

Aula 2. Classificação do escoamento e Distribuição de velocidade e pressão em condutos livres

Hidráulica II

Maria M. Gamboa

1º Semestre de 2019. 26/02/2019

Tipos de escoamento em condutos livres

- $V = f(t)$: Permanente vs. Não permanente / variável
 - Variável: Enchimento canal
 - Variável: Tromba

Tipos de escoamento em condutos livres

- $V = f(t)$: Permanente vs. Não permanente / variável
 - ▶ Variável: Enchimento canal
 - ▶ Variável: Tromba
- $V = f(x)$: Uniforme vs. Não uniforme / variado
 - Uniforme: Veloc. paralelas, trajetórias rectilíneas $I_o = I_a = I_f$
 - Variado: Gradualmente ou rápidamente
 - ▶ Variado: Perfis

Tipos de escoamento em condutos livres

- $V = f(t)$: Permanente vs. Não permanente / variável
 - ▶ Variável: Enchimento canal
 - ▶ Variável: Tromba
- $V = f(x)$: Uniforme vs. Não uniforme / variado
 - Uniforme: Veloc. paralelas, trajetórias rectilíneas $I_o = I_a = I_f$
 - Variado: Gradualmente ou rapidamente
 - ▶ Variado: Perfis
- $Q = f(x, t)$: Vazão uniforme vs. espacialmente variada:
Entrada-saída de vazão

Tipos de escoamento

- Laminar vs. Turbulento

$$Rey = \frac{F.Inercia}{F.Viscosa} = \frac{\rho V L_c}{\mu}$$

Tipos de escoamento

- Laminar vs. Turbulento

$$Rey = \frac{F.Inercia}{F.Viscosa} = \frac{\rho V L_c}{\mu} = \frac{V R_h}{\nu}$$

Tipos de escoamento

- Laminar vs. Turbulento

$$Rey = \frac{F.Inercia}{F.Viscosa} = \frac{\rho V L_c}{\mu} = \frac{V R_h}{\nu}$$

$Rey < 500$: Laminar

$Rey > 2000$: Turbulento

$500 < Rey < 2000$: Transição

Tipos de escoamento

- Fluvial (subcrítico) vs. torrencial (supercrítico)

$$\frac{F.Inercia}{F.Gravidade} \propto Fr = \frac{V}{\sqrt{gL_c}} = \frac{V}{\sqrt{gH_m}}$$

$Fr < 1$: Subcrítico, fluvial

$Fr = 1$: Crítico

$Fr > 1$: Supercrítico, torrencial

Exercício

Classifique o escoamento que ocorre num canal regular, prismático, de seção trapezoidal com largura de fundo $1.0m$, inclinação dos taludes $1H : 1V$ ($Z = 1$), $V = 0.85m/s$, $y = 0.8m$.

Exercício

Considere dois canais, um com seção circular de 1m de diâmetro escoando a meia seção e outro de seção retangular com altura d'água igual à da seção circular. Se o número de Froude dos escoamentos nas duas seções forem iguais, mostre que entre a velocidade média na seção circular e a velocidade média na seção retangular existe a seguinte relação:

$$\frac{V_c}{V_r} = \sqrt{\frac{\pi}{4}}$$

Exercício

Água escoando ocupando toda a seção de um canal semi-hexagonal revestido de concreto, com largura de fundo b . A vazão é de $12\text{m}^3/\text{s}$. Determine o valor de b se o número de Froude do escoamento for $Fr = 0.65$

Distribuição de velocidade

Escoamento tridimensional, mas:

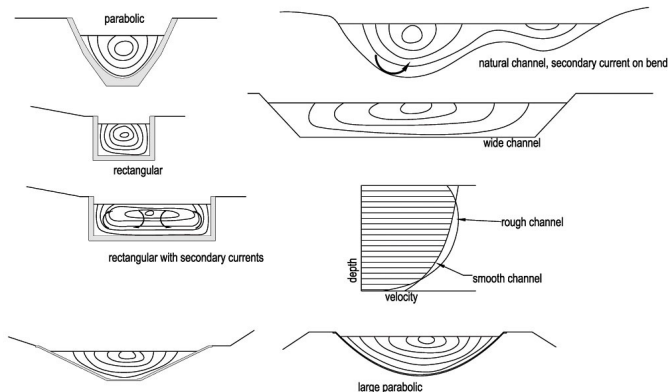
$V_x \gg V_z, V_y \rightarrow$ unidimensional

Distribuição de velocidade

Escoamento tridimensional, mas:

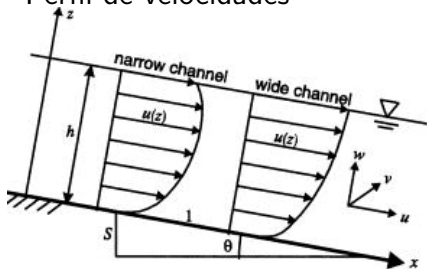
$V_x \gg V_z, V_y \rightarrow$ unidimensional

Distribuição na seção



Distribuição de velocidade

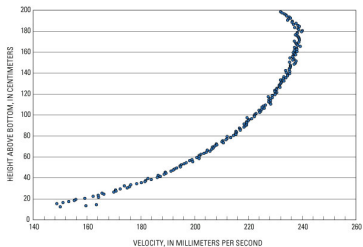
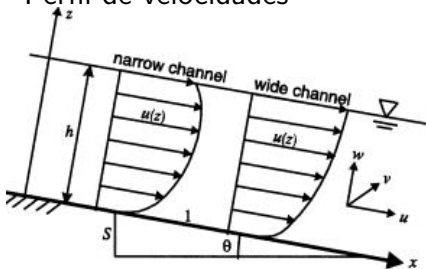
Perfil de velocidades



Canal estreito: $B < 3y$
Canal largo: $B > 10y$

Distribuição de velocidade

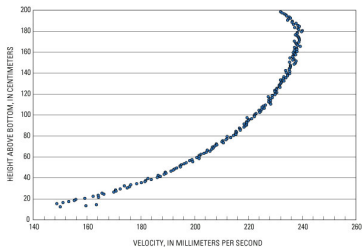
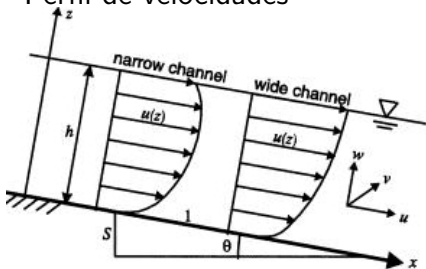
Perfil de velocidades



Canal estreito: $B < 3y$
Canal largo: $B > 10y$

Distribuição de velocidade

Perfil de velocidades



$$V_{media} = V_m = \frac{1}{h} \int_0^h v dz$$

$$V_m \approx \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \approx V_{0.4}$$

Canal estreito: $B < 3y$
Canal largo: $B > 10y$

Distribuição de velocidade, Energia cinética e Quantidade de movimento

Energia cinética:

$$\left(\frac{v^2}{2g} \right)_m \neq \frac{V_m^2}{2g}$$

Distribuição de velocidade, Energia cinética e Quantidade de movimento

Energia cinética:

$$\left(\frac{v^2}{2g}\right)_m \neq \frac{V_m^2}{2g}$$

Coeficiente de Coriolis de correção da e. cinética : $\alpha = \frac{\int_A v^3 dA}{V_m^3 A}$

Distribuição de velocidade, Energia cinética e Quantidade de movimento

Energia cinética:

$$\left(\frac{v^2}{2g}\right)_m \neq \frac{V_m^2}{2g}$$

Coeficiente de Coriolis de correção da e. cinética : $\alpha = \frac{\int_A v^3 dA}{V_m^3 A}$

Se canal largo: $\alpha = \frac{1}{y} \frac{\int_0^y v^3 dy}{V_m^3}$

Distribuição de velocidade, Energia cinética e Quantidade de movimento

Energia cinética:

$$\left(\frac{v^2}{2g} \right)_m \neq \frac{V_m^2}{2g}$$

Coeficiente de Coriolis de correção da e. cinética : $\alpha = \frac{\int_A v^3 dA}{V_m^3 A}$

Se canal largo: $\alpha = \frac{1}{y} \frac{\int_0^y v^3 dy}{V_m^3}$

Coef. de Boussinesq de correção da q. de movimento $\beta = \frac{\int_A v^2 dA}{V_m^2 A}$

Distribuição de velocidade, Energia cinética e Quantidade de movimento

Energia cinética:

$$\left(\frac{v^2}{2g}\right)_m \neq \frac{V_m^2}{2g}$$

Coeficiente de Coriolis de correção da e. cinética : $\alpha = \frac{\int_A v^3 dA}{V_m^3 A}$

Se canal largo: $\alpha = \frac{1}{y} \frac{\int_0^y v^3 dy}{V_m^3}$

Coef. de Boussinesq de correção da q. de movimento $\beta = \frac{\int_A v^2 dA}{V_m^2 A}$

Se canal largo: $\beta = \frac{1}{y} \frac{\int_0^y v^2 dy}{V_m^2}$

Distribuição de velocidade

Coeficientes de correção pelas velocidades não uniformes na seção

Canal	α	β
Canais naturais	1.1 - 1.5	1.0 - 1.1
Vales de rios	1.5 - 2.0	1.1 - 1.3

Para canais retilíneos, prismáticos, com escoamento uniforme ou até gradualmente variado:

$$\alpha \approx 1.0 \quad \beta \approx 1.0$$

Distribuição de pressão

Em geral, qualquer direção (sendo a_n aceleração no sentido normal ao fundo)

$$-\frac{\delta(p + \gamma Z)}{\delta n} = pa_n$$

Distribuição de pressão

Em geral, qualquer direção (sendo a_n aceleração no sentido normal ao fundo)

$$-\frac{\delta(p + \gamma Z)}{\delta n} = pa_n$$

Pressão ao longo de uma seção de canal fica:

$$p = \gamma y + \rho \frac{V^2}{r} h$$

Distribuição de pressão

Em geral, qualquer direção (sendo a_n aceleração no sentido normal ao fundo)

$$-\frac{\delta(p + \gamma Z)}{\delta n} = pa_n$$

Pressão ao longo de uma seção de canal fica:

$$p = \gamma y + \rho \frac{V^2}{r} h$$

Se o escoamento for paralelo, $r \rightarrow \infty$:

$$p = \gamma y$$

Distribuição de pressão

Em geral, qualquer direção (sendo a_n aceleração no sentido normal ao fundo)

$$-\frac{\delta(p + \gamma Z)}{\delta n} = pa_n$$

Pressão ao longo de uma seção de canal fica:

$$p = \gamma y + \rho \frac{V^2}{r} h$$

Se o escoamento for paralelo, $r \rightarrow \infty$:

$$p = \gamma y$$

Lembrando que: Se $I_0 = 1m/100m$, $\alpha = 0.57^\circ$, $\cos(\alpha) \approx 1.0$.
Se $I_0 = 1m/10m$, $\alpha = 5.71^\circ$, $\cos(\alpha)$

Distribuição de pressão

Em geral, qualquer direção (sendo a_n aceleração no sentido normal ao fundo)

$$-\frac{\delta(p + \gamma Z)}{\delta n} = pa_n$$

Pressão ao longo de uma seção de canal fica:

$$p = \gamma y + \rho \frac{V^2}{r} h$$

Se o escoamento for paralelo, $r \rightarrow \infty$:

$$p = \gamma y$$

Lembrando que: Se $I_0 = 1m/100m$, $\alpha = 0.57^\circ$, $\cos(\alpha) \approx 1.0$.
Se $I_0 = 1m/10m$, $\alpha = 5.71^\circ$, $\cos(\alpha) = 0.9950$.

$$y = h \cos \alpha \rightarrow y \approx h$$

Distribuição de pressão

Em canal de baixa declividade e com curvatura vertical desprezível, fica:

$$p = \gamma y \rightarrow \frac{p}{\gamma} = y \text{ em cada altura da seção}$$

Distribuição de pressão

Em canal de baixa declividade e com curvatura vertical desprezível, fica:

$$p = \gamma y \rightarrow \frac{p}{\gamma} = y \text{ em cada altura da seção}$$

$$\frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante em toda a seção}$$

Distribuição de pressão

Em canal de baixa declividade e com curvatura vertical desprezível, fica:

$$p = \gamma y \rightarrow \frac{p}{\gamma} = y \text{ em cada altura da seção}$$

$$\frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante em toda a seção}$$

Nesses casos:

$$\text{linha piezométrica} = \frac{P}{\gamma} + Z = \text{linha d'água}$$

Permanente e uniforme: Equação de continuidade

- Suposto fluido incompressível

Permanente e uniforme: Equação de continuidade

- Suposto fluido incompressível
- Se escoamento permanente:

$$Q = VA = V_1A_1 = V_2A_2$$

Permanente e uniforme: Equação de continuidade

- Suposto fluido incompressível
- Se escoamento permanente:

$$Q = VA = V_1A_1 = V_2A_2$$

- Se escoamento permanente e uniforme:

$$A = cte \rightarrow V = Q/A = cte$$

Permanente e uniforme: Equação de energia

Se escoamento uniforme, linhas de corrente paralelas, e canal de baixa declividade:

- Carga Piezométrica

$$\frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante na seção} \quad (1)$$

Linha piezométrica = Superfície livre

Permanente e uniforme: Equação de energia

Se escoamento uniforme, linhas de corrente paralelas, e canal de baixa declividade:

- Carga Piezométrica

$$\frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante na seção} \quad (1)$$

Linha piezométrica = Superfície livre

- Carga total

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z + \alpha \frac{1.0V^2}{2g} \quad (2)$$

Permanente e uniforme: Equação de energia

Se escoamento uniforme, linhas de corrente paralelas, e canal de baixa declividade:

- Carga Piezométrica

$$\frac{P}{\gamma} + Z = \text{constante na seção} \quad (1)$$

Linha piezométrica = Superfície livre

- Carga total

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z + \alpha \frac{1.0V^2}{2g} \quad (2)$$

Linha de carga = Superfície livre + carga cinética = paralelas no escoamento permanente uniforme