

# Aula 5. Escoamento permanente e uniforme em condutos livres de seções fechadas e seções compostas.

Hidráulica II

Maria M. Gamboa

1º Semestre de 2019. 02/04/2019

# Equação de Manning

$$V = \frac{1}{n} R_h^{2/3} I_0^{1/2}$$

$$Q = \frac{A}{n} R_h^{2/3} I_0^{1/2}$$

Válida para escoamento permanente, uniforme, turbulento com  $Rey \gg 2000$ , e rugoso ( $Rey^* > 70$ )

# Seção circular

Antes discutimos: Trapezoidal.

Casos particulares: retangular e triangular.

# Seção circular

Antes discutimos: Trapezoidal.

Casos particulares: retangular e triangular.

**Seção circular** : Muito comum para drenagem sanitário e pluvial, urbano.

# Seção circular

- Características geométricas em função de  $D$  e  $\theta$  ( $\theta$  em  $rad$ ):

$$\theta = 2\arccos\left(1 - 2\frac{y_0}{D}\right) \quad ; \quad y_0 = \frac{D}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]$$

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

$$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right) \quad ; \quad B = D\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = 2\sqrt{y_0(D - y_0)}$$

# Seção circular

- Características geométricas em função de  $D$  e  $\theta$  ( $\theta$  em  $rad$ ):

$$\theta = 2\arccos\left(1 - 2\frac{y_0}{D}\right) \quad ; \quad y_0 = \frac{D}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]$$

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

$$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right) \quad ; \quad B = D\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = 2\sqrt{y_0(D - y_0)}$$

- Evolução das características com  $y$  diferente às seções abertas:

# Seção circular

- Características geométricas em função de  $D$  e  $\theta$  ( $\theta$  em  $rad$ ):

$$\theta = 2\arccos\left(1 - 2\frac{y_0}{D}\right) \quad ; \quad y_0 = \frac{D}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]$$

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

$$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right) \quad ; \quad B = D\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = 2\sqrt{y_0(D - y_0)}$$

- Evolução das características com  $y$  diferente às seções abertas:
  - $Rh$  máximo com seção não plena.
  - $V$  máximo na mesma altura.
  - $Q$  máximo com altura maior à anterior.

# Seção circular

- Características geométricas em função de  $D$  e  $\theta$  ( $\theta$  em  $rad$ ):

$$\theta = 2\arccos\left(1 - 2\frac{y_0}{D}\right) \quad ; \quad y_0 = \frac{D}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\right]$$

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

$$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right) \quad ; \quad B = D\text{sen}\left(\frac{\theta}{2}\right) = 2\sqrt{y_0(D - y_0)}$$

- Evolução das características com  $y$  diferente às seções abertas:
  - $R_h$  máximo com seção não plena.  $\theta = 257^\circ$ ,  $y = 0.81D$
  - $V$  máximo na mesma altura.  $\theta = 257^\circ$ ,  $y = 0.81D$
  - $Q$  máximo com altura maior à anterior.  $\theta = 302.5^\circ$ ,  $y = 0.94D$



## Seção circular

- Resolução da equação de Manning em seção circular:

$$V = \frac{1}{2.52n} D^{2/3} I_0^{1/2} \left( 1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta} \right)^{2/3}$$

$$Q = \frac{1}{20.2n} D^{8/3} I_0^{1/2} \frac{(\theta - \text{sen}\theta)^{5/3}}{\theta^{2/3}}$$

Reordenando:

$$D = \frac{\left( \frac{nQ}{I_0^{1/2}} \right)^{3/8}}{\left[ \frac{(\theta - \text{sen}\theta)}{8} \left( \frac{1 - \text{sen}\theta/\theta}{4} \right)^{2/3} \right]^{3/8}} = \frac{M}{K_1}$$

Tabela de  $K_1$  em função de  $y/D$ . Ver tabela 8.1, pag 253

# Exercício

Uma galeria de águas pluviais de  $D = 1.0m$ , coeficiente de rugosidade de Manning  $n = 0.013$  e declividade de fundo  $I_0 = 2.5 \cdot 10^{-3}m/m$  transporta, em condições de regime permanente uniforme, uma vazão  $Q = 1.20m^3/s$ .

- Qual é a altura de água e a velocidade média, nessas condições?
- Calcule a tensão de cisalhamento média no fundo, e a velocidade de atrito
- Qual seria a capacidade de vazão da galeria se ela funcionasse na condição de máxima vazão?

# Seções especiais

Ha condutos livres não circulares, nem trapezoidais, nem retangulares, nem triangulares?

# Seções especiais

Ha condutos livres não circulares, nem trapezoidais, nem retangulares, nem triangulares?



# Seções especiais

- Fechadas, formato especial: Conveniente funcionamento hidráulico (vazões diferentes) e estrutural (estável).

# Seções especiais

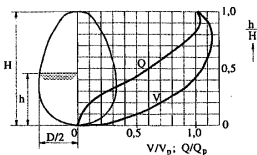
- Fechadas, formato especial: Conveniente funcionamento hidráulico (vazões diferentes) e estrutural (estável).
- Cálculo dos elementos geométricos mais complexo. Utilizam-se gráficos em função da seção plena.

# Seções especiais

- Fechadas, formato especial: Conveniente funcionamento hidráulico (vazões diferentes) e estrutural (estável).
- Cálculo dos elementos geométricos mais complexo. Utilizam-se gráficos em função da seção plena.

# Seções especiais

- Fechadas, formato especial: Conveniente funcionamento hidráulico (vazões diferentes) e estrutural (estável).
- Cálculo dos elementos geométricos mais complexo. Utilizam-se gráficos em função da seção plena.



## OVAL NORMAL INVERTIDO

Valores para a seção plena:

$$D = 0,667 H$$

$$H = 1,5 D$$

$$A_p = 1,149 D^2 = 0,511 H^2$$

$$P_p = 3,965 D = 2,643 H$$

$$R_{hp} = 0,289 D = 0,193 H$$

## CAPACETE

Valores para a seção plena:

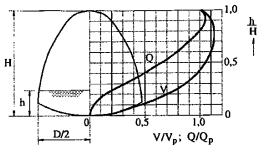
$$D = 0,88 H$$

$$H = 1,13 D$$

$$A_p = 0,847 D^2 = 0,656 H^2$$

$$P_p = 3,441 D = 3,028 H$$

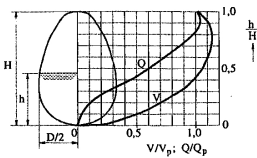
$$R_{hp} = 0,246 D = 0,216 H$$





# Seções especiais

- Fechadas, formato especial: Conveniente funcionamento hidráulico (vazões diferentes) e estrutural (estável).
- Cálculo dos elementos geométricos mais complexo. Utilizam-se gráficos em função da seção plena.



## OVAL NORMAL INVERTIDO

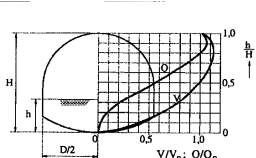
Valores para a seção plena:

$$\begin{aligned}
 D &= 0,667 H \\
 H &= 1,5 D \\
 A_p &= 1,149 D^2 = 0,511 H^2 \\
 P_p &= 3,965 D = 2,643 H \\
 R_{sp} &= 0,289 D = 0,193 H
 \end{aligned}$$

## CAPACETE

Valores para a seção plena:

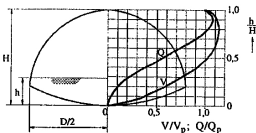
$$\begin{aligned}
 D &= 0,88 H \\
 H &= 1,13 D \\
 A_p &= 0,847 D^2 = 0,656 H^2 \\
 P_p &= 3,441 D = 3,028 H \\
 R_{sp} &= 0,246 D = 0,216 H
 \end{aligned}$$



## ARCO DE CÍRCULO ALTO

Valores para a seção plena:

$$\begin{aligned}
 D &= 1,13 H \\
 H &= 0,88 D \\
 A_p &= 0,734 D^2 = 0,937 H^2 \\
 P_p &= 3,118 D = 3,523 H \\
 R_{sp} &= 0,235 D = 0,267 H
 \end{aligned}$$



## ARCO DE CÍRCULO BAIXO

Valores para a seção plena:

$$\begin{aligned}
 D &= 1,58 H \\
 H &= 0,63 D \\
 A_p &= 0,484 D^2 = 1,208 H^2 \\
 P_p &= 2,618 D = 4,136 H \\
 R_{sp} &= 0,185 D = 0,292 H
 \end{aligned}$$

## Exercício proposto. Seção especial

Um emissário de esgoto, de concreto em condições regulares, cuja seção tem a forma de arco de círculo baixo com altura  $H = 1.25m$ , transporta uma vazão de  $1.70m^3/s$ . Sendo a declividade de fundo  $I_0 = 0.001m/m$ , determine a lâmina de água e a velocidade média.

# Seções compostas

Nem sempre o leito e os taludes do canal são do mesmo material.



# Seções compostas

Para obter um coeficiente de Manning equivalente  $n_e$ , há duas abordagens.

-

# Seções compostas

Para obter um coeficiente de Manning equivalente  $n_e$ , há duas abordagens.

- 
- Igual tensão de cisalhamento

$$n_e = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^2)}{P} \right]^{1/2}$$

# Seções compostas

Para obter um coeficiente de Manning equivalente  $n_e$ , há duas abordagens.

- 
- Igual tensão de cisalhamento

$$n_e = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^2)}{P} \right]^{1/2}$$

- Igual velocidade (menos usado)

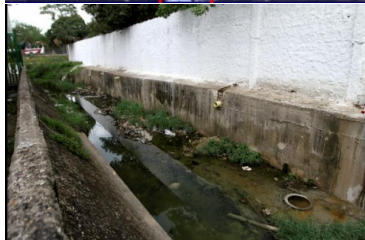
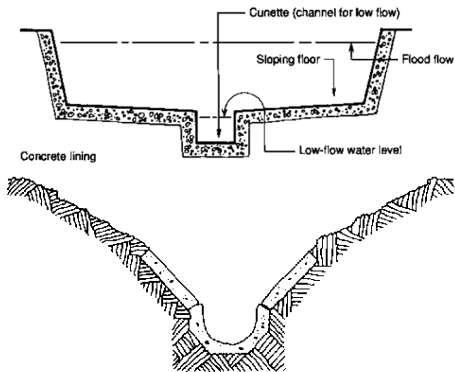
$$n_e = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{3/2})}{P} \right]^{2/3}$$

## Exercicio proposto. $n$ equivalente

Determine a capacidade (vazão) de um canal trapezoidal com altura de água igual a  $1.90m$ , largura da base  $3.80m$ , declividade dos taludes  $Z = 1.0$  e declividade de fundo  $I_0 = 0.001$ . O fundo é de concreto magro e os taludes de alvenaria de pedra argamassada em condições regulares.

# Seções compostas

Por vantagens práticas (vazões normais/cheias) ou construtivas, são usadas seções compostas (leito múltiplo).





# Seções compostas

- Seção composta: 'soma' de seções simples

# Seções compostas

- Seção composta: 'soma' de seções simples
- Seções divididas por linhas imaginárias **verticais**

# Seções compostas

- Seção composta: 'soma' de seções simples
- Seções divididas por linhas imaginárias **verticais**
- Seções analisadas individualmente. Linha imaginária não faz perímetro

# Seções compostas

- Seção composta: 'soma' de seções simples
- Seções divididas por linhas imaginárias **verticais**
- Seções analisadas individualmente. Linha imaginária não faz perímetro
- Vazão total é soma de vazões parciais

# Exercício. Seções compostas

Qual a capacidade, com seção cheia até o topo do revestimento, do canal na foto. Considerar declividade do fundo  $I_0 = 0.002$ .



# Exercício. Seções compostas

Qual a capacidade, com seção cheia até o topo do revestimento, do canal na foto. Considerar declividade do fundo  $I_0 = 0.002$ .

