

# Mecânica dos Fluidos

## Medidores de Escoamento de Fluidos

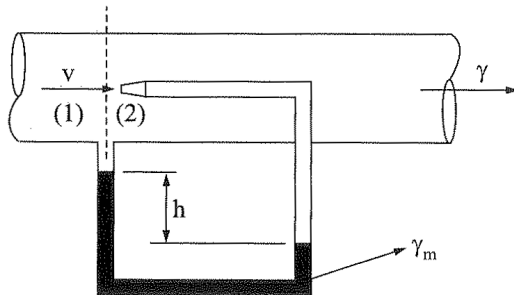
Prof. Rodolfo Rodrigues  
Universidade Federal do Pampa

**BA000200 – Fenômenos de Transporte**  
Campus Bagé

17 e 18 de abril de 2017



# Medidor: Tubo de Pitot



**Figura 1:** Representação de um medidor de **tubo de Pitot** com manômetro diferencial.

Fonte: Brunetti (2008).

## Medidor: Tubo de Pitot

- A eq. abaixo permite determinar a velocidade do ponto onde o **tubo de Pitot** está instalado:

$$v = C_p \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

onde  $C_p$  é um coeficiente de ajuste de valor entre 0,98 e 1.

- Se posicionado no centro então  $v = v_{\text{máx}}$  e para

**1 Escoamento laminar:**  $v_m = 0,5 \cdot v_{\text{máx}}$  e

**2 Escoamento turbulento:**  $v_m = 0,8167 \cdot v_{\text{máx}}$ .



## Medidor: Tubo de Pitot

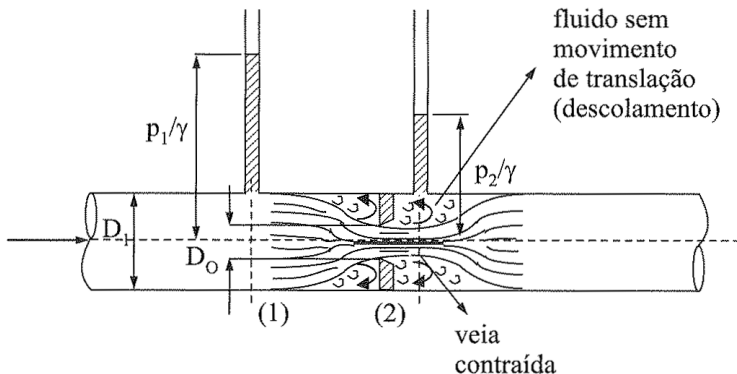
- Para um **manômetro diferencial** pode-se escrever:

$$p_2 - p_1 = h(\rho_m - \rho)g \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

onde  $\rho_m$  é a massa específica do fluido manométrico;  
 $\rho$  é a massa específica do fluido escoando;  
 $h$  é o desnível.



## Medidor: Placa de Orifício



**Figura 2:** Representação de um medidor de **placa de orifício** com manômetro diferencial.

Fonte: Brunetti (2008).

## Medidor: Placa de Orifício

- A velocidade no orifício de uma **placa de orifício** é:

$$v_0 = \frac{C_0}{\sqrt{1 - (D_0/D_1)^4}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (3)$$

onde  $C_0$  é um coeficiente de ajuste.

- Para  $Re > 20\,000$  e  $D_0/D_1 < 0,5$  então  $C_0 \approx 0,61$ ;



## Medidor: Placa de Orifício

- Alternativamente, há a eq. abaixo:

$$v_0 = k \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4)$$

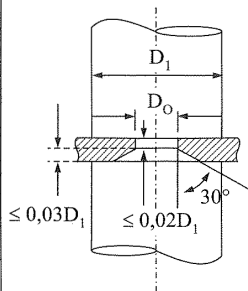
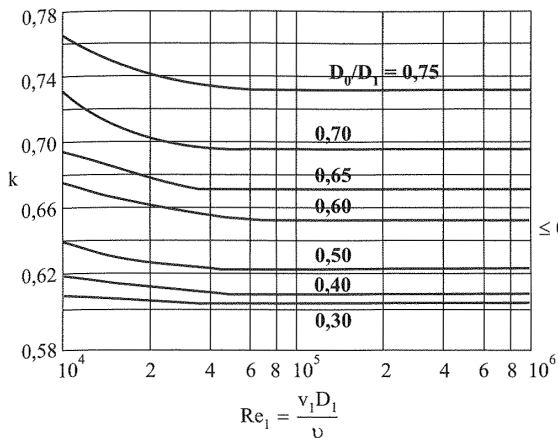
onde  $k$  é um coeficiente definido por:

$$k = \frac{C_D}{\sqrt{1 - C_C^2 (D_0/D_1)^4}} \quad (5)$$

onde  $C_D$  e  $C_C$  são os coeficientes de descarga e de contração, respectivamente.



# Medidor: Placa de Orifício

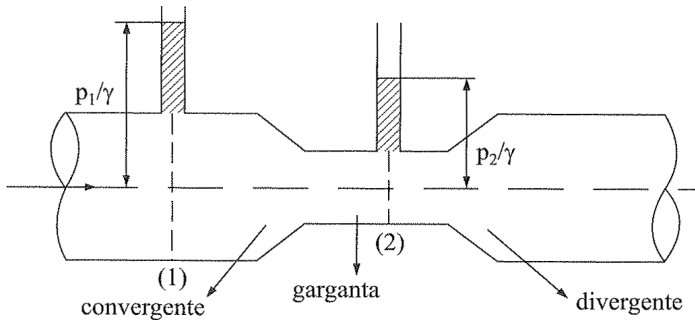


**Figura 3:** Diagrama de coeficientes  $k$  em função de  $Re$  e  $D_0/D_1$  para um medidor de placa de orifício (direita).

Fonte: Brunetti (2008).



# Medidor: Tubo de Venturi



**Figura 4:** Representação de um medidor de **tubo de Venturi** com piezômetro.

Fonte: Brunetti (2008).

## Medidor: Tubo de Venturi

- A velocidade no diâmetro menor de um **tubo de Venturi** é:

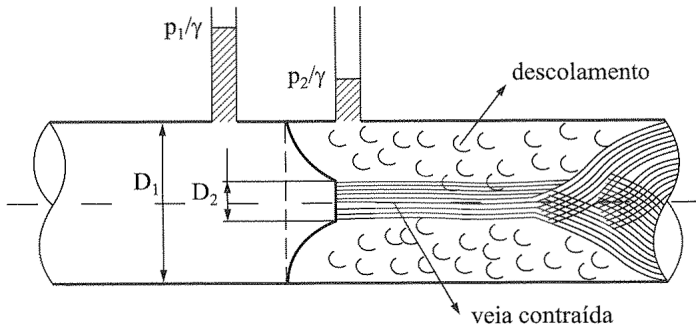
$$v_2 = \frac{C_v}{\sqrt{1 - (D_2/D_1)^4}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (6)$$

onde  $C_v$  é um coeficiente de ajuste.

- 1 Para  $Re > 10\,000$  e  $D_1 < 0,2$  m então  $C_v = 0,98$  e
- 2 Para  $D_1 > 0,2$  m então  $C_v = 0,99$ .



## Medidor: Bocal Convergente



**Figura 5:** Representação de um medidor de **bocal convergente** ("flow-nozzle") com piezômetro.

Fonte: Brunetti (2008).

## Medidor: Bocal Convergente

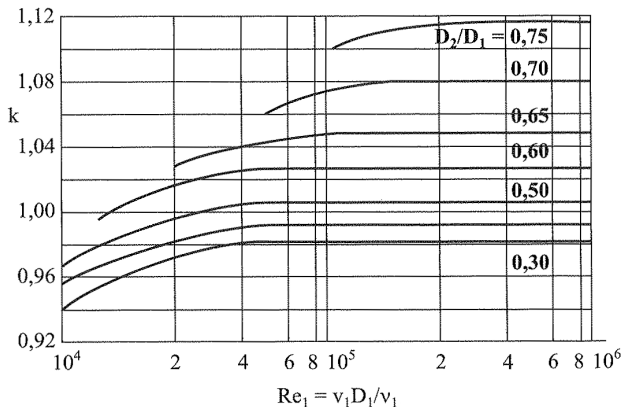
- O **bocal convergente** corresponde à parte convergente do tubo de Venturi;
- A velocidade no **diâmetro menor** de um bocal convergente é:

$$v_2 = k \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}} \quad [\text{m/s}] \quad (7)$$

onde  $k$  é um coeficiente função de  $Re$  e  $D_2/D_1$  conforme Fig. 6.



# Medidor: Bocal Convergente



**Figura 6:** Diagrama de coeficientes  $k$  em função de  $Re$  e  $D_2/D_1$  para um medidor de bocal convergente.

**Fonte:** Brunetti (2008).

## Medidor para Escoamento Compressível

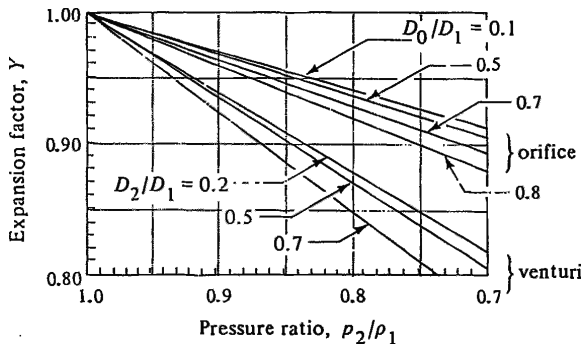
- Para **escoamento compressível** de gases em tubo de Venturi, bocal convergente e placa de orifício:

$$Q_m = \frac{C_v A_2 Y}{\sqrt{1 - (D_2/D_1)^4}} \sqrt{2(p_1 - p_2)\rho_1} \quad [\text{kg/s}] \quad (8)$$

onde  $Y$  é um fator de correção de expansão conforme Fig. 7.



# Medidor para Escoamento Compressível

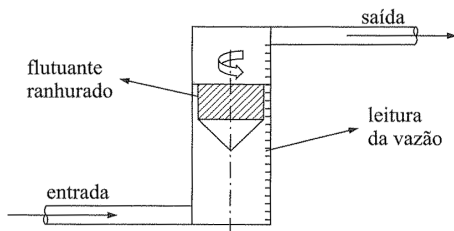


**Figura 7:** Fator de expansão  $Y$  para escoamento de ar em medidores de tubo de Venturi, bocal convergente e placa de orifício.

Fonte: Geankoplis (2003).

## Medidor: Rotâmetro

- O **rotâmetro** é um tubo graduado em que um elemento flutuante com ranhuras helicoidais para mantê-lo no centro do tubo;



Fonte: Brunetti (2008).

- Dependendo da vazão, o flutuante irá se localizar numa certa posição que corresponde a um valor predeterminado.