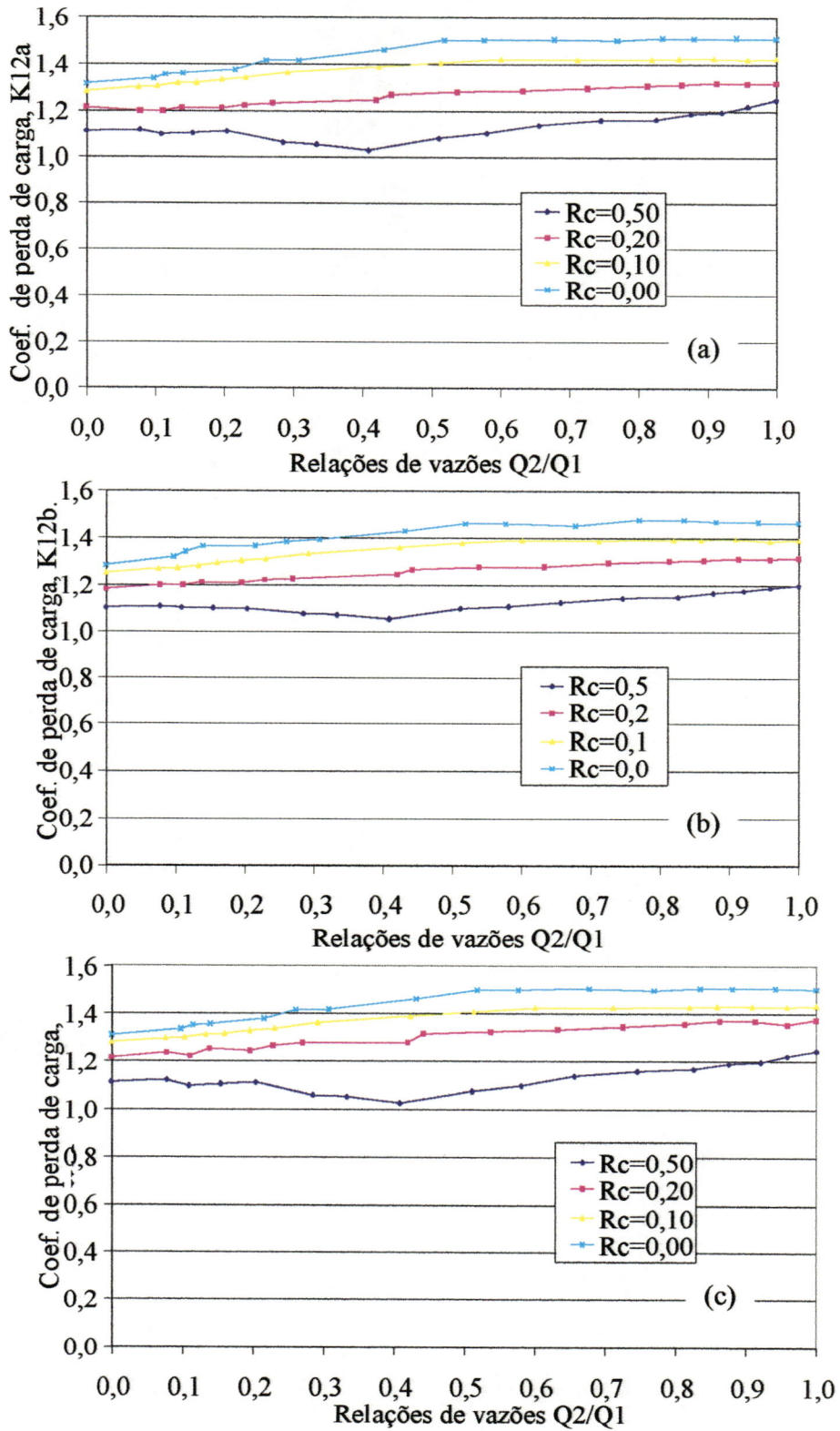


FIGURA 27- Coeficiente de perda de carga adimensional para razão de áreas

$R_a = 0,2$ e, diferentes raios de curvatura

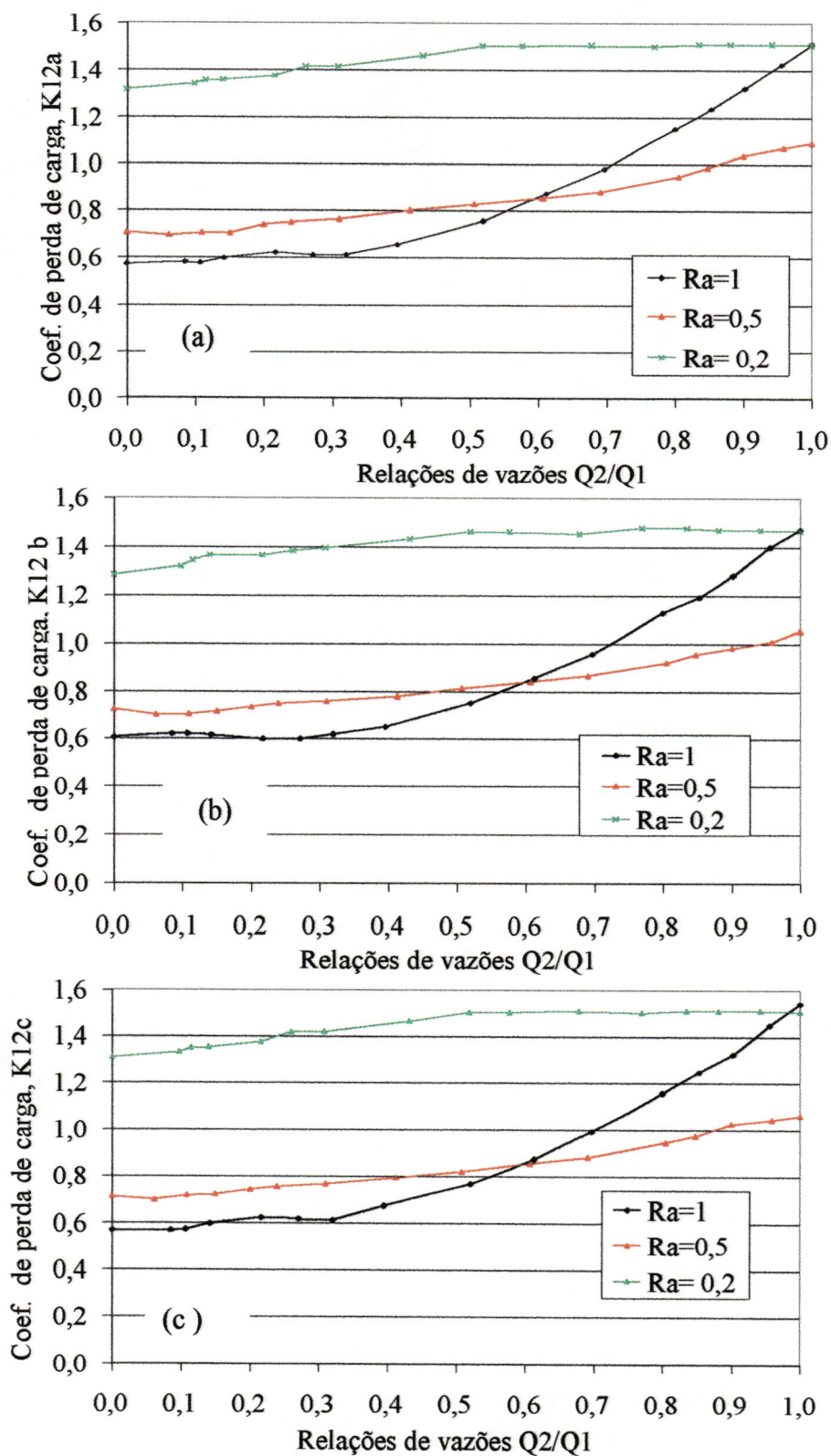


FIGURA 28- Coeficiente de perda de carga adimensional para mesmos raios de curvatura ($R_c=0$), e diferentes razões de áreas (R_a)

$K_{12} \cong 0,6$) e quando toda a vazão é dirigida para este lado ($Q_2/Q_1 = 1$; $K_{12} \cong 1,5$) é de 0,9, enquanto que, esta diferença se reduz para apenas 0,3 para $R_a = 0,5$ e, para apenas 0,2 no caso no caso de $R_a = 0,2$ em que as áreas são as mais dissimilares (1/5)

Aparentemente a perturbação provocada pelo escoamento de chegada quando da dimensão reduzida do jato não depende muito da distribuição de vazão entre as duas bifurcações, já que o jato não impinge da mesma forma que ocorre quando as dimensões são de mesma ordem. Tendo em vista que tal perturbação é o mecanismo responsável pela perda de carga, verifica-se que, o valor médio do coeficiente de perda de carga sobe de aproximadamente de 1 no caso de $R_a = 1$, para 1,4 quando $R_a = 0,2$.

Mais uma vez, a forma de análises do item 4.4 (a, b e c) não influencia em muito o comportamento dos coeficientes.

5.2.2 Junção com raio de curvatura $R_c = 0,1$.

As considerações do item anterior a respeito da junção em canto vivo se verificam para o menor raio de curvatura $R_c = 0,1$, quando, a junção é abaulada, com exceção do fato que os coeficientes são levemente menores conforme-se observa na Figura 29.

5.2.3 –Junções com raios de curvatura $R_c = 0,2$ e $R_c = 0,5$.

Para junções mais suavizadas $R_c = 0,2$ e $R_c = 0,5$ Figuras 30 e 31 não há grandes variações nos coeficientes de perda de carga com as relações de vazões Q_2/Q_1 para todas as combinações de seções de chegada e saída da junção. No entanto, os valores médios dos coeficientes aumentam a medida que diminui R_a .

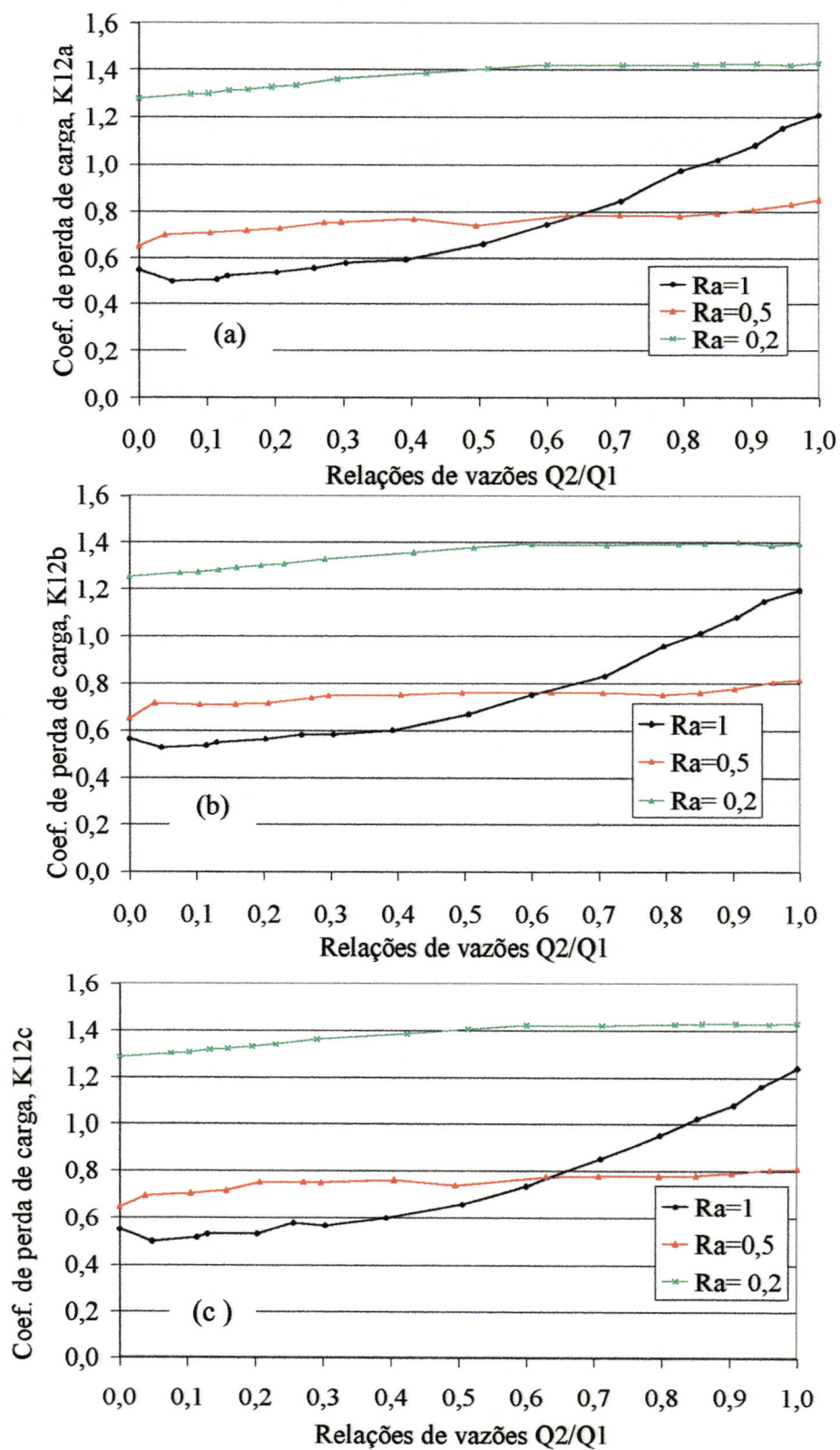


FIGURA 29 - Coeficiente de perda de carga adimensional para mesmos raios de curvatura ($R_c=0,1$), e diferentes, razões de áreas (R_a)

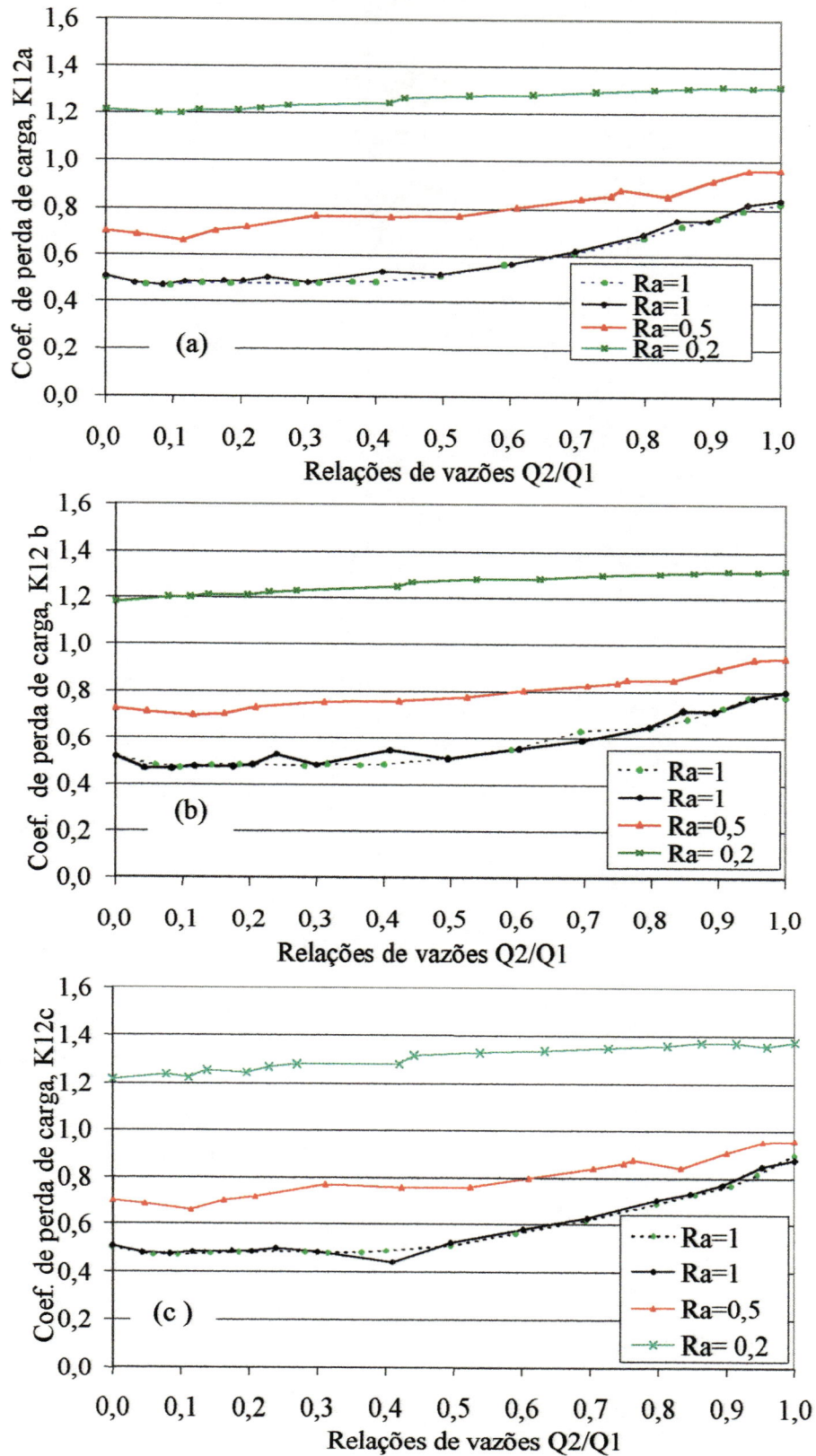


FIGURA 30- Coeficiente de perda de carga adimensional para mesmos raios de curvatura ($R_c=0,2$), e diferentes, razões de áreas (R_a)

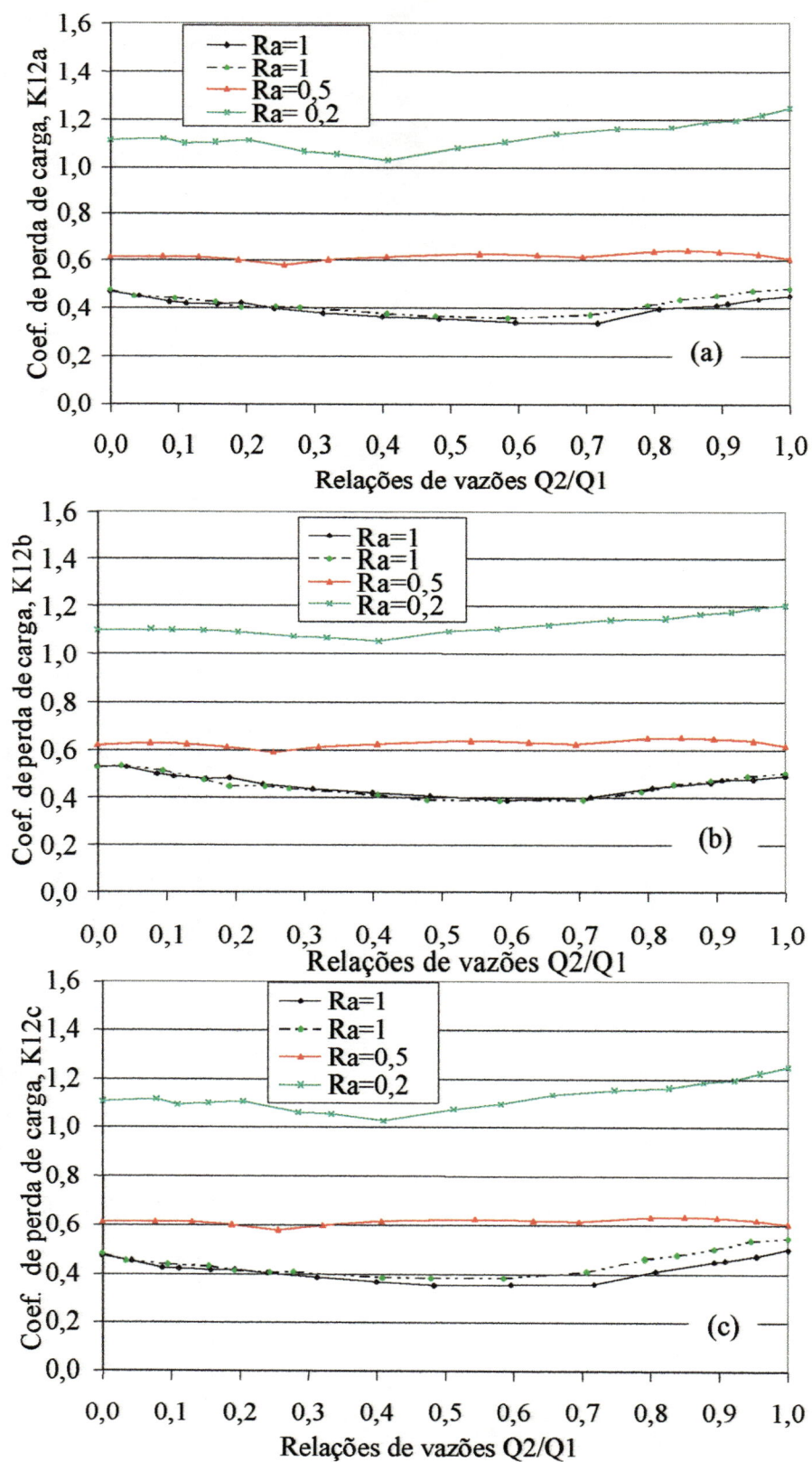


FIGURA 31- Coeficiente de perda de carga adimensional para mesmos raios de curvatura ($R_c=0,5$), e diferentes, razões de áreas (R_a)

5.3 – Distribuição de Pressão no duto de saída.

A distribuição de pressão observada ao longo das bifurcações é apresentada em forma gráfica no Apêndice “B”, sendo Figuras de 32 a 35 referentes a $R_a = 1$, Figuras de 36 a 40 referentes a $R_a = 0,5$ e Figuras de 41 a 43 referentes a $R_a = 0,2$, para diferentes raios de curvaturas.

Comparando internamente cada um destes conjuntos, vê-se que não há efeito perceptível da variação do raio de curvatura sobre a distribuição de pressão. Entretanto, a razão de área parece ter um efeito decisivo sobre as oscilações de pressão em torno do ponto de impacto do jato de chegada. A maior variação de pressão se dá de 3 a 4 $D_{equiv.}$ após a junção. Com $R_a = 0,5$ (Figura 36 a 40) observa-se que a oscilação de pressão aumentou em relação a $R_a = 1$ (Figura de 32 a 35), mas esta oscilação para $R_a = 0,2$ ficou bem amortecida (Figura de 41 a 43). Este comportamento para a vazão de chegada bem menor que a seção de saída parece ser responsável pela pouca variação dos coeficientes de perda de carga com vazões de distribuição. Afigura-se que o jato se desfaz logo após o lançamento no duto de saída, sem impingir a parede do duto.

6 – Conclusão

Conforme os objetivos traçados para o presente trabalho, os coeficientes de perda de carga da junção “T” foram determinados experimentalmente para três razões de Área ($R_a = 1, 0,1, 0,2$ e $0,5$). Podem se destacar as seguintes conclusões;

1 – O padrão de variação do coeficiente adimensional de perda de carga em função da relação de vazões de entrada e saída depende das combinações de características geométricas da junção.

2 – De maneira geral, a influência do raio de curvatura é no sentido de aumentar as perdas de carga para todas as relações de vazões. Entretanto, o padrão de variação em função das relações de vazões é diferenciado dependendo do raio de curvatura e relações de áreas. Especificamente no caso das junções entre dutos desiguais ($R_a \geq 0,5$), o coeficiente de perda de carga cresce a medida que a parcela da vazão desviada se aproxima da vazão de entrada ($Q_2/Q_1 > 0,5$), particularmente nas junções com menores raios de curvatura.

3 – Da mesma forma para raios de curvaturas maiores ou relações de áreas menores que $0,5$, o coeficiente de perda de carga praticamente independe das relações de vazão.

4 – A falta de sensibilidade dos coeficientes de perda de carga em relação a distribuição de vazão no caso de dutos de chegada relativamente menores é resultado

do jato incidente se atenuar logo após entrada no duto de saída sem a possibilidade de impactar na parede.

5 – A distribuição de pressão produzida na parede pelo impingimento do jato no duto de chegada independe dos raios de curvatura da junção. No entanto, esta distribuição é afetada pela relação de áreas dos dutos sendo pouco marcante para jatos de chegadas com dimensões reduzidas.

Tendo em vista o potencial de visualização do escoamento bidimensional durante a divisão de vazões, é recomendável que se realizem ensaios desta natureza com equipamento adequado, tal como, PIV (velocímetro de imagem por partículas) para revelar as reais condições de distribuição de velocidades, com intuito de desvendar alguns fenômenos observados do escoamento apresentados por meio de medidas de pressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MCNOWN, J. S., (1954). "Mechanics of manifold flow". *Transactions, ASCE*. vol 79, pp 1103-1142.

MCNOWN, J. S.; HSU, E. Y. (1950). "Application of Conformal Mapping to Divided Flow". *The first Midwestern Conference on fluid Dinamics*. At the University Illinois (1951). Pp 143 – 155.

NORMA DIN "Para medidores de vazão do tipo de orifício". Tradução Prof. Vieira, R.C. *Serviço de publicações da EESC-USP, São Carlos- SP*

IWANAMI, S., SUU, T. E KATO, H (1969). "Study and flow characteristics in Right-Angle Pipe Fittings (1° Report, On Case of Water Flow)". *Bulletings JSME*. Vol 12, nº 53, pp 1951-1961.

IWANAMI, S. E SUU, T. (1969). "Study and flow characteristics in Right- Angle Pipe Fitlings (2° Report, On Case of Slurries in Hold up Flow) ". *Bulletings JSME*. Vol 12, nº 53, pp 1951-1961.

JAMILSON, D. K. E VILLEMONT J.R. (1969). "Junction Losses in Laminar and Transition Flows". *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, Vol 97, pp 1045 –1063.

WILLIAMSON, J. V. E RHONE, T. J. (1973). "Dividing Flow in Branches and Wyes". *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, vol 99, pp 747-769.

ITO, H. E IMAI, K. (1973). "Energy losses at 90 Pipe Junctions". *Journal of Hydraulic division, ASCE*, Vol 99, pp 1353-1368.

RHONE, T. (1973). "General Considerations of Flow in Branching Conduits". *Journal of Hydraulics Division, ASCE*, pp 205 - 214.

WILLIAMSON, J. V. (1973). "Combining Flow in Branches and Wyes", *Journal of Hydraulic Division, Asce*. pp 215 - 226.

KAWASHIM, Y. E NAKAGAWA, M. E IUCHI, S. (1982). "The flow pattern and energy loss at a two-dimensional, right-angle, T-shaped confluence". *International Chemical Engineering*. vol 22, pp 74-81.

SERRE, M., ODGARD, A. J.E ELDER, R. A. (1994). "Energy loss at combining pipe junction". *Journal of Hydraulic Engineering*. vol 120.

APÊNDICE – A

TABELA 1 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área
Ra = 1,0 e raio de curvatura Rc=0,5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	Início																	
Var. P						mm H ₂ O												
Q2	l/s	0,000	0,138	0,291	0,380	0,560	0,706	0,930	1,295	1,810	1,908	2,001	2,061	2,089	2,107	2,118	2,129	2,134
						mm Hg												
Var. P						mm H ₂ O												
Q3	l/s	973	970,0	946,0	931,0	912,0	893,0	863,0	815,0	741,0	415,0	183,0	888,00	332,0	86,0	60,0	14,0	0,0
		3,106	3,101	3,063	3,039	3,008	2,977	2,926	2,845	2,713	2,035	1,355	0,813	0,499	0,255	0,213	0,104	0,000
Q1	l/s	3,106	3,239	3,354	3,419	3,568	3,683	3,856	4,139	4,523	3,943	3,356	2,874	2,587	2,362	2,331	2,233	2,134
		644	648	554	472	394	380	368	380	316	330	382	417	440	449	432	485	523
Q2/Q1		0,000	0,043	0,087	0,111	0,157	0,192	0,241	0,313	0,400	0,484	0,596	0,717	0,807	0,892	0,908	0,954	1,000
T1	mm.c.a	1692,0	1688,0	1587,0	1512,0	1434,0	1427,0	1415,0	1425,0	1358,0	1365,0	1416,0	1457,0	1484,0	1496,0	1481,0	1543,0	1587,0
T2	mm.c.a	1464,0	1446,0	1322,0	1235,0	1137,0	1114,0	1074,0	1033,0	901,0	1004,0	1143,0	1237,0	1305,0	1347,0	1332,0	1407,0	1459,0
T3	mm.c.a	1371,0	1350,0	1219,0	1127,0	1019,0	988,0	938,0	880,0	722,0	862,0	1034,0	1157,0	1234,0	1287,0	1274,0	1351,0	1407,0
T4	mm.c.a	998,0	1016,0	918,0	843,0	766,0	762,0	756,0	766,0	715,0	925,0	1135,0	1256,0	1323,0	1365,0	1348,0	1429,0	1466,0
T5	mm.c.a	1127,0	1121,0	1021,0	942,0	862,0	857,0	848,0	853,0	791,0	971,0	1158,0	1266,0	1326,0	1366,0	1350,0	1431,0	1467,0
T6	mm.c.a	1157,0	1151,0	1049,0	970,0	889,0	883,0	870,0	875,0	812,0	982,0	1163,0	1267,0	1325,0	1366,0	1350,0	1431,0	1467,0
T7	mm.c.a	1185,0	1176,0	1072,0	995,0	912,0	902,0	885,0	883,0	810,0	980,0	1160,0	1265,0	1325,0	1365,0	1348,0	1430,0	1467,0
T8	mm.c.a	1306,0	1293,0	1186,0	1109,0	1023,0	1008,0	978,0	953,0	886,0	964,0	1122,0	1232,0	1305,0	1355,0	1335,0	1417,0	1467,0
T9	mm.c.a	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
T10	mm.c.a	1496,0	1483,0	1365,0	1276,0	1174,0	1146,0	1101,0	1040,0	873,0	950,0	1078,0	1163,0	1210,0	1231,0	1218,0	1283,0	1333,0
T11	mm.c.a	1496,0	1488,0	1375,0	1289,0	1194,0	1169,0	1133,0	1091,0	935,0	981,0	1070,0	1133,0	1172,0	1196,0	1180,0	1247,0	1293,0
T12	mm.c.a	1496,0	1488,0	1377,0	1291,0	1195,0	1169,0	1133,0	1091,0	934,0	979,0	1061,0	1120,0	1157,0	1180,0	1163,0	1230,0	1276,0
T13	mm.c.a	1496,0	1488,0	1377,0	1292,0	1196,0	1169,0	1134,0	1089,0	931,0	975,0	1058,0	1113,0	1148,0	1174,0	1155,0	1222,0	1268,0
T14	mm.c.a	1496,0	1488,0	1376,0	1289,0	1191,0	1163,0	1119,0	1064,0	888,0	930,0	1005,0	1057,0	1092,0	1115,0	1096,0	1163,0	1208,0

TABELA 2 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área
 $Ra = 1,0$ e raio de curvatura $Rc=0,5$

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Q1	L/s	3,106	3,239	3,354	3,419	3,568	3,683	3,856	4,139	4,523	3,943	3,356	2,874	2,587	2,362	2,331	2,233	2,134
V1	m/s	2,588	2,699	2,795	2,849	2,973	3,069	3,214	3,449	3,769	3,286	2,797	2,395	2,156	1,969	1,942	1,861	1,779
T2+V1 ² /2/g	mm	1161,5	1169,3	1166,1	1176,8	1193,6	1214,0	1232,4	1259,4	1309,2	1224,2	1159,7	1112,3	1101,9	1095,5	1092,3	1098,5	1097,2
Rey * E+04		7,8	8,1	8,4	8,5	8,9	9,2	9,6	10,3	11,3	9,9	8,4	7,2	6,5	5,9	5,8	5,6	5,3
f1		0,0189	0,0187	0,0186	0,0185	0,0183	0,0181	0,0179	0,0176	0,0172	0,0178	0,0186	0,0193	0,0198	0,0203	0,0203	0,0206	0,0208
h1 teor	mm	148,7	160,0	170,0	175,9	189,5	200,3	217,1	245,7	287,0	225,7	170,3	129,8	108,0	92,1	90,0	83,4	77,1
h1 exp	mm	128,3	132,5	142,1	149,0	162,8	173,9	187,7	211,1	247,0	196,0	150,4	110,4	98,0	82,8	80,0	77,3	71,8
Q2	L/s	0,000	0,138	0,291	0,380	0,560	0,706	0,930	1,295	1,810	1,908	2,001	2,061	2,089	2,107	2,118	2,129	2,134
V2	m/s	0,000	0,115	0,242	0,317	0,467	0,588	0,775	1,079	1,508	1,590	1,668	1,717	1,740	1,756	1,765	1,774	1,779
T14+V2 ² /2/g	mm	852,0	840,7	825,0	822,1	808,1	800,6	781,6	743,3	688,0	728,8	764,7	790,3	806,4	823,2	822,7	838,5	846,2
Rey * E+04		0,0	0,3	0,7	1,0	1,4	1,8	2,3	3,2	4,5	4,8	5,0	5,2	5,2	5,3	5,3	5,3	5,3
f2		0,0000	0,0412	0,0342	0,0320	0,0290	0,0274	0,0256	0,0236	0,0217	0,0214	0,0211	0,0210	0,0209	0,0209	0,0208	0,0208	0,0208
h2 teor	mm	0,0	0,8	2,9	4,6	9,0	13,5	21,9	39,1	70,4	77,1	83,9	88,3	90,4	91,8	92,6	93,5	93,9
h 2 exp	mm	0,0	0,0	1,7	5,0	8,4	10,1	25,2	42,0	72,2	75,6	89,0	94,1	94,1	99,1	99,1	99,1	100,8
Q3	L/s	3,106	3,101	3,063	3,039	3,008	2,977	2,926	2,845	2,713	2,035	1,355	0,813	0,499	0,255	0,213	0,104	0,000
Q2/Q1		0,000	0,043	0,087	0,111	0,157	0,192	0,241	0,313	0,400	0,484	0,596	0,717	0,807	0,892	0,908	0,954	1,000
h12a	mm	160,8	168,7	169,4	173,7	187,6	203,0	208,5	228,3	262,0	194,1	135,7	98,1	93,5	81,1	80,5	77,4	73,1
h12b	mm	181,1	196,2	197,3	200,6	214,3	229,4	237,9	262,9	302,0	223,8	155,6	117,5	103,5	90,4	90,4	83,6	78,4
h12c	mm	160,8	167,9	168,2	174,2	187,0	199,5	211,7	231,2	263,9	192,6	140,9	103,9	97,2	88,5	87,1	83,1	80,0
K12a		0,471	0,454	0,426	0,420	0,416	0,423	0,396	0,377	0,362	0,353	0,340	0,336	0,395	0,411	0,419	0,439	0,453
K12b		0,530	0,528	0,496	0,485	0,475	0,478	0,452	0,434	0,417	0,407	0,390	0,402	0,437	0,458	0,470	0,474	0,486
K12c		0,471	0,452	0,423	0,421	0,415	0,416	0,402	0,381	0,364	0,350	0,353	0,355	0,410	0,448	0,453	0,471	0,496

TABELA 3 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra = 1,0 e raio de curvatura Rc=0,50. Segundo ensaio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Var. P	0,0	2,0	16,0	45,0	73,0	130,0	178,5	341,0	365,0	399,0	413,5	423,0	428,0	439,0	444,0	448,0	
Q2	L/s	0,000	0,112	0,323	0,548	0,701	0,941	1,106	1,539	1,593	1,667	1,698	1,717	1,728	1,750	1,760	1,768
Var. P																	
Q3	L/s	3,090	3,114	3,087	2,990	2,960	2,912	2,865	2,332	1,732	1,180	0,707	0,454	0,335	0,212	0,100	0,000
Q1	l/s	3,090	3,226	3,410	3,538	3,661	3,853	3,971	3,771	3,325	2,847	2,405	2,171	2,063	1,962	1,860	1,768
Q2/Q1																	
T1	mm.c.a	1706,0	1694,0	1635,0	1554,0	1497,0	1429,0	1449,0	1415,0	1439,0	1464,0	1488,0	1504,0	1504,0	1499,0	1538,0	1571,0
T2	mm.c.a	1467,0	1452,0	1388,0	1244,0	1158,0	1071,0	1054,0	1057,0	1152,0	1245,0	1322,0	1364,0	1376,0	1383,0	1431,0	1471,0
T3	mm.c.a	1372,0	1358,0	1281,0	1124,0	1029,0	929,0	902,0	919,0	1038,0	1159,0	1256,0	1308,0	1325,0	1336,0	1388,0	1432,0
T4	mm.c.a	1012,0	1005,0	951,0	864,0	797,0	741,0	701,0	907,0	1076,0	1224,0	1321,0	1371,0	1384,0	1390,0	1436,0	1475,0
T5	mm.c.a	1120,0	1116,0	1070,0	965,0	896,0	838,0	842,0	966,0	1112,0	1245,0	1329,0	1374,0	1386,0	1392,0	1437,0	1474,0
T6	mm.c.a	1152,0	1146,0	1099,0	991,0	922,0	861,0	866,0	978,0	1120,0	1248,0	1331,0	1375,0	1386,0	1393,0	1438,0	1474,0
T7	mm.c.a	1180,0	1175,0	1124,0	981,0	992,0	881,0	877,0	981,0	1119,0	1246,0	1330,0	1374,0	1384,0	1392,0	1438,0	1474,0
T8	mm.c.a	1306,0	1298,0	1241,0	1130,0	1055,0	976,0	966,0	1000,0	1112,0	1220,0	1308,0	1356,0	1372,0	1383,0	1434,0	1473,0
T9	mm.c.a	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
T10	mm.c.a	1496,0	1494,0	1428,0	1293,0	1159,0	1095,0	1062,0	1029,0	1095,0	1188,0	1254,0	1286,0	1295,0	1294,0	1333,0	1370,0
T11	mm.c.a	1496,0	1494,0	1436,0	1296,0	1217,0	1126,0	1105,0	1061,0	1123,0	1186,0	1239,0	1265,0	1272,0	1270,0	1314,0	1351,0
T12	mm.c.a	1496,0	1494,0	1438,0	1297,0	1218,0	1127,0	1104,0	1058,0	1120,0	1179,0	1230,0	1254,0	1261,0	1259,0	1301,0	1339,0
T13	mm.c.a	1496,0	1494,0	1438,0	1297,0	1218,0	1126,0	1103,0	1056,0	1118,0	1176,0	1225,0	1249,0	1254,0	1253,0	1295,0	1332,0
T14	mm.c.a	1496,0	1494,0	1438,0	1291,0	1207,0	1113,0	1084,0	1022,0	1081,0	1136,0	1183,0	1206,0	1212,0	1210,0	1251,0	1288,0



TABELA 4 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área
 $Ra = 1,0$ e raio de curvatura $Rc=0,50$. Segundo ensaio

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q1		3,090	3,226	3,410	3,538	3,661	3,853	3,971	3,771	3,325	2,847	2,405	2,171	2,063	1,962	1,860	1,768
$V1=Q1*5/6$	l/s	2,575	2,688	2,842	2,948	3,051	3,211	3,309	3,142	2,771	2,373	2,004	1,810	1,719	1,635	1,550	1,474
$T2+V1^2/2/g$	mm	1073,0	1108,3	1116,7	1116,0	1110,4	1123,5	1144,2	1117,2	1063,3	1021,9	986,7	974,9	969,6	967,2	967,5	966,7
Rey * E+04		7,7	8,1	8,5	8,8	9,2	9,6	9,9	9,4	8,3	7,1	6,0	5,4	5,2	4,9	4,7	4,4
f1		0,0190	0,0188	0,0185	0,0183	0,0182	0,0179	0,0178	0,0180	0,0186	0,0193	0,0202	0,0207	0,0210	0,0212	0,0215	0,0218
h1 teor	mm	147,3	158,9	175,1	186,7	198,2	216,8	228,6	208,7	167,5	127,7	95,0	79,5	72,6	66,5	60,6	55,5
h1 exp	mm	131,1	129,7	147,7	165,6	178,0	196,0	209,8	190,4	157,3	118,7	91,1	77,3	70,4	64,9	59,3	53,8
Q2	L/s	0,000	0,112	0,323	0,548	0,701	0,941	1,106	1,539	1,593	1,667	1,698	1,717	1,728	1,750	1,760	1,768
$V2=Q2*5/6$	m/s	0,000	0,093	0,270	0,457	0,584	0,784	0,922	1,282	1,327	1,389	1,415	1,431	1,440	1,458	1,467	1,474
$T14+V2^2/2/g$	mm	764,0	782,4	758,7	730,6	702,4	671,3	659,3	662,8	690,8	724,3	745,0	754,4	760,6	766,4	774,7	783,7
Rey * E+04		0,0	0,3	0,8	1,4	1,8	2,4	2,8	3,8	4,0	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4
f2		0,0000	0,0434	0,0333	0,0292	0,0275	0,0255	0,0245	0,0226	0,0224	0,0221	0,0220	0,0220	0,0219	0,0218	0,0218	0,0218
h2 teor	mm	0,0	0,5	3,5	8,7	13,4	22,4	29,7	52,9	56,3	60,9	62,9	64,2	64,8	66,3	67,0	67,5
h 2 exp	mm	0,0	0,0	0,0	10,1	18,5	21,8	31,9	57,1	62,2	67,2	70,6	72,2	70,6	72,2	73,9	73,9
Q3	L/s	3,090	3,114	3,087	2,990	2,960	2,912	2,865	2,232	1,732	1,180	0,707	0,454	0,335	0,212	0,100	0,000
Q2/Q1		0,000	0,035	0,095	0,155	0,192	0,244	0,279	0,408	0,479	0,585	0,706	0,791	0,838	0,892	0,946	1,000
h12a	mm	161,6	167,0	182,9	188,6	191,3	213,5	224,4	188,6	142,9	102,7	76,1	68,8	65,8	62,0	58,3	53,6
h12b	mm	177,9	196,2	210,3	209,7	211,5	234,4	243,3	206,9	153,0	111,7	80,0	71,0	68,0	63,7	59,5	55,3
h12c	mm	161,6	166,5	179,4	190,0	196,4	213,0	226,6	192,8	148,8	109,0	83,8	76,9	71,5	68,0	65,2	60,0
K12a		0,478	0,453	0,444	0,426	0,403	0,406	0,402	0,375	0,365	0,358	0,372	0,412	0,437	0,455	0,476	0,484
K12b		0,526	0,533	0,511	0,473	0,446	0,446	0,436	0,411	0,391	0,389	0,391	0,425	0,452	0,468	0,486	0,499
K12c		0,478	0,452	0,436	0,429	0,414	0,405	0,406	0,383	0,380	0,380	0,409	0,461	0,475	0,499	0,532	0,542

TABELA. 5 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=1,0 e raio de curvatura Rc=0,20. Primeiro ensaio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Início																		
Q2	L/s	0,000	0,196	0,323	0,496	0,671	1,123	1,305	1,575	1,786	1,904	1,925	1,974	2,012	2,008	2,022	2,045	
Q3	L/s	3,114	3,068	3,037	2,983	2,967	2,867	2,820	2,742	2,671	1,938	1,333	0,509	0,343	0,208	0,117	0,000	
Q1	l/s	3,114	3,264	3,361	3,479	3,638	3,990	4,126	4,317	4,457	3,842	3,258	2,846	2,521	2,351	2,230	2,145	
Q2/Q1																		
T1	mm.c.a	1656,0	1640,0	1510,0	1440,0	1548,0	1429,0	1411,0	1375,0	1356,0	1399,0	1444,0	1474,0	1503,0	1509,0	1508,0	1515,0	1549,0
T2	mm.c.a	1417,0	1372,0	1228,0	1139,0	1224,0	1043,0	997,0	928,0	880,0	1036,0	1175,0	1254,0	1324,0	1350,0	1364,0	1380,0	1426,0
T3	mm.c.a	1311,0	1256,0	1104,0	1007,0	1083,0	875,0	821,0	733,0	676,0	877,0	1054,0	1166,0	1245,0	1278,0	1300,0	1321,0	1369,0
T4	mm.c.a	875,0	861,0	726,0	654,0	758,0	635,0	616,0	586,0	572,0	884,0	1105,0	1226,0	1318,0	1298,0	1365,0	1383,0	1424,0
T5	mm.c.a	976,0	957,0	822,0	746,0	872,0	721,0	699,0	665,0	644,0	924,0	1127,0	1236,0	1321,0	1300,0	1367,0	1383,0	1424,0
T6	mm.c.a	996,0	978,0	845,0	769,0	870,0	739,0	715,0	680,0	659,0	931,0	1132,0	1238,0	1322,0	1301,0	1367,0	1383,0	1424,0
T7	mm.c.a	990,0	975,0	846,0	771,0	868,0	733,0	707,0	669,0	646,0	922,0	1126,0	1237,0	1321,0	1300,0	1365,0	1383,0	1424,0
T8	mm.c.a	1001,0	980,0	858,0	784,0	879,0	709,0	669,0	612,0	575,0	848,0	1064,0	1192,0	1299,0	1334,0	1354,0	1377,0	1424,0
T9	mm.c.a	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
T10	mm.c.a	1437,0	1391,0	1239,0	1145,0	1226,0	995,0	927,0	814,0	724,0	844,0	971,0	1046,0	1119,0	1144,0	1155,0	1166,0	1204,0
T11	mm.c.a	1437,0	1403,0	1259,0	1165,0	1247,0	1047,0	989,0	894,0	823,0	917,0	1017,0	1073,0	1127,0	1149,0	1157,0	1169,0	1207,0
T12	mm.c.a	1437,0	1405,0	1261,0	1167,0	1249,0	1047,0	989,0	894,0	821,0	917,0	1016,0	1070,0	1118,0	1141,0	1148,0	1160,0	1198,0
T13	mm.c.a	1437,0	1406,0	1263,0	1168,0	1250,0	1047,0	988,0	892,0	819,0	914,0	1014,0	1066,0	1115,0	1135,0	1143,0	1154,0	1193,0
T14	mm.c.a	1437,0	1405,0	1260,0	1164,0	1241,0	1026,0	964,0	860,0	776,0	869,0	967,0	1016,0	1063,0	1084,0	1091,0	1101,0	1135,0

TABELA. 6 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área Ra=1,0 e raio de curvatura Rc=0,20. Primeiro ensaio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Início																
Q1	3,114	3,264	3,361	3,479	3,638	3,990	4,126	4,317	4,457	3,842	3,258	2,846	2,521	2,351	2,230	2,145	2,045
V1	2,595	2,720	2,800	2,899	3,031	3,325	3,438	3,598	3,715	3,201	2,715	2,372	2,101	1,959	1,859	1,788	1,704
T2+V1 ² /2/g	1197,2	1196,1	1197,7	1205,4	1237,4	1276,6	1293,4	1320,7	1341,2	1242,4	1166,6	1122,8	1097,9	1085,6	1082,1	1079,9	1080,1
Rey * E+04	7,8	8,2	8,4	8,7	9,1	10,0	10,3	10,8	11,1	9,6	8,1	7,1	6,3	5,9	5,6	5,4	5,1
f1	0,0189	0,0187	0,0186	0,0184	0,0182	0,0178	0,0176	0,0174	0,0173	0,0180	0,0187	0,0193	0,0199	0,0203	0,0206	0,0208	0,0210
h1 teor	149,3	162,1	170,6	181,3	196,0	230,5	244,3	264,5	279,7	215,7	161,6	127,6	103,2	91,3	83,3	77,8	71,6
h1 exp	146,3	160,1	171,1	182,2	194,6	231,8	242,9	269,1	281,5	219,4	167,0	121,4	109,0	99,4	88,3	81,4	78,7
Q2	0,000	0,196	0,323	0,496	0,671	1,123	1,305	1,575	1,786	1,904	1,925	1,974	2,012	2,008	2,022	2,028	2,045
V2	0,000	0,163	0,270	0,413	0,559	0,936	1,088	1,313	1,489	1,587	1,604	1,645	1,676	1,674	1,685	1,690	1,704
T14+V2 ² /2/g	874,0	853,4	833,7	810,7	801,9	740,7	718,3	680,8	646,9	681,3	714,1	735,9	755,3	766,7	777,8	783,5	789,1
Rey * E+04	0,0	0,5	0,8	1,2	1,7	2,8	3,3	3,9	4,5	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,1
f2	0,0000	0,0378	0,0333	0,0299	0,0278	0,0244	0,0235	0,0224	0,0217	0,0214	0,0213	0,0212	0,0211	0,0211	0,0211	0,0211	0,0210
h2 teor	0,0	1,4	3,5	7,3	12,4	30,5	39,7	55,1	68,7	76,9	78,3	81,9	84,6	84,4	85,4	85,8	87,1
h 2 exp	0,0	1,7	5,0	6,7	15,1	35,3	40,3	53,8	72,2	75,6	79,0	84,0	87,4	85,7	87,4	89,0	97,4
Q3	3,114	3,068	3,037	2,983	2,967	2,867	2,820	2,742	2,671	1,938	1,333	0,872	0,509	0,343	0,208	0,117	0,000
Q2/Q1	0,000	0,060	0,096	0,143	0,185	0,282	0,316	0,365	0,401	0,496	0,591	0,694	0,798	0,854	0,907	0,945	1,000
h12a	173,9	178,9	188,3	206,7	224,3	270,2	290,5	321,6	342,3	269,8	212,0	175,2	152,1	141,9	133,7	129,5	122,0
h12b	176,9	180,9	187,9	205,8	225,8	268,8	291,9	317,0	340,5	266,0	206,6	181,4	146,3	133,9	128,6	125,9	114,9
h12c	173,9	179,1	189,9	206,1	227,0	274,9	291,1	320,2	345,8	268,5	212,6	177,3	154,9	143,2	135,6	132,7	132,3
K12a	0,507	0,474	0,471	0,482	0,479	0,479	0,482	0,488	0,487	0,516	0,564	0,611	0,676	0,725	0,759	0,795	0,824
K12b	0,516	0,480	0,470	0,480	0,482	0,477	0,485	0,481	0,484	0,509	0,550	0,633	0,650	0,684	0,731	0,773	0,776
K12c	0,507	0,475	0,475	0,481	0,485	0,488	0,483	0,485	0,492	0,514	0,566	0,618	0,689	0,732	0,770	0,815	0,894

TABELA 7 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=1,0 e raio de curvatura Rc=0,20. Segundo ensaio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Var. P		0,0	3,0	12,0	24,0	59,0	84,0	136,0	215,0	489,0	552,0	603,0	635,0	659,0	668,0	678,0	677,0	693,0
Q2	l/s	0,000	0,138	0,279	0,398	0,629	0,753	0,963	1,216	1,849	1,967	2,057	2,112	2,153	2,168	2,184	2,183	2,209
						mm Hg												mm H ₂ O
Var. P		977,5	956,5	937,0	917,0	887,0	869,0	834,0	814,0	711,0	401,0	185,0	1151,0	401,0	203,0	88,0	16,0	0,0
Q3	l/s	3,113	3,080	3,048	3,016	2,967	2,937	3,044	2,843	2,658	2,001	1,363	0,924	0,548	0,391	0,258	0,111	0,000
Q1	l/s	3,113	3,218	3,328	3,414	3,596	3,690	4,007	4,059	4,507	3,967	3,420	3,037	2,701	2,558	2,442	2,293	2,209
Q2/Q1		0,000	0,043	0,084	0,117	0,175	0,204	0,240	0,300	0,410	0,496	0,602	0,696	0,797	0,847	0,894	0,952	1,000
T1	mm.c.a	1716,0	1651,0	1568,0	1457,0	1452,0	1457,0	1449,0	1426,0	1357,0	1393,0	1444,0	1470,0	1503,0	1513,0	1511,0	1515,0	1558,0
T2	mm.c.a	1473,0	1384,0	1288,0	1164,0	1128,0	1115,0	1081,0	1028,0	865,0	999,0	1141,0	1220,0	1300,0	1329,0	1342,0	1361,0	1413,0
T3	mm.c.a	1366,0	1266,0	1165,0	1034,0	984,0	967,0	921,0	854,0	664,0	828,0	1009,0	1109,0	1209,0	1247,0	1266,0	1291,0	1349,0
T4	mm.c.a	921,0	865,0	769,0	664,0	653,0	656,0	649,0	624,0	554,0	876,0	1072,0	1190,0	1281,0	1328,0	1344,0	1361,0	1413,0
T5	mm.c.a	1023,0	962,0	876,0	760,0	746,0	748,0	739,0	710,0	630,0	881,0	1095,0	1201,0	1287,0	1332,0	1345,0	1362,0	1413,0
T6	mm.c.a	1046,0	984,0	900,0	784,0	770,0	770,0	758,0	731,0	648,0	883,0	1099,0	1203,0	1287,0	1331,0	1346,0	1362,0	1413,0
T7	mm.c.a	1040,0	979,0	899,0	787,0	769,0	768,0	752,0	722,0	631,0	875,0	1097,0	1200,0	1285,0	1329,0	1344,0	1361,0	1413,0
T8	mm.c.a	1051,0	988,0	910,0	801,0	777,0	772,0	742,0	692,0	601,0	848,0	1022,0	1150,0	1270,0	1312,0	1332,0	1357,0	1413,0
T9	mm.c.a	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
T10	mm.c.a	1490,0	1401,0	1299,0	1171,0	1125,0	1106,0	1049,0	969,0	696,0	794,0	910,0	986,0	1063,0	1091,0	1102,0	1112,0	1158,0
T11	mm.c.a	1491,0	1414,0	1320,0	1190,0	1148,0	1134,0	1090,0	1025,0	796,0	870,0	961,0	1014,0	1072,0	1096,0	1104,0	1115,0	1159,0
T12	mm.c.a	1491,0	1415,0	1321,0	1192,0	1150,0	1134,0	1089,0	1024,0	795,0	869,0	959,0	1008,0	1065,0	1087,0	1092,0	1103,0	1150,0
T13	mm.c.a	1491,0	1415,0	1323,0	1193,0	1151,0	1134,0	1088,0	1024,0	791,0	867,0	957,0	1005,0	1060,0	1077,0	1087,0	1097,0	1144,0
T14	mm.c.a	1491,0	1414,0	1320,0	1190,0	1144,0	1125,0	1075,0	1003,0	786,0	817,0	901,0	949,0	1001,0	1022,0	1026,0	1036,0	1081,0

TABELA 8 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área Ra=1,0 e raio de curvatura Rc=0,20. Segundo ensaio

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Q1	3,113	3,218	3,328	3,414	3,596	3,690	4,007	4,059	4,507	3,967	3,420	3,037	2,701	2,558	2,442	2,293	2,209
V1	2,594	2,681	2,773	2,845	2,996	3,075	3,339	3,382	3,756	3,306	2,850	2,531	2,250	2,132	2,035	1,911	1,841
T2+V1 ² /2/g	1163,0	1154,4	1165,0	1168,5	1183,6	1192,9	1256,2	1245,1	1299,0	1212,1	1138,0	1094,4	1066,1	1056,7	1049,1	1038,1	1035,7
Rey *E+04	7,8	8,0	8,3	8,5	9,0	9,2	10,0	10,1	11,3	9,9	8,6	7,6	6,8	6,4	6,1	5,7	5,5
f1	0,0189	0,0188	0,0186	0,0185	0,0182	0,0181	0,0178	0,0177	0,0172	0,0178	0,0185	0,0190	0,0196	0,0199	0,0201	0,0204	0,0206
h1 teor	149,3	158,1	167,7	175,4	192,1	201,0	232,1	237,5	285,2	228,2	176,0	142,9	116,4	105,9	97,6	87,4	81,9
h1 exp	147,7	162,8	169,7	179,4	198,7	204,2	220,8	240,1	277,4	236,0	182,2	153,2	125,6	113,2	104,9	96,6	88,3
Q2	0,000	0,138	0,279	0,398	0,629	0,753	0,963	1,216	1,849	1,967	2,057	2,112	2,153	2,168	2,184	2,183	2,209
V2	0,000	0,115	0,233	0,331	0,524	0,628	0,802	1,014	1,541	1,639	1,715	1,760	1,794	1,806	1,820	1,819	1,841
T14+V2 ² /2/g	838,0	818,7	807,8	787,6	756,0	741,1	714,8	689,4	622,0	609,9	633,8	654,9	673,0	684,3	690,9	695,6	703,7
Rey *E+04	0,0	0,3	0,7	1,0	1,6	1,9	2,4	3,0	4,6	4,9	5,1	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,5
f2	0,0000	0,0412	0,0346	0,0316	0,0282	0,0270	0,0254	0,0239	0,0216	0,0212	0,0210	0,0208	0,0207	0,0207	0,0207	0,0207	0,0206
h2 teor	0,0	0,8	2,7	5,0	11,1	15,2	23,3	35,1	73,0	81,4	88,0	92,2	95,3	96,4	97,7	97,6	99,7
h 2 exp	0,0	1,7	5,0	5,0	11,8	15,1	21,8	35,3	8,4	84,0	94,1	94,1	99,1	92,4	102,5	102,5	105,8
Q3	3,113	3,080	3,048	3,016	2,967	2,937	3,044	2,843	2,658	2,001	1,363	0,924	0,548	0,391	0,258	0,111	0,000
Q2/Q1	0,000	0,043	0,084	0,117	0,175	0,204	0,240	0,300	0,410	0,496	0,602	0,696	0,797	0,847	0,894	0,952	1,000
h12a	175,8	175,9	184,4	200,4	223,8	235,7	287,4	283,0	383,4	290,0	234,1	202,5	177,6	174,1	158,2	152,6	144,3
h12b	177,4	171,2	182,4	196,4	217,1	232,4	298,7	280,4	391,2	282,2	228,0	192,2	168,4	166,8	150,9	143,5	137,8
h12c	175,8	176,8	186,8	200,5	224,5	235,7	285,9	283,2	318,8	292,7	240,2	204,4	181,4	170,0	162,9	157,5	150,5
K12a	0,512	0,480	0,471	0,486	0,489	0,489	0,506	0,485	0,533	0,521	0,566	0,620	0,688	0,751	0,749	0,820	0,836
K12b	0,517	0,467	0,465	0,476	0,474	0,482	0,526	0,481	0,544	0,507	0,551	0,589	0,652	0,720	0,715	0,771	0,798
K12c	0,512	0,483	0,477	0,486	0,490	0,489	0,503	0,486	0,443	0,525	0,580	0,626	0,703	0,734	0,772	0,846	0,871

TABELA 9 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=1,0 e raio de curvatura Rc=0,10.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Q2	l/s	0,000	0,097	0,241	0,279	0,468	0,629	0,789	1,145	1,736	1,792	1,832	1,866	1,882	1,895	1,912	1,925
Q3	l/s	1,927	1,907	1,867	1,862	1,835	1,816	1,802	1,769	1,695	1,195	0,752	0,476	0,327	0,197	0,107	0,000
Q1	l/s	1,927	2,003	2,108	2,141	2,303	2,445	2,591	2,914	3,430	2,987	2,584	2,342	2,209	2,092	2,019	1,925
Q2/Q1																	
T1	mm.c.a	1600,0	1571,0	1499,0	1498,0	1505,0	1497,0	1486,0	1462,0	1436,0	1464,0	1494,0	1518,0	1532,0	1531,0	1529,0	1545,0
T2	mm.c.a	1499,0	1455,0	1375,0	1371,0	1358,0	1333,0	1306,0	1237,0	1132,0	1228,0	1305,0	1359,0	1387,0	1399,0	1405,0	1430,0
T3	mm.c.a	1454,0	1408,0	1324,0	1318,0	1298,0	1266,0	1229,0	1143,0	1007,0	1129,0	1225,0	1291,0	1327,0	1345,0	1354,0	1382,0
T4	mm.c.a	1212,0	1156,0	1138,0	1134,0	1079,0	1112,0	1090,0	1042,0	967,0	1145,0	1265,0	1340,0	1375,0	1393,0	1397,0	1272,0
T5	mm.c.a	1331,0	1247,0	1177,0	1173,0	1167,0	1150,0	1128,0	1077,0	1000,0	1163,0	1273,0	1344,0	1378,0	1394,0	1398,0	1272,0
T6	mm.c.a	1339,0	1256,0	1185,0	1181,0	1174,0	1156,0	1134,0	1083,0	1007,0	1167,0	1275,0	1345,0	1378,0	1394,0	1398,0	1272,0
T7	mm.c.a	1272,0	1241,0	1176,0	1172,0	1166,0	1146,0	1124,0	1072,0	1006,0	1161,0	1272,0	1344,0	1377,0	1394,0	1398,0	1272,0
T8	mm.c.a	1238,0	1203,0	1139,0	1138,0	1125,0	1101,0	1071,0	1005,0	906,0	1105,0	1233,0	1320,0	1363,0	1384,0	1395,0	1272,0
T9	mm.c.a	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
T10	mm.c.a	1494,0	1450,0	1362,0	1356,0	1331,0	1286,0	1238,0	1109,0	871,0	952,0	1022,0	1069,0	1094,0	1094,0	1111,0	1125,0
T11	mm.c.a	1494,0	1456,0	1371,0	1366,0	1345,0	1310,0	1270,0	1166,0	963,0	1028,0	1084,0	1123,0	1148,0	1154,0	1150,0	1173,0
T12	mm.c.a	1494,0	1457,0	1374,0	1367,0	1347,0	1310,0	1271,0	1167,0	968,0	1031,0	1087,0	1126,0	1149,0	1156,0	1153,0	1176,0
T13	mm.c.a	1494,0	1457,0	1374,0	1367,0	1347,0	1309,0	1271,0	1167,0	965,0	1030,0	1086,0	1122,0	1146,0	1154,0	1152,0	1174,0
T14	mm.c.a	1494,0	1457,0	1372,0	1365,0	1344,0	1300,0	1263,0	1147,0	925,0	990,0	1042,0	1080,0	1101,0	1109,0	1105,0	1125,0

TABELA 10 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área Ra=1,0 e raio de curvatura Rc=0,10.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q1	1,927	2,003	2,108	2,141	2,303	2,445	2,591	2,914	3,430	2,987	2,584	2,342	2,209	2,092	2,019	1,925
V1=Q1*5/6	1,606	1,670	1,757	1,784	1,919	2,038	2,159	2,428	2,859	2,489	2,153	1,952	1,841	1,743	1,682	1,604
T2+V1^2/2/g	1074,5	1069,1	1075,4	1080,3	1095,7	1109,6	1127,7	1165,6	1245,5	1188,9	1144,3	1128,2	1119,7	1112,8	1112,3	1109,1
Rey *E+04	4,8	5,0	5,3	5,4	5,8	6,1	6,5	7,3	8,6	7,5	6,5	5,9	5,5	5,2	5,0	4,8
f1	0,0213	0,0211	0,0209	0,0208	0,0204	0,0201	0,0198	0,0192	0,0185	0,0191	0,0198	0,0203	0,0206	0,0209	0,0211	0,0213
h1 teor	64,5	69,0	75,5	77,5	88,1	97,8	108,3	133,0	176,9	138,9	107,7	90,7	81,9	74,4	70,0	64,3
h1 exp	62,1	64,9	70,4	73,1	82,8	92,5	106,3	129,7	172,5	136,6	110,4	93,8	82,8	74,5	70,4	66,2
Q2	0,000	0,097	0,241	0,279	0,468	0,629	0,789	1,145	1,736	1,792	1,832	1,866	1,882	1,895	1,912	1,925
V2=Q2*5/6	0,000	0,081	0,201	0,233	0,390	0,524	0,657	0,954	1,447	1,494	1,526	1,555	1,568	1,579	1,593	1,604
T14+V2^2/2/g	938,0	929,3	917,1	914,8	901,7	879,0	869,0	821,4	728,6	748,7	763,7	778,3	786,3	795,1	797,3	804,1
Rey *E+04	0,0	0,2	0,6	0,7	1,2	1,6	2,0	2,9	4,3	4,5	4,6	4,7	4,7	4,7	4,7	4,8
f2	0,0000	0,0451	0,0359	0,0346	0,0304	0,0282	0,0267	0,0243	0,0219	0,0217	0,0216	0,0215	0,0215	0,0214	0,0214	0,0213
h2 teor	0,0	0,4	2,1	2,7	6,6	11,1	16,5	31,6	65,4	69,1	71,8	74,2	75,3	76,2	77,4	78,3
h 2 exp	0,0	0,0	3,4	3,4	5,0	15,1	13,4	33,6	67,2	67,2	73,9	70,6	75,6	75,6	79,0	82,3
Q3	1,927	1,907	1,867	1,862	1,835	1,816	1,802	1,769	1,695	1,195	0,752	0,476	0,327	0,197	0,107	0,000
Q2/Q1	0,000	0,048	0,114	0,130	0,203	0,257	0,304	0,393	0,506	0,600	0,709	0,797	0,852	0,906	0,947	1,000
h12a	72,0	70,7	79,5	84,6	100,9	117,7	136,9	177,6	272,8	234,1	198,9	188,6	175,9	167,8	166,0	158,3
h12b	74,4	74,9	84,6	89,0	106,1	123,0	139,0	180,8	277,1	236,3	196,2	185,5	175,0	167,7	165,6	156,4
h12c	72,0	70,3	80,7	85,3	99,3	121,7	133,9	179,6	274,6	232,2	201,0	184,9	176,2	167,1	167,6	162,3
K12a	0,547	0,498	0,505	0,521	0,537	0,556	0,576	0,591	0,655	0,741	0,842	0,971	1,019	1,083	1,151	1,208
K12b	0,566	0,527	0,537	0,549	0,565	0,581	0,585	0,602	0,665	0,748	0,830	0,955	1,013	1,083	1,148	1,193
K12c	0,547	0,495	0,513	0,526	0,529	0,575	0,563	0,598	0,659	0,735	0,851	0,953	1,021	1,079	1,162	1,238

TABELA 11 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=1,0 e raio de curvatura Rc=0.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Início																
Var. P.	0,0	5,0	8,0	15,0	40,0	71,0	110,0	201,0	485,0	515,0	534,0	535,0	544,0	550,0	561,0	564,0
Q2	0,000	0,179	0,227	0,313	0,516	0,691	0,864	1,175	1,841	1,898	1,934	1,936	1,952	1,963	1,983	1,989
Var. P.	376,0	374,0	359,0	357,0	349,0	345,0	339,0	323,0	289,0	143,0	954,0	312,0	151,0	60,0	11,0	0,0
Q3	1,938	1,932	1,894	1,888	1,867	1,857	1,841	1,797	1,700	1,199	0,842	0,484	0,337	0,213	0,092	0,000
Q1	1,938	2,111	2,121	2,201	2,383	2,548	2,705	2,972	3,542	3,098	2,776	2,419	2,290	2,177	2,075	1,989
Q2/Q1	0,000	0,085	0,107	0,142	0,217	0,271	0,320	0,395	0,520	0,613	0,697	0,800	0,853	0,902	0,956	1,000
T1	1603,0	1604,0	1504,0	1504,0	1502,0	1491,0	1520,0	1460,0	1436,0	1471,0	1497,0	1528,0	1486,0	1547,0	1544,0	1551,0
T2	1502,0	1503,0	1367,0	1354,0	1344,0	1310,0	1300,0	1220,0	1109,0	1210,0	1279,0	1353,0	1379,0	1400,0	1412,0	1427,0
T3	1458,0	1453,0	1317,0	1297,0	1273,0	1232,0	1217,0	1119,0	972,0	1098,0	1186,0	1280,0	1310,0	1338,0	1356,0	1374,0
T4	1215,0	1212,0	1093,0	1087,0	1072,0	1047,0	1042,0	983,0	906,0	1101,0	1214,0	1324,0	1356,0	1380,0	1395,0	1412,0
T5	1256,0	1253,0	1134,0	1128,0	1112,0	1086,0	1082,0	1022,0	939,0	1120,0	1225,0	1328,0	1358,0	1381,0	1396,0	1412,0
T6	1264,0	1259,0	1141,0	1134,0	1120,0	1094,0	1088,0	1028,0	947,0	1123,0	1228,0	1329,0	1358,0	1381,0	1396,0	1412,0
T7	1240,0	1236,0	1126,0	1119,0	1105,0	1078,0	1069,0	1011,0	933,0	1118,0	1224,0	1327,0	1357,0	1380,0	1395,0	1412,0
T8	1181,0	1179,0	1066,0	1057,0	1037,0	1003,0	995,0	921,0	821,0	1042,0	1174,0	1301,0	1341,0	1376,0	1393,0	1412,0
T9	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0	1500,0
T10	1494,0	1493,0	1345,0	1332,0	1292,0	1240,0	1213,0	1055,0	746,0	825,0	883,0	961,0	982,0	1007,0	1018,0	1032,0
T11	1494,0	1493,0	1357,0	1335,0	1312,0	1270,0	1249,0	1124,0	873,0	941,0	990,0	1056,0	1075,0	1093,0	1096,0	1110,0
T12	1494,0	1493,0	1357,0	1336,0	1313,0	1271,0	1250,0	1125,0	879,0	947,0	997,0	1062,0	1081,0	1099,0	1102,0	1115,0
T13	1494,0	1493,0	1356,0	1337,0	1314,0	1272,0	1250,0	1126,0	879,0	947,0	997,0	1061,0	1080,0	1097,0	1100,0	1112,0
T14	1494,0	1493,0	1355,0	1335,0	1309,0	1263,0	1238,0	1103,0	833,0	901,0	948,0	1013,0	1031,0	1048,0	1049,0	1060,0

TABELA 12 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área
 $Ra=1,0$ e raio de curvatura $Rc=0$.

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q1	l/s	1,938	2,111	2,121	2,201	2,383	2,548	2,705	2,972	3,542	3,098	2,776	2,419	2,290	2,177	2,075	1,989
V1=Q1*5/6	m	1,615	1,759	1,767	1,834	1,986	2,123	2,254	2,477	2,951	2,581	2,313	2,016	1,908	1,814	1,729	1,657
T2+V1^2/2/g	mm	1037,9	1081,8	1054,2	1061,5	1093,0	1110,8	1140,9	1175,6	1275,0	1209,6	1172,8	1182,2	1172,5	1164,7	1160,4	1155,0
Rey *E+04		4,8	5,3	5,3	5,5	6,0	6,4	6,8	7,4	8,9	7,7	6,9	6,0	5,7	5,4	5,2	5,0
f1		0,0213	0,0208	0,0208	0,0206	0,0202	0,0199	0,0196	0,0191	0,0183	0,0189	0,0195	0,0202	0,0204	0,0207	0,0209	0,0212
h1 teor	mm	65,1	75,7	76,2	81,4	93,5	105,1	116,7	137,6	187,1	148,0	122,1	96,0	87,2	79,8	73,4	68,1
h1 exp	mm	60,7	69,0	69,0	78,7	98,0	107,6	114,5	139,4	189,1	154,6	128,3	100,7	95,2	85,6	77,3	73,1
Q2	l/s	0,000	0,179	0,227	0,313	0,516	0,691	0,864	1,175	1,841	1,898	1,934	1,936	1,952	1,963	1,983	1,989
V2=Q2*5/6	m	0,000	0,149	0,189	0,261	0,430	0,576	0,720	0,979	1,534	1,582	1,612	1,613	1,627	1,636	1,653	1,657
T14+V2^2/2/g	mm	897,0	915,1	884,8	874,5	866,4	850,9	846,4	794,9	675,0	688,6	701,4	767,6	773,9	781,4	784,2	788,0
Rey *E+04		0,0	0,4	0,6	0,8	1,3	1,7	2,2	2,9	4,6	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0
f2		0,0000	0,0386	0,0364	0,0336	0,0297	0,0276	0,0261	0,0241	0,0216	0,0214	0,0213	0,0213	0,0213	0,0212	0,0212	0,0212
h2 teor	mm	0,0	1,2	1,9	3,3	7,8	13,1	19,3	33,0	72,5	76,5	79,0	79,1	80,3	81,1	82,5	82,9
h 2 exp	mm	0,0	0,0	1,7	3,4	8,4	15,1	20,2	38,6	77,3	77,3	82,3	80,6	82,3	82,3	85,7	87,4
Q3	l/s	1,938	1,932	1,894	1,888	1,867	1,857	1,841	1,797	1,700	1,199	0,842	0,484	0,337	0,213	0,092	0,000
Q2/Q1		0,000	0,085	0,107	0,142	0,217	0,271	0,320	0,395	0,520	0,613	0,697	0,800	0,853	0,902	0,956	1,000
h12a	mm	75,8	91,0	91,4	102,3	124,7	139,6	157,6	204,5	335,6	295,8	266,9	237,9	229,1	221,1	217,1	211,5
h12b	mm	80,2	97,6	98,7	105,0	120,2	137,1	159,8	202,7	333,6	289,2	260,7	233,2	221,1	215,4	213,2	206,5
h12c	mm	75,8	89,8	91,3	102,4	125,3	141,7	158,5	210,1	340,4	296,6	270,3	239,4	231,2	222,4	220,3	215,9
K12a		0,570	0,577	0,574	0,596	0,620	0,608	0,609	0,654	0,756	0,871	0,979	1,148	1,235	1,319	1,425	1,511
K12b		0,603	0,619	0,620	0,612	0,598	0,597	0,617	0,648	0,751	0,852	0,956	1,125	1,192	1,284	1,399	1,475
k12c		0,570	0,569	0,573	0,597	0,623	0,617	0,612	0,672	0,767	0,873	0,991	1,156	1,246	1,326	1,445	1,543

TABELA 13 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=0,5 e raio de curvatura Rc=0,5.

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Var. P.		0	4	12	28	59	104	201	475	528	558	603	621	643	600	660
Q2	l/s	0,000	0,160	0,279	0,430	0,629	0,840	1,175	1,822	1,923	1,978	2,057	2,089	2,126	2,052	2,154
					mm Hg									mm H2O		
Var. P.		376,0	363,0	352,0	345,0	333,0	317,0	293,0	235,0	129,0	1014,0	353,0	184,0	81,0	13,0	0,0
Q3	l/s	1,938	1,904	1,875	1,857	1,824	1,780	1,712	1,534	1,139	0,868	0,514	0,372	0,248	0,100	0,000
Q1	l/s	1,938	2,064	2,155	2,287	2,453	2,620	2,887	3,356	3,062	2,846	2,572	2,461	2,374	2,152	2,154
Q2/Q1		0,000	0,077	0,130	0,188	0,256	0,321	0,407	0,543	0,628	0,695	0,800	0,849	0,896	0,954	1,000
T1	mm.c.a	2570,0	2646,0	2711,0	2755,0	2798,0	2807,0	2753,0	2600,0	2474,0	2352,0	2260,0	2237,0	2248,0	2339,0	2436,0
T2	mm.c.a	2101,0	2122,0	2129,0	2108,0	2050,0	1977,0	1753,0	1262,0	1286,0	1320,0	1415,0	1460,0	1538,0	1677,0	1821,0
T3	mm.c.a	1895,0	1893,0	1882,0	1834,0	1741,0	1629,0	1341,0	725,0	829,0	918,0	1078,0	1148,0	1245,0	1430,0	1574,0
T4	mm.c.a	1855,0	1874,0	1870,0	1856,0	1813,0	1715,0	1477,0	967,0	1061,0	1129,0	1227,0	1282,0	1355,0	1536,0	1677,0
T5	mm.c.a	1892,0	1910,0	1905,0	1895,0	1850,0	1747,0	1507,0	996,0	1071,0	1136,0	1232,0	1284,0	1356,0	1536,0	1677,0
T6	mm.c.a	1898,0	1915,0	1912,0	1899,0	1854,0	1752,0	1512,0	998,0	1069,0	1135,0	1227,0	1286,0	1358,0	1537,0	1677,0
T7	mm.c.a	1871,0	1887,0	1892,0	1874,0	1832,0	1737,0	1495,0	980,0	1059,0	1126,0	1217,0	1277,0	1355,0	1537,0	1677,0
T8	mm.c.a	1922,0	1888,0	1853,0	1800,0	1699,0	1555,0	1291,0	759,0	909,0	1026,0	1180,0	1250,0	1343,0	1523,0	1671,0
T9	mm.c.a	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0
T10	mm.c.a	2018,0	2020,0	2018,0	1999,0	1940,0	1823,0	1545,0	882,0	888,0	924,0	1010,0	1075,0	1168,0	1350,0	1499,0
T11	mm.c.a	2018,0	2029,0	2028,0	2005,0	1948,0	1836,0	1561,0	957,0	979,0	1024,0	1088,0	1132,0	1217,0	1391,0	1536,0
T12	mm.c.a	2018,0	2029,0	2030,0	2008,0	1950,0	1838,0	1559,0	950,0	976,0	1023,0	1090,0	1135,0	1215,0	1388,0	1528,0
T13	mm.c.a	2018,0	2029,0	2031,0	2008,0	1953,0	1842,0	1563,0	952,0	981,0	1022,0	1092,0	1135,0	1216,0	1388,0	1526,0
T14	mm.c.a	2018,0	2029,0	2030,0	2005,0	1947,0	1834,0	1543,0	912,0	938,0	973,0	1042,0	1084,0	1163,0	1338,0	1470,0

TABELA 14 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área
 $Ra=0,5$ e raio de curvatura $Rc=0,5$.

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Q1	l/s	1,938	2,064	2,155	2,287	2,453	2,620	2,887	3,356	3,062	2,846	2,572	2,461	2,374	2,152	2,154
V1=Q1*5/3	m	3,229	3,439	3,591	3,811	4,089	4,367	4,812	5,594	5,104	4,743	4,286	4,101	3,956	3,587	3,591
T2+V1^2/2/g	mm	1864,5	1912,9	1946,2	1998,4	2057,2	2146,9	2266,2	2482,9	2327,6	2202,5	2109,3	2065,2	2035,7	1912,8	1948,2
Rey *E+04		7,8	8,3	8,6	9,1	9,8	10,5	11,5	13,4	12,2	11,4	10,3	9,8	9,5	8,6	8,6
f1		0,0189	0,0186	0,0184	0,0182	0,0179	0,0176	0,0171	0,0165	0,0169	0,0172	0,0176	0,0178	0,0180	0,0184	0,0184
h1 teor	mm	289,4	323,2	348,5	386,8	437,4	490,8	581,6	757,0	644,7	567,1	475,0	439,7	412,8	347,8	348,5
h1 exp	mm	284,3	316,0	340,9	378,1	426,4	480,2	568,6	741,1	630,7	554,8	465,1	430,6	404,3	340,9	340,9
Q2	l/s	0,000	0,160	0,279	0,430	0,629	0,840	1,175	1,822	1,923	1,978	2,057	2,089	2,126	2,052	2,154
V2=Q2*5/6	m	0,000	0,133	0,233	0,359	0,524	0,700	0,979	1,518	1,602	1,648	1,715	1,740	1,772	1,710	1,795
T14+V2^2/2/g	mm	1250,0	1217,9	1192,8	1161,6	1116,0	1057,0	924,9	655,5	782,9	847,4	949,8	986,4	1023,0	1067,1	1104,3
Rey *E+04		0,0	0,4	0,7	1,1	1,6	2,1	2,9	4,6	4,8	4,9	5,1	5,2	5,3	5,1	5,4
f2		0,0000	0,0398	0,0346	0,0310	0,0282	0,0263	0,0241	0,0216	0,0213	0,0212	0,0210	0,0209	0,0208	0,0210	0,0207
h2 teor	mm	0,0	1,0	2,8	5,9	11,5	19,0	34,2	73,7	81,0	85,1	91,2	93,6	96,6	90,8	98,8
h 2 exp	mm	0,0	0,0	1,7	5,2	10,4	13,9	34,8	69,6	74,8	85,3	87,0	88,7	92,2	87,0	97,4
Q3	l/s	1,938	1,904	1,875	1,857	1,824	1,780	1,712	1,534	1,139	0,868	0,514	0,372	0,248	0,100	0,000
Q2/Q1		0,000	0,077	0,130	0,188	0,256	0,321	0,407	0,543	0,628	0,695	0,800	0,849	0,896	0,954	1,000
h12a	mm	325,1	371,9	403,2	444,8	493,3	585,3	724,9	1000,8	825,2	702,7	597,5	550,4	507,6	410,9	398,0
h12b	mm	330,3	379,0	410,8	453,5	504,3	595,8	737,9	1016,7	839,3	715,1	607,4	559,5	516,1	417,8	405,6
h12c	mm	325,1	370,8	402,2	444,2	492,3	580,2	725,5	996,7	819,0	702,9	593,3	545,6	503,3	407,1	396,6
K12a		0,612	0,617	0,614	0,601	0,579	0,602	0,614	0,628	0,622	0,613	0,638	0,642	0,636	0,627	0,606
K12b		0,621	0,629	0,625	0,613	0,592	0,613	0,625	0,638	0,632	0,624	0,649	0,653	0,647	0,637	0,617
K 12c		0,612	0,615	0,612	0,600	0,578	0,597	0,615	0,625	0,617	0,613	0,634	0,636	0,631	0,621	0,603

TABELA 15 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "I" para a razão de área Ra=0,5 e raio de curvatura Rc=0,2.

0	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Var. P.		0,0	3,0	19,0	40,0	71,0	157,0	377,0	486,0	529,0	574,0	593,0	585,0	679,0	649,0	706,0	739,0
Q2	l/s	0,000	0,138	0,353	0,516	0,691	1,036	1,619	1,843	1,925	2,006	2,040	2,026	2,186	2,136	2,230	2,282
Var. P.		848,0	803,0	745,0	720,0	687,0	528,0	489,0	281,0	152,0	954,0	628,0	530,0	256,0	74,0	16,0	0,0
Q3	l/s	2,901	2,824	2,721	2,675	2,613	2,293	2,208	1,677	1,236	0,842	0,684	0,629	0,438	0,237	0,111	0,000
Q1	l/s	2,901	2,961	3,074	3,191	3,305	3,329	3,827	3,520	3,161	2,849	2,724	2,655	2,624	2,373	2,340	2,282
Q2/Q1		0,000	0,047	0,115	0,162	0,209	0,311	0,423	0,524	0,609	0,704	0,749	0,763	0,833	0,900	0,953	1,000
T1	mm.c.a	3307,0	3357,0	3428,0	3524,0	3588,0	3581,0	3265,0	2800,0	2641,0	2552,0	2516,0	2503,0	2459,0	2402,0	2391,0	2379,0
T2	mm.c.a	2362,0	2381,0	2287,0	2344,0	2326,0	2118,0	1564,0	1365,0	1432,0	1529,0	1574,0	1587,0	1643,0	1677,0	1770,0	1754,0
T3	mm.c.a	1958,0	1963,0	1854,0	1844,0	1803,0	1558,0	863,0	776,0	936,0	1105,0	1180,0	1205,0	1285,0	1370,0	1468,0	1467,0
T4	mm.c.a	1594,0	1625,0	1615,0	1614,0	1592,0	1381,0	848,0	831,0	1008,0	1187,0	1257,0	1286,0	1371,0	1439,0	1497,0	1555,0
T5	mm.c.a	1628,0	1672,0	1664,0	1676,0	1650,0	1433,0	892,0	853,0	1024,0	1192,0	1262,0	1289,0	1373,0	1440,0	1497,0	1555,0
T6	mm.c.a	1610,0	1651,0	1665,0	1684,0	1655,0	1442,0	895,0	855,0	1025,0	1191,0	1260,0	1287,0	1373,0	1440,0	1498,0	1555,0
T7	mm.c.a	1378,0	1422,0	1490,0	1574,0	1588,0	1393,0	861,0	838,0	1013,0	1183,0	1253,0	1279,0	1367,0	1436,0	1498,0	1555,0
T8	mm.c.a	1232,0	1247,0	1156,0	1160,0	1128,0	884,0	571,0	496,0	519,0	1071,0	1173,0	1204,0	1317,0	1406,0	1483,0	1549,0
T9	mm.c.a	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0
T10	mm.c.a	2133,0	2154,0	2065,0	2020,0	1963,0	1662,0	945,0	720,0	750,0	824,0	856,0	866,0	909,0	928,0	961,0	1000,0
T11	mm.c.a	2133,0	2159,0	2087,0	2067,0	1992,0	1678,0	984,0	798,0	864,0	966,0	1015,0	1027,0	1084,0	1127,0	1168,0	1162,0
T12	mm.c.a	2133,0	2160,0	2088,0	2068,0	2000,0	1683,0	984,0	798,0	863,0	965,0	1013,0	1025,0	1087,0	1132,0	1179,0	1166,0
T13	mm.c.a	2133,0	2161,0	2088,0	2070,0	2003,0	1686,0	989,0	803,0	866,0	966,0	1015,0	1026,0	1088,0	1133,0	1182,0	1168,0
T14	mm.c.a	2133,0	2160,0	2086,0	2066,0	1997,0	1670,0	962,0	768,0	826,0	919,0	963,0	978,0	1037,0	1082,0	1125,0	1107,0

TABELA 16 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área
 $Ra=0,5$ e raio de curvatura $Rc=0,2$.

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q1	l/s	2,901	2,961	3,074	3,191	3,305	3,329	3,827	3,520	3,161	2,849	2,724	2,655	2,624	2,373	2,340	2,282
V1	m	4,835	4,936	5,123	5,318	5,508	5,549	6,378	5,867	5,268	4,748	4,541	4,425	4,374	3,955	3,901	3,804
T2+V1 ² /2/g	mm	3553,6	3622,7	3624,5	3785,5	3872,1	3687,3	3637,4	3119,3	2846,4	2677,8	2624,8	2585,0	2618,0	2474,1	2545,5	2491,4
Rey *E+04		11,6	11,8	12,3	12,8	13,2	13,3	15,3	14,1	12,6	11,4	10,9	10,6	10,5	9,5	9,4	9,1
f1		0,0171	0,0170	0,0169	0,0167	0,0166	0,0165	0,0160	0,0163	0,0168	0,0172	0,0174	0,0175	0,0176	0,0180	0,0181	0,0182
h1 teor	mm	586,5	608,0	648,9	692,9	736,7	746,3	952,3	822,8	681,5	568,1	525,4	502,2	492,1	412,6	402,8	385,4
h1 exp	mm	557,5	576,8	597,5	690,0	721,7	772,8	967,4	812,8	684,5	585,1	543,7	527,2	494,0	423,7	416,8	396,1
Q2	l/s	0,000	0,138	0,353	0,516	0,691	1,036	1,619	1,843	1,925	2,006	2,040	2,026	2,186	2,136	2,230	2,282
V2	m	0,000	0,115	0,294	0,430	0,576	0,863	1,349	1,536	1,604	1,672	1,700	1,688	1,822	1,780	1,858	1,902
T14+V2 ² /2/g	mm	2133,0	2160,7	2090,4	2075,4	2013,9	1708,0	1054,8	888,3	957,1	1061,5	1110,3	1123,3	1206,1	1243,5	1301,0	1291,4
Rey *E+04		0,0	0,3	0,9	1,3	1,7	2,6	4,0	4,6	4,8	5,0	5,1	5,1	5,5	5,3	5,6	5,7
f2		0,0000	0,0412	0,0326	0,0297	0,0276	0,0249	0,0223	0,0216	0,0213	0,0211	0,0210	0,0211	0,0207	0,0208	0,0206	0,0204
h2 teor	mm	0,0	0,8	4,2	8,1	13,5	27,4	60,0	75,2	81,1	87,3	89,8	88,7	101,4	97,4	104,9	109,3
h2 exp	mm	0,0	1,7	3,5	7,0	10,4	27,8	47,0	60,9	69,6	81,8	90,5	83,5	88,7	88,7	99,2	106,1
Q3	l/s	2,901	2,824	2,721	2,675	2,613	2,293	2,208	1,677	1,236	0,842	0,684	0,629	0,438	0,237	0,111	0,000
Q2/Q1		0,000	0,047	0,115	0,162	0,209	0,311	0,423	0,524	0,609	0,704	0,749	0,763	0,833	0,900	0,953	1,000
h12a	mm	834,1	852,2	881,7	1010,2	1111,1	1205,1	1583,3	1347,4	1138,2	966,5	898,6	875,9	831,0	729,3	742,6	708,5
h12b	mm	863,1	883,4	933,0	1013,1	1126,0	1178,7	1568,3	1357,3	1135,2	949,4	880,3	851,0	829,1	718,2	728,6	697,9
h12c	mm	834,1	853,1	881,0	1009,1	1108,0	1205,5	1570,3	1333,1	1126,7	961,0	899,2	870,7	818,4	720,7	736,8	705,3
K12a		0,700	0,686	0,659	0,701	0,719	0,768	0,764	0,768	0,805	0,841	0,855	0,878	0,852	0,915	0,958	0,961
K12b		0,724	0,711	0,698	0,703	0,728	0,751	0,756	0,774	0,803	0,826	0,838	0,853	0,850	0,901	0,940	0,946
K12c		0,700	0,687	0,659	0,700	0,717	0,768	0,757	0,760	0,797	0,837	0,856	0,872	0,839	0,904	0,950	0,956

TABELA.17 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "I" para a razão de área Ra=0,5 e raio de curvatura Rc=0,1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Var. P.	0,0	1,5	12,0	29,0	53,0	101,0	125,0	274,0	421,0	508,0	542,0	577,0	598,0	612,0	626,0	635,0
Q2	0,000	0,097	0,279	0,438	0,596	0,827	0,922	1,376	1,713	1,885	1,949	2,012	2,049	2,073	2,097	2,112
Var. P.	606,0	605,0	573,0	548,0	522,0	490,0	479,0	411,0	302,0	122,0	879,0	357,0	170,0	66,0	10,0	0,0
Q3	2,456	2,453	2,388	2,336	2,280	2,210	2,185	2,025	1,738	1,108	0,809	0,517	0,358	0,224	0,088	0,000
Q1	2,456	2,550	2,668	2,774	2,876	3,037	3,107	3,401	3,451	2,994	2,757	2,529	2,407	2,297	2,185	2,112
Q2/Q1	0,000	0,038	0,105	0,158	0,207	0,272	0,297	0,405	0,496	0,630	0,707	0,796	0,851	0,903	0,960	1,000
T1	2795,0	2994,0	3150,0	3247,0	3322,0	3346,0	3345,0	3175,0	2906,0	2588,0	2499,0	2388,0	2348,0	2360,0	2441,0	2449,0
T2	2165,0	2224,0	2265,0	2291,0	2274,0	2185,0	2135,0	1726,0	1347,0	1418,0	1525,0	1516,0	1554,0	1634,0	1784,0	1821,0
T3	1850,0	1896,0	1900,0	1892,0	1843,0	1710,0	1647,0	1146,0	796,0	950,0	1115,0	1161,0	1228,0	1335,0	1513,0	1562,0
T4	1675,0	1680,0	1712,0	1714,0	1680,0	1617,0	1517,0	1087,0	814,0	964,0	1151,0	1261,0	1323,0	1417,0	1585,0	1629,0
T5	1720,0	1725,0	1715,0	1764,0	1730,0	1624,0	1562,0	1117,0	837,0	1077,0	1157,0	1265,0	1275,0	1418,0	1585,0	1629,0
T6	1715,0	1722,0	1716,0	1767,0	1735,0	1626,0	1565,0	1124,0	839,0	1075,0	1154,0	1265,0	1274,0	1415,0	1585,0	1629,0
T7	1585,0	1596,0	1670,0	1707,0	1690,0	1586,0	1530,0	1095,0	818,0	1012,0	1143,0	1259,0	1268,0	1420,0	1585,0	1629,0
T8	1491,0	1490,0	1447,0	1419,0	1353,0	1207,0	1145,0	679,0	455,0	846,0	1017,0	1171,0	1272,0	1400,0	1586,0	1627,0
T9	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0
T10	2030,0	2035,0	2014,0	2028,0	1972,0	1827,0	1759,0	1227,0	806,0	806,0	901,0	879,0	880,0	964,0	1118,0	1180,0
T11	2030,0	2036,0	2054,0	2044,0	1982,0	1837,0	1768,0	1250,0	860,0	920,0	1054,0	1072,0	1104,0	1180,0	1325,0	1359,0
T12	2030,0	2037,0	2055,0	2047,0	1987,0	1839,0	1770,0	1250,0	860,0	919,0	1054,0	1074,0	1118,0	1199,0	1346,0	1385,0
T13	2030,0	2037,0	2054,0	2050,0	1989,0	1845,0	1774,0	1253,0	862,0	921,0	1055,0	1075,0	1120,0	1204,0	1354,0	1393,0
T14	2030,0	2037,0	2052,0	2045,0	1967,0	1835,0	1765,0	1233,0	825,0	882,0	1013,0	1027,0	1075,0	1158,0	1311,0	1353,0

TABELA 18 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área
 $Ra=0,5$ e raio de curvatura $Rc=0,1$.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q1	2,456	2,550	2,668	2,774	2,876	3,037	3,107	3,401	3,451	2,994	2,757	2,529	2,407	2,297	2,185	2,112
V1	4,093	4,250	4,446	4,623	4,793	5,062	5,179	5,669	5,752	4,989	4,595	4,215	4,011	3,828	3,641	3,521
T2+V1 ² /2/g	1898,7	2014,8	2060,4	2121,4	2179,9	2269,0	2312,1	2451,0	2425,2	2204,8	2130,3	1976,4	1929,9	1898,9	1871,8	1847,8
Rey *E+04	9,8	10,2	10,7	11,1	11,5	12,1	12,4	13,6	13,8	12,0	11,0	10,1	9,6	9,2	8,7	8,4
f1	0,0178	0,0177	0,0175	0,0173	0,0172	0,0169	0,0168	0,0165	0,0164	0,0170	0,0173	0,0177	0,0179	0,0182	0,0184	0,0185
h1 teor	438,1	468,1	506,4	542,3	577,6	635,5	661,5	774,8	794,7	619,7	536,6	461,2	422,9	389,7	357,1	336,7
h1 exp	434,7	452,6	503,7	550,6	594,8	655,5	673,4	800,4	760,4	645,8	565,8	489,9	449,9	412,6	374,0	357,4
Q2	0,000	0,097	0,279	0,438	0,596	0,827	0,922	1,376	1,713	1,885	1,949	2,012	2,049	2,073	2,097	2,112
V2	0,000	0,081	0,233	0,365	0,496	0,690	0,769	1,147	1,428	1,571	1,624	1,676	1,707	1,728	1,748	1,760
T14+V2 ² /2/g	910,0	907,3	842,8	792,8	714,6	637,2	605,1	387,0	320,9	525,8	676,4	725,3	779,6	828,1	878,7	905,9
Rey *E+04	0,0	0,2	0,7	1,1	1,5	2,1	2,3	3,4	4,3	4,7	4,9	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3
f2	0,0000	0,0451	0,0346	0,0309	0,0286	0,0263	0,0256	0,0232	0,0220	0,0214	0,0213	0,0211	0,0210	0,0209	0,0209	0,0208
h2 teor	0,0	0,4	2,8	6,1	10,4	18,5	22,4	45,1	66,2	78,2	82,9	87,7	90,5	92,4	94,3	95,5
h 2 exp	0,0	0,0	3,5	8,7	38,3	17,4	15,7	34,8	64,4	67,9	73,1	83,5	78,3	80,0	74,8	69,6
Q3	2,456	2,453	2,388	2,336	2,280	2,210	2,185	2,025	1,738	1,108	0,809	0,517	0,358	0,224	0,088	0,000
Q2/Q1	0,000	0,038	0,105	0,158	0,207	0,272	0,297	0,405	0,496	0,630	0,707	0,796	0,851	0,903	0,960	1,000
h12a	550,6	639,4	707,8	777,6	849,5	978,8	1029,9	1254,3	1245,2	991,5	844,3	706,4	649,2	601,0	561,2	535,6
h12b	554,0	654,8	710,5	769,3	832,3	958,9	1017,9	1228,7	1279,5	965,3	815,0	677,7	622,2	578,1	544,3	514,8
h12c	550,6	638,9	708,5	780,2	877,3	977,7	1023,1	1244,0	1243,4	981,1	834,4	702,2	637,0	588,6	541,8	509,7
K12a	0,645	0,694	0,703	0,714	0,725	0,749	0,753	0,766	0,738	0,781	0,784	0,780	0,792	0,805	0,830	0,848
K12b	0,649	0,711	0,705	0,706	0,711	0,734	0,745	0,750	0,759	0,761	0,757	0,749	0,759	0,774	0,805	0,815
K12c	0,645	0,694	0,703	0,716	0,749	0,749	0,748	0,759	0,737	0,773	0,775	0,776	0,777	0,788	0,802	0,807

TABELA 19 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área
Ra=0,5 e raio de curvatura Rc=0.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Início															
Var. P.	0,0	3,0	10,0	20,0	38,0	59,0	110,0	237,0	426,0	490,0	526,0	571,0	582,0	596,0	610,0	618,0
Q2	l/s	0,000	0,138	0,255	0,362	0,503	0,629	0,864	1,278	1,723	1,851	1,919	2,001	2,021	2,045	2,083
Var. P.	458,0	435,0	430,0	420,0	405,0	397,0	372,0	331,0	281,0	143,0	987,0	313,0	174,0	68,0	10,0	0,0
Q3	l/s	2,137	2,083	2,071	2,047	2,010	1,991	1,927	1,819	1,677	1,199	0,856	0,484	0,362	0,227	0,088
Q1	l/s	2,137	2,221	2,326	2,409	2,513	2,620	2,792	3,097	3,400	3,050	2,776	2,485	2,383	2,272	2,083
Q2/Q1		0,000	0,062	0,109	0,150	0,200	0,240	0,310	0,413	0,507	0,607	0,691	0,805	0,848	0,900	0,959
T1	mm.c.a	2713,0	2730,0	2892,0	2934,0	3006,0	3034,0	3196,0	2880,0	2845,0	2640,0	2585,0	2503,0	2476,0	2399,0	2446,0
T2	mm.c.a	2169,0	2175,0	2231,0	2237,0	2238,0	2214,0	2261,0	1747,0	1486,0	1543,0	1654,0	1711,0	1742,0	1785,0	1821,0
T3	mm.c.a	1928,0	1912,0	1940,0	1936,0	1903,0	1858,0	1860,0	1252,0	908,0	1068,0	1247,0	1369,0	1422,0	1480,0	1540,0
T4	mm.c.a	1658,0	1668,0	1727,0	1724,0	1705,0	1675,0	1707,0	1165,0	908,0	1158,0	1254,0	1380,0	1475,0	1525,0	1569,0
T5	mm.c.a	1689,0	1697,0	1769,0	1767,0	1745,0	1714,0	1747,0	1145,0	910,0	1120,0	1242,0	1385,0	1479,0	1527,0	1569,0
T6	mm.c.a	1683,0	1692,0	1767,0	1769,0	1748,0	1716,0	1750,0	1147,0	912,0	1118,0	1240,0	1384,0	1479,0	1527,0	1570,0
T7	mm.c.a	1598,0	1600,0	1677,0	1704,0	1695,0	1673,0	1712,0	1171,0	889,0	1107,0	1243,0	1376,0	1476,0	1526,0	1570,0
T8	mm.c.a	1451,0	1460,0	1450,0	1441,0	1407,0	1364,0	1372,0	804,0	527,0	902,0	1097,0	1354,0	1438,0	1503,0	1582,0
T9	mm.c.a	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0	2000,0
T10	mm.c.a	2013,0	2017,0	2027,0	2012,0	1969,0	1918,0	1912,0	1255,0	789,0	812,0	858,0	901,0	936,0	982,0	1053,0
T11	mm.c.a	2013,0	2017,0	2046,0	2035,0	1991,0	1933,0	1923,0	1287,0	865,0	938,0	1076,0	1116,0	1153,0	1182,0	1232,0
T12	mm.c.a	2013,0	2018,0	2046,0	2039,0	1995,0	1937,0	1925,0	1288,0	867,0	939,0	1077,0	1132,0	1161,0	1194,0	1242,0
T13	mm.c.a	2013,0	2019,0	2051,0	2044,0	2002,0	1946,0	1937,0	1290,0	867,0	943,0	1078,0	1133,0	1161,0	1195,0	1244,0
T14	mm.c.a	2013,0	2019,0	2047,0	2034,0	1998,0	1938,0	1924,0	1270,0	833,0	896,0	1030,0	1084,0	1116,0	1147,0	1200,0

TABELA 20 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área Ra=0,5 e raio de curvatura Rc=0.

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q1	l/s	2,137	2,221	2,326	2,409	2,513	2,620	2,792	3,097	3,400	3,050	2,776	2,485	2,383	2,272	2,157	2,083
V1	m	3,562	3,701	3,876	4,016	4,188	4,366	4,653	5,162	5,667	5,084	4,626	4,142	3,971	3,787	3,596	3,472
T2+V1 ² /g	mm	2312,5	2391,2	2471,7	2519,9	2582,2	2677,6	2767,3	2287,9	2741,0	2540,2	2412,7	2240,6	2199,7	2166,0	2111,9	2082,5
Rey *E+04		8,5	8,9	9,3	9,6	10,1	10,5	11,2	12,4	13,6	12,2	11,1	9,9	9,5	9,1	8,6	8,3
f1		0,0185	0,0183	0,0181	0,0179	0,0177	0,0176	0,0173	0,0168	0,0165	0,0169	0,0173	0,0178	0,0180	0,0182	0,0184	0,0186
h1 teor	mm	343,5	367,4	398,3	423,8	456,2	490,6	548,3	657,6	774,4	640,3	542,8	447,5	415,6	382,5	349,3	328,6
h1 exp	mm	332,6	362,9	401,6	415,4	462,3	491,3	553,4	683,1	797,6	655,5	561,7	472,0	441,6	420,9	387,8	349,1
Q2	l/s	0,000	0,138	0,255	0,362	0,503	0,629	0,864	1,278	1,723	1,851	1,919	2,001	2,021	2,045	2,070	2,083
V2	m	0,000	0,115	0,212	0,302	0,419	0,524	0,720	1,065	1,436	1,542	1,599	1,668	1,684	1,704	1,725	1,736
T14+V2 ² /g	mm	1510,0	1537,7	1524,3	1499,6	1456,9	1444,0	1353,4	510,8	556,1	697,3	828,4	880,7	914,5	945,1	983,6	1006,6
Rey *E+04		0,0	0,3	0,6	0,9	1,3	1,6	2,2	3,2	4,3	4,6	4,8	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2
f2		0,0000	0,0412	0,0354	0,0324	0,0298	0,0282	0,0261	0,0236	0,0219	0,0215	0,0214	0,0211	0,0211	0,0210	0,0210	0,0209
h2 teor	mm	0,0	0,8	2,4	4,4	7,7	11,5	20,0	39,6	66,9	75,8	80,7	86,8	88,3	90,2	92,1	93,2
h2 exp	mm	0,0	0,0	7,0	17,4	7,0	13,9	22,6	34,8	59,2	81,8	83,5	85,3	78,3	83,5	76,6	80,0
Q3	l/s	2,137	2,083	2,071	2,047	2,010	1,991	1,927	1,819	1,677	1,199	0,856	0,484	0,362	0,227	0,088	0,000
Q2/Q1		0,000	0,062	0,109	0,150	0,200	0,240	0,310	0,413	0,507	0,607	0,691	0,805	0,848	0,900	0,959	1,000
h12a	mm	459,0	486,1	542,1	579,1	662,0	729,1	842,9	1084,7	1351,3	1120,8	958,0	827,1	791,3	755,0	702,5	667,3
h12b	mm	469,9	490,6	538,9	587,5	656,0	728,4	837,9	1059,2	1328,0	1105,6	939,1	802,6	765,3	716,5	664,0	646,7
h12c	mm	459,0	485,3	546,7	592,1	661,3	731,5	845,6	1079,9	1343,5	1126,9	960,8	825,5	781,3	748,2	686,9	654,1
K12a		0,710	0,696	0,708	0,705	0,740	0,750	0,764	0,799	0,825	0,851	0,878	0,946	0,985	1,033	1,066	1,086
K12b		0,727	0,703	0,704	0,715	0,734	0,750	0,759	0,780	0,811	0,839	0,861	0,918	0,952	0,980	1,008	1,052
K12c		0,710	0,695	0,714	0,720	0,740	0,753	0,766	0,795	0,821	0,856	0,881	0,944	0,972	1,024	1,043	1,064

TABELA 21 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=0,2 e raio de curvatura Rc=0,5.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Início																	
Var. P.	0,0	1,0	2,0	4,0	7,0	15,0	21,0	35,0	48,0	61,0	73,0	89,0	106,0	113,0	123,0	128,0	136,0
Q2	0,000	0,079	0,112	0,160	0,212	0,313	0,372	0,482	0,566	0,640	0,701	0,776	0,848	0,876	0,915	0,934	0,963
Var. P.	1293	1180,0	1127,0	1041,0	918,0	829,0	745,0	650,0	393,00	283,0	179,0	92,0	42,0	20,0	8,0	2,0	0,0
Q3	0,979	0,936	0,915	0,879	0,826	0,785	0,745	0,696	0,542	0,461	0,367	0,264	0,179	0,124	0,078	0,039	0,000
Q1	0,979	1,015	1,027	1,039	1,038	1,098	1,116	1,178	1,109	1,101	1,068	1,040	1,027	1,000	0,993	0,973	0,963
Q2/Q1	0,000	0,078	0,109	0,154	0,204	0,285	0,333	0,409	0,511	0,581	0,656	0,746	0,826	0,876	0,921	0,959	1,000
T1																	
T2	2106,0	2162,0	2153,0	2186,0	2170,0	2214,0	2225,0	2279,0	2171,0	2166,0	2136,0	2083,0	2044,0	2005,0	1985,0	1955,0	1949,0
T3	1531,0	1550,0	1539,0	1554,0	1530,0	1530,0	1524,0	1518,0	1479,0	1474,0	1464,0	1442,0	1416,0	1401,0	1389,0	1374,0	1368,0
T4	1160,0	1157,0	1151,0	1160,0	1145,0	1142,0	1137,0	1124,0	1084,0	1091,0	1079,0	1062,0	1044,0	1034,0	1022,0	1013,0	1015,0
T5	1164,0	1161,0	1156,0	1166,0	1150,0	1146,0	1140,0	1127,0	1088,0	1095,0	1082,0	1063,0	1046,0	1034,0	1022,0	1014,0	1015,0
T6	1156,0	1154,0	1145,0	1157,0	1143,0	1138,0	1132,0	1120,0	1082,0	1093,0	1081,0	1063,0	1045,0	1035,0	1023,0	1013,0	1015,0
T7	1118,0	1116,0	1113,0	1128,0	1116,0	1112,0	1105,0	1097,0	1063,0	1061,0	1073,0	1058,0	1042,0	1034,0	1021,0	1013,0	1015,0
T8	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
T9	1188,0	1175,0	1154,0	1148,0	1125,0	1114,0	1108,0	1091,0	1088,0	1081,0	1088,0	1107,0	1120,0	1128,0	1143,0	1142,0	1134,0
T10	1226,0	1222,0	1207,0	1210,0	1185,0	1172,0	1156,0	1130,0	1064,0	1037,0	1015,0	972,0	931,0	912,0	894,0	880,0	868,0
T11	1227,0	1221,0	1210,0	1216,0	1194,0	1183,0	1169,0	1147,0	1088,0	1069,0	1047,0	1011,0	975,0	955,0	939,0	925,0	913,0
T12	1228,0	1221,0	1210,0	1217,0	1195,0	1185,0	1172,0	1150,0	1094,0	1076,0	1061,0	1025,0	994,0	978,0	959,0	943,0	929,0
T13	1228,0	1221,0	1211,0	1218,0	1195,0	1185,0	1174,0	1151,0	1098,0	1078,0	1062,0	1033,0	1005,0	989,0	971,0	953,0	940,0
T14	1228,0	1220,0	1210,0	1217,0	1194,0	1183,0	1170,0	1147,0	1093,0	1072,0	1054,0	1024,0	993,0	977,0	958,0	939,0	927,0

TABELA 22 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área $Ra=0,2$ e raio de curvatura $Rc=0,5$.

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Q1	l/s	0,979	1,015	1,027	1,039	1,038	1,098	1,116	1,178	1,109	1,101	1,068	1,040	1,027	1,000	0,993	0,973	0,963
V1	m/s	4,080	4,227	4,278	4,329	4,327	4,577	4,652	4,909	4,619	4,586	4,451	4,331	4,278	4,166	4,139	4,055	4,012
T2+V1 ² /2/g	mm	2184,6	2303,8	2324,9	2405,1	2410,1	2580,6	2617,8	2763,2	2600,4	2571,9	2503,8	2443,2	2400,0	2347,6	2334,2	2299,9	2281,5
Rey *E+04		4,9	5,1	5,1	5,2	5,2	5,5	5,6	5,9	5,5	5,5	5,3	5,2	5,1	5,0	5,0	4,9	4,8
f1		0,0201	0,0199	0,0198	0,0198	0,0198	0,0195	0,0194	0,0192	0,0195	0,0195	0,0197	0,0198	0,0199	0,0200	0,0200	0,0201	0,0202
h1 teor	mm	784,2	834,3	852,0	869,7	869,0	958,7	986,4	1083,8	974,3	962,1	913,1	870,6	852,1	813,3	804,1	775,6	761,5
h1 exp	mm	793,5	844,6	847,3	872,2	883,2	943,9	967,4	1050,2	955,0	955,0	927,4	884,6	866,6	833,5	822,5	801,8	801,8
Q2	l/s	0,000	0,079	0,112	0,160	0,212	0,313	0,372	0,482	0,566	0,640	0,701	0,776	0,848	0,876	0,915	0,934	0,963
V2	m	0,000	0,066	0,093	0,133	0,177	0,261	0,310	0,402	0,472	0,533	0,584	0,646	0,707	0,730	0,762	0,778	0,802
T14+V2 ² /2/g	mm	458,0	451,2	449,4	481,9	481,6	485,5	464,9	411,2	446,3	420,5	429,4	449,3	441,5	462,2	463,6	476,9	471,8
Rey *E+04		0,0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	0,9	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,3	2,4
f2		0,0000	0,0474	0,0434	0,0398	0,0370	0,0336	0,0322	0,0302	0,0290	0,0281	0,0275	0,0268	0,0262	0,0260	0,0257	0,0256	0,0254
h2 teor	mm	0,0	0,3	0,6	1,1	1,7	3,4	4,7	7,3	9,7	12,1	14,1	16,9	19,7	20,9	22,5	23,3	24,6
h 2 exp	mm	0,0	1,8	1,8	1,8	1,8	3,6	7,1	7,1	8,9	10,7	14,2	16,0	21,3	21,3	23,1	24,9	23,1
Q3	l/s	0,979	0,936	0,915	0,879	0,826	0,785	0,745	0,696	0,542	0,461	0,367	0,264	0,179	0,124	0,078	0,039	0,000
Q2/Q1		0,000	0,078	0,109	0,154	0,204	0,285	0,333	0,409	0,511	0,581	0,656	0,746	0,826	0,876	0,921	0,959	1,000
h12a	mm	942,4	1016,5	1021,7	1051,7	1057,8	1132,9	1159,5	1261,1	1170,9	1178,6	1147,0	1107,3	1085,1	1050,8	1043,4	1022,6	1025,1
h12b	mm	933,1	1006,2	1026,4	1049,3	1043,6	1147,6	1178,5	1294,7	1190,2	1185,8	1132,8	1093,4	1070,6	1030,6	1025,0	996,4	984,8
h12c	mm	942,4	1018,0	1022,9	1052,4	1057,8	1133,0	1161,9	1260,9	1170,1	1177,2	1147,1	1106,4	1086,7	1051,3	1043,9	1024,1	1023,6
K12a		1,110	1,116	1,095	1,101	1,109	1,061	1,051	1,027	1,077	1,100	1,136	1,158	1,163	1,188	1,195	1,220	1,249
K12b		1,100	1,105	1,100	1,099	1,094	1,075	1,069	1,054	1,095	1,106	1,122	1,143	1,147	1,165	1,174	1,189	1,200
K12c		1,110	1,118	1,096	1,102	1,109	1,061	1,054	1,027	1,076	1,098	1,136	1,157	1,165	1,188	1,196	1,222	1,247

TABELA 23 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=0,2 e raio de curvatura Rc=0,2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17		
	Var. P.	0,00	1,00	2,00	3,00	6,00	8,00	11,00	18,00	29,00	43,00	59,00	76,00	93,00	103,00	115,00	128,00	136,00	
		mm H2O																	
Q2	l/s	0,000	0,079	0,112	0,138	0,196	0,227	0,267	0,343	0,438	0,535	0,629	0,716	0,793	0,836	0,884	0,934	0,963	
		mm H2O																	
	Var. P.	1301	1151,0	1079,0	1003,0	865,0	789,0	702,0	583,0	408,00	282,0	177,0	97,0	44,0	23,0	9,0	2,0	0,0	
	l/s	0,982	0,924	0,895	0,863	0,802	0,766	0,723	0,660	0,552	0,460	0,365	0,271	0,183	0,133	0,083	0,039	0,000	
		mm H2O																	
	Q1	l/s	0,982	1,003	1,007	1,001	0,998	0,994	0,990	1,003	0,990	0,995	0,994	0,987	0,976	0,968	0,967	0,973	0,963
		mm H2O																	
	Q2/Q1		0,000	0,078	0,111	0,138	0,196	0,229	0,270	0,342	0,442	0,538	0,633	0,726	0,813	0,863	0,914	0,959	1,000
T1	mm.c.a	2246,0	2291,0	2273,0	2276,0	2227,0	2213,0	2194,0	2197,0	2170,0	2176,0	2171,0	2145,0	2102,0	2085,0	2065,0	2048,0	2035,0	
T2	mm.c.a	1655,0	1675,0	1661,0	1659,0	1619,0	1602,0	1586,0	1582,0	1560,0	1561,0	1555,0	1538,0	1505,0	1492,0	1478,0	1462,0	1450,0	
T3	mm.c.a	1195,0	1188,0	1180,0	1172,0	1143,0	1123,0	1110,0	1093,0	1073,0	1089,0	1080,0	1068,0	1048,0	1040,0	1025,0	1016,0	1004,0	
T4	mm.c.a	1197,0	1191,0	1183,0	1174,0	1147,0	1126,0	1113,0	1095,0	1076,0	1093,0	1083,0	1070,0	1050,0	1040,0	1025,0	1017,0	1004,0	
T5	mm.c.a	1188,0	1182,0	1170,0	1164,0	1140,0	1119,0	1105,0	1088,0	1071,0	1090,0	1082,0	1070,0	1049,0	1041,0	1026,0	1016,0	1004,0	
T6	mm.c.a	1144,0	1141,0	1135,0	1133,0	1112,0	1095,0	1082,0	1070,0	1051,0	1052,0	1073,0	1064,0	1047,0	1039,0	1025,0	1016,0	1004,0	
T7	mm.c.a	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	
T8	mm.c.a	1237,0	1217,0	1189,0	1163,0	1128,0	1105,0	1087,0	1063,0	1033,0	1019,0	1012,0	1007,0	1019,0	1040,0	1072,0	1102,0	1109,0	
T9	mm.c.a	1273,0	1264,0	1244,0	1229,0	1192,0	1165,0	1140,0	1109,0	1067,0	1044,0	1028,0	993,0	946,0	921,0	901,0	881,0	865,0	
T10	mm.c.a	1274,0	1262,0	1247,0	1234,0	1199,0	1172,0	1148,0	1120,0	1081,0	1062,0	1045,0	1011,0	972,0	954,0	934,0	918,0	904,0	
T11	mm.c.a	1274,0	1262,0	1248,0	1234,0	1199,0	1172,0	1150,0	1122,0	1085,0	1068,0	1053,0	1021,0	984,0	970,0	948,0	929,0	913,0	
T12	mm.c.a	1274,0	1262,0	1248,0	1235,0	1200,0	1172,0	1151,0	1123,0	1087,0	1069,0	1055,0	1028,0	992,0	977,0	956,0	936,0	923,0	
T13	mm.c.a	1274,0	1262,0	1248,0	1234,0	1198,0	1171,0	1147,0	1120,0	1083,0	1064,0	1047,0	1020,0	981,0	965,0	943,0	922,0	909,0	
T14	mm.c.a	1274,0	1262,0	1248,0	1234,0	1198,0	1171,0	1147,0	1120,0	1083,0	1064,0	1047,0	1020,0	981,0	965,0	943,0	922,0	909,0	

TABELA 24 - Cálculo do coeficiente de perda de carga adimensional para razão de área Ra=0,2 e raio de curvatura Rc=0,2.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Q1	0,982	1,003	1,007	1,001	0,998	0,994	0,990	1,003	0,990	0,995	0,994	0,987	0,976	0,968	0,967	0,973	0,963
V1	4,093	4,179	4,197	4,171	4,160	4,140	4,127	4,179	4,127	4,147	4,142	4,111	4,068	4,035	4,030	4,055	4,012
T2+V1 ² /2/g	2261,8	2344,3	2343,7	2337,8	2312,9	2302,5	2288,0	2323,1	2285,0	2293,6	2301,4	2292,3	2268,4	2256,7	2255,9	2265,9	2250,5
Rey *E+04	4,9	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,8	4,8	4,9	4,8
f1	0,0201	0,0200	0,0199	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0200	0,0201	0,0201	0,0201	0,0202	0,0201	0,0202
h1 teor	788,5	817,8	823,8	815,0	811,1	804,3	799,9	817,7	799,9	806,8	805,1	794,5	780,0	768,9	767,5	775,6	761,5
h1 exp	815,6	850,1	844,6	851,5	839,0	843,2	839,0	848,7	841,8	848,7	850,1	837,7	823,9	818,3	810,1	808,7	807,3
Q2	0,000	0,079	0,112	0,138	0,196	0,227	0,267	0,343	0,438	0,535	0,629	0,716	0,793	0,836	0,884	0,934	0,963
V2	0,000	0,066	0,093	0,115	0,163	0,189	0,223	0,286	0,365	0,446	0,524	0,596	0,661	0,696	0,737	0,778	0,802
T14+V2 ² /2/g	436,0	425,2	421,4	409,7	403,4	388,8	375,5	360,2	336,8	315,1	317,0	324,1	326,3	331,7	333,7	332,9	336,8
Rey *E+04	0,0	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
f2	0,0000	0,0474	0,0434	0,0412	0,0378	0,0364	0,0350	0,0328	0,0309	0,0294	0,0282	0,0273	0,0266	0,0263	0,0259	0,0256	0,0254
h2 teor	0,0	0,3	0,6	0,8	1,5	2,0	2,6	4,1	6,2	8,8	11,7	14,7	17,6	19,2	21,2	23,3	24,6
h2 exp	0,0	0,0	0,0	1,8	3,6	1,8	7,1	5,3	7,1	8,9	14,2	14,2	19,5	21,3	23,1	24,9	24,9
Q3	0,982	0,924	0,895	0,863	0,802	0,766	0,723	0,660	0,552	0,460	0,365	0,271	0,183	0,133	0,083	0,039	0,000
Q2/Q1	0,000	0,078	0,111	0,138	0,196	0,229	0,270	0,342	0,442	0,538	0,633	0,726	0,813	0,863	0,914	0,959	1,000
h12a	1037,4	1068,7	1077,1	1075,8	1069,0	1068,5	1070,8	1110,2	1100,2	1120,9	1122,7	1115,8	1100,7	1087,4	1090,9	1101,0	1081,8
h12b	1010,2	1069,0	1077,7	1074,9	1067,0	1068,7	1066,3	1108,9	1099,3	1120,9	1120,1	1116,3	1098,7	1085,3	1089,1	1099,5	1081,5
h12c	1037,4	1100,9	1097,9	1112,3	1096,9	1107,4	1109,9	1141,2	1142,1	1162,8	1167,6	1159,0	1144,5	1136,8	1133,5	1134,1	1127,6
K12a	1,215	1,200	1,200	1,213	1,212	1,223	1,234	1,247	1,268	1,279	1,284	1,296	1,305	1,311	1,318	1,314	1,318
K12b	1,183	1,201	1,201	1,212	1,210	1,223	1,228	1,246	1,266	1,279	1,281	1,296	1,303	1,308	1,315	1,312	1,318
K12c	1,215	1,237	1,223	1,254	1,244	1,268	1,279	1,282	1,316	1,326	1,335	1,346	1,357	1,370	1,369	1,354	1,374

TABELA 25 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=0,2 e raio de curvatura Rc=0,1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Var. P.	0,00	1,00	1,80	3,00	4,00	6,00	8,00	13,00	26,00	38,00	52,00	73,00	93,00	101,00	112,00	124,00	131,00	
Q2	L/s	0,000	0,079	0,106	0,138	0,160	0,196	0,227	0,291	0,414	0,503	0,590	0,701	0,793	0,827	0,872	0,919	0,945
Var. P.																		
Q3	L/s	0,982	0,961	0,926	0,899	0,839	0,805	0,757	0,706	0,562	0,476	0,392	0,283	0,174	0,135	0,088	0,039	0,000
Q1	l/s	0,982	1,039	1,033	1,037	0,999	1,002	0,984	0,997	0,977	0,979	0,982	0,984	0,968	0,963	0,960	0,958	0,945
Q2/Q1		0,000	0,076	0,103	0,133	0,160	0,196	0,231	0,292	0,424	0,514	0,601	0,712	0,820	0,859	0,909	0,959	1,000
T1	mm.c.a	2263,0	2374,0	2362,0	2373,0	2268,0	2265,0	2218,0	2248,0	2184,0	2190,0	2202,0	2196,0	2157,0	2147,0	2133,0	2108,0	2093,0
T2	mm.c.a	1675,0	1725,0	1719,0	1723,0	1665,0	1657,0	1627,0	1644,0	1601,0	1607,0	1613,0	1603,0	1583,0	1578,0	1569,0	1542,0	1541,0
T3	mm.c.a	1171,0	1156,0	1154,0	1146,0	1118,0	1102,0	1089,0	1080,0	1047,0	1046,0	1042,0	1037,0	1040,0	1040,0	1028,0	1015,0	1020,0
T4	mm.c.a	1179,0	1166,0	1162,0	1155,0	1127,0	1108,0	1095,0	1085,0	1053,0	1050,0	1044,0	1038,0	1042,0	1040,0	1028,0	1017,0	1020,0
T5	mm.c.a	1178,0	1164,0	1160,0	1154,0	1125,0	1107,0	1093,0	1083,0	1052,0	1047,0	1044,0	1039,0	1042,0	1042,0	1030,0	1015,0	1020,0
T6	mm.c.a	1161,0	1148,0	1147,0	1144,0	1119,0	1102,0	1088,0	1077,0	1044,0	1041,0	1036,0	1031,0	1038,0	1039,0	1028,0	1015,0	1020,0
T7	mm.c.a	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
T8	mm.c.a	1188,0	1169,0	1163,0	1145,0	1111,0	1095,0	1073,0	1060,0	1027,0	1032,0	1030,0	1046,0	1085,0	1109,0	1143,0	1194,0	1200,0
T9	mm.c.a	1236,0	1219,0	1215,0	1205,0	1169,0	1150,0	1124,0	1106,0	1060,0	1048,0	1034,0	1016,0	1004,0	998,0	981,0	947,0	950,0
T10	mm.c.a	1236,0	1219,0	1216,0	1206,0	1174,0	1156,0	1132,0	1116,0	1063,0	1050,0	1035,0	1017,0	1006,0	1003,0	990,0	968,0	975,0
T11	mm.c.a	1236,0	1219,0	1217,0	1207,0	1174,0	1156,0	1134,0	1118,0	1065,0	1052,0	1037,0	1017,0	1007,0	1003,0	991,0	970,0	975,0
T12	mm.c.a	1236,0	1219,0	1217,0	1207,0	1175,0	1155,0	1135,0	1118,0	1069,0	1052,0	1038,0	1021,0	1008,0	1004,0	992,0	970,0	976,0
T13	mm.c.a	1236,0	1219,0	1217,0	1207,0	1174,0	1154,0	1134,0	1116,0	1065,0	1047,0	1031,0	1012,0	996,0	991,0	978,0	954,0	960,0
T14	mm.c.a	1236,0	1219,0	1217,0	1207,0	1174,0	1154,0	1134,0	1116,0	1065,0	1047,0	1031,0	1012,0	996,0	991,0	978,0	954,0	960,0

TABELA 26 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T". Para a razão de área Ra=0,2 e raio de curvatura Rc=0,1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Q1	0,982	1,039	1,033	1,037	0,999	1,002	0,984	0,997	0,977	0,979	0,982	0,984	0,968	0,963	0,960	0,958	0,945
V1=Q1/0,24	4,091	4,331	4,302	4,319	4,161	4,173	4,101	4,154	4,070	4,077	4,090	4,101	4,033	4,012	4,000	3,992	3,936
T2+V1^2/2/g	2285,2	2508,9	2484,4	2508,9	2385,4	2394,6	2329,3	2385,7	2306,1	2311,3	2344,4	2361,2	2307,8	2298,3	2293,3	2285,3	2242,8
R _{ey} *E+04	4,9	5,2	5,2	5,2	5,0	5,0	4,9	5,0	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,8	4,8	4,8	4,7
fl	0,0201	0,0198	0,0198	0,0198	0,0200	0,0200	0,0201	0,0200	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0202	0,0202	0,0202	0,0203
h1 teor	787,9	870,4	860,4	866,4	811,5	815,7	791,3	809,3	780,6	783,2	787,3	791,2	768,2	761,3	757,3	754,8	736,5
h1 exp	811,4	895,6	887,3	897,0	832,1	839,0	815,6	833,5	804,5	804,5	812,8	818,3	792,1	785,2	778,3	781,1	761,8
Q2	0,000	0,079	0,106	0,138	0,160	0,196	0,227	0,291	0,414	0,503	0,590	0,701	0,793	0,827	0,872	0,919	0,945
V2	0,000	0,066	0,088	0,115	0,133	0,163	0,189	0,242	0,345	0,419	0,492	0,584	0,661	0,690	0,727	0,766	0,787
T14+V2^2/2/g	405,0	398,2	396,4	392,7	409,9	397,4	389,8	377,0	349,1	329,9	333,3	337,4	340,3	346,2	349,9	348,9	351,6
R _{ey} *E+04	0,0	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
l2	0,0000	0,0474	0,0440	0,0412	0,0398	0,0378	0,0364	0,0342	0,0313	0,0298	0,0287	0,0275	0,0266	0,0263	0,0260	0,0257	0,0255
h2 teor	0,0	0,3	0,5	0,8	1,1	1,5	2,0	3,0	5,6	7,9	10,5	14,1	17,6	18,9	20,7	22,7	23,8
h2 exp	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	1,8	1,8	3,6	7,1	8,9	12,4	16,0	21,3	23,1	24,9	28,4	28,4
Q3	0,982	0,961	0,926	0,899	0,839	0,805	0,757	0,706	0,562	0,476	0,392	0,283	0,174	0,135	0,088	0,039	0,000
Q2/Q1	0,000	0,076	0,103	0,133	0,160	0,196	0,231	0,292	0,424	0,514	0,601	0,712	0,820	0,859	0,909	0,959	1,000
h12a	1092,2	1240,3	1227,6	1249,9	1162,2	1179,8	1146,4	1195,8	1169,3	1189,3	1211,3	1216,6	1178,0	1167,7	1161,3	1153,2	1126,3
h12b	1068,7	1215,1	1200,6	1219,3	1141,6	1156,4	1122,2	1171,6	1145,4	1167,9	1185,9	1189,4	1154,1	1143,8	1140,2	1126,9	1101,0
h12c	1092,2	1240,0	1227,1	1249,0	1162,9	1180,0	1146,2	1196,3	1170,8	1190,3	1213,3	1218,4	1181,8	1171,9	1165,4	1158,9	1130,9
K12a	1,280	1,298	1,301	1,314	1,317	1,329	1,337	1,359	1,385	1,404	1,421	1,419	1,421	1,423	1,424	1,420	1,426
K12b	1,253	1,271	1,273	1,282	1,294	1,303	1,309	1,332	1,357	1,378	1,391	1,388	1,392	1,394	1,398	1,387	1,394
K12c	1,280	1,297	1,301	1,313	1,318	1,329	1,337	1,360	1,387	1,405	1,423	1,422	1,426	1,429	1,429	1,427	1,432

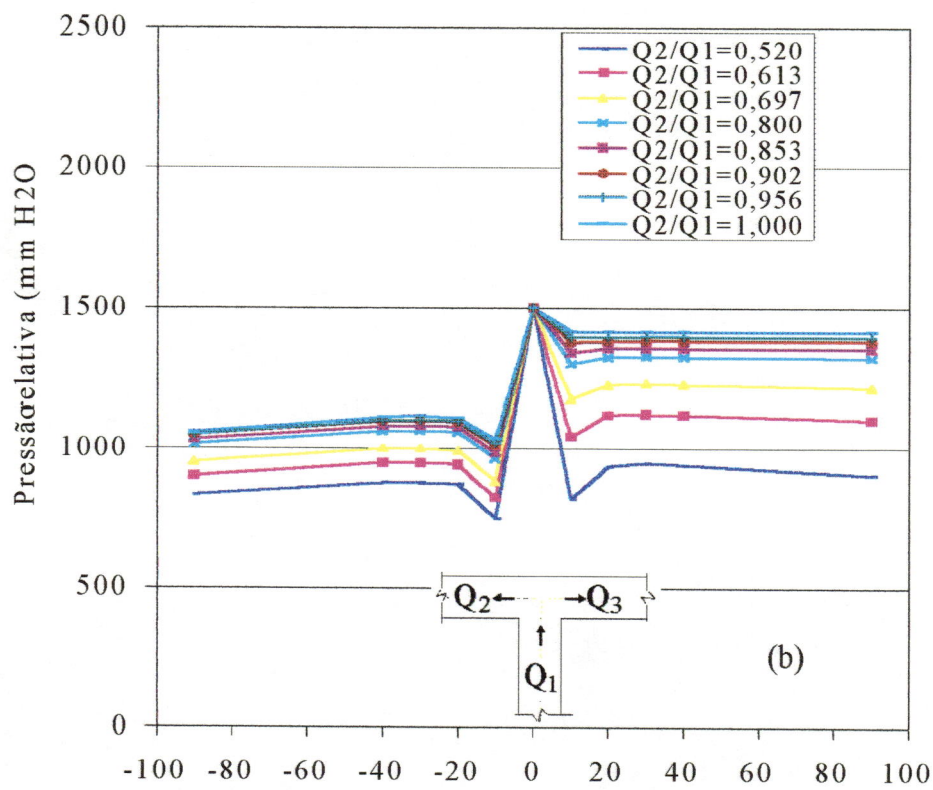
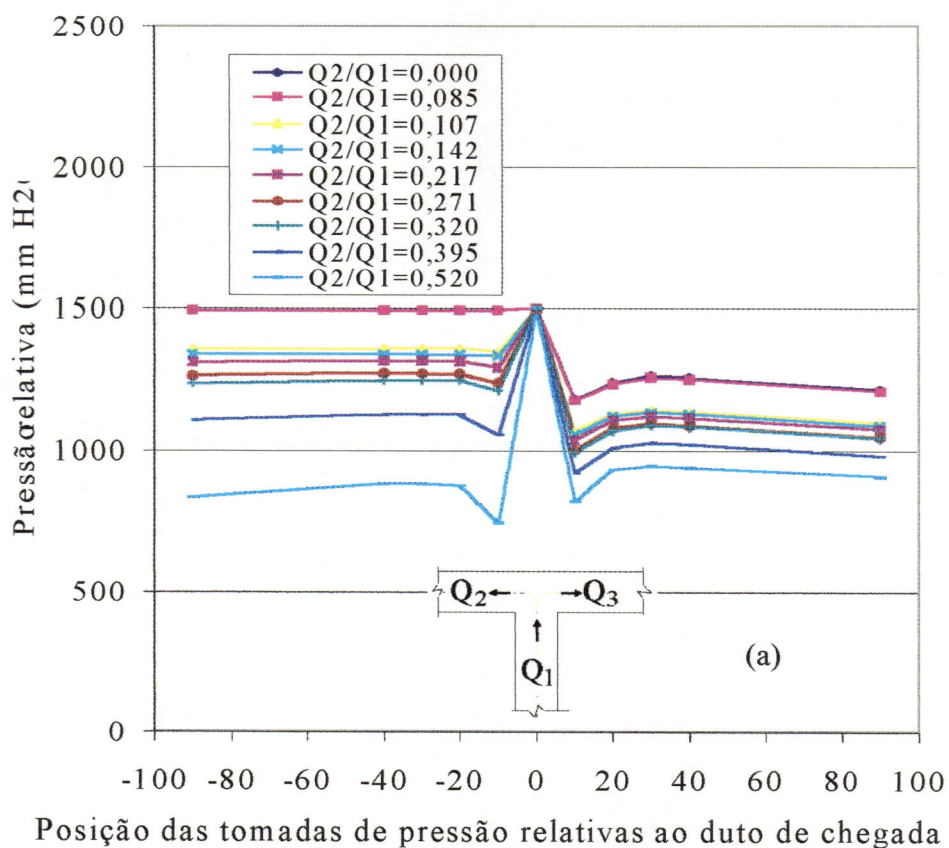
TABELA 27 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T" para a razão de área Ra=0,2 e raio de curvatura Rc=0.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Início																
Var. P.	0,00	1,50	2,00	3,00	7,00	10,00	14,00	27,00	38,00	47,00	64,00	82,00	95,00	105,00	119,00	134,00
Q2	0,000	0,097	0,112	0,138	0,212	0,255	0,302	0,422	0,503	0,560	0,656	0,744	0,802	0,844	0,900	0,956
Var. P.	1300	1069,0	1010,0	962,0	801,0	699,0	620,0	413,0	290,00	224,0	129,0	65,0	33,0	17,0	4,0	0,0
Q3	0,982	0,891	0,866	0,846	0,772	0,722	0,680	0,556	0,466	0,410	0,312	0,222	0,159	0,114	0,056	0,000
Q1	0,982	0,988	0,978	0,983	0,984	0,976	0,982	0,978	0,969	0,970	0,968	0,966	0,961	0,958	0,955	0,956
Q2/Q1	0,000	0,098	0,115	0,140	0,216	0,261	0,308	0,432	0,519	0,577	0,678	0,770	0,835	0,881	0,942	1,000
T1																
T2	mm.c.a	2333,0	2354,0	2314,0	2277,0	2253,0	2243,0	2232,0	2229,0	2233,0	2222,0	2197,0	2183,0	2173,0	2153,0	2141,0
T3	mm.c.a	1746,0	1766,0	1738,0	1746,0	1698,0	1667,0	1659,0	1646,0	1648,0	1652,0	1635,0	1631,0	1615,0	1604,0	1585,0
T4	mm.c.a	1199,0	1196,0	1170,0	1160,0	1114,0	1081,0	1062,0	1038,0	1034,0	1037,0	1040,0	1039,0	1035,0	1033,0	1022,0
T5	mm.c.a	1204,0	1201,0	1175,0	1164,0	1118,0	1085,0	1066,0	1042,0	1036,0	1041,0	1043,0	1041,0	1037,0	1033,0	1022,0
T6	mm.c.a	1197,0	1194,0	1169,0	1159,0	1116,0	1083,0	1064,0	1040,0	1035,0	1040,0	1042,0	1041,0	1037,0	1034,0	1023,0
T7	mm.c.a	1159,0	1162,0	1150,0	1142,0	1104,0	1073,0	1059,0	1034,0	1031,0	1032,0	1034,0	1036,0	1035,0	1033,0	1022,0
T8	mm.c.a	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0
T9	mm.c.a	1239,0	1226,0	1170,0	1151,0	1098,0	1061,0	1042,0	1002,0	991,0	989,0	974,0	966,0	968,0	973,0	997,0
T10	mm.c.a	1277,0	1273,0	1223,0	1207,0	1149,0	1108,0	1084,0	1040,0	1026,0	1022,0	1008,0	988,0	975,0	966,0	941,0
T11	mm.c.a	1279,0	1267,0	1230,0	1218,0	1160,0	1118,0	1091,0	1045,0	1028,0	1025,0	1010,0	989,0	977,0	969,0	951,0
T12	mm.c.a	1279,0	1267,0	1230,0	1218,0	1161,0	1119,0	1094,0	1047,0	1029,0	1026,0	1010,0	989,0	977,0	969,0	951,0
T13	mm.c.a	1279,0	1267,0	1230,0	1218,0	1162,0	1119,0	1095,0	1048,0	1029,0	1027,0	1012,0	991,0	977,0	970,0	951,0
T14	mm.c.a	1279,0	1267,0	1230,0	1218,0	1160,0	1118,0	1092,0	1045,0	1025,0	1022,0	1004,0	983,0	968,0	960,0	940,0

TABELA 28 - Medidas de vazões e distribuição de pressões no duto "T". Para a razão de área Ra=0,2 e raio de curvatura Rc=0.

	Início	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Q1	l/s	0,982	0,988	0,978	0,983	0,984	0,976	0,982	0,978	0,969	0,970	0,968	0,966	0,961	0,958	0,955	0,956
V1	m/s	4,091	4,116	4,076	4,097	4,101	4,067	4,092	4,076	4,038	4,044	4,032	4,025	4,002	3,992	3,980	3,982
T2+V1 ² /2/g	mm	2287,2	2323,4	2299,0	2319,7	2322,4	2311,2	2326,5	2326,6	2313,9	2319,4	2320,6	2309,8	2299,5	2295,2	2288,4	2289,2
Rey *E+04		4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,8	4,9	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
f1		0,0201	0,0200	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0202	0,0202	0,0202	0,0202	0,0202	0,0202
h1 teor	mm	787,9	796,2	782,9	790,0	791,3	779,9	788,2	782,6	769,9	771,9	768,1	765,8	758,2	754,8	750,8	751,5
h1 exp	mm	810,1	811,4	792,1	783,8	799,0	808,7	805,9	808,7	801,8	801,8	810,1	781,1	783,8	785,2	783,8	783,8
Q2	l/s	0,000	0,097	0,112	0,138	0,212	0,255	0,302	0,422	0,503	0,560	0,656	0,744	0,802	0,844	0,900	0,956
V2	m/s	0,000	0,081	0,093	0,115	0,177	0,212	0,252	0,352	0,419	0,467	0,546	0,620	0,668	0,703	0,750	0,796
T1+V2 ² /2/g	mm	380,0	373,3	370,4	368,7	349,6	335,3	325,2	299,3	287,9	286,1	289,2	289,6	290,8	295,2	296,6	296,3
Rey *E+04		0,0	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,8	1,1	1,3	1,4	1,6	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4
f2		0,0000	0,0451	0,0434	0,0412	0,0370	0,0354	0,0339	0,0312	0,0298	0,0290	0,0279	0,0271	0,0266	0,0262	0,0258	0,0254
h2 teor	mm	0,0	0,4	0,6	0,8	1,7	2,4	3,2	5,8	7,9	9,6	12,6	15,7	17,9	19,6	21,9	24,3
h2 exp	mm	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	1,8	5,3	5,3	7,1	8,9	14,2	14,2	16,0	17,8	19,5	21,3
Q3	l/s	0,982	0,891	0,866	0,846	0,772	0,722	0,680	0,556	0,466	0,410	0,312	0,222	0,159	0,114	0,056	0,000
Q2/Q1		0,000	0,098	0,115	0,140	0,216	0,261	0,308	0,432	0,519	0,577	0,678	0,770	0,835	0,881	0,942	1,000
h12a	mm	1119,2	1153,9	1145,6	1161,1	1177,9	1194,3	1207,7	1239,3	1248,9	1252,5	1249,1	1240,2	1234,5	1227,5	1221,4	1220,1
h12b	mm	1097,1	1138,7	1136,4	1167,2	1170,2	1165,5	1190,0	1213,3	1217,1	1222,6	1207,1	1224,9	1208,9	1197,1	1188,4	1187,8
h12c	mm	1119,2	1153,4	1145,0	1160,2	1179,7	1193,6	1209,8	1238,8	1248,2	1251,8	1250,8	1238,7	1232,6	1225,7	1219,1	1217,1
K12a		1,312	1,336	1,353	1,357	1,374	1,416	1,415	1,464	1,503	1,503	1,507	1,502	1,512	1,511	1,513	1,510
K12b		1,286	1,319	1,342	1,364	1,365	1,382	1,394	1,433	1,465	1,467	1,457	1,483	1,481	1,474	1,472	1,470
K12c		1,312	1,336	1,352	1,356	1,376	1,416	1,417	1,463	1,502	1,502	1,509	1,500	1,510	1,509	1,510	1,506

Apêndice B



Posição das tomadas de pressão relativas ao duto de chegada (cm).

FIGURA 32 - Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a=1,0$ e raio de curvatura $R_c=0$.

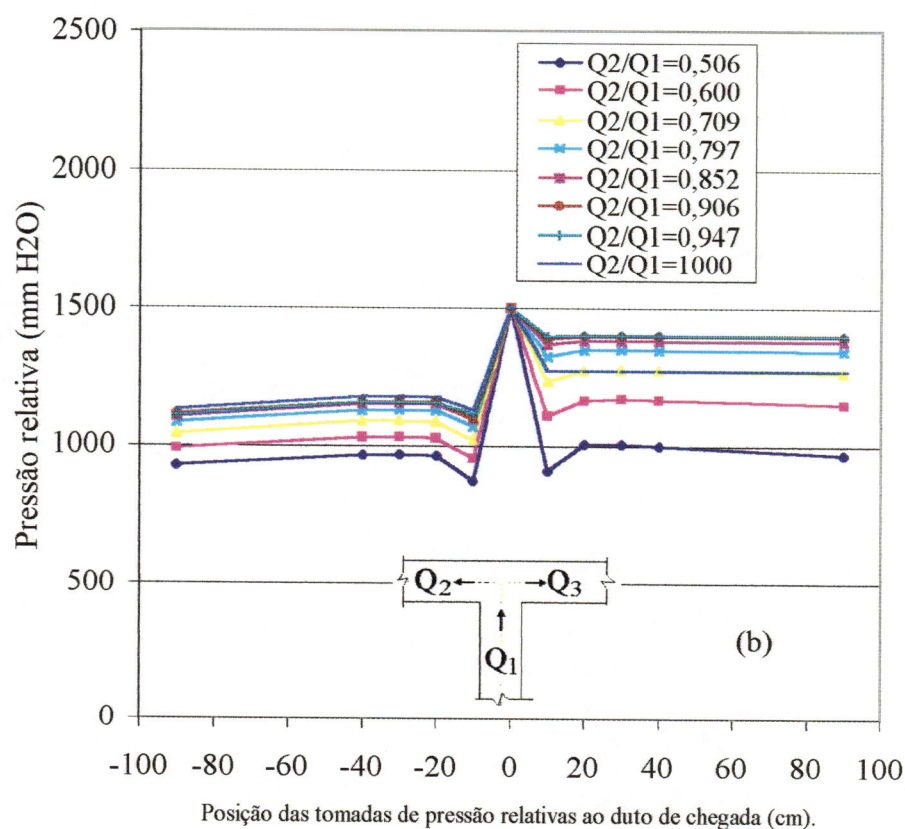
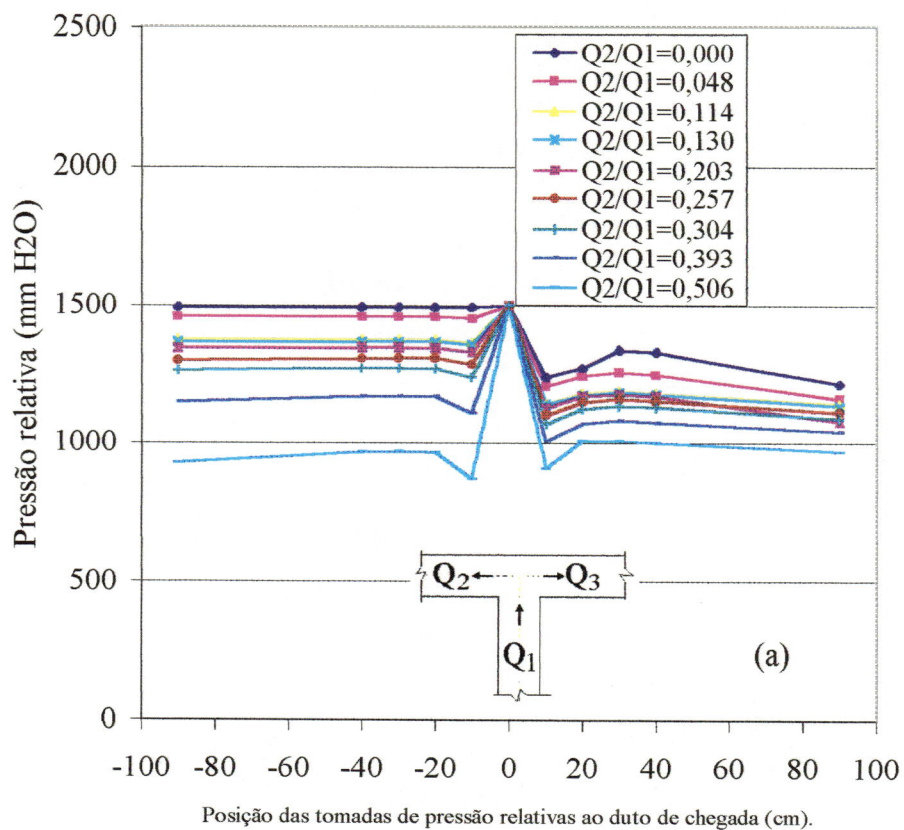


FIGURA 33- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 1,0$ e raio de curvatura $R_c=0,10$

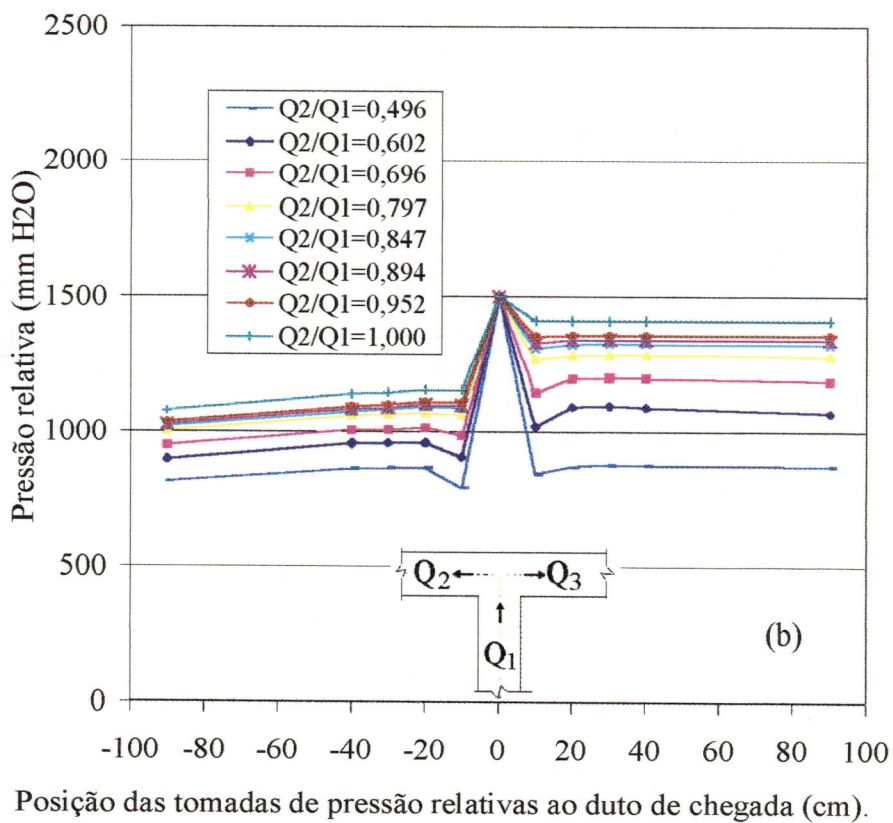
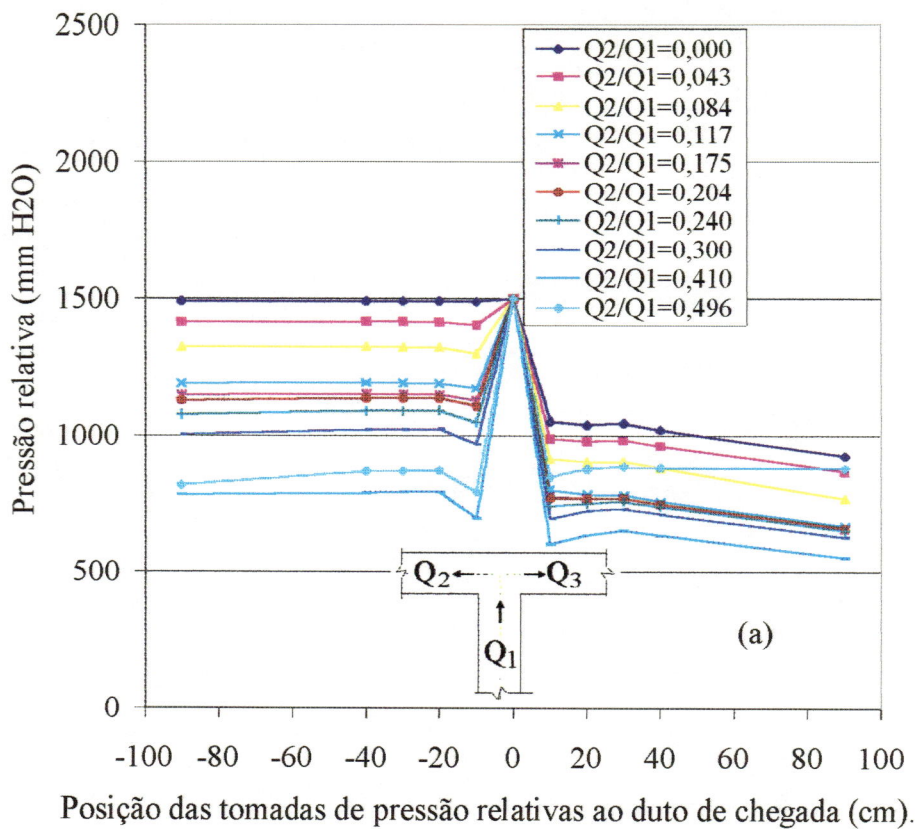


FIGURA 34 - Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 1,0$ e raio de curvatura $R_c = 0,2$. Segundo ensaio.

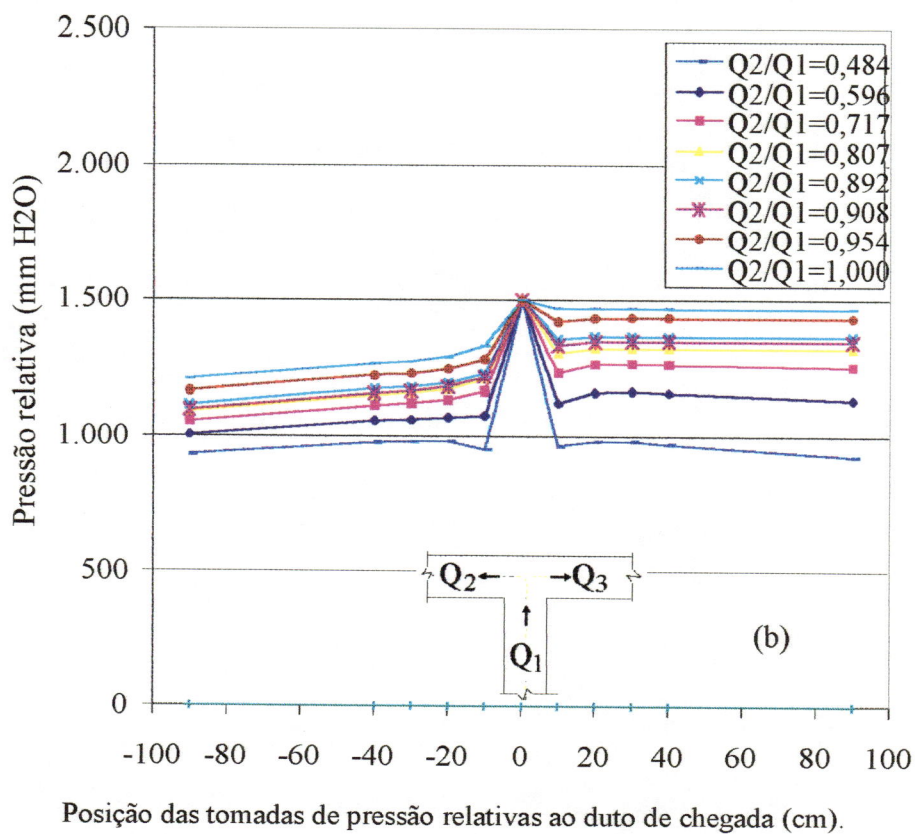
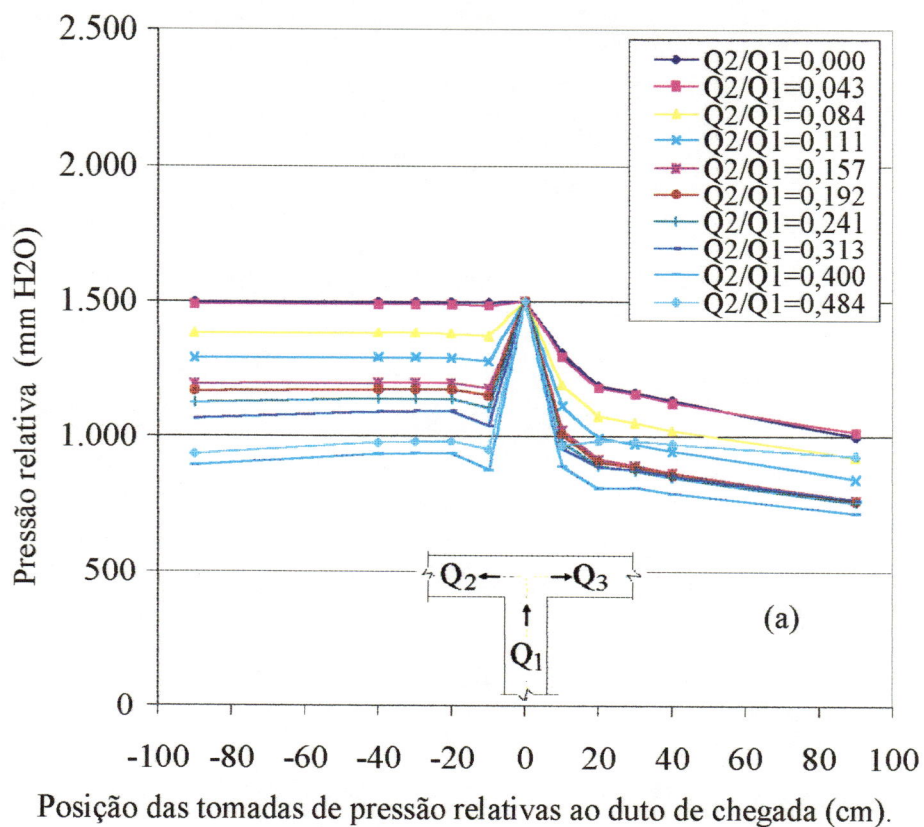


FIGURA 35 - Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $Ra=1,0$ e raio de curvatura $Rc=0,50$. Primeiro ensaio.

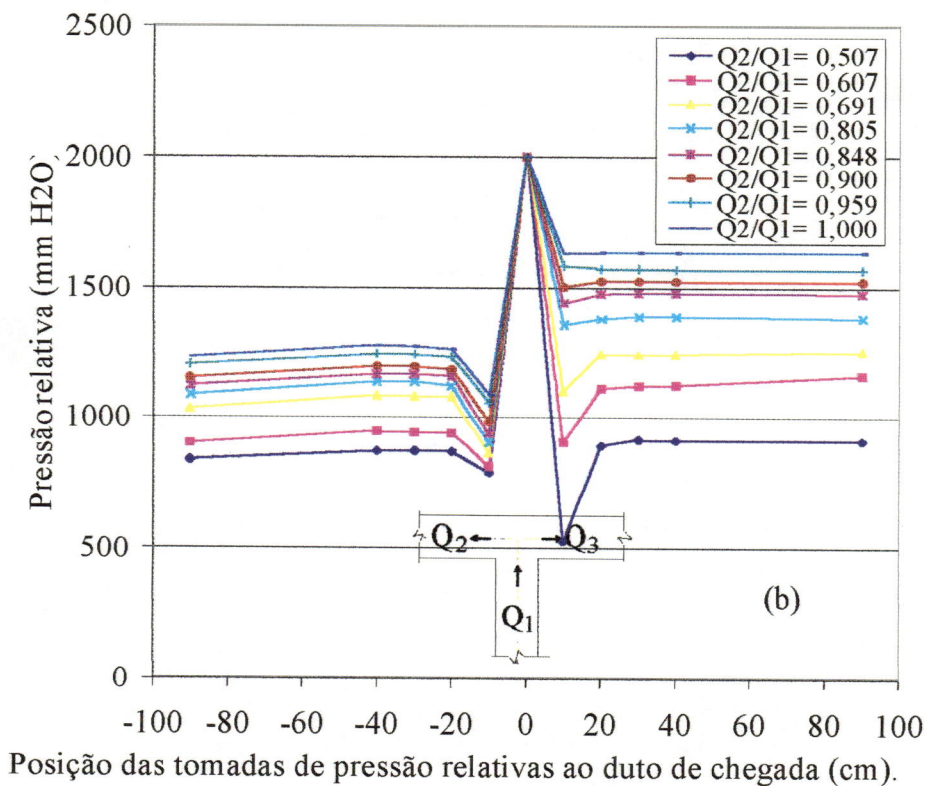
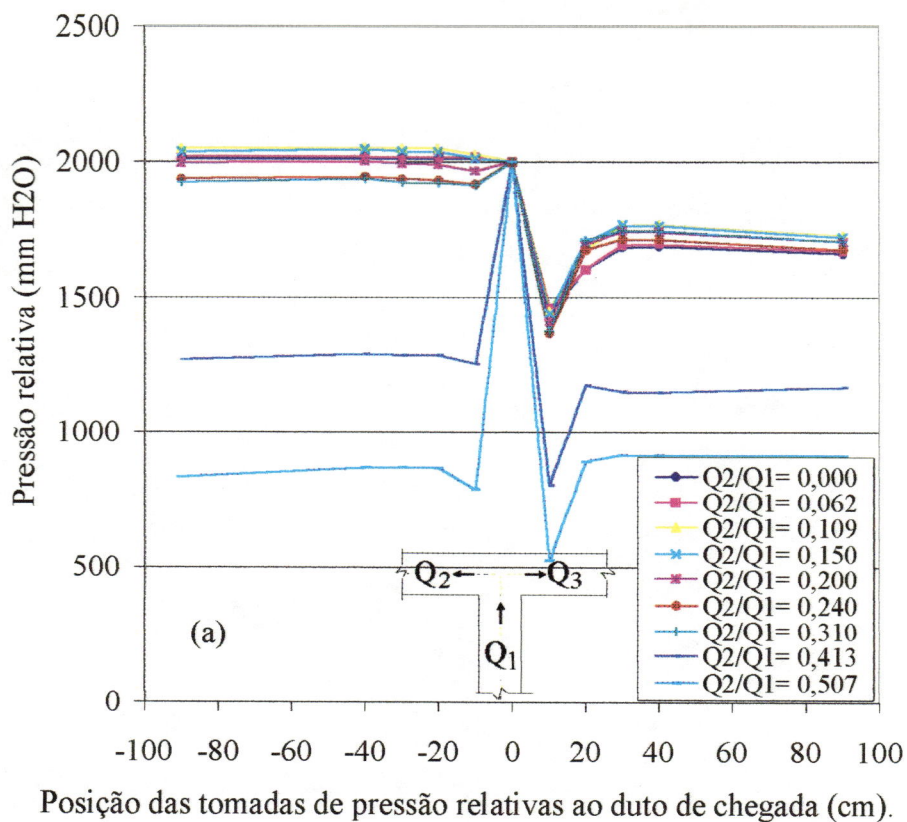
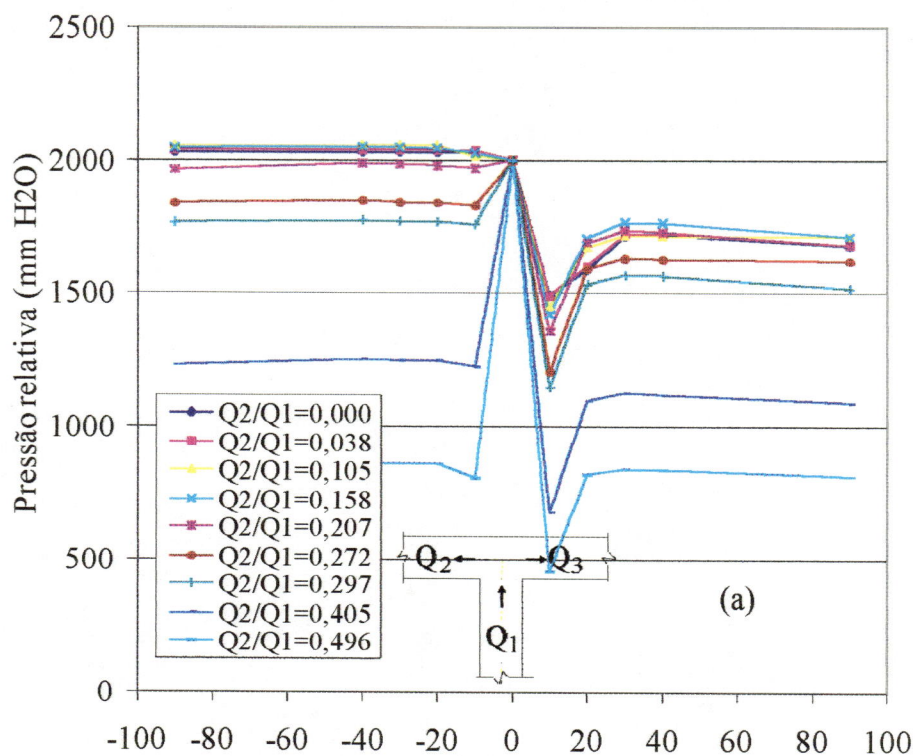
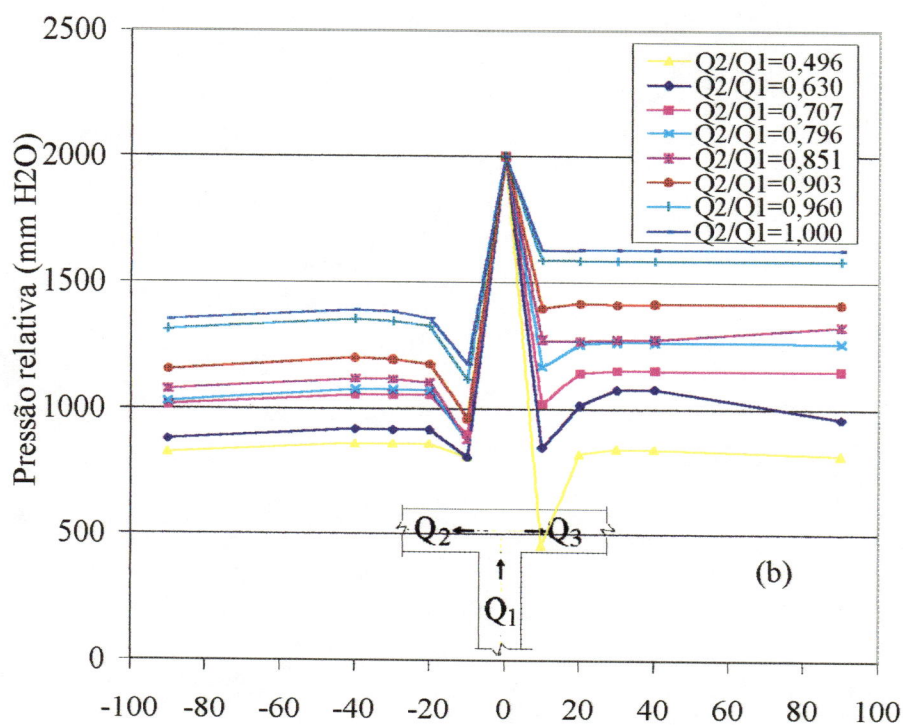


FIGURA 36- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 0,5$ e raio de curvatura $R_c = 0$.



Posição das tomadas de pressão relativas ao duto de chegada (cm).



Posição das tomadas de pressão relativas ao duto de chegada (cm).

FIGURA 37- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 0,50$ e raio de curvatura $R_c=0,1$

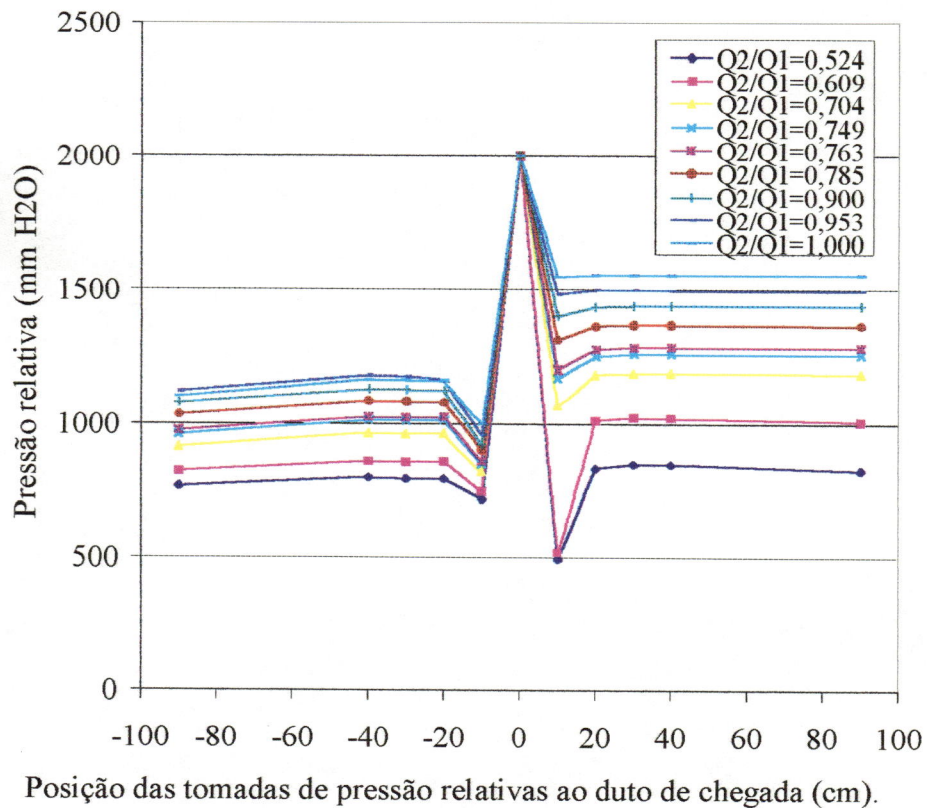
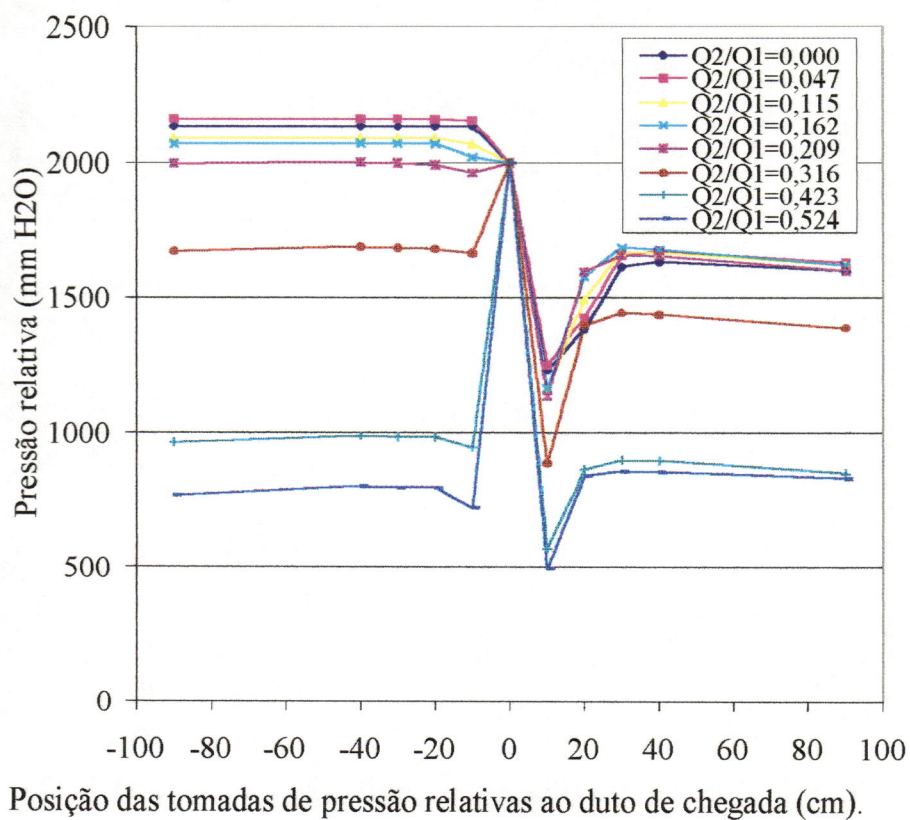


FIGURA 38 - Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 0,5$ e raio de curvatura $R_c=0,2$

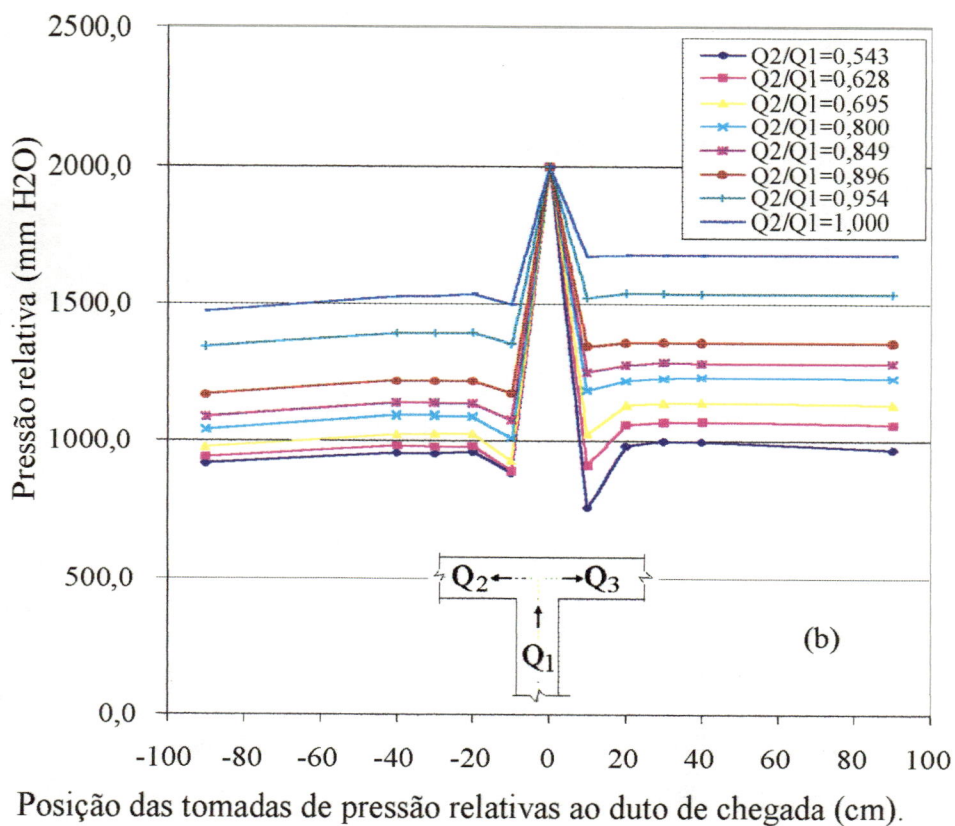
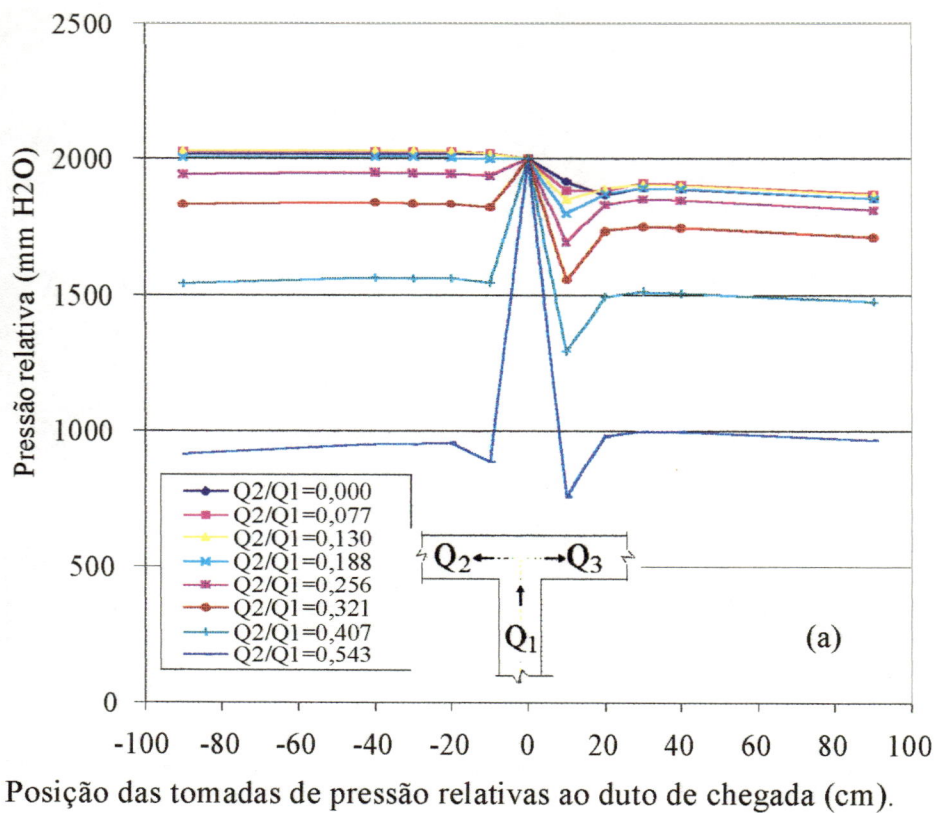


FIGURA 39- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 0,5$ e raio de curvatura $R_c=0,5$

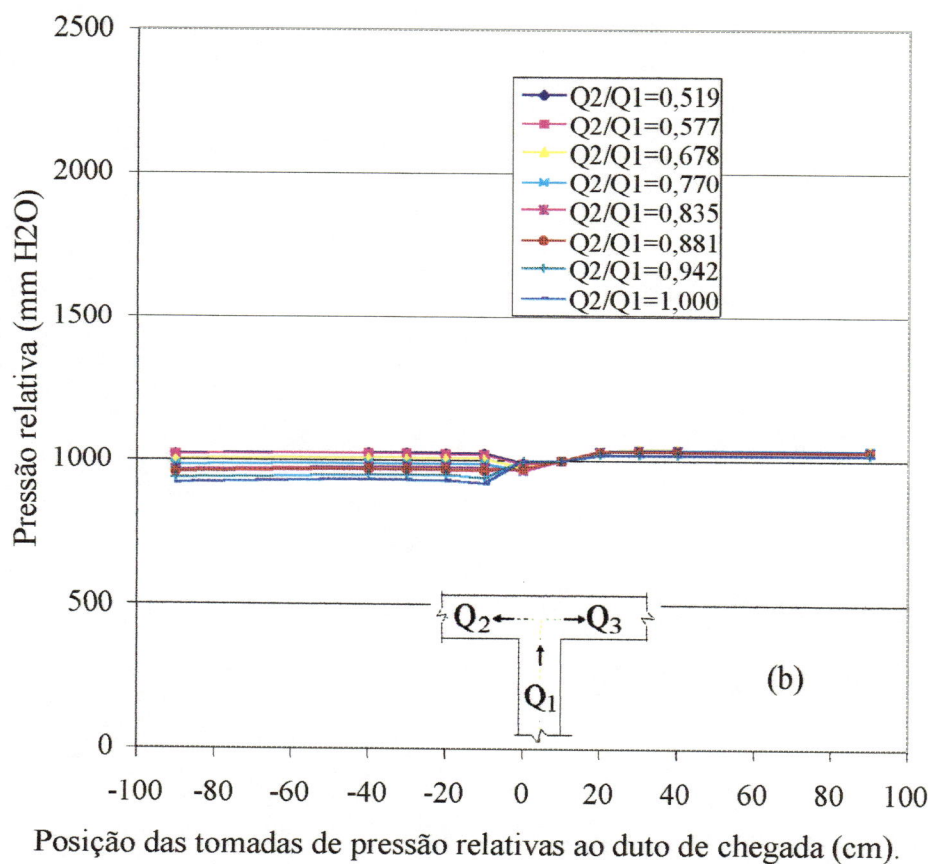
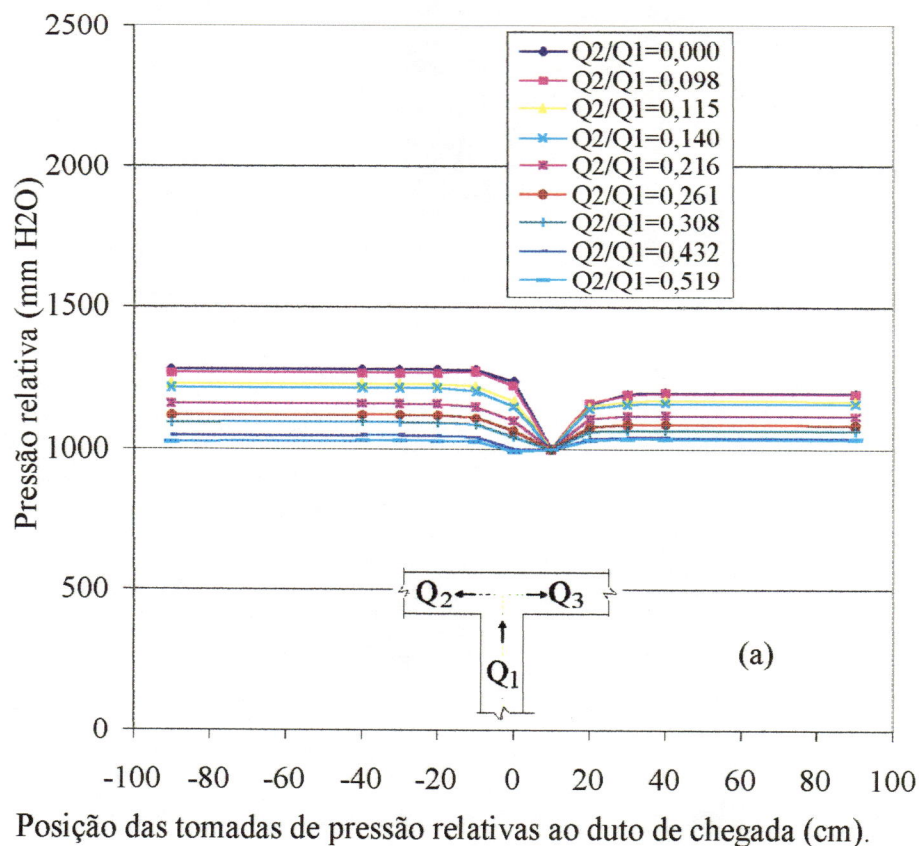


FIGURA 40- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 0,2$ e raio de curvatura $R_c=0$.

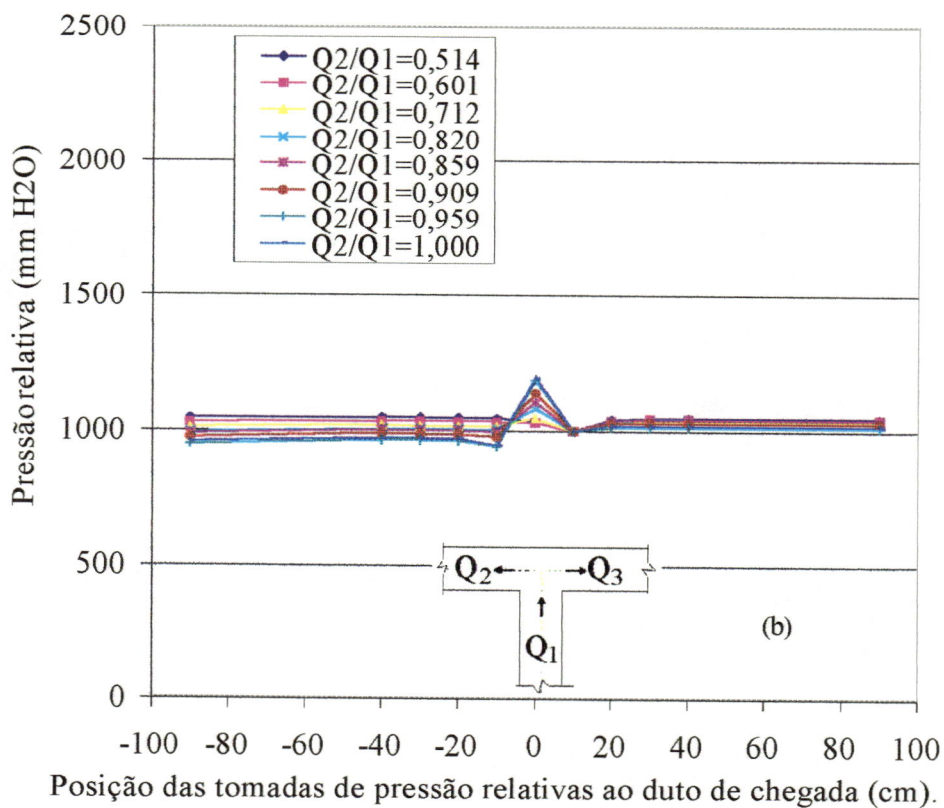
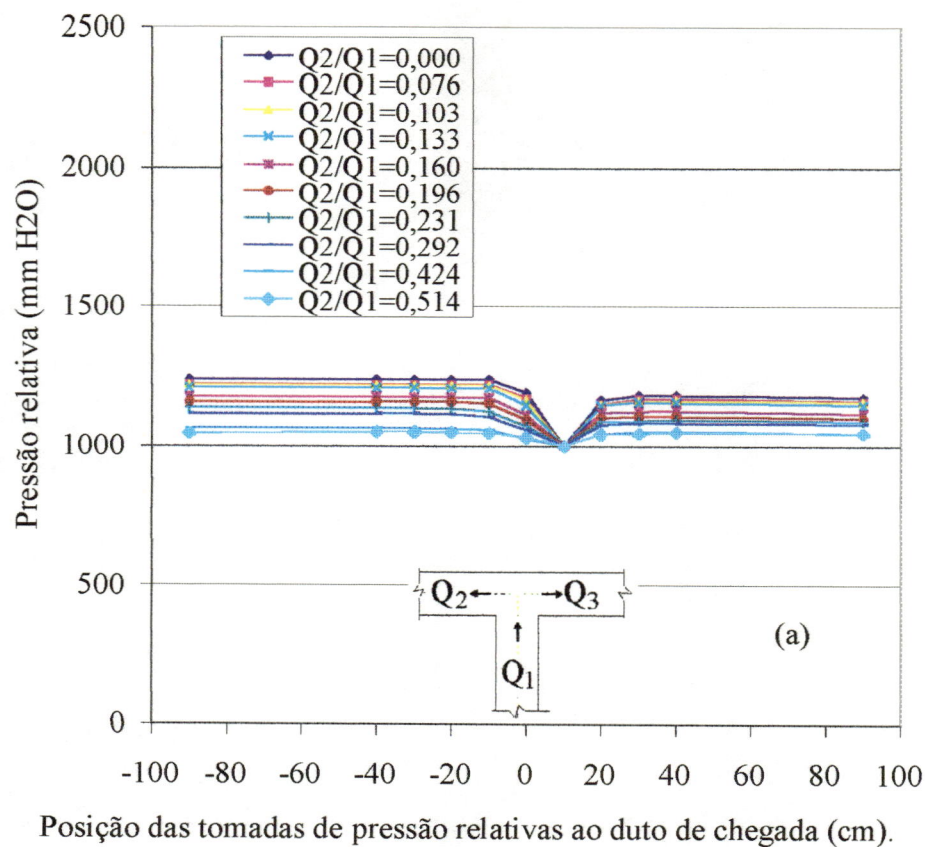


Figura 41- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 0,20$ e raio de curvatura $R_c = 0,10$.

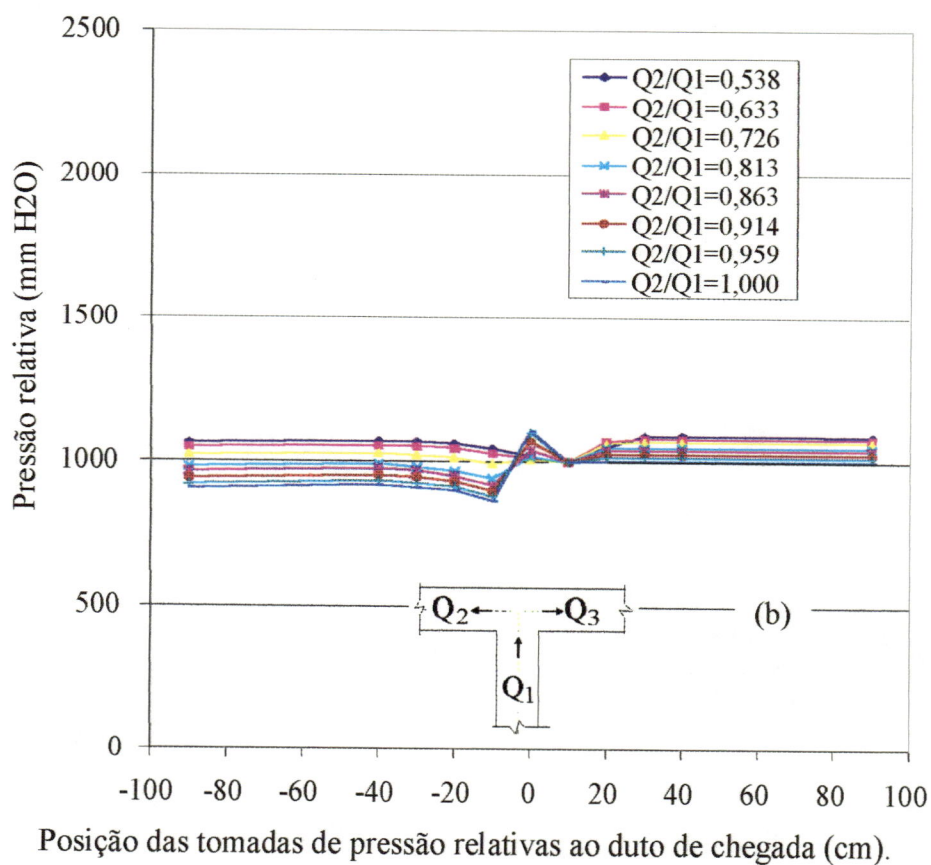
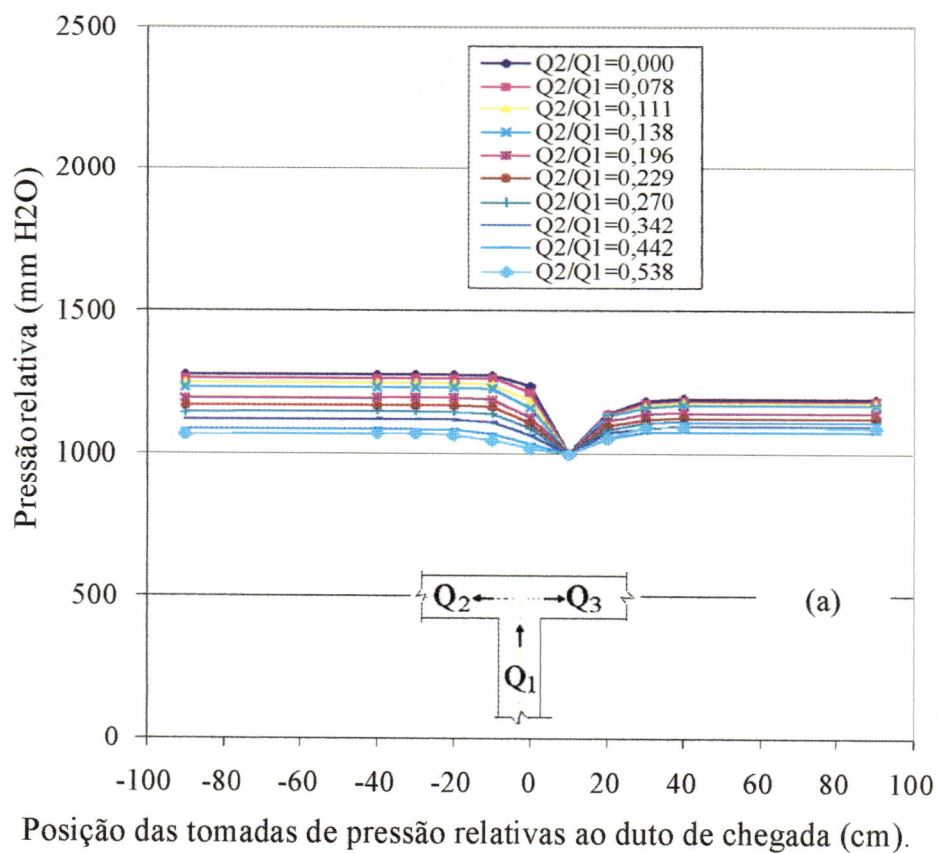


Figura 42- Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 0,2$, e raio de curvatura $R_c = 0,2$.

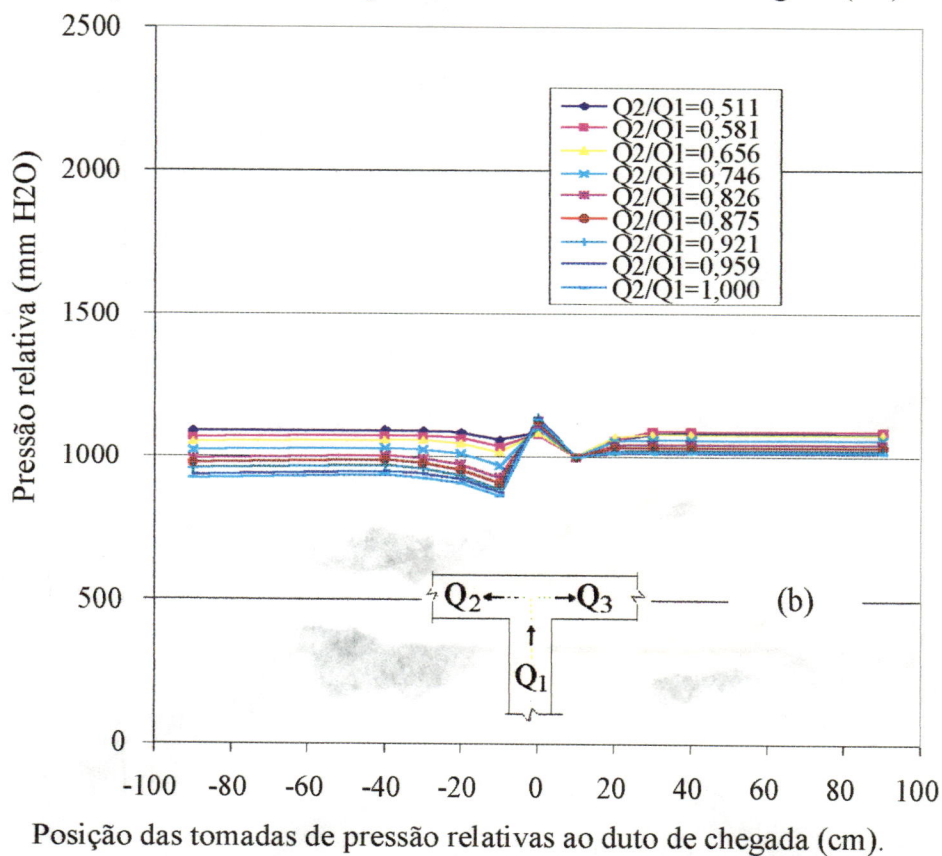
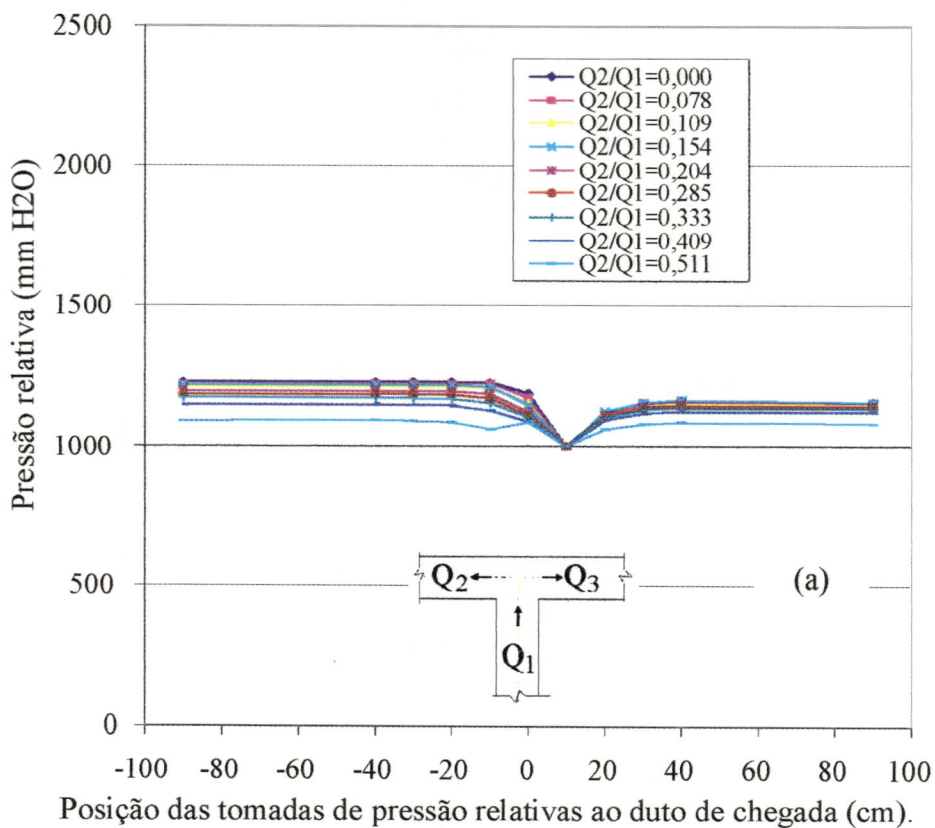


Figura 43 - Medidas de distribuição de pressões no duto "T", para razão de área $R_a = 0,2$ e raio de curvatura $R_c = 0,5$.