

C E T E S B

MEDIÇÃO DE VAZÃO COM PLACAS  
DE ORIFÍCIO (DIAFRAGMA)

L 4. 2 4 0

- Procedimento -

SET/82

SUMÁRIO

	Página
1 Objetivo.....	1
2 Referências.....	1
3 Símbolos e Definições.....	1
4 Condições Gerais.....	4
5 Condições Específicas.....	12

1 OBJETIVO

1.1 Esta Norma fixa as condições exigíveis para o uso de placas de orifício (diafragma) na medida de vazão, em condutos com diâmetro interno maior ou igual a 50 mm.

1.2 Esta Norma descreve as características da placa no que respeita a sua geometria, acabamento superficial e condições para a sua instalação.

1.3 Esta Norma se aplica à medida de vazão de líquidos homogêneos, de fase simples e em condutos forçados.

2 REFERÊNCIAS

Na aplicação desta Norma pode ser necessário consultar a ISO R541 - 1967 (E) - "MEASUREMENT OF FLUID FLOW BY MEANS OF ORIFICE PLATES AND NOZZLES".

3 SÍMBOLOS E DEFINIÇÕES

Para efeito desta Norma são válidos os seguintes símbolos e definições:

3.1 Símbolos

- $C_d$  Coeficiente de vazão ou de descarga (Adimensional)  
 $\beta$  Relação de diâmetros  $\beta = d/D$  (Adimensional)  
 $C_v$  Coeficiente de velocidade  $C_v = C_d/E$  (Adimensional)

E	Fator de velocidade de chegada	$E = (1-\beta^4)^{-1/2}$	(Adimensional)
m	Relação de áreas	$m = \beta^2$	(Adimensional)
R <sub>D</sub>	Número de Reynolds	$R_D = V.D/\nu$	(Adimensional)
d	Diâmetro do orifício	(L)	
D	Diâmetro interno do tubo a montante do elemento primário	(L)	
K	Rugosidade uniforme equivalente	(L)	
$\Delta p$	Pressão diferencial	$(ML^{-1} T^{-2})$	
h	Pressão diferencial expressa em coluna do líquido que escoar no conduto	(L)	
$\mu$	Coefficiente de viscosidade dinâmica	$(ML^{-1} T^{-1})$	
$\nu$	Coefficiente de viscosidade cinemática	$L^2 T^{-1}$	
p	Pressão estática	$(ML^{-1} T^{-2})$	
g	Aceleração da gravidade	$(LT^{-2})$	
hm	Desnível observado entre os meniscos do líquido manométrico, num manômetro diferencial	(L)	
Q <sub>m</sub>	Vazão em massa	$(MT^{-1})$	
Q	Vazão em volume	$(L^3 T^{-1})$	
$\rho$	Massa específica	$(ML^{-3})$	
$\gamma$	Peso específico	$(ML^{-2} T^{-2})$	
$\gamma_m$	Peso específico do líquido manométrico	$(ML^{-2} T^{-2})$	
t	Temperatura	( $\theta$ )	
$\Delta H_s$	Perda de carga localizada	(L)	
V	Velocidade média	$(LT^{-1})$	

### 3.2 Definições

#### 3.2.1 Coeficiente de vazão ou de descarga

Quantidade representada por  $C_d$  e definida pela expressão:

$$C_d = \frac{Q_m}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\rho\Delta p}} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gh}}$$

O coeficiente de vazão é um número adimensional e seu valor depende do tipo de elemento primário, do tipo de instalação e do número de Reynolds. O valor numérico de  $C_d$  para diferentes instalações e mesmo tipo de elemento primário será o mesmo, desde que as instalações sejam geometricamente semelhantes e os escoamentos sejam caracterizados por número de Reynolds idênticos.

#### 3.2.2 Coeficiente de velocidade

Relação entre o coeficiente de vazão  $C_d$  e o Fator de velocidade de chegada E. É um número adimensional.

$$C_v = \frac{C_d}{E}$$

#### 3.2.3 Conduto forçado

O escoamento de um líquido no interior de um tubo é em conduto forçado quando o líquido está em contato com toda a superfície interna do tubo, ou seja, quando o líquido "molha" todo o perímetro da seção de escoamento.

### 3.2.4 Elemento primário

É um dispositivo que apresenta uma constrictão e que é introduzido num tubo para provocar um diferencial de pressão, através do qual se pode medir a vazão. O diferencial de pressão é superior à perda de carga localizada devida ao estrangulamento da seção de escoamento. As tomadas de pressão através das quais o diferencial é medido fazem parte do elemento primário.

### 3.2.5 Elemento secundário

Todos os demais instrumentos e dispositivos conectados às tomadas de pressão para indicar, registrar ou integrar o diferencial de pressão ao longo do tempo.

### 3.2.6 Fator de velocidade de chegada

É um número adimensional, representado por E e definido como:

$$E = (1 - \beta^4)^{-1/2} = D^2 / \sqrt{D^4 - d^4} = (1 - m^2)^{-1/2}$$

### 3.2.7 Número de Reynolds do tubo

É o número de Reynolds calculado sempre em relação às condições de montante do fluido e ao diâmetro de montante do tubo, relativamente ao elemento primário. É definido como:

$$R_D = \frac{V D}{\nu}$$

### 3.2.8 Placa de orifício

Elemento primário em forma de disco, construído com uma chapa fina, apresentando um orifício de canto vivo e de seção circular em sua parte central. O tipo de placa de orifício é definido pela posição das tomadas de pressão a saber:

#### 3.2.8.1 Tomada tipo angular.

#### 3.2.8.2 Tomada tipo "vena contracta".

#### 3.2.8.3 Tomada tipo flange.

### 3.2.9 Pressão estática de um líquido escoando através de uma tubulação retilínea

É a pressão que pode ser medida conectando um manômetro a uma tomada de pressão na parede do tubo.

### 3.2.10 Pressão diferencial

É a diferença entre as pressões estáticas a montante e a jusante do elemento primário, quando este está inserido num trecho reto de tubo e quando não há diferença de cota entre as respectivas tomadas de pressão. Usando-se um manômetro diferencial, a pressão diferencial em unidades de coluna do líquido escoando é dada por:

$$h = h_m \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right)$$

### 3.2.11 Perda de carga

É a diferença entre a pressão estática medida no lado de montante do elemento primário, numa seção livre da influência da perturbação provocada pelo elemento primário e a pressão estática medida no lado de jusante do elemento primário, numa seção em que a recuperação da pressão, pela expansão do jato, já se verificou totalmente, e desde que não haja diferença de cota entre as respectivas tomadas de pressão.

### 3.2.12 Tomada de pressão na parede do tubo

Abertura executada na parede do tubo, cuja aresta interna é rente com a superfície interna do tubo. A abertura é geralmente, de seção circular, porém em alguns casos pode ser uma ranhura anular. Neste último caso ela se denomina tomada integral. (Ver item 5.2.2).

### 3.2.13 Vazão

Quantidade de líquido que passa através do orifício na unidade de tempo. Esta quantidade pode ser caracterizada por sua massa ou seu volume e então a vazão será expressa em unidades de massa ou de volume por unidade de tempo.

## 4 CONDIÇÕES GERAIS

As placas de orifício (diafragma), construídas obedecendo às exigências desta Norma serão semelhantes a placas já aferidas, cujos resultados são conhecidos. Assim, as condições de uso sendo as mesmas, bastará serem conhecidas as características do líquido e determinado o diferencial de pressão entre as seções de montante e jusante da placa, para que a vazão seja obtida, uma vez que poderão ser utilizados os resultados obtidos na aferição da placa que lhe é semelhante.

### 4.1 Placa de orifício (diafragma)

#### 4.1.1 Corte diametral (esquemático)

A Figura 1 apresenta um corte passando pelo centro de uma placa de orifício.

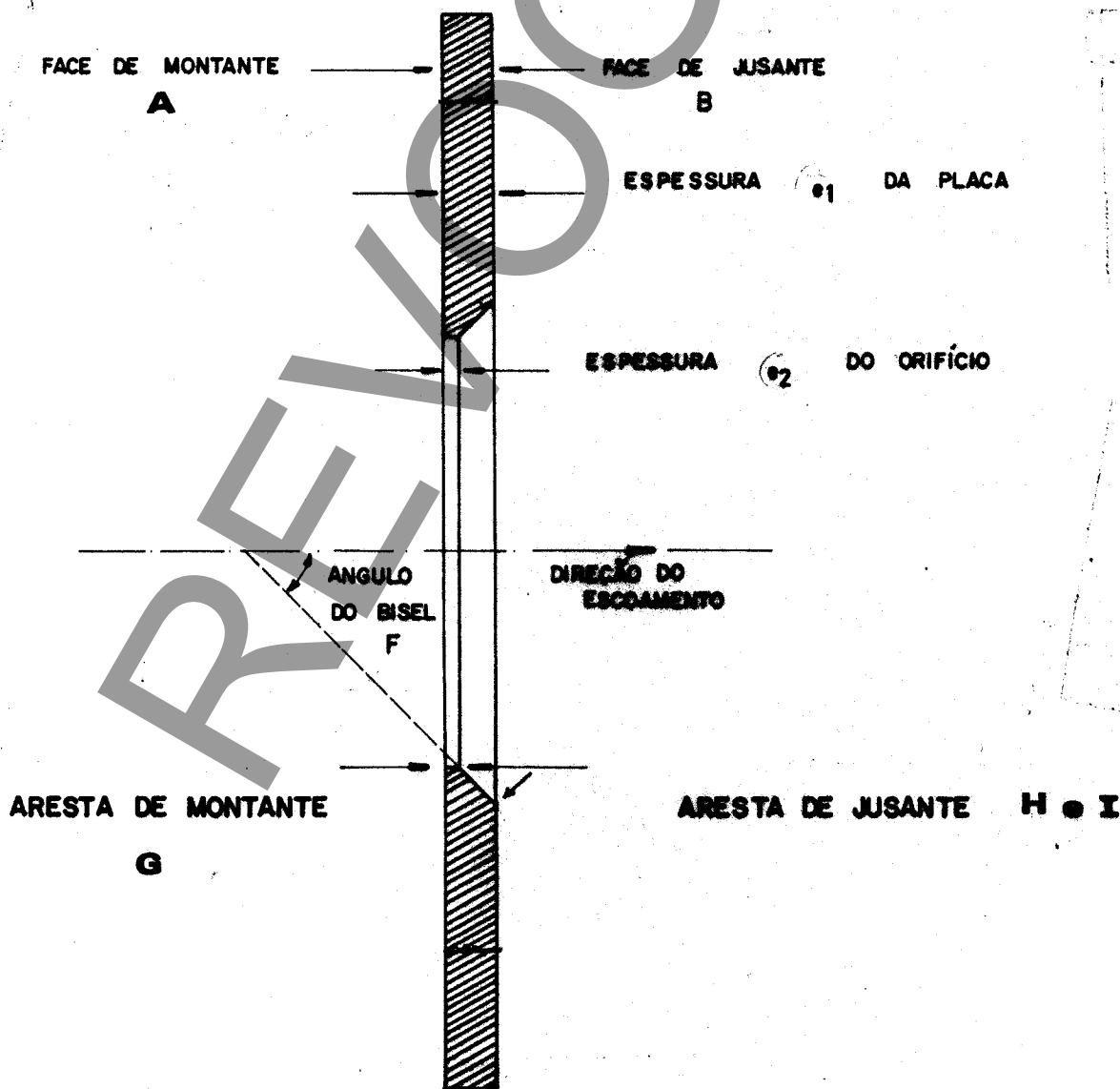


FIGURA 1 - Placa de Orifício (Diafragma) Padronizada

#### 4.1.2 Forma

A parte da placa interna ao tubo deverá ter faces planas e paralelas, e deverá ser circular e concêntrica com o eixo do tubo.

#### 4.1.3 Face A de montante

4.1.3.1 A face A deverá ser plana e assim será considerada quando a inclinação de uma linha reta, ligando dois pontos quaisquer de sua superfície, em relação a um plano perpendicular ao seu eixo for inferior a 1%.

4.1.3.2 Dentro de um círculo concêntrico com o orifício e com diâmetro mínimo  $1,5 d$  a rugosidade superficial não deverá exceder a  $0,0003 d$  (altura máxima da irregularidade).

4.1.3.3 Deverá ser executada na placa, marca visível que permita verificar se a posição da face de montante está correta em relação ao sentido do escoamento.

#### 4.1.4 Face B de jusante

4.1.4.1 A face B deverá ser plana e paralela à face A.

4.1.4.2 Não é necessário que o acabamento superficial da face de jusante seja igual ao da face A.

A verificação do grau em que a face B é plana, bem como do seu acabamento superficial pode ser feito à vista desarmada.

#### 4.1.5 Espessuras $e_1$ e $e_2$

4.1.5.1 A espessura  $e_2$  deverá estar compreendida entre  $0,005 D$  e  $0,02 D$ . Quando  $\beta < 0,2$ ,  $e_2$  deverá estar compreendida entre  $0,005 D$  e  $0,1 d$ .

4.1.5.2 Os valores de  $e_2$  medidos em qualquer ponto do orifício não devem diferir entre si de mais que  $0,001 D$ .

4.1.5.3 A espessura  $e_1$  deverá obedecer à relação:  $e_2 \leq e_1 \leq 0,05 D$

4.1.5.4 Os valores de  $e_1$ , em qualquer ponto da placa não devem diferir entre si mais que  $0,005 D$ .

4.1.5.5 As placas de orifício com tomada tipo angular e quando  $\beta > 0,7$ , deverão ter um orifício com espessura  $e_2$  aproximadamente igual a  $1/3 e_1$ , se a placa for biselada.

#### 4.1.6 Ângulo do Bisel

4.1.6.1 Quando a espessura  $e_1 \leq 0,02 D$  não será necessário biselar a placa.

4.1.6.2 O bisel deverá ser sempre voltado para a face de jusante e a superfície biselada deverá ser bem acabada.

4.1.6.3 O ângulo  $F$  do bisel deverá estar compreendido entre  $30^\circ$  e  $45^\circ$ .

#### 4.1.7 Arestas G, H e I

4.1.7.1 As arestas G, H e I não deverão apresentar rebarbas ou outras imperfeições visíveis à vista desarmada.

4.1.7.2 A aresta G deverá ser aguda. Ela assim será considerada, quando observada à vista desarmada, der a impressão de não refletir um raio de luz.

#### 4.1.8 Diâmetro do orifício d

4.1.8.1 O valor do diâmetro d deverá ser tomado como a média das medidas de, no mínimo, quatro diâmetros igualmente afastados entre si.

4.1.8.2 O orifício deverá ser cilíndrico. Nenhum diâmetro poderá diferir em mais de 0,05% do valor do diâmetro médio.

4.1.8.3 O diâmetro d deverá sempre obedecer à relação  $0,1 D \leq d \leq 0,8 D$ . A escolha da relação  $\beta$  dentro destes limites fica a cargo do usuário, sendo este, um dos parâmetros que define a placa de orifício.

#### 4.1.9 Placas simétricas

4.1.9.1 Se a placa de orifício se destinar à medida de vazão em ambos os sentidos, ela não deverá ser biselada ( $e_1 = e_2$ ). As faces da placa, bem como as duas arestas do orifício, deverão obedecer ao disposto, respectivamente em 4.1.3 e 4.1.7.2.

4.1.9.2 As placas com tomadas tipo "vena contracta" deverão ter dois conjuntos de tomadas de montante e de jusante, para serem usados alternadamente.

#### 4.1.10 Material e fabricação

A placa poderá ser fabricada em qualquer material, de preferência a prova de erosão e corrosão, usando qualquer processo de fabricação desde que o produto final esteja em conformidade com as exigências dos itens 4.1 a 4.1.9.2.

#### 4.2 Tomadas de pressão

Para todas as placas de orifício padronizadas, as tomadas de pressão deverão ser de acordo com os itens 5.1 ou 5.2 desta Norma.

#### 4.3 Instalação

4.3.1 O elemento primário deve ser montado entre dois trechos retos e cilíndricos da tubulação, nos quais não hajam obstruções ou derivações, mesmo que não ocorra escoamento de ou para tais conexões. As únicas conexões admissíveis são as especificadas nesta Norma, quais sejam as tomadas de pressão e os furos de dreno.

4.3.2 O tubo será considerado reto quando assim o parecer pela simples inspeção visual.

4.3.3 A seção do tubo deverá ser circular em todo o trecho reto requerido. A circularidade da parte externa do tubo, poderá ser tomada como indicativa, exceto na vizinhança imediata do elemento primário.

4.3.4 A montante, num comprimento de pelo menos  $2D$ , medido a partir da face A do elemento primário, o tubo deverá ser cilíndrico. O diâmetro  $D$  do tubo será tomado como a média aritmética de quatro valores obtidos em seções perpendiculares ao eixo do tubo e distantes da face A aproximadamente  $0$ ;  $0,5D$ ;  $D$  e  $2D$ . Cada um dos quatro valores representará a média de, pelo menos, dois diâmetros formados entre si aproximadamente pelo mesmo ângulo. O tubo será considerado cilíndrico quando nenhum dos diâmetros diferir em mais de 0,3% do valor  $D$  obtido como a média de todos os valores medidos.

4.3.5 O diâmetro do trecho reto de jusante, considerado num comprimento de, pelo menos,  $2D$ , medido a partir da face A, não deverá diferir do diâmetro do trecho reto de montante em mais que  $\pm 2\%$ . O diâmetro do trecho reto de jusante poderá ser determinado por uma única medida.

**4.3.6** O diâmetro interno do tubo deverá ser maior ou igual a 50 mm e menor ou igual ao máximo diâmetro especificado para cada tipo de elemento primário.

**4.3.7** A superfície interna dos trechos de montante e jusante deverá ser limpa, sem furos ou depósitos e não incrustada. Ela poderá ser, entretanto, lisa ou rugosa.

**4.3.8** A vazão deverá ser constante ou variar pouco e vagarosamente com o tempo. Esta Norma não proporciona meios para medir escoamento pulsante.

**4.3.9** Os comprimentos retos requeridos a montante e a jusante, do elemento primário, são independentes do tipo de tomada de pressão utilizada no elemento primário, porém dependem da natureza das conexões existentes a montante e a jusante do trecho em questão.

**4.3.9.1** Os mínimos comprimentos retos requeridos para os vários tipos de acessórios são indicados na Tabela 1.

TABELA 1 - COMPRIMENTOS MÍNIMOS DE TUBULAÇÃO RETA (expressos em número de diâmetros D).

B	No lado de montante do elemento primário											No lado de Jusante		
	Cotovelo de 90° ou tê (escoamento de apenas um dos ramos)		Dois ou mais cotovelos de 90° no mesmo plano		Dois ou mais cotovelos de 90° em planos diferentes		Redução (2D para D em 3D) Expansão (0,5D para D em 1,5D)		Válvula globo totalmente aberta		Válvula gaveta totalmente aberta		Todas as conexões incluídas nesta Tabela	
< 0,20	10	(6)	14	(7)	34	(17)	16	(8)	18	(9)	12	(6)	4	(2)
0,25	10	(6)	14	(7)	34	(17)	16	(8)	18	(9)	12	(6)	4	(2)
0,30	10	(6)	16	(8)	34	(17)	16	(8)	18	(9)	12	(6)	5	(2,5)
0,35	12	(6)	16	(8)	36	(18)	16	(8)	18	(9)	12	(6)	5	(2,5)
0,40	14	(7)	18	(9)	36	(18)	16	(8)	20	(10)	12	(6)	6	(3)
0,45	14	(7)	18	(9)	38	(19)	18	(9)	20	(10)	12	(6)	6	(3)
0,50	14	(7)	20	(10)	40	(20)	20	(10)	22	(11)	12	(6)	6	(3)
0,55	16	(8)	22	(11)	44	(22)	20	(10)	24	(12)	14	(7)	6	(3)
0,60	18	(9)	26	(13)	48	(24)	22	(11)	26	(13)	14	(7)	7	(3,5)
0,65	22	(11)	32	(16)	54	(27)	24	(12)	28	(14)	16	(8)	7	(3,5)
0,70	28	(14)	36	(18)	62	(31)	26	(13)	32	(16)	20	(10)	7	(3,5)
0,75	36	(18)	42	(21)	70	(35)	28	(14)	36	(18)	24	(12)	8	(4)
0,80	46	(23)	50	(25)	80	(40)	30	(15)	44	(22)	30	(15)	8	(4)
Acessórios							Mínimos comprimentos retos requeridos a montante da placa.							
Redução brusca, simétrica com relação de diâmetros $\geq 0,5$							30		(15)					
Poço para termômetro com diâmetro $< 0,03 D$							5		(3)					
Poço para termômetro com diâmetro entre 0,03D e 0,13D							20		(10)					

NOTA 1: Os valores que não estão entre parênteses, quando usados não exigem a adoção de tolerância adicional no cálculo do erro na vazão. Os valores entre parênteses, quando utilizados, introduzem uma tolerância adicional de  $\pm 0,5\%$  no cálculo do erro global.

NOTA 2: Todos os comprimentos retos deverão ser medidos a partir da face A do elemento primário.

4.3.9.2 Os trechos retos apresentados na Tabela 1 são valores mínimos e é sempre recomendável utilizar valores maiores. Para trabalho de pesquisa, principalmente, recomenda-se, pelo menos, o dobro dos valores de montante para "tolerância adicional zero".

4.3.9.3 Quando forem adotados comprimentos maiores ou iguais aos correspondentes à "tolerância adicional zero" da Tabela 1, não há necessidade de adicionar qualquer desvio ao erro de medida da vazão, para levar em consideração o efeito das condições de instalação.

4.3.9.4 Quando forem adotados comprimentos a montante ou a jusante, menores do que os correspondentes a "tolerância adicional zero" porém maiores ou iguais aos correspondentes à tolerância adicional  $\pm 0,5\%$ , deverá ser adicionado ao erro na medição da vazão um desvio de  $\pm 0,5\%$  da seguinte forma:

a) primeira computação:

- computar a tolerância para a medida da vazão como se não houvessem tolerâncias adicionais devidas às condições da instalação. Esse cálculo deverá ser executado como indicado no item 4.7, referente ao cálculo dos erros. O valor será  $\pm 2 \sigma\%$ .

b) segunda computação:

- adicionar ao valor anterior um desvio de  $\pm 0,5\%$ , tal que o valor final resulte  $\pm (2 \sigma + 0,5)\%$ .

NOTA: Se os trechos retos têm comprimentos inferiores aos correspondentes à tolerância adicional de  $\pm 0,5\%$ , ou se ambos os trechos de montante e jusante têm comprimentos inferiores aos correspondentes à "tolerância adicional zero", então esta Norma não pode ser aplicada.

4.3.9.5 As válvulas indicadas na Tabela 1 devem estar totalmente abertas. É recomendável que o controle seja feito por válvulas localizadas a jusante do elemento primário. Se for utilizada válvula seccionadora a montante do elemento primário deverão ser do tipo gaveta, preferivelmente.

4.3.9.6 Após mudança simples de direção (cotovelo ou tê) é recomendável que as tomadas (se forem simples) estejam num plano, formando um ângulo de  $90^\circ$  com o plano que contém a mudança de direção.

4.3.9.7 Os valores da Tabela 1 foram obtidos experimentalmente (ISO R541 - 1967 (E)) com trechos muito extensos a montante dos acessórios. Como esta condição não é normal na maior parte dos casos práticos, as seguintes observações podem servir de guia:

- a) se o elemento primário for instalado num tubo que conduz a um reservatório a montante, diretamente ou através de qualquer acessório dado na Tabela 1, o comprimento total do tubo entre o reservatório e o elemento primário não deverá nunca ser inferior a  $30D$ ;
- b) se diversos acessórios que não sejam de cotovelo de  $90^\circ$ , forem colocados em série a montante do elemento primário, a seguinte regra deverá ser aplicada: entre o acessório mais próximo (1) ao elemento primário e este, deverá existir um trecho reto, no mínimo igual ao indicado na Tabela 1 para o acessório (1), em correspondência ao valor real de  $\beta$ . Além disso, entre o acessório (1) e o precedente (2), deverá existir



tir um trecho reto igual à metade do valor dado na Tabela 1 para o acessório (2) aplicável a um elemento primário com  $\beta = 0,7$ , qualquer que seja o valor real de  $\beta$ . Essa exigência não se aplica quando o acessório (2) for uma redução brusca e simétrica, caso que é coberto pela observação feita na alínea a).

4.3.9.8 Os casos não cobertos pelas exigências desta Norma exigirão a calibração do elemento primário obedecendo às condições reais da instalação.

#### 4.4 Montagem do elemento primário

##### 4.4.1 Seção de medição

4.4.1.1 O tubo deverá estar provido com furos de dreno necessários à remoção dos depósitos sólidos e outras substâncias. Não deverá existir escoamentos pelos drenos enquanto a medição estiver em curso. O dreno não deverá estar localizado próximo à placa, a menos que isso seja inevitável. Neste caso, os diâmetros dos drenos deverão ser menores que  $0,08D$  e sua localização deverá ser tal que, a distância medida sobre uma linha reta passando por um dos drenos e por uma tomada de pressão localizada do mesmo lado com relação à placa de orifício, seja sempre maior que  $0,5D$ . Além disso, o eixo do dreno deverá estar situado num plano diametral que não contenha qualquer tomada de pressão.

4.4.1.2 O trecho de medição deverá estar de acordo com o estabelecido em 4.3.

##### 4.4.2 Localização da placa e dos anéis

4.4.2.1 A placa deverá ser montada de forma que o líquido escoe da face de montante para a de jusante (Ver 4.1.3.3).

4.4.2.2 A placa deverá ser perpendicular ao eixo do tubo. O desvio máximo admissível será de  $\pm 1^\circ$ .

4.4.2.3 A placa deverá ser centrada no tubo, ou se possível, nos anéis piezométricos. Em qualquer caso, a distância entre o eixo da placa e os eixos dos tubos nos lados de montante e jusante deverá ser menor que  $0,015D \left( \frac{1}{\beta} - 1 \right)$ .

4.4.2.4 Quando forem usados anéis piezométricos, seus diâmetros internos deverão estar compreendido entre  $D$  e  $1,02D$  e os mesmos deverão estar centrados de forma que, em nenhum ponto eles se projetem para dentro do tubo.

##### 4.4.3 Fixação e gaxetas

4.4.3.1 Deverá ser utilizado um método de fixação e aperto que garanta um posicionamento definitivo da placa de orifício.

4.4.3.2 Quando se usar gaxetas, elas deverão ser tão finas quanto possível e não poderão se projetar em nenhum ponto para dentro do tubo.

4.4.3.3 Se as gaxetas forem usadas entre a placa e a câmara anular, (Ver Figura 2) elas não deverão penetrar nas câmaras.

#### 4.5 Medição de temperatura

4.5.1 A temperatura do líquido deverá ser medida preferivelmente a jusante do elemento primário, e o poço para o termômetro deverá ocupar o mínimo espaço possível. A distância entre ele e a placa de orifício deverá ser  $5D$ , no mínimo se o poço estiver a jusante, e de acordo com a Tabela 1 em caso contrário.

## 4.6 Cálculos

Os cálculos para determinação de  $\beta$ , da vazão e perda de carga localizada, deverão ser conduzidos como a seguir descrito.

### 4.6.1 Fórmulas básicas

4.6.1.1 As fórmulas para o cálculo da vazão em massa são:

$$Q_m = C_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\rho\Delta p}, \quad Q_m = C_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\rho\gamma h} \quad \text{e} \quad Q_m = C_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\rho h_m (\gamma_m - \gamma)}$$

4.6.1.2 As fórmulas para o cálculo da vazão em volume são:

$$Q = C_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gh} \quad Q = C_d \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2gh_m \left( \frac{\gamma_m}{\gamma} - 1 \right)}$$

4.6.1.3 As fórmulas dos itens 4.6.1.1 e 4.6.1.2 aplicam-se a quaisquer líquidos.

### 4.6.2 Método para determinação de um elemento primário padronizado

O método consiste em selecionar, a priori:

- o tipo de elemento primário a ser utilizado;
- a vazão e o correspondente valor da pressão diferencial;
- os valores de  $Q_m$  e  $p$  deverão ser inseridos na fórmula básica, reescrita na forma:

$$C_d \beta^2 = \frac{4 Q_m}{\pi D^2 \sqrt{2 \rho \Delta p}}$$

a relação de diâmetros do elemento primário é determinada por aproximações sucessivas.

### 4.6.3 Cálculo da vazão

O cálculo da vazão é realizado usando a fórmula básica onde se substitui os valores obtidos durante a medição. Como  $C_d$  depende do número de Reynolds e este não é conhecido, a priori, o valor final de  $Q_m$  ou  $Q$  será obtido por aproximações sucessivas a partir de um valor inicial  $C_d$  escolhido. Por exemplo, fazendo  $C_d = C_{d0}$  (Ver item 5.5.1.1).

### 4.6.4 Cálculo da perda de carga localizada

Para os três tipos de elemento primário, a perda de carga está relacionada com a pressão diferencial, através da seguinte fórmula aproximada:

$$\Delta H_s \approx \left( \frac{1 - C_d \beta^2}{1 + C_d \beta^2} \right) \frac{\Delta p}{\gamma}$$

### 4.6.5 Determinação dos erros

Na determinação da vazão, devem ser considerados os erros devidos à medição e às condições de instalações.

4.6.5.1 Os erros, relativo e absoluto, devidos à medição, são:

- erro absoluto, que é igual a 2 vezes o desvio padrão

$$e_a = 2 \sigma Q$$

b) erro relativo, que é igual ao erro absoluto dividido pela vazão:

$$e_r = \frac{e_a}{Q} = 2 \frac{\sigma_Q}{Q}$$

**NOTA 1:** O resultado da medida da vazão deverá ser apresentado em qualquer das duas maneiras abaixo:

$$\text{Vazão} = Q \pm e_a \quad \text{ou} \quad \text{Vazão} = Q (1 \pm e_r)$$

**NOTA 2:** Quando os desvios parciais, cuja combinação fornece o desvio padrão, forem independentes entre si, forem pequenos e numerosos e tiverem uma distribuição segundo uma curva normal (curva de Gauss) há probabilidade de 95% que o valor absoluto do erro verdadeiro não exceda o dobro do desvio padrão.

**4.6.5.2** Os erros devidos às condições de instalação ocorrem quando os comprimentos dos trechos retos utilizados forem tais que haja necessidade de um desvio adicional de 0,5%, que deverá ser considerado de acordo com o item 4.3.5.4.

#### 4.6.6 Desvio padrão

**4.6.6.1** Deverá ser utilizada a seguinte fórmula para o cálculo do desvio padrão da vazão em massa:

$$\sigma_{Q_m} = Q_m \left[ \left( \frac{\sigma_{C_d}}{C_d} \right)^2 + 4 \left( \frac{\beta^4}{C_d} \right)^2 \left( \frac{\sigma_D}{D} \right)^2 + 4 \left( 1 + \frac{\beta^4}{C_d} \right)^2 \left( \frac{\sigma_d}{d} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\sigma_{\Delta p}}{\Delta p} \right)^2 + \frac{1}{4} \left( \frac{\sigma_{\rho_1}}{\rho_1} \right)^2 \right]^{1/2}$$

**NOTA 1:** Essa mesma fórmula é válida para o cálculo do desvio padrão da vazão em volume bastando substituir  $\sigma_{Q_m}$  e  $Q_m$  respectivamente, por  $\sigma_Q$  e  $Q$ .

**NOTA 2:** O valor de  $\frac{\sigma_{C_d}}{C_d}$  pode ser calculado a partir dos valores apresentados nos itens 5.3.2.2, 5.4.2.2 e 5.5.2.

**4.6.6.2** Os demais valores dos desvios padrão individuais poderão ser determinados pela fórmula:

$$\sigma = \left[ \frac{\sum_{j=1}^{j=n} (\bar{x} - x_j)^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

em que  $x_j$  são diversos valores obtidos medindo-se uma determinada quantidade,  $\bar{x}$  é o valor mais provável desta quantidade e  $n$  é o número total de medidas.

**4.6.6.3** Quando não se dispuser de mais de uma medida de uma quantidade ou então se o número de medidas for pequeno a ponto de não se ter garantia para o valor  $\sigma$  obtido conforme 4.6.6.2, pode-se proceder como segue:

- estima-se o máximo desvio da medida acima e abaixo do valor adotado para  $\bar{x}$ ;
- considera-se que o desvio padrão seja  $\frac{1}{4}$  do desvio total, ou seja,  $\sigma$  será a metade do desvio médio máximo, acima ou abaixo do valor adotado para  $\bar{x}$ .

## 5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

### 5.1 Características construtivas das tomadas de pressão tipo "vena contracta" e tipo flange

As tomadas deverão estar de acordo com as seguintes exigências:

5.1.1 O eixo das tomadas deverá encontrar o eixo do tubo e ser perpendicular a ele. No ponto de penetração no tubo, o furo deverá ser circular.

5.1.2 Os bordos deverão ser nivelados com a parede do tubo, livres de rebarbas ou outras irregularidades. Os bordos do furo deverão ser arredondados com raio não excedendo  $\frac{1}{10}$  do diâmetro da tomada de pressão.

5.1.3 A conformidade da tomada com o exigido em 5.1.1 e 5.1.2, deverá ser constatada por mera inspeção visual.

5.1.4 Os diâmetros das tomadas de pressão deverão ser menores que 0,08D e, preferivelmente, entre 6 mm e 12 mm. As tomadas de montante e de jusante deverão ter o mesmo diâmetro.

5.1.5 Os dutos que comunicam as tomadas de pressão com o elemento secundário de verão ser cilíndrico num comprimento, no mínimo, igual a duas vezes o diâmetro da tomada de pressão, contado a partir do lado interno da parede do tubo.

5.1.6 Os eixos das tomadas de pressão podem ser localizados em qualquer plano diametral do tubo. Não há exigência de que os eixos das tomadas de montante e de jusante estejam no mesmo plano diametral. Neste caso, deve-se observar o prescrito em 3.2.10.

5.1.7 O espaçamento de uma tomada de pressão é a distância medida sobre uma linha reta paralela ao eixo da tubulação, entre o eixo da tomada e o plano de uma face específica da placa de orifício.

5.1.8 Para as tomadas de pressão tipo "vena contracta", os espaçamentos deverão ser como segue:

- a) na tomada de montante a distância nominal à face de montante da placa é igual a D, podendo variar entre 0,9D e 1,1D, sem alteração no coeficiente de vazão;
- b) na tomada de jusante a distância à face de montante é definida na Tabela 2, que fornece, em função de  $\beta$ , o espaçamento nominal da tomada de jusante bem como os afastamentos admissíveis.

5.1.9 Para as tomadas de pressão tipo flange, os espaçamentos deverão ser como segue:

- a) na tomada de montante a distância à face de montante é igual a  $(25 \pm 1)$  mm;
- b) na tomada de jusante a distância à face de jusante é igual a  $(25 \pm 1)$  mm;

TABELA 2 - Espaçamento de jusante das tomadas tipo "vena contracta"

$\beta$	Espaçamento da tomada de pressão
0,10	$0,84D \pm 30\%$
0,15	$0,82D \pm 30\%$
0,20	$0,80D \pm 30\%$
0,25	$0,78D \pm 30\%$
0,30	$0,76D \pm 30\%$
0,35	$0,73D \pm 25\%$
0,40	$0,70D \pm 25\%$
0,45	$0,67D \pm 25\%$
0,50	$0,63D \pm 20\%$
0,55	$0,59D \pm 20\%$
0,60	$0,55D \pm 15\%$
0,65	$0,50D \pm 15\%$
0,70	$0,45D \pm 10\%$
0,75	$0,40D \pm 10\%$
0,80	$0,34D \pm 10\%$

## 5.2 Características construtivas das tomadas de pressão tipo angular

5.2.1 O espaçamento entre as tomadas e as respectivas faces da placa é igual à metade do diâmetro ou à metade da largura das tomadas, pois os furos atravessam a parede do tubo, nivelados às faces da placa.

5.2.2 As tomadas de pressão deverão sempre ser ou simples ou ranhuras anulares, comunicando-se com as câmaras anulares dos anéis piezométricos (Ver Figuras 2 e 3).

5.2.3 O diâmetro a das tomadas simples ou a largura a das ranhuras anulares são dados a seguir, para líquidos limpos:

- a) para  $\beta \leq 0,65$ ,  $a \leq 0,03D$
- b) para  $\beta > 0,65$ ,  $0,01D \leq a \leq 0,02D$
- c) para qualquer valor de  $\beta$   $1 \text{ mm} \leq a \leq 10 \text{ mm}$ .

5.2.4 As ranhuras anulares usualmente penetram no tubo ao longo de todo o períme

tro, sem interrupção. Quando isto não ocorrer, a câmara anular deverá conectar-se ao interior do tubo por, no mínimo, quatro aberturas, cujos eixos deverão estar separados por ângulos iguais, sendo que a área de cada abertura deverá ser, no mínimo, de  $12 \text{ mm}^2$ .

5.2.5 Se forem usadas tomadas simples, como indicado na Figura 3, os eixos das tomadas deverão cruzar o eixo do tubo e formar com ele um ângulo tão próximo de  $90^\circ$ , quando possível.

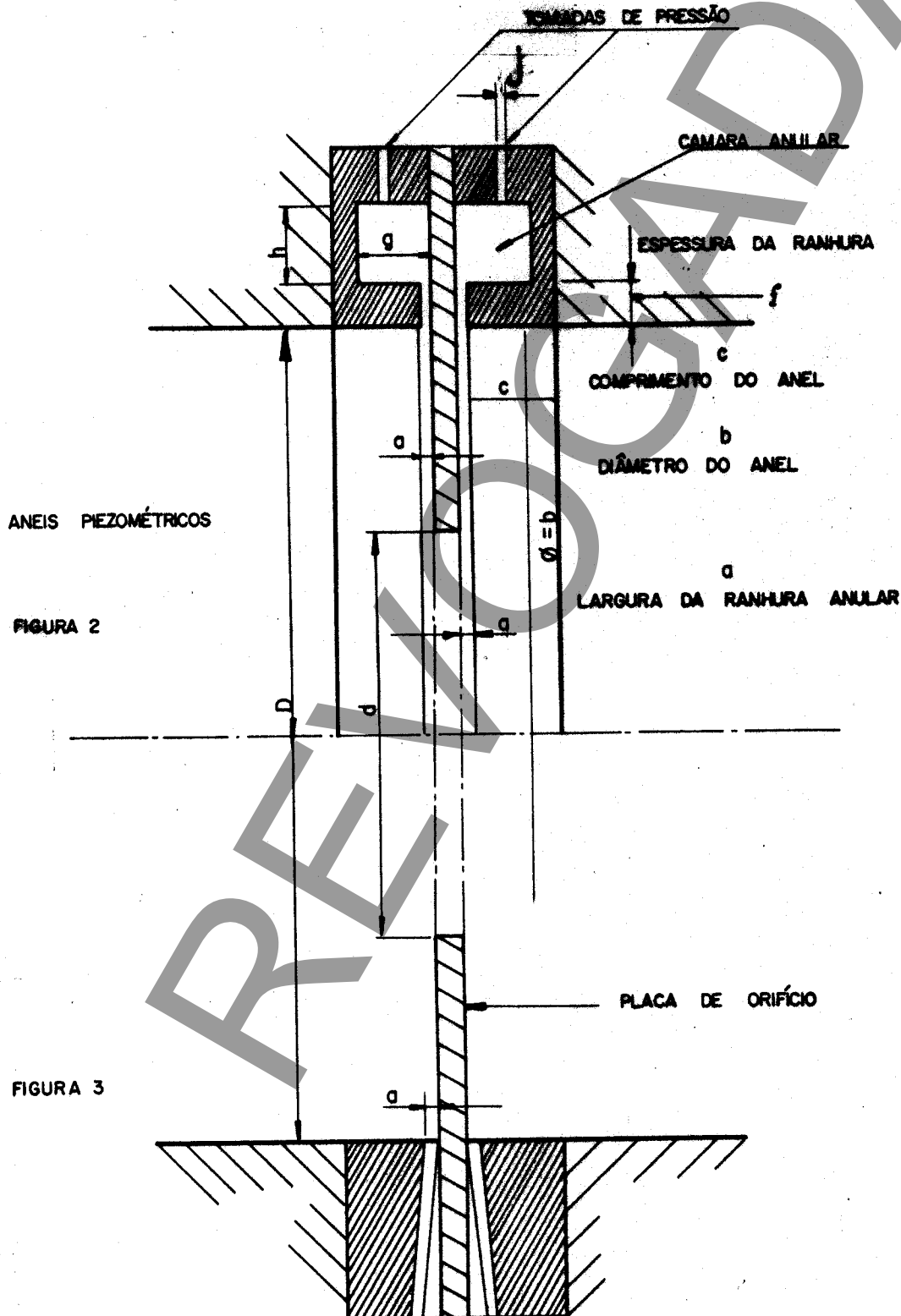


FIGURA 2 ANEIS PIEZOMÉTRICOS

5.2.6 Se forem usadas várias tomadas simples, seus eixos deverão formar ângulos iguais entre si. Os diâmetros de cada tomada simples são os determinados pelo item 5.2.3. Os dutos que conectam as tomadas com os elementos secundários deverão ser cilíndricos, no mínimo num comprimento igual ao dobro do diâmetro da tomada e contado a partir da parede interna do tubo.

5.2.7 O diâmetro interno dos anéis não deverá ser inferior a  $D$ , devendo estar compreendido na faixa de  $D$  a  $1,02D$ . O comprimento  $c$  do anel de montante, deverá ser menor que  $0,2D$  e o comprimento  $c$  do anel de jusante menor que  $0,5D$ . A relação de diâmetros  $\beta$  deverá ser calculada com o diâmetro do tubo e não com o do anel.

5.2.8 A espessura  $f$  deverá ser maior ou igual ao dobro da largura  $a$  da ranhura anular.

5.2.9 A área da seção transversal da câmara anular ( $g \times h$ ) deverá ser maior ou igual à metade da área dos furos das tomadas que conectam a câmara ao tubo.

5.2.10 Todas as superfícies do anel que tiverem contato com o líquido medido deverão estar limpas e ter um acabamento superficial bom.

5.2.11 O diâmetro  $j$  das tomadas de pressão que ligam a câmara anular ao elemento secundário deverá estar compreendido entre 4 mm e 10 mm.

5.2.12 Os anéis piezométricos não necessitam ser simétricos, porém devem obedecer as exigências precedentes.

### 5.3 Coeficiente $C_d$ e desvio padrão de $C_d$ para placas de orifício com tomadas tipo "vena contracta"

#### 5.3.1 Coeficiente de vazão $C_d$

5.3.1.1 O coeficiente de vazão  $C_d$  é dado pelas seguintes fórmulas empíricas:

$$C_d = A + B \sqrt{\frac{10^6}{R_D}}$$

em que:

$$A = 0,5922 + 0,4252 \left[ \frac{0,3871}{D^2 \beta^2 + 0,254D} + \beta^4 + 1,25 \beta^{16} \right]$$

$$B = 0,00025 + 0,002325 \left[ \beta + 1,75\beta^4 + 10\beta^{12} + 0,07874D\beta^{16} \right]$$

NOTA 1: As fórmulas acima somente poderão ser usadas quando  $\frac{D}{K} \geq 1000$ .

NOTA 2: Se  $D$  for menor que 50 mm ou maior que 750 mm, este tipo de orifício não poderá ser usado. Além disso,  $\beta$  deverá estar entre 0,1 e 0,8.

NOTA 3: O coeficiente  $C_d$  poderá ser computado pela fórmula acima somente se  $R_D$  estiver dentro das faixas estabelecidas na Tabela 3.

TABELA 3 - Valores limites do número de Reynolds para placas de orifício com tomadas de pressão tipo "vena contracta"

$D$	2 in (50 mm)		3 in (75 mm)		4 in (100 mm)		6 in (150 mm)		8 in (200 mm)		10 in (250 mm)		15 in (375 mm)		30 in (750 mm)	
	$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
0.100	6 000	$10^6$	9 000	$10^6$	12 000	$10^6$	18 000	$10^7$	24 000	$10^7$	30 000	$10^7$	45 000	$10^7$	90 000	$10^7$
0.150	6 000	$10^6$	9 000	$10^6$	12 000	$10^6$	18 000	$10^7$	24 000	$10^7$	30 000	$10^7$	45 000	$10^7$	90 000	$10^7$
0.200	6 000	$10^6$	9 000	$10^6$	12 000	$10^6$	18 000	$10^7$	24 000	$10^7$	30 000	$10^7$	45 000	$10^7$	90 000	$10^7$
0.250	6 000	$10^6$	9 000	$10^6$	12 000	$10^6$	18 000	$10^7$	24 000	$10^7$	30 000	$10^7$	45 000	$10^7$	90 000	$10^7$
0.300	6 000	$10^6$	9 000	$10^6$	12 000	$10^6$	18 000	$10^7$	24 000	$10^7$	30 000	$10^7$	45 000	$10^7$	90 000	$10^7$
0.325	6 000	$10^6$	9 000	$10^6$	12 000	$10^6$	18 000	$10^7$	24 000	$10^7$	30 000	$10^7$	45 000	$10^7$	90 000	$10^7$
0.350	6 000	$10^6$	9 000	$10^6$	12 000	$10^6$	20 000	$10^7$	25 000	$10^7$	30 000	$10^7$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$
0.375	6 000	$10^6$	10 000	$10^6$	15 000	$10^6$	25 000	$10^7$	25 000	$10^7$	30 000	$10^7$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$
0.400	8 000	$10^6$	10 000	$10^6$	15 000	$10^6$	25 000	$10^7$	30 000	$10^7$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$
0.425	8 000	$10^6$	15 000	$10^6$	20 000	$10^6$	30 000	$10^7$	30 000	$10^7$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	150 000	$10^7$
0.450	10 000	$10^6$	15 000	$10^6$	20 000	$10^6$	30 000	$10^7$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	150 000	$10^7$
0.475	10 000	$10^6$	15 000	$10^6$	20 000	$10^6$	30 000	$10^7$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$
0.500	10 000	$10^6$	20 000	$10^6$	20 000	$10^6$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$
0.520	15 000	$10^6$	20 000	$10^6$	30 000	$10^6$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$
0.540	15 000	$10^6$	20 000	$10^6$	30 000	$10^6$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$
0.560	15 000	$10^6$	25 000	$10^6$	30 000	$10^6$	50 000	$10^7$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$
0.580	15 000	$10^6$	25 000	$10^6$	30 000	$10^6$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$
0.600	20 000	$10^6$	25 000	$10^6$	30 000	$10^6$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	300 000	$10^7$
0.620	20 000	$10^6$	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	300 000	$10^7$
0.640	20 000	$10^6$	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	300 000	$10^7$
0.660	20 000	$10^6$	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	300 000	$10^7$
0.680	20 000	$10^6$	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	300 000	$10^7$
0.700	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$
0.720	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$
0.740	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$
0.750	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$
0.760	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$
0.770	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$
0.780	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$
0.790	25 000	$10^6$	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$
0.800	50 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^6$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	500 000	$10^7$



### 5.3.1.2 Valores limites para $R_D$ .

A Tabela 4 mostra em função de  $\beta$  e  $D$  os limites inferiores e superiores de  $R_D$  entre os quais  $C_d$  foi determinado experimentalmente. As interpolações lineares podem ser realizadas, porém extrapolações não.

### 5.3.2 Desvio padrão do coeficiente $C_d$

5.3.2.1 Quando forem obedecidos os espaçamentos prescritos em 5.1.8, não será introduzido erro adicional em  $C_d$ . Se, entretanto, os espaçamentos estiverem fora dos limites estabelecidos em 5.1.8, a medição não é válida.

5.3.2.2 Quando  $\beta$ ,  $D$  e  $R_D$  forem assumidos como conhecidos sem erro, o desvio padrão do coeficiente  $C_d$  é dado em porcentagem, como segue:

$\beta$	Desvio padrão de $C_d$ %
$0,2 \leq \beta \leq 0,7$	$\pm 0,25$
$0,1 \leq \beta < 0,2$	$\pm(0,75 - 2,5\beta)$
$0,7 < \beta \leq 0,8$	$\pm(2,5\beta - 1,50)$

## 5.4 Coeficiente $C_d$ e desvio padrão de $C_d$ para placas de orifício com tomadas tipo flange

### 5.4.1 Coeficiente de vazão $C_d$

5.4.1.1 O coeficiente de vazão  $C_d$  é dado pelas seguintes fórmulas empíricas:

$$C_d = C_d^1 \left( 1 + \frac{\beta A}{R_D} \right) \quad \text{em que:}$$

$$C_d^1 = C_{de} \left( \frac{10^6 d}{10^6 d + 381A} \right)$$

$$A = 0,03937 d \left( 830 - 5000\beta + 9000\beta^2 - 4200\beta^3 + \frac{2671}{\sqrt{D}} \right)$$

$$C_{de} = 0,5993 + \frac{0,1778}{D} + \left( 0,364 + \frac{0,3830}{\sqrt{D}} \right) \beta^{4+0,4} \left( 1,6 - \frac{25,4}{D} \right)^5 \left[ \left( 0,07 + \frac{12,70}{D} \right) - \beta \right]^{5/2} +$$

$$- \left( 0,009 + \frac{0,636}{D} \right) (0,5 - \beta)^{3/2} + \left( \frac{41935}{D^2} + 3 \right) (\beta - 0,7)^{5/2}$$

**NOTA 1:** Nas equações acima, quando  $\beta$  assumir valores tais que, alguns termos se tornem imaginários, então estes termos deverão ser considerados nulos.

**NOTA 2:** As fórmulas acima somente serão usadas para  $\frac{D}{K} \geq 1000$ .

NOTA 3: Se  $D$  for menor que 50 mm ou maior que 750 mm, este tipo de placa de orifício não poderá ser utilizado. O valor de  $\beta$  deverá estar contido entre 0,1 e 0,75.

NOTA 4: O coeficiente  $C_D$  somente poderá ser calculado pelas fórmulas acima se  $Re_D$  estiver entre os limites estabelecidos na Tabela 4.

5.4.1.2 A Tabela 4 dá em função de  $\beta$  e  $D$  os limites inferiores e superiores de  $Re_D$  entre os quais o valor de  $C_D$  foi determinado experimentalmente. Se for necessário, poder-se-á interpolar, porém não extrapolar.

TABELA 4 - Valores limites de  $Re_D$  para placas de orifício com tomadas tipo flange

$\beta$	$D$		2 in (50 mm)		3 in (75 mm)		4 in (100 mm)		6 in (150 mm)		8 in (200 mm)		10 in (250 mm)		15 in (375 mm)		30 in (750 mm)	
	$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$		$Re_D$	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
0.100	8 000	$10^6$	12 000	$10^6$	16 000	$10^6$	24 000	$10^7$	32 000	$10^7$	40 000	$10^7$	60 000	$10^7$	120 000	$10^7$		
0.150	8 000	$10^6$	12 000	$10^6$	16 000	$10^6$	24 000	$10^7$	32 000	$10^7$	40 000	$10^7$	60 000	$10^7$	120 000	$10^7$		
0.200	8 000	$10^6$	12 000	$10^6$	16 000	$10^6$	24 000	$10^7$	32 000	$10^7$	40 000	$10^7$	60 000	$10^7$	120 000	$10^7$		
0.250	8 000	$10^6$	12 000	$10^6$	16 000	$10^6$	24 000	$10^7$	32 000	$10^7$	40 000	$10^7$	60 000	$10^7$	120 000	$10^7$		
0.300	8 000	$10^6$	12 000	$10^6$	16 000	$10^6$	24 000	$10^7$	32 000	$10^7$	40 000	$10^7$	60 000	$10^7$	120 000	$10^7$		
0.350	8 000	$10^6$	12 000	$10^6$	16 000	$10^6$	24 000	$10^7$	32 000	$10^7$	40 000	$10^7$	60 000	$10^7$	120 000	$10^7$		
0.400	8 000	$10^6$	12 000	$10^6$	16 000	$10^6$	30 000	$10^7$	40 000	$10^7$	40 000	$10^7$	60 000	$10^7$	120 000	$10^7$		
0.450	8 000	$10^6$	15 000	$10^6$	20 000	$10^6$	30 000	$10^7$	50 000	$10^7$	40 000	$10^7$	75 000	$10^7$	150 000	$10^7$		
0.500	8 000	$10^6$	20 000	$10^6$	30 000	$10^6$	50 000	$10^7$	75 000	$10^7$	75 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$		
0.550	10 000	$10^6$	20 000	$10^6$	30 000	$10^6$	50 000	$10^7$	75 000	$10^7$	75 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$		
0.600	20 000	$10^6$	30 000	$10^6$	40 000	$10^6$	50 000	$10^7$	75 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	300 000	$10^7$		
0.625	20 000	$10^6$	30 000	$10^6$	40 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	300 000	$10^7$		
0.650	30 000	$10^6$	30 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	300 000	$10^7$		
0.675	30 000	$10^6$	40 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	300 000	$10^7$		
0.700	50 000	$10^6$	40 000	$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	200 000	$10^7$	400 000	$10^7$		
0.725				$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	100 000	$10^7$	200 000	$10^7$	500 000	$10^7$	400 000	$10^7$		
0.750				$10^6$	50 000	$10^6$	100 000	$10^7$	500 000	$10^7$	200 000	$10^7$	500 000	$10^7$	400 000	$10^7$		

#### 5.4.2 Desvio padrão do coeficiente de vazão $C_D$

5.4.2.1 Quando o espaçamento das tomadas de pressão estiver de acordo com o item 5.1.9, não será introduzido erro adicional em  $C_D$ . Se, entretanto, o espaçamento não obedecer a 5.1.9, a medição não é válida.

5.4.2.2 Quando  $\beta$ ,  $D$  e  $R_D$  são assumidos como sendo conhecidos sem erro, o desvio padrão do valor de  $C_d$  é dado em porcentagem, como a seguir:

$\beta$	Desvio padrão de $C_d$ %
$0,2 \leq \beta \leq 0,7$	$\pm 0,30$
$0,1 \leq \beta < 0,2$	$\pm (0,8 - 2,5\beta)$
$0,7 < \beta \leq 0,75$	$\pm (2,5\beta - 1,45)$

5.5 Coeficiente  $C_d$  e desvio padrão de  $C_d$  para placas de orifício com tomadas tipo angular.

5.5.1 Coeficiente de vazão  $C_d$

5.5.1.1 O coeficiente é apresentado na forma de tabelas. Se necessário, pode ser feita interpolação, não sendo permitida a extrapolação.

O coeficiente  $C_d$  é dado por:

$$C_d = C_{do} \times r_R$$

Os valores de  $C_{do}$  são dados na Tabela 5 em função de  $\beta^4$  e  $R_D$  ( $C_{do}$  é independente de  $D$ ).

5.5.1.2 Fator de correção para rugosidade  $r_R$

O fator de correção  $r_R$  depende da rugosidade relativa  $D/K$  e do número de Reynolds  $R_D$ . É calculado pela fórmula:

$$r_R = (r_o - 1) \left( \frac{\log_{10} R_D}{6} \right)^2 + 1$$

Se  $R_D \geq 10^6$  então  $r_R = r_o$

Os valores de  $r_o$  são dados em função de  $\beta^2$  e  $D/K$  na Tabela 6.

TABELA 5 - Coeficiente de vazão  $C_{do}$  para placas de orifício com tomadas tipo angular

$Re_D$	$C_{do}$								$\beta^4$
	$5 \cdot 10^3$	$10^4$	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^7$	
0.0025	0.603	0.600	0.599	0.599	0.598	0.598	0.598	0.597	0.0025
0.003	0.604	0.600	0.600	0.600	0.599	0.599	0.599	0.598	0.003
0.004	0.605	0.601	0.601	0.601	0.600	0.600	0.600	0.599	0.004
0.005	0.606	0.602					0.601	0.600	0.005

0.01	0.611	0.606	0.605	0.604	0.603	0.603	0.602	0.602	0.01
0.02	0.619	0.613	0.611	0.608	0.607	0.607	0.606	0.606	0.02
0.03	0.627	0.620	0.616	0.613	0.612	0.612	0.611	0.610	0.03
0.04	0.634	0.626	0.621	0.618	0.617	0.616	0.615	0.614	0.04
0.05		0.632	0.626	0.623	0.622	0.620	0.619	0.618	0.05
0.06		0.637	0.631	0.627	0.626	0.624	0.622	0.621	0.06
0.07		0.643	0.636	0.632	0.630	0.628	0.626	0.625	0.07
0.08		0.648	0.641	0.636	0.634	0.632	0.630	0.629	0.08
0.09		0.653	0.646	0.641	0.638	0.636	0.634	0.633	0.09
0.10		0.658	0.650	0.645	0.642	0.640	0.637	0.636	0.10
0.11		0.663	0.655	0.650	0.647	0.644	0.641	0.640	0.11
0.12		0.668	0.659	0.654	0.651	0.647	0.645	0.644	0.12
0.13		0.674	0.664	0.659	0.655	0.651	0.649	0.648	0.13
0.14		0.679	0.668	0.663	0.659	0.655	0.652	0.651	0.14
0.15		0.684	0.673	0.668	0.663	0.659	0.656	0.655	0.15
0.16		0.689	0.677	0.672	0.667	0.663	0.660	0.659	0.16
0.17		0.695	0.682	0.677	0.671	0.667	0.664	0.663	0.17
0.18		0.700	0.687	0.681	0.675	0.671	0.667	0.666	0.18
0.19		0.705	0.692	0.685	0.679	0.675	0.671	0.670	0.19
0.20		0.710	0.696	0.689	0.683	0.679	0.675	0.674	0.20
0.21		0.716	0.701	0.694	0.688	0.683	0.679	0.678	0.21
0.22		0.721	0.705	0.698	0.692	0.687	0.683	0.682	0.22
0.23		0.726	0.710	0.703	0.696	0.691	0.687	0.685	0.23
0.24		0.731	0.714	0.707	0.700	0.695	0.691	0.689	0.24
0.25		0.737	0.719	0.712	0.705	0.699	0.695	0.693	0.25
0.26		0.742	0.723	0.716	0.709	0.703	0.699	0.697	0.26
0.27		0.748	0.728	0.721	0.714	0.708	0.703	0.701	0.27
0.28		0.753	0.733	0.726	0.718	0.712	0.707	0.705	0.28
0.29		0.758	0.738	0.731	0.723	0.716	0.711	0.709	0.29
0.30		0.763	0.743	0.735	0.727	0.720	0.715	0.713	0.30
0.31		0.769	0.748	0.740	0.732	0.725	0.719	0.717	0.31
0.32		0.775	0.753	0.745	0.736	0.729	0.723	0.721	0.32
0.33		0.781	0.759	0.750	0.741	0.734	0.728	0.725	0.33
0.34		0.786	0.764	0.755	0.745	0.738	0.732	0.729	0.34
0.35		0.792	0.770	0.760	0.750	0.743	0.736	0.733	0.35
0.36		0.798	0.775	0.765	0.755	0.748	0.740	0.738	0.36
0.37			0.781	0.770	0.761	0.753	0.744	0.742	0.37
0.38			0.786	0.775	0.766	0.757	0.748	0.747	0.38
0.39			0.792	0.780	0.772	0.762	0.753	0.751	0.39
0.40			0.797	0.786	0.777	0.767	0.757	0.756	0.40
0.41			0.804	0.793	0.783	0.773	0.763	0.761	0.41

NOTA: Este tipo de placa não deverá ser usado quando:

- $\beta^4 < 0,0025$  ou  $\beta^4 > 0,41$  ( $\beta < 0,22$  ou  $\beta > 0,8$ )
- $D < 50$  mm ou  $D > 1000$  mm
- $R_D$  for maior que os valores tabelados.

TABELA 6 - Valores de  $r_0$  para placas de orifício com tomadas tipo angular

$\beta^2$	$D/K$		400	800	1200	1600	2000	2400	2800	3200	> 3400	$\beta^2$
	$r_0$											
0.1	1.002		1.002	1.000	1.000	—	—	—	—	—	1.000	0.1
0.2	1.003		1.003	1.002	1.001	1.000	—	—	—	—	1.000	0.2
0.3	1.006		1.006	1.004	1.002	1.001	1.000	—	—	—	1.000	0.3
0.4	1.009		1.009	1.006	1.004	1.002	1.001	1.000	—	—	1.000	0.4
0.5	1.014		1.014	1.009	1.006	1.004	1.002	1.001	1.000	—	1.000	0.5
0.6	1.020		1.020	1.013	1.009	1.006	1.003	1.002	1.000	1.000	1.000	0.6
0.64	1.024		1.024	1.016	1.011	1.007	1.004	1.002	1.002	1.000	1.000	0.64

## NOTAS:

- 1 - O valor de K é uma medida da rugosidade da parede interna do tubo e é expresso em unidades de comprimento.
- 2 - A Tabela 7 dá valores de K para uma variedade de materiais.
- 3 - Quando o coeficiente de perda de carga distribuída  $\lambda$  tiver sido determinado experimentalmente após medida da perda de carga, é possível obter D/K a partir da fórmula de Colebrook usando valores apropriados de  $\lambda$  e  $R_D$ .

TABELA 7 - Exemplos de valores da rugosidade uniforme equivalente

Material	Condição	K em mm
Latão, cobre, alumínio, plásticos, vidro	Liso sem sedimentos	< 0,03
aço	novo, sem costura, estirado a frio	< 0,03
	novo, sem costura, estirado a quente	< 0,03
	novo, sem costura, laminado	0,05 a 0,10
	novo, soldado longitudinalmente	0,10
	novo, soldado helicoidalmente	0,10
	levemente enferrujado	0,10 a 0,20
	enferrujado	0,20 a 0,30
	incrustado	0,50 a 2,0
	com incrustações pesadas	> 2,0
	asfaltado novo	0,03 a 0,05
asfaltado normal	0,10 a 0,20	
galvanizado	0,13	
ferro fundido	novo	0,25
	enferrujado	1,0 a 1,5
	incrustado	> 1,5
	asfaltado novo	0,10 a 0,15
cimento amianto	isolado e não isolado novo	< 0,03
	não isolado normal	0,05

### 5.5.2 Desvio padrão de $C_d$

Quando  $\beta$ ,  $D$ ,  $R_D$  e  $D/K$  são conhecidos sem erro, o desvio padrão do valor de  $C_d$  é da do em porcentagem, pela seguinte fórmula:

$$\sigma_{cd} = \pm 0,25 \left[ 1 + 2\beta^4 + 100 (\tau_R - 1) + \beta^2 (\log_{10} R_D - 6)^2 + \frac{50}{D} \right]$$

REVOGADA