

Aulas #1, #2 e #3: Escoamento em superfície livre

Conteúdo da aula

1. Introdução
2. Elementos geométricos dos canais
3. Tipos de escoamentos
4. Distribuição de velocidade
5. Distribuição de pressão

1 Introdução

Condutos forçados: seção plena, fechada, pressão diferente da atmosférica, gravidade ou bombeamento.

Condutos livres: seção aberta ou fechada, mas pressão na superfície é atmosférica, escoamento ocorre por gravidade: rios, córregos, ribeirões, canais artificiais, galerias, etc.

1.1 Classificação dos canais

Canais naturais ou artificiais: prismáticos ou não prismáticos

Rugosidade:

Condutos forçados: mais uniforme → tubos de aço, ferro fundido, concreto, PVC

Condutos livres:

Artificiais → mais uniforme: concreto, grama, pedras, etc.

Naturais → muito irregular → mesmo numa seção transversal pode variar: lodo, areia, cascalho, vegetação, etc.

Geometria:

Condutos forçados: seções regulares → geralmente circulares.

Condutos livres:

Artificiais → retangular, trapezoidal, circular, elipsoidal, mistas, etc

Naturais → seções muito irregulares → dificuldades de representação geométrica

2 Elementos geométricos dos canais

Área molhada → A

Perímetro molhado → P

Raio hidráulico → A/P

Altura d'água → y

Altura do escoamento → h

Largura de topo ou boca → B

Altura hidráulica ou altura média → $H_m = A/B$

Declividade do fundo → $I_o = \text{tg } \alpha \approx \text{sen } \alpha$

Declividade da linha d'água → I_a

Declividade da linha de energia → I_f

3 Tipos de escoamentos

Escoamento permanente – constante no tempo

Uniforme

Variado

Gradual

Rápido

Escoamento não permanente – não constante no tempo

Uniforme (muito raro)

Variado

Gradual

Rápido

Gradual (remanso)

Rápido (ressalto)

3.1 Número de Reynolds

O número de Reynolds é a relação entre a força de inércia e a força viscosa e, no estudo de canais, este adimensional é expresso por:

$$Rey = \frac{\rho V L}{\mu} = V \frac{Rh}{\nu}$$

Em que: V é a velocidade média na seção considerada, Rh é o raio hidráulico da seção e ν é a viscosidade cinemática da água.

- a) Escoamento laminar: $Rey < 500$
- b) Escoamento turbulento: $Rey > 2000$
- c) Escoamento de transição: $500 < Rey < 2000$

3.2 Número de Froude

O número de Froude é definido como a raiz quadrada da relação entre a força de inércia e a força de gravidade:

$$Fr = \sqrt{\frac{\rho V^2 L^2}{\rho L^3 g}} = \frac{V}{\sqrt{gL_c}}$$

Em que: V é a velocidade média na seção, g é a aceleração da gravidade, e Lc é uma dimensão característica do escoamento. Nos canais, a dimensão característica é dada pela altura hidráulica da seção (Hm).

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g Hm}}$$

Notas de aula – Hidráulica dos condutos livres – SHS 410

- a) Escoamento subcrítico ou fluvial: $Fr < 1$
- b) Escoamento supercrítico ou torrencial: $Fr > 1$
- c) Escoamento crítico: $Fr = 1$

4 Distribuição de velocidades

As velocidades das partículas da água não são uniformes ao longo de uma seção → canais prismáticos → distribuição vertical é aproximadamente parabólica. Na prática: velocidade média.

$$V = (V_{0,2h} + V_{0,8h})/2$$

Em que: h é a velocidade na profundidade onde ocorre a medição.

Coefficientes de Coriolis e Boussinesq: α varia entre 1,03 a 1,36 e β entre 1,01 a 1,12. Na prática, para canais retilíneos e com seção transversal regular → adotam-se esses coeficientes iguais a 1.

5 Distribuição de pressão

Canais “paralelos” → linhas de corrente são retilíneas e paralelas → $y = p/\gamma$ (distribuição hidrostática de pressões → como se estivesse parado

$$p_f = \gamma y = \gamma h \cos \alpha$$

Se α pequeno, $\cos \alpha = 1$ e $y = h$.

Canais curvilíneos → linhas de corrente não são retas → efeito de acelerações normais → força centrífuga → como fica?

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

5.1 Equação da energia

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = z + y + \frac{V^2}{2g}$$