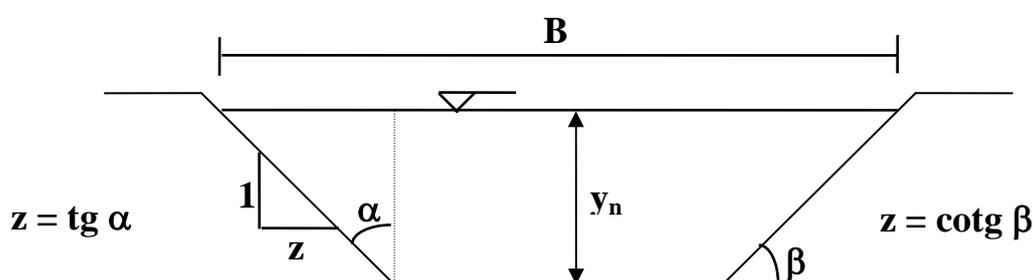


CONDUTOS LIVRES EM REGIME UNIFORME (CANAIS)

1. CONCEITO

⇒ Conduitos nos quais a água escoava apresentando superfície sujeita à pressão atmosférica.

2. ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DA SEÇÃO DO CANAL



2.1. **Profundidade de Escoamento (y)** - distância vertical entre o ponto mais baixo da seção e a superfície livre.

2.2. **Área Molhada (A)** - toda a seção perpendicular molhada pela água.

2.3. **Perímetro Molhado (P)** - comprimento da linha de contorno molhada pela água.

2.4. **Raio Hidráulico (R)** - relação entre a área e o perímetro molhado.

2.5. **Profundidade Média ou Profundidade Hidráulica (y_m)** - relação entre a área molhada (A) e a largura da superfície líquida (B).

2.6. **Declividade de Fundo (I)** - tangente do ângulo de inclinação do fundo do canal.

2.7. **Declividade de Superfície (J)** - tangente do ângulo de inclinação da superfície livre da água.

2.8. **Talude (z)** - tangente do ângulo (α) de inclinação das paredes do canal

3. CLASSIFICAÇÃO DOS ESCOAMENTOS

3.1. Em Relação ao Tempo

a) Permanente ou Estacionário

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0$$

b) Não Permanente ou Transitório

$$\frac{\partial V}{\partial t} \neq 0$$

3.2. Em Relação ao Espaço (para um tempo t)

a) Uniforme

$$\frac{\partial V}{\partial L} = 0$$

b) Não Uniforme ou Variado

$$\frac{\partial V}{\partial L} \neq 0$$

3.3. Exemplos de escoamentos

a) Água escoando por um conduto longo, de seção constante com carga constante

⇒ Escoamento Permanente e Uniforme

b) Água escoando por um conduto de seção constante com carga decrescente

⇒ **Escoamento Não Permanente e Uniforme**

c) Água escoando por um conduto de seção crescente com vazão constante

⇒ **Escoamento Permanente e Não Uniforme**

d) Esvaziamento de um reservatório através de um tubo de seção constante

⇒ **Escoamento Não Permanente e Uniforme**

e) Água escoando através de um canal de mesma seção reta, mesma declividade de fundo e mesma rugosidade das paredes (canais prismáticos)

⇒ **Escoamento Permanente e Uniforme**

4. ESCOAMENTO PERMANENTE E UNIFORME

⇒ Ponto de vista cinemático

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \qquad \frac{\partial V}{\partial L} = 0$$

⇒ Só ocorre em Canais Prismáticos (grande comprimento e pequena declividade - I=J)

4.1. Fórmulas para o Cálculo da Veloc. Média (V) e da Vazão (Q)

⇒ Fórmula de CHÉZY

$$V = C \sqrt{R I}$$

⇒ Fórmula de BAZIN

$$C = \frac{87 \sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}}$$

⇒ Fórmula de MANNING

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}; \quad Q = \frac{A}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

4.2. Seções Transversais Usuais

4.2.1. Canais de Seção Qualquer

4.2.2. Canais de Máxima Vazão (Mínimo Perímetro Molhado, Seção Econômica, Seção de Máxima Eficiência ou de Mínimo Custo)

4.2.3. Velocidades Aconselháveis e Inclinações Admissíveis para os Taludes

- ⇒ Qualidade da água (sedimentação de partículas)
- ⇒ Natureza das paredes do canal
- ⇒ Velocidade Média (V):

$$V_{\text{máx}} > V > V_{\text{mín}}$$

- ⇒ Controle da Velocidade: - fixação da relação entre as dimensões da seção
- mudança de declividade (degraus)

- ⇒ Velocidades médias mínimas para evitar depósitos:

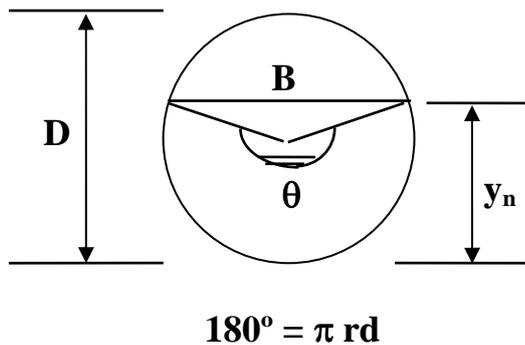
Águas com suspensões finas	0,30 m/s
Águas transportando areias finas	0,45 m/s
Águas residuárias (esgotos)	0,60 m/s

- ⇒ Inclinação das Paredes Laterais (seções trapezoidais)

4.2.4. Folga dos Canais

- ⇒ Folga de 20 a 30% após dimensionamento do canal para escoamento da vazão de projeto (alteração da largura da superfície do canal - B).
- ⇒ Evitar transbordamento causados por água de chuva, obstrução no canal, etc.
- ⇒ Contrabalançar a diminuição da capacidade do canal, causada pela deposição de material transportado pela água e crescimento da vegetação.

4.3. Velocidade Máxima e Vazão Máxima em Canal Circular



$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta} \right)$$

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen } \theta)$$

* Para $V_{\text{máx}} \Rightarrow \theta = 257^\circ$ e $y_n = 0,81 D$

* Para $Q_{\text{máx}} \Rightarrow \theta = 308^\circ$ e $y_n = 0,95 D$

4.4. Diagrama para Canais Circulares Funcionando Parcialmente Cheio

⇒ Permite o cálculo da velocidade, raio hidráulico, vazão, etc. para seção parcialmente cheia

4.4.1. Relação entre uma Área Molhada Qualquer (A) e a Área Molhada a Seção Plena (A_o)

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen } \theta)$$

$$\Rightarrow \frac{A}{A_o} = \frac{1}{2\pi} (\theta - \text{sen } \theta)$$

$$A_o = \frac{\pi D^2}{4}$$

4.4.2. Relação entre o Raio Hidráulico (R) e o Raio Hidráulico Pleno (R_o)

$$R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta} \right)$$

$$\Rightarrow \frac{R}{R_o} = 1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}$$

$$R_o = \frac{D}{4}$$

4.4.3. Relação entre V e V_o

$$\frac{V}{V_o} = \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right)^{2/3}$$

4.4.4. Relação entre Q e Q_o

$$\frac{Q}{Q_o} = \frac{1}{2\pi} (\theta - \text{sen } \theta) \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right)^{2/3}$$

4.4.5. Relação entre P e P_o

$$\frac{P}{P_o} = \frac{\theta}{2\pi}$$

4.5. Dimensionamento das Seções dos Canais (FÓRMULA DE MANNING)

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$\frac{n Q}{\sqrt{I}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

↔
Geometria da seção do canal

4.5.1. Seções Circulares

$$A = \frac{D^2}{8} (\theta - \text{sen } \theta)$$

$$P = \frac{\theta D}{2}$$

a) Supondo conhecidos \underline{n} , \underline{Q} , \underline{I} além de \underline{D}

$$\frac{n Q}{D^{8/3} \sqrt{I}} = \frac{(\theta - \text{sen } \theta)^{5/3}}{2^{13/3} \theta^{2/3}}$$

⇒ Cálculo da profundidade normal

$$y_n = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right) \quad \text{ou} \quad \theta = 2 \text{ arc } \cos \left(1 - 2 \frac{y_n}{D} \right)$$

⇒ Construção do Ábaco $\frac{n Q}{D^{8/3} \sqrt{I}} * \frac{y_n}{D}$

b) Supondo conhecidos \underline{n} , \underline{Q} , \underline{I} além de $\underline{y_n}$

$$\frac{n Q}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} = \left(\frac{y_n}{D} \right)^{-8/3} \frac{(\theta - \text{sen } \theta)^{5/3}}{2^{13/3} \theta^{2/3}}$$

⇒ Atribuindo-se valores a y_n/D calcula-se θ

$$\theta = 2 \text{ arc } \cos \left(1 - 2 \frac{y_n}{D} \right)$$

⇒ Construção do Ábaco $\frac{n Q}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} * \frac{y_n}{D}$

⇒ **ÁBACO XI:** Solução dos problemas de escoamento uniforme em condutos circulares, quando se deseja conhecer y_n ou D

4.5.2. Seções Trapezoidais e Retangulares

a) Determinação da Largura de Fundo (b)

⇒ Supõe-se conhecidos n , Q , I , z e y_n

$$\frac{n Q}{\sqrt{I}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$A = y_n (b + z y_n) \quad P = b + 2y_n \sqrt{z^2 + 1}$$

$$\frac{n Q}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} = \frac{\left(\frac{b}{y_n} + z\right)^{5/3}}{\left(\frac{b}{y_n} + 2\sqrt{z^2 + 1}\right)^{2/3}}$$

⇒ Construção do Ábaco $\frac{n Q}{y_n^{8/3} \sqrt{I}} * \frac{y_n}{b}$ (**ÁBACO VIII**)

b) Determinação da Profundidade Normal (y_n)

⇒ Supõe-se conhecidos \underline{n} , \underline{Q} , \underline{I} , \underline{z} e \underline{b}

$$\frac{\underline{n} \underline{Q}}{\underline{b}^{8/3} \sqrt{\underline{I}}} = \frac{\left[\frac{y_n}{\underline{b}} \left(1 + z \frac{y_n}{\underline{b}} \right) \right]^{5/3}}{\left(1 + 2 \frac{y_n}{\underline{b}} \sqrt{z^2 + 1} \right)^{2/3}}$$

⇒ Construção do Ábaco $\frac{\underline{n} \underline{Q}}{\underline{b}^{8/3} \sqrt{\underline{I}}} * \frac{y_n}{\underline{b}}$ (ÁBACO VII)

4.5.3. Seção Triangular

⇒ Supõe-se conhecidos \underline{n} , \underline{Q} , \underline{I} , \underline{z} (única incógnita: \underline{y}_n)

$$\frac{\underline{n} \underline{Q}}{\sqrt{\underline{I}}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$A = z y_n^2 \quad P = 2y_n \sqrt{z^2 + 1}$$

$$\frac{\underline{n} \underline{Q}}{y_n^{8/3} \sqrt{\underline{I}}} = \frac{z^{5/3}}{\left(2\sqrt{z^2 + 1} \right)^{2/3}}$$

⇒ Construção do Ábaco $\frac{\underline{n} \underline{Q}}{y_n^{8/3} \sqrt{\underline{I}}} * z$ (ÁBACO VI)