

NORMA TÉCNICA

**MEDIÇÃO DE VAZÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS –
ESCOAMENTO LIVRE**

CPRH N 2.004

MEDIÇÃO DE VAZÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS – ESCOAMENTO LIVRE

1– OBJETIVO

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a indicação do método mais adequado para medição da vazão de efluentes líquidos, de estações de tratamento de efluentes industriais e sanitários.

2 – DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Na aplicação desta Norma, deve-se consultar:

a) Normas da ABNT

NBR 9896 – Poluição da águas.

NBR 9800 – Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário.

NBR 7229 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos.

NBR 13403 – Medição de vazão em efluentes líquidos e corpos receptores – escoamento livre.

b) Normas da CPRH

CPRH N.2001 – Controle de carga orgânica de efluentes líquidos industriais.

CPRH N.2002 – Controle de carga orgânica de efluentes líquidos não-industriais.

CPRH N.2003 – Autocontrole de efluentes líquidos industriais.

c) Outros Documentos

Resolução CONAMA nº 20/86, de 18 de junho de 1986.

Decreto nº 11.760, de 27 de agosto de 1986.

Resolução CONAMA nº 006, de 15 de junho de 1988.

B.S. 3680: part 4A: 1965 – Methods of Measurement of Liquid Flow in Open Channels.

3. DEFINIÇÕES

Para efeitos desta Norma são adotadas as seguintes definições:

3.1 Escoamento Livre

Escoamento quando o líquido, em qualquer ponto da superfície livre, apresenta pressão igual à atmosférica. O escoamento ocorre sempre por gravidade.

3.2 Vazão/Descarga

Volume do líquido que escorre através de uma secção na unidade de tempo.

3.3 Perda de Carga

Variação do nível da linha de energia em dois pontos em um escoamento

3.4 Profundidade

Dimensão linear medida na direção vertical.

3.5 Coeficiente de Descarga

Expressa a relação entre a carga medida e a carga teoricamente calculada.

3.6 Poço de Medição

Uma câmara aberta no topo, conectada no canal de fluxo do líquido, de modo a permitir a medição em água livre de turbulência.

3.7 Fluxo

Deslocamento de um volume de líquido.

3.8 Método do Vertedor (ou Vertedouro)

Método que utiliza dispositivo, introduzido perpendicularmente às linhas do fluxo de líquido, que possui abertura por onde passa o fluxo. A vazão deve ser determinada a partir da leitura da carga hidráulica no vertedor.

3.9 Tipos de Vertedores

Os dispositivos utilizados para medição da vazão em canais podem ser do tipo retangular pleno, retangular contraído, triangular com ângulo de abertura 90° , 45° , ou $22,5^\circ$ ($\frac{1}{2} \times 90^\circ$, $\frac{1}{4} \times 90^\circ$) e calha Parshall (figuras 1, 2, 3, 4, e 5).

3.10 Carga Hidráulica

Altura atingida pela massa líquida, a contar da cota da soleira do vertedor retangular ou do vértice do vertedor triangular, e da elevação do nível da lâmina do líquido a montante da calha Parshall.

3.11 Método da Calha Parshall ou Medidor Parshall

Método que utiliza dispositivo com secção convergente com fundo em nível, secção estrangulada ou garganta, com fundo em declive e secção divergente com fundo em aclave. A vazão é determinada a partir da leitura da elevação do nível d'água, em uma escala ou régua, colocada na secção convergente do canal (fig. 5).

3.12 Lâmina Líquida

Altura da massa líquida em relação à superfície do fundo do canal em escoamento.

3.13 Lâmina Líquida Aderente

Lâmina d'água sobre o vertedor que não apresenta ar entre a parede do vertedor e a massa líquida.

3.14 Calhas

São elementos que restringem a largura do canal, como as Calhas de Venturi que são precursoras das calhas Parshall.

3.15 Fluxo Submerso

Quando o nível da lâmina d'água a jusante do vertedor for suficientemente elevado para influenciar o escoamento e a operação de tomada do nível d'água a montante do vertedor ou calha.

3.16 Canal de Aproximação

Canal de descarga de efluente no corpo receptor a montante do sistema de medição da vazão.

4. CONDIÇÕES GERAIS

A escolha do método adequado para medição da vazão do efluente em escoamento livre é feita em função da vazão esperada. No caso dos efluentes sanitários, a vazão deve ser estimada pela contribuição individual, de acordo com a Tabela 1 da NBR 7229 da ABNT, e pelo número de contribuintes; e no caso dos efluentes industriais pode ser estimada pelo consumo de água utilizada no processo, pela vazão captada do manancial ou pela taxa específica em função da tipologia industrial, conforme a Tabela 2. As medidas de vazão são efetuadas em canais abertos. Os mecanismos utilizados para estas aplicações são do tipo de nível d'água, que incluem elementos primários que agem com restrições de vazão que fazem o nível a montante se elevar (carga hidráulica) e elementos secundários que detectam a altura da superfície da água. Dados de calibragem são aplicados para converter as medições da altura em vazão.

Deve-se evitar a lâmina líquida aderente do vertedor e manter a carga hidráulica maior do que 0,05m;

A carga hidráulica máxima aceitável, tanto para os vertedores triangulares quanto para os retangulares, é de 0,50m, evitando problemas de erosão e construção.

4.1 Escolha do Método de Medição

- Para vazões menores que 30l/s, os vertedores triangulares oferecem maior precisão;
- Para vazões estimadas entre 30l/s e 300l/s, os vertedores triangulares e retangulares oferecem a mesma precisão;
- Para vazões acima de 300l/s, os vertedores retangulares são os mais indicados por possuírem coeficientes de vazão mais bem definidos.

Os vertedores triangulares de parede delgada são os mais precisos, econômicos e fáceis de instalar. Permitem determinações de vazões contínuas quando se instala um registrador do mecanismo de medida da variação da lâmina d'água a montante do vertedor.

A medida da altura da lâmina d'água (carga hidráulica) é efetuada a montante do vertedor, fora da influência da curvatura da superfície líquida sobre o vertedor. Este método de medição não é adequado para medição de vazão de líquidos com elevados teores de sólidos em suspensão.

4.2 Calha Parshall

Os medidores do tipo Parshall (fig.5) são definidos pela largura da garganta. Devem ser usados em canais que não se dispõem de altura suficiente para instalação de um vertedor de parede delgada, observando que o fundo do canal de saída deve estar situado em um nível inferior ao do canal de entrada da calha Parshall, com o fim de assegurar que esta não

trabalhe no regime de fluxo submerso. A calha Parshall não sofre influência de líquidos contendo materiais em suspensão e por isso é recomendada para essa condição. A medida de vazão é feita pela tomada da altura da lâmina de água, a montante da garganta, em um poço auxiliar.

Quando a calha Parshall for usada afogada, ou seja, quando o nível d'água a jusante for suficientemente elevado para influenciar o escoamento, se faz necessário a leitura da escala em duas secções.

5. ESCOPO

Os tipos de medidores cobertos por esta Norma incluem:

- a) Vertedores retangulares de placa delgada (square – edge weirs):
 - Vertedor de largura plena ou sem contração;
 - Vertedor contraído;
- b) Vertedores triangulares de placa delgada (v. notch).
- c) Canais vertedores de fluxo livre – calha Parshall.
- d) Caixa medidora de vazão.

6. INSTALAÇÃO – SELEÇÃO DO LOCAL

Ao selecionar o local para instalação de um medidor de vazão em escoamento livre, deve-se verificar qual o tipo de medidor mais adequado a ser instalado no canal de descarga. As seguintes características devem ser consideradas:

- a) Adequabilidade do comprimento do canal e regularidade de sua secção transversal.
- b) Evitar usar canais demasiadamente inclinados.
- c) Evitar instalar os medidores em canais que sofram influências de marés, descargas próximas de rios ou córregos, ou lugares que possam ser inundados.
- d) Verificar a permeabilidade do fundo do canal de escoamento onde se pretende instalar o medidor.

Se o local não possui condições para construção do canal de escoamento e instalação do vertedor, pode-se utilizar a caixa medidora de vazão.

7. PROCESSO DE MEDIÇÃO

A altura da carga hidráulica (elevação da altura do nível da lâmina d'água), a montante do vertedor ou da garganta da calha Parshall, é medida por meio de uma régua vertical ou inclinada, ou por meio de régua flutuadora acoplada a um registrador, quando se deseja uma medição contínua.

7.1 Poço de Medição

Quando um poço de medição é instalado, este deverá ser vertical e de suficiente altura ou profundidade de modo a cobrir a faixa total de variação de nível para a máxima e mínima vazão estimada. O poço deverá estar conectado ao canal de aproximação, na posição recomendada para medida da altura, por meio de um tubo ou abertura na lateral. O canal de aproximação para o sistema de medida deve ser liso (equivalente a concreto acabado) de comprimento reto equivalente a dez (10) vezes a largura do canal; se o fluxo é descarregado

no canal por meio de um conduto (por exemplo, tubulação) de menor seção que a do canal, ou em ângulo, então é necessário se estabelecer um comprimento adequado ao canal de aproximação para se obter uma distribuição uniforme de velocidade e evitar turbulência na caixa do vertedor (fig.7).

7.2 Ajuste do Ponto Zero de Medida

O nível zero de medida é estabelecido no vértice do vertedor triangular, na soleira do vertedor retangular ou no nível de fundo da garganta da calha Parshall.

A determinação do ponto zero para instalação da régua de medição deve ser feita com nível de precisão e fixado permanentemente no canal de aproximação ou no poço de medição, quando existir.

A marcação do ponto zero, baseado no nível da água quando não há fluxo de líquido, está sujeita a erros devido aos efeitos da tensão superficial e por isto não deve ser usado.

8. MANUTENÇÃO DO SISTEMA

- O sistema de medição instalado e o canal de aproximação devem ser mantidos limpos para assegurar medidas corretas.
- O poço de medição deve ser mantido livre de qualquer depósito, ou sujeira em suspensão.

1. Vertedor Retangular sem Contração de Placa Delgada

1.1 Definição

São vertedores de placa delgada fina cuja largura (b) é igual à largura do canal de aproximação (B), (b = B) (fig. 1).

1.2 Equação de Descarga

A equação de descarga é dada por:

$$Q = 1,838 bH^{3/2} \quad (1) \text{ Fórmula de Francis}$$

Onde:

Q = vazão em m³/s.

b = largura do vertedor em metros (m).

H = altura da lâmina d'água sobre a crista do vertedor em metros (m).

1.3 Limites de Aplicação

As seguintes condições devem ser observadas quando da utilização desse tipo de vertedor:

- a) A altura (P) do vertedor não deverá ser menor do que 0,10m (10cm);
- b) A altura (H) deve estar compreendida entre 0,03m (3cm) e 0,75m (75cm);
- c) H/P não deve ser maior do que 1,0;
- d) A largura do vertedor (b) deve ser igual à do canal (B) e no mínimo igual a 0,30m (30 cm).

1.4 Limites de Precisão

Obedecidas às condições acima se estima uma precisão de 1% nas determinações da vazão.

Obs.:

- 1- As identificações dos símbolos usados são apresentadas no desenho da fig. 1
- 2- Para obtenção do valor da vazão obtida pela utilização da equação (1) em l/s, multiplicar o valor obtido em m³/s por 1000.
- 3- Para obtenção do valor da vazão, obtida pela utilização da equação (1) em m³/h, multiplicar o valor obtido em m³/s por 3600.
- 4- A Tabela 3, no apêndice, apresenta os valores de vazão em l/s para alturas H em cm, para um vertedor retangular sem contração de largura unitária.

2. Vertedor Retangular Contraído de Placa Delgada

2.1 Definição

São os vertedores cuja largura é inferior a do canal em que se encontram instalados ($b < B$) (fig.2).

2.2 Equação de Descarga

A equação de descarga para este tipo de vertedor é dada por:

$$Q = 1,838bH^{3/2} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo $b = B - 0,2H$ (fig.4), neste caso:

$$Q = 1,838 (B - 0,2H)H^{3/2}$$

Onde:

Q = vazão em m^3/s .

B = largura do canal em metros (m).

b = largura da contração em metros (m).

H = altura da lâmina d'água sobre a crista do vertedor em metros (m).

2.3 Limites de Aplicação

As seguintes condições devem ser observadas quando da utilização desse tipo de vertedor:

A largura do vertedor (b) contraído deve ser igual à largura do canal (B), menos um quinto da altura H (máxima) da lâmina d'água sobre a crista do vertedor ($b = B - 0,2H$).

- A altura (P) do vertedor contraído deve ser, no mínimo, igual a duas vezes a altura H máxima da lâmina d'água sobre a crista do vertedor.
- A altura da lâmina d'água (H) sobre a crista do vertedor deve estar compreendida entre 0,075m (7,5cm) e 0,60m (60cm).
- A largura do vertedor contraído (b) deverá ser no mínimo igual a 0,30m (30cm).
- A altura do vertedor (P) deverá ser, no mínimo, igual a 0,30m (30cm).

2.4 Limites de Precisão

Obedecidas às condições acima, estima-se uma precisão de 1% nas determinações da vazão.

Obs.:

- A identificação dos símbolos usados é apresentada no desenho da fig.2.
- Para obtenção do valor da vazão obtida pela utilização da equação (2) em l/s, multiplicar o valor obtido em m^3/s por 1000.
- Para obtenção do valor da vazão em m^3/h , multiplicar o valor obtido pela utilização da equação (2), em m^3/s por 3600.

3. Vertedores Triangulares de Placa Delgada com Contração

3.1 Definição

O vertedor triangular de placa delgada (v. notch) é o mais preciso mecanismo de medida de vazão em canal aberto em escoamento livre, ilustrado na fig.3.

O vertedor triangular com contração é o vertedor cuja base do triângulo (v. notch) de medida é menor que a largura do canal ($b < B$), conforme a fig.3.

3.2 Equação de Descarga

A equação de descarga para este tipo de vertedor com ângulo central igual a 90° é dada por:

$$Q = 1,4H^{5/2} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Q = vazão em m^3/s .

H = altura da lâmina d'água medida a partir do vértice do triângulo, em metros (m).

3.3 Limites de Aplicação

As seguintes condições devem ser observadas quando da utilização deste tipo de vertedor:

- A altura H, medida a partir do vértice do triângulo, não deve ser menor que 0,05m (5cm) e maior que 0,38m (38cm).
- A altura do vértice do triângulo, a partir do fundo do canal, deverá ser maior que 0,45m (45cm).
- A relação H/P não deverá exceder 0,4.
- A largura do canal B não deverá exceder 0,9m (90cm).
- A relação H/B não deverá ser maior, que 0,20.

3.4 Limite de Precisão

Obedecidas às condições acima, estima-se uma precisão de 1% nas determinações de vazão.

Obs.:

- A identificação dos símbolos usados é apresentada no desenho da fig.3
- Para obtenção do valor da vazão obtida pela utilização da equação (3) em l/s, multiplicar o valor obtido em m^3/s por 1000.
- Para obtenção do valor da vazão obtida pela utilização da equação (3) em m^3/h , multiplicar o valor obtido em m^3/s por 3600.
- A Tabela (4), no apêndice, apresenta valores de vazão em l/s para altura em centímetros (cm), para um vertedor triangular de ângulo central igual a 90° .

4. Medidor Parshall

4.1 Definição

O medidor Parshall é um dispositivo para medição de vazão em canais abertos e compõe-se de três partes: uma secção convergente, uma secção estrangulada (throat section) e uma secção divergente (fig.5 e fig.6).

O nível do fundo do canal na secção convergente deve ser mais alto do que o nível na secção divergente.

A altura da lâmina d'água na secção convergente é a medida do fluxo através da calha.

4.2 Equação de Descarga

A equação de descarga usada para este tipo de vertedor é dada por:

$$Q = 2,2 WH^{3/2} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Q = vazão em m³/s.

W = largura da garganta em polegadas e em pés.

H = altura da lâmina d'água em metros (m).

4.3 Limites de Aplicação

As seguintes condições devem ser observadas quando da utilização deste tipo de vertedor:

- O medidor Parshall deve ser instalado em canais retos com paredes perfeitamente Verticais.
- O tamanho do medidor deve ser determinado em função da vazão estimada e de tal modo que não provoque inundação no canal de aproximação a montante do vertedor.
- O fundo do canal de saída deve ser inferior ao do canal de aproximação.
- O canal de aproximação deve ter um trecho reto superior à 20H, a montante da garganta de medição.
- A tabela 5 apresenta as faixas limites de aplicação dos medidores Parshall em função da largura da garganta.

4.4 Limites de Precisão

Obedecidas às condições acima, estima-se uma precisão de 1% nas determinações de vazão.

OBS.:

- A identificação dos símbolos usados é apresentada no desenho das figs.5 e 6.
- Para obtenção do valor da vazão obtida pela utilização da equação (4) em l/s, multiplicar o valor obtido por 1000.
- Para obtenção do valor da vazão obtida pela utilização da equação (4) em m³/h, multiplicar o valor obtido em m³/s por 3600.
- A Tabela 6, no apêndice, apresenta as dimensões padronizadas em centímetros de medidores Parshall. A tabela 7 apresenta as vazões em l/s, para alturas H em centímetros e largura da garganta em polegadas e pés.

5. Caixa Medidora de Vazão

5.1 Definição

A caixa medidora de vazão utiliza um vertedor triangular instalado numa caixa metálica com dimensões padronizadas, a qual poderá ser instalada no próprio canal de descarga do efluente ou noutro local de modo que a adução do efluente para a caixa possa ser feita através da tubulação na posição vertical, pela lateral, ou por trás (fig.7).

5.2 Placa de Medição

Numa das extremidades da caixa, no sentido do comprimento, é feito um corte em V com ângulo central de 90°, que formará um vertedor triangular de placa delgada com contração.

5.3 Dimensões e Especificações

A caixa poderá ser construída em chapa metálica protegida contra corrosão, fibra de vidro, etc., obedecendo as dimensões da fig.7. A placa vertedora deve ser feita de chapa de, no máximo, 1/32" (±1mm) de espessura.

Todas as dimensões estão relacionadas com a altura (L), medida a partir do vértice do triângulo, correspondente a 4/3 da altura máxima H relativa a vazão máxima estimada.

5.4 Equação de Descarga

A equação de descarga é a mesma usada para vertedores triangulares apresentada no item 3.2, equação (3):

$$Q = 1,4H^{5/2} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Q = vazão em m³/s

H = altura da lâmina d'água medida a partir do vértice do triângulo em metros (m).

5.5 Limites de Aplicação

As seguintes condições devem ser observadas quando da instalação deste tipo de vertedor:

- a) A altura máxima da lâmina d'água medida a partir do vértice do triângulo, não deve ser maior que ¾ H.
- b) A largura do tanque de recepção do efluente, a montante da placa do vertedor deve ser no mínimo 7L e de comprimento 19L.
- c) A distância da chicana, a partir da placa vertedora deve ser no mínimo 7L.
- d) A passagem livre embaixo da chicana deve ter uma altura de 1L.
- e) A profundidade do tanque deve ser de 3L.
- f) O fluxo do líquido sobre o vértice do triângulo deve ser livre e de no mínimo 5cm abaixo do vértice para não afogar o vertedor.

5.6 Limite de Precisão

Obedecidas às condições acima, estima-se uma precisão de 1% nas determinações da vazão.

OBS.:

1. O desenho da fig.7 apresenta as dimensões e o lay-out da caixa medidora de vazão.
2. Para obtenção do valor da vazão obtida pela equação (3) em l/s, multiplicar o valor obtido em m³/s por 1000.
3. Para obtenção do valor da vazão obtido pela equação (3) em m³/h, multiplicar o valor obtido em m³/s por 3600.
4. A Tabela 4 apresenta os valores de vazão em l/s para uma altura H em centímetros (cm), para um vertedor triangular de ângulo central igual a 90°.