

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

---

# PHD 0313 Instalações e Equipamentos Hidráulicos

## Aula 4: Conduitos Livres

Prof.: MIGUEL GUKOVAS

Prof.: J .RODOLFO S. MARTINS

Prof.: RONAN CLEBER CONTRERA

# Objetivos da aula

---

- Conduitos livres
- Funcionamento e operação de canais
- Dimensionamento

# Conduitos Livres

---

- O escoamento em canais é caracterizado por apresentar uma superfície livre na qual reina a pressão atmosférica. Estes escoamentos tem um grande número de aplicações práticas na engenharia, estando presente em áreas como o saneamento, a drenagem urbana, irrigação, hidro-eletricidade, navegação e conservação do meio ambiente.

# Exemplos

---



# Exemplos



# Exemplos

---



# Canal de Fundo Fixo - Elementos

---

- Geometria da Seção
- Declividade de Fundo
- Acabamento/revestimento/rugosidade das paredes



# Canal Artificial Escavado



# Canal Revestido em Gabião

---



# Canais Naturais

---



**PHD0313/4/10**

# Canais Urbanos



# Canais Urbanos

---



PHD0313/4/12

# Canais Urbanos



# Canais Urbanos

---

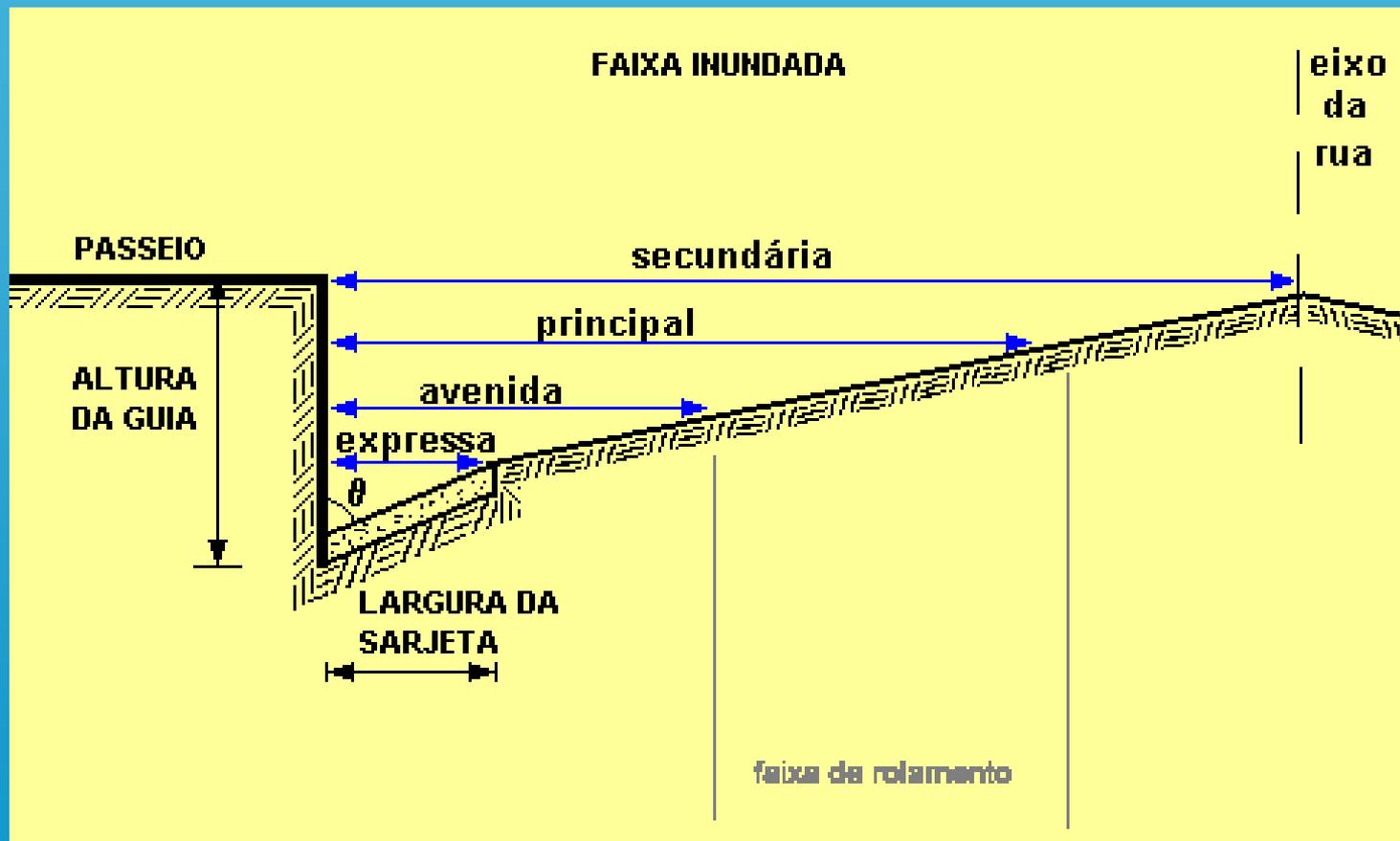


# Canais Urbanos??????

---



# Elementos de Drenagem Urbana



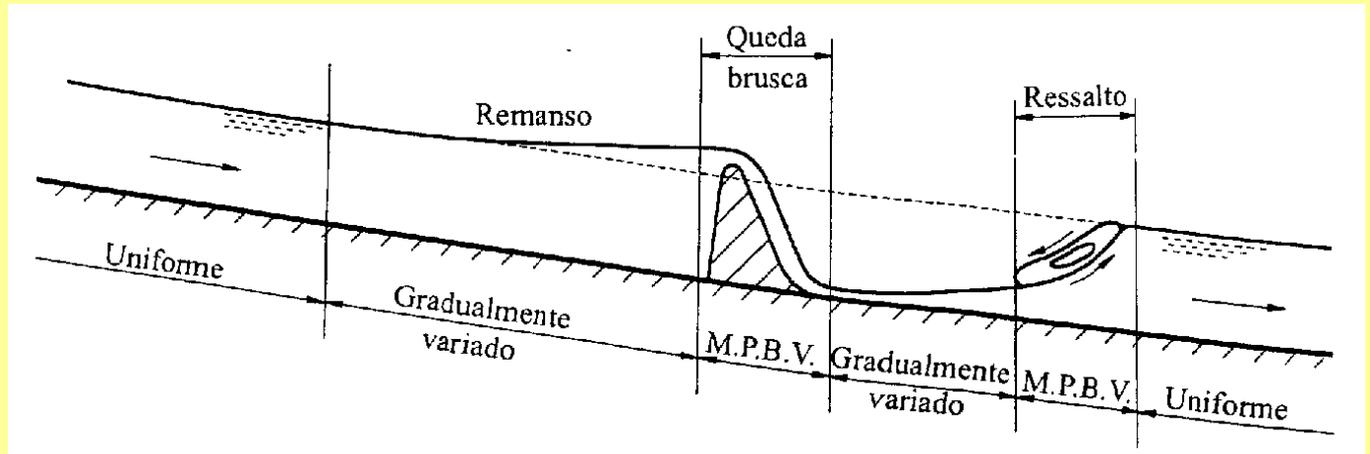
# Declividade Longitudinal

---



# Regimes de Escoamento

## Tipos de Escoamento



**Permanente**

os parâmetros não variam com o tempo

**Não Permanente**

os parâmetros variam com o tempo

Variado

Variado

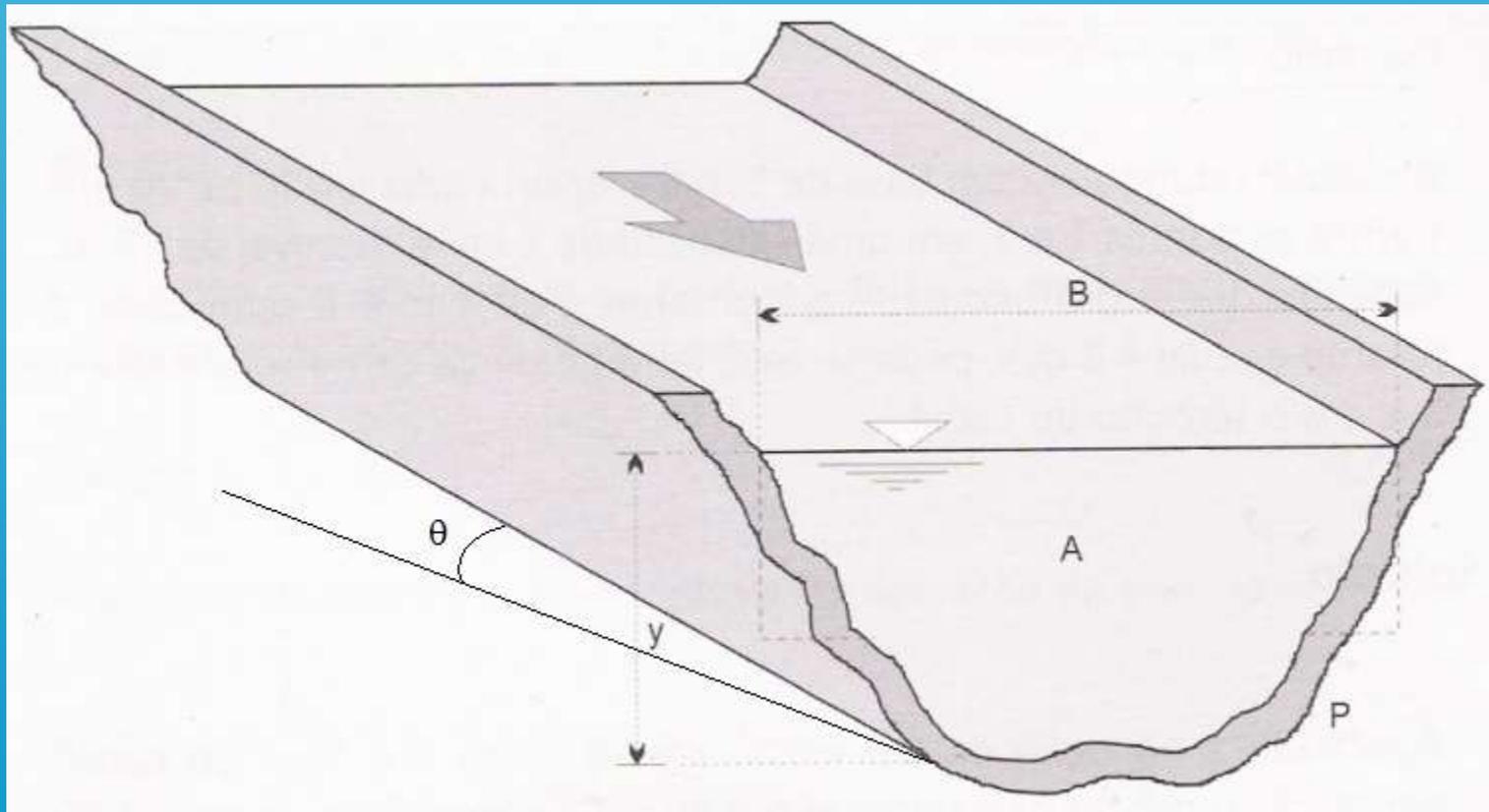
Uniforme

gradual  
rápido

Uniforme

gradual  
rápido

# Parâmetros Geométricos



# Parâmetros Geométricos

## Elementos Geométricos dos Canais

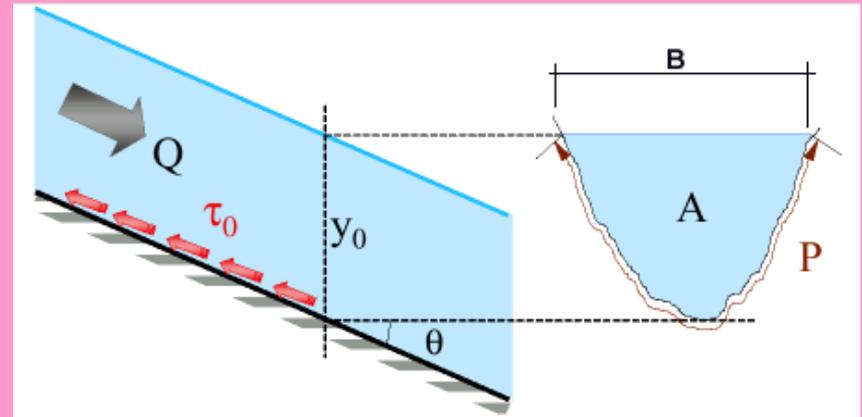
$A$  → área molhada ou área da seção transversal do escoamento

$p$  → perímetro molhado é o comprimento da fronteira sólida do conduto em contato com o fluido

$R_h$  → relação entre área e perímetro molhado

$Y_0$  → altura d'água ou profundidade local

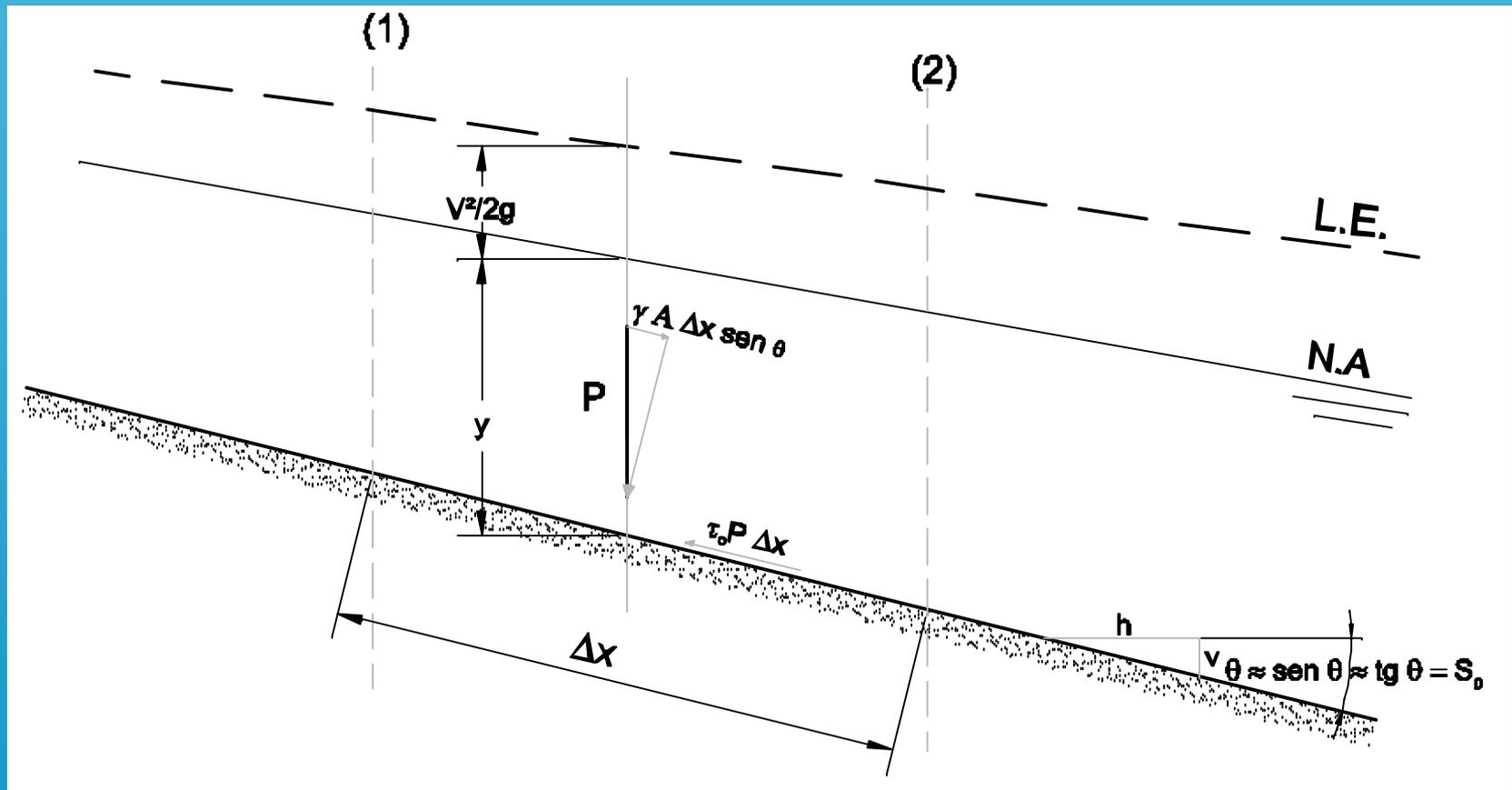
$B$  → largura na superfície do escoamento



# Seções Transversais

Forma	Seção	Área de Escoamento, A	Perímetro Molhado, P	Raio Hidráulico, R
Trapezoidal		$y(b + y \cdot \cotg \alpha)$	$b + \frac{2y}{\sen \alpha}$	$\frac{y(b + y \cdot \cotg \alpha)}{b + \frac{2y}{\sen \alpha}}$
Triangular		$y^2 \cotg \alpha$	$\frac{2y}{\sen \alpha}$	$\frac{y \cdot \cos \alpha}{2}$
Retangular		$by$	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$
Fundo Largo e Plano		$by$	$b$	$y$
Circular		$(\alpha - \sen \alpha) \frac{D^2}{8}$	$\frac{\alpha D}{2}$	$\frac{D}{4} \left( 1 - \frac{\sen \alpha}{\alpha} \right)$

# Resistência ao Escoamento

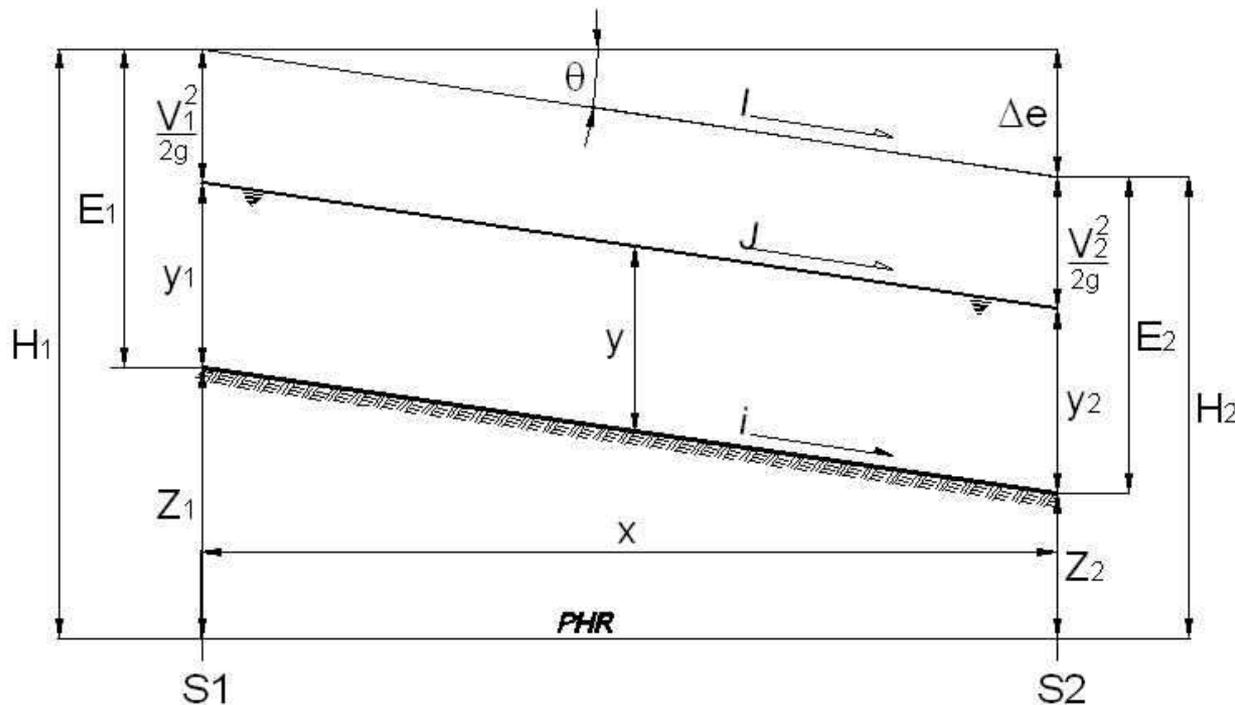


- Tensão tangencial junto ao perímetro é constante
- A inclinação é pequena de forma que  $i = \tan \theta \approx \theta$

# Perdas de Energia

$$\Delta E = H_1 - H_2$$

$$\Delta E = \left( Z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} \right) - \left( Z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right)$$



$$\left. \begin{array}{l} i // J // I \\ Q_1 = Q_2 \\ y_1 = y_2 = y_n \\ V_1 = V_2 \end{array} \right\} \Delta E = Z_1 - Z_2$$

$$J = \frac{\Delta E}{x} = \frac{Z_2 - Z_1}{x} = \text{sen}(\theta)$$

# Fórmula Universal

$$\Delta E = \Delta H = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2.g}$$

$$J = \frac{\Delta H}{L} = f \cdot \frac{V^2}{2.g.D}$$

Para Condutos Livres:

$$\left. \begin{array}{l} J = f \cdot \frac{V^2}{2.g.D_H} \\ D_H = 4 \cdot R_H \end{array} \right\} J = f \cdot \frac{V^2}{8.R_H.g}$$

$$V = \sqrt{\frac{8.g}{f}} \sqrt{R_H \cdot J}$$

$$C = \sqrt{\frac{8.g}{f}}$$

$$\therefore V = C \cdot \sqrt{R_H \cdot J}$$

$$Q = V \cdot A$$

Equação de  
Chezy

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{R_H \cdot J}$$

# Equação de Manning

---

Equação de Chezy

$$Q = C.A.\sqrt{R_H \cdot J}$$

Equação de Manning

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot (R_H)^{2/3} \cdot \sqrt{J}$$

*Como  $J \parallel i$ :*

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot (R_H)^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Os valores do coeficiente de atrito  $n$ , são tabelados em função da natureza das paredes do conduto.

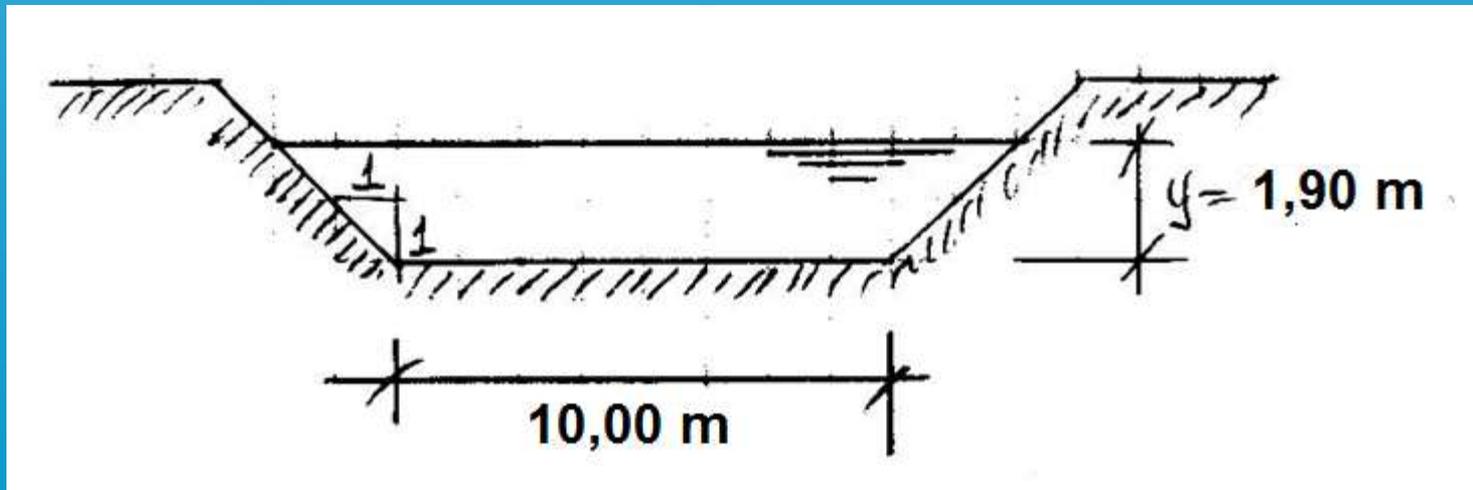
# Coeficiente de Manning

Valores do Coeficiente de Manning (Lencastre e Chow).

Perímetro molhado	n (s/m <sup>1/3</sup> )	Perímetro molhado	n (s/m <sup>1/3</sup> )
A) Condutos naturais		F) Condutos artificiais	
Limpo e reto	0,030	Vidro	0,010
Escoamento vagarosos e com poças	0,040	Latão	0,011
Rio típico	0,035	Aço liso	0,012
B) Planícies inundadas		Aço pintado	0,014
Pasto	0,035	Aço rebitado	0,015
Cerrado leve	0,050	Ferro fundido	0,013
Cerrado pesado	0,075	Concreto com acabamento	0,012
Floresta	0,150	Concreto sem acabamento	0,014
C) Condutos escavados na terra		Madeira aplainada	0,012
Limpo	0,022	Tijolo de barro	0,014
Cascalho	0,025	Alvenaria	0,015
Vegetação rasteira	0,030	Asfalto	0,016
D) Condutos em rocha		Metal corrugado	0,022
		Alvenaria grosseira	0,025
Rocha lisa e uniforme	0,035-0,040	Sarjeta de concreto, acabamento com colher	0,012-0,014
Rocha áspera e irregular	0,040-0,045	Sarjeta de concreto, acabamento com asfalto	0,013-0,015
E) Gabião de pedra com tela de arame	0,035	Pedra lançada	0,024-0,035

# Exemplo 1

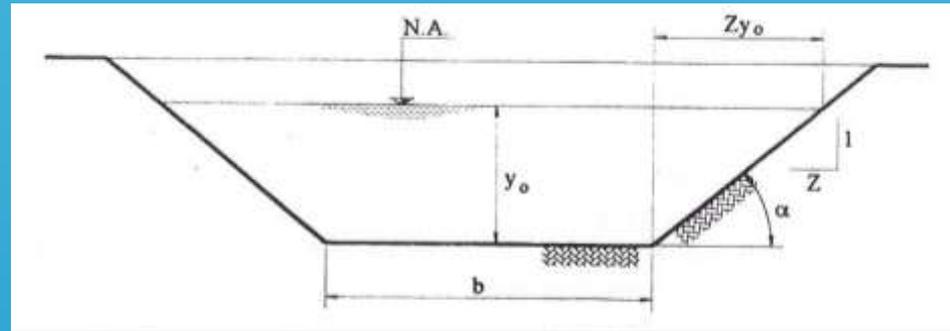
Tem-se um canal trapezoidal, executado em concreto não muito liso, com declividade  $i = 0,04\%$ . Determinar qual é a capacidade de vazão em regime uniforme quando a profundidade é igual a  $1,90\text{ m}$ .



# Exemplo 1 - Solução

$i = 0,04\%$ ;  $y_o = 1,90$  m;  $b = 10,0$  m;  $Z = 1,0$  (1V:ZH);

$Q = ?$



Solução:

$$p_m = b + 2 \cdot \sqrt{y_o^2 + (Z \cdot y_o)^2} = 10 + 2 \cdot \sqrt{1,9^2 + (1,0 \cdot 1,9)^2} = 15,37 \text{ m}$$

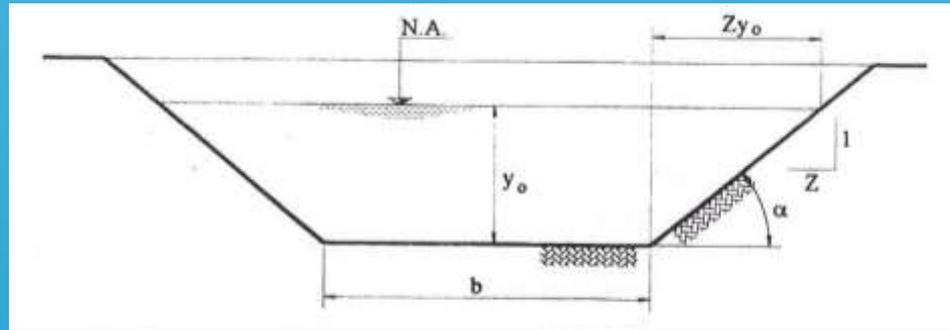
$$A_m = y_o \cdot \frac{(b + B)}{2} = 1,9 \cdot \frac{[10,0 + (10,0 + 2 \cdot 1,90)]}{2} = 22,61 \text{ m}^2$$

$$R_H = \frac{A_m}{p_m} = \frac{22,61}{15,37} = 1,471 \text{ m}$$

# Exemplo 1 - Continuação

$i = 0,04\%$ ;  $y_o = 1,90$  m;  $b = 10,0$  m;  $Z = 1,0$  (1V:ZH);

$Q = ?$



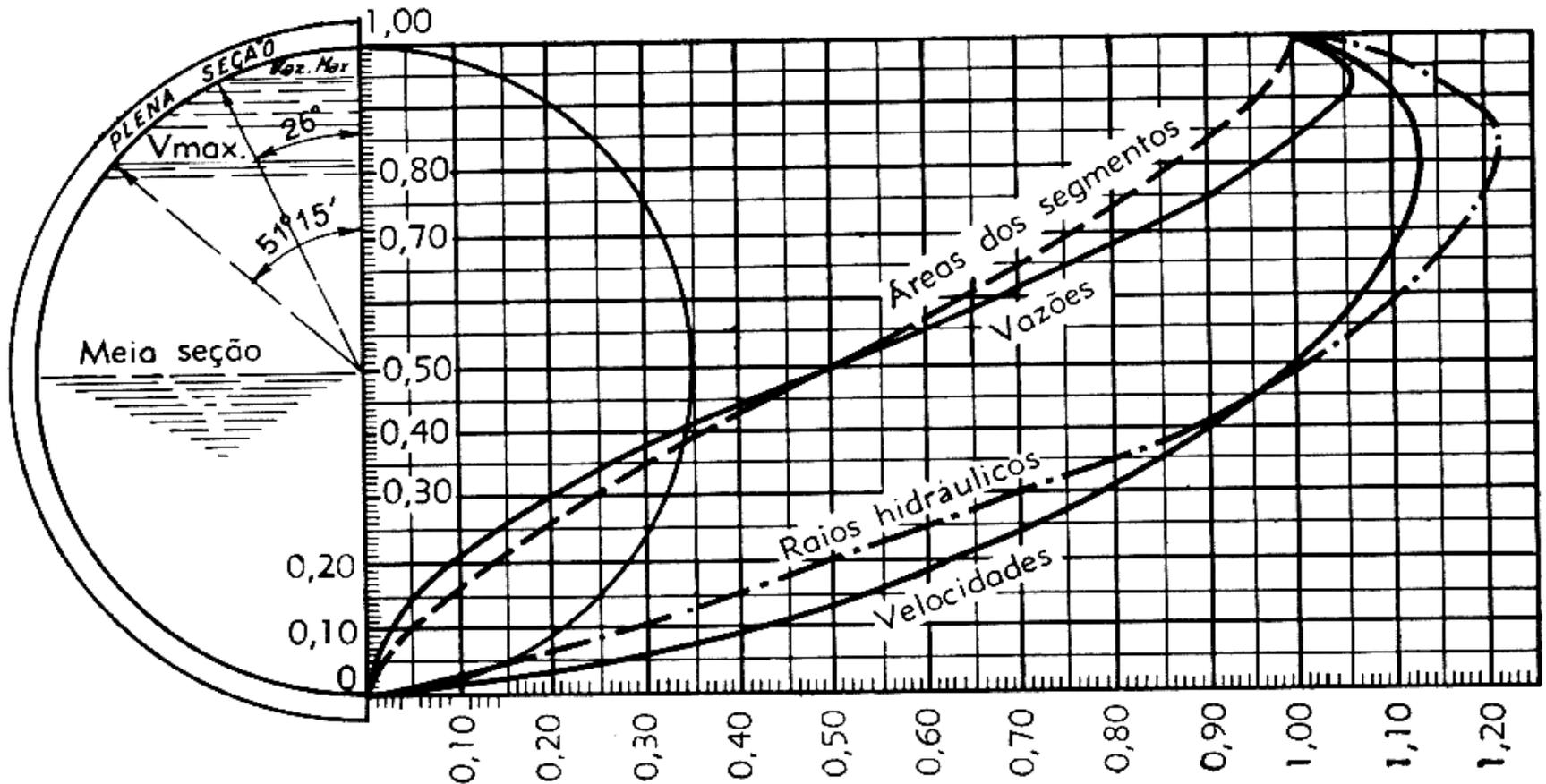
Da Tabela,  $n = 0,014$

$i = 0,04\% = 0,04 / 100 = 0,0004$  m / m

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot (R_H)^{2/3} \cdot \sqrt{i} = \frac{1}{0,014} \cdot 22,61 \cdot (1,471)^{2/3} \cdot \sqrt{0,0004}$$

$$Q = 41,78 \text{ m}^3 / \text{s}$$

# Condutos circulares



# Cond. circulares: relações

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

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

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

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

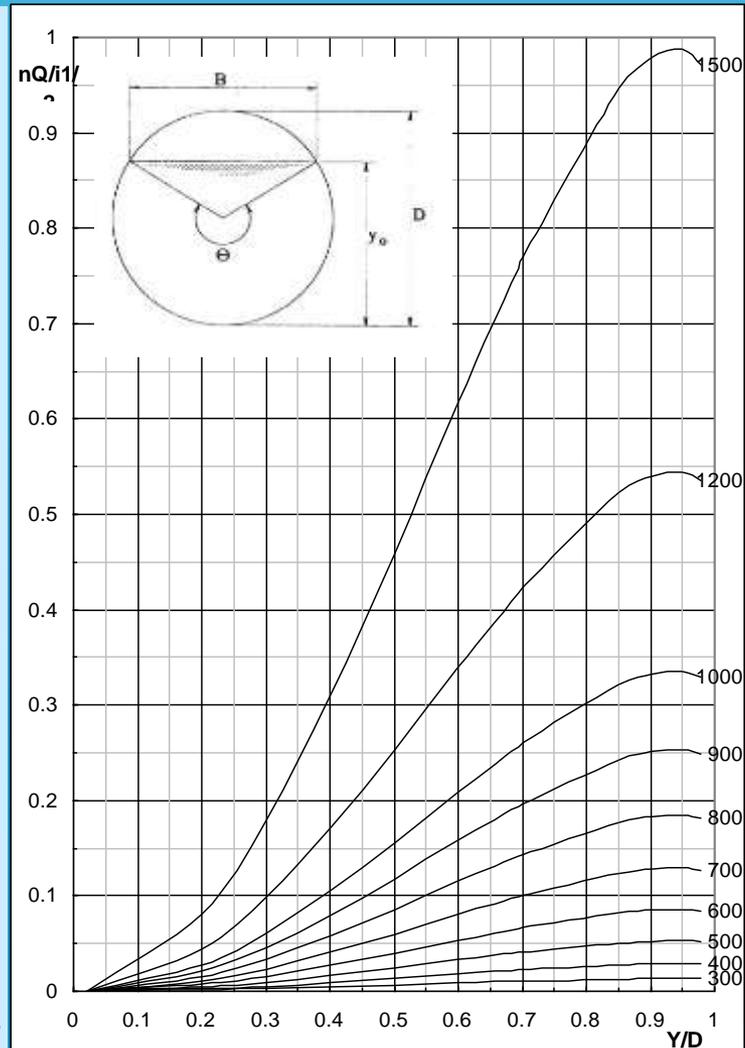
$$\theta = 2 * \text{arc cos} \left( 1 - 2 \frac{y}{D} \right)$$

$$B = D * \text{sen} \frac{\theta}{2}$$

$$Q = \frac{1}{n} \frac{D^{8/3}}{8(4)^{2/3}} \left[ \frac{(\theta - \text{sen } \theta)^{5/3}}{\theta^{2/3}} \right]$$

$$1 \text{ grau} = 0,01745 \text{ rad} \quad 1 \text{ rad} = 57,2957 \text{ graus}$$

→  $\theta = \text{rad}$



# Conduitos Circulares

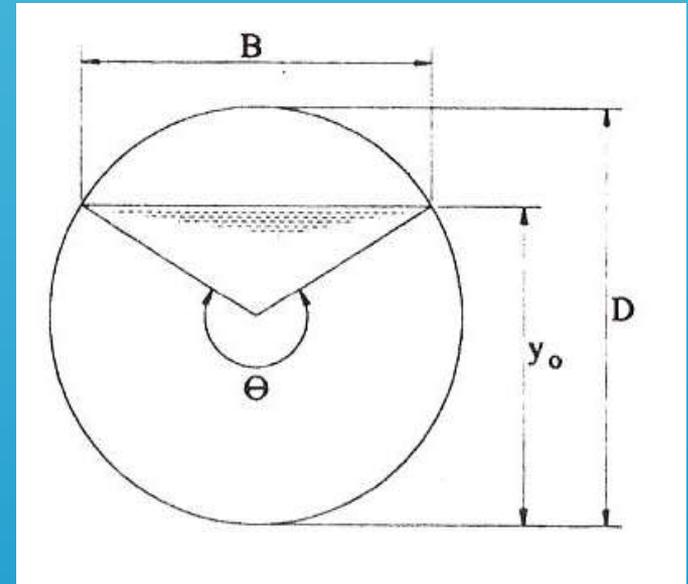
---

Na prática utilizam-se tabelas para o dimensionamento de conduitos circulares, o que reduz muito a necessidade de se efetuar cálculos complexos.

# Condutos Circulares

$y_o/D$	$K_1$	$y_o/D$	$K_1$	$y_o/D$	$K_1$
0,01	0,024	0,34	0,383	0,67	0,591
0,02	0,042	0,35	0,391	0,68	0,596
0,03	0,058	0,36	0,399	0,69	0,600
0,04	0,073	0,37	0,407	0,7	0,604
0,05	0,087	0,38	0,415	0,71	0,608
0,06	0,101	0,39	0,422	0,72	0,612
0,07	0,114	0,4	0,430	0,73	0,616
0,08	0,127	0,41	0,437	0,74	0,620
0,09	0,139	0,42	0,444	0,75	0,624
0,1	0,151	0,43	0,451	0,76	0,627
0,11	0,163	0,44	0,458	0,77	0,631
0,12	0,175	0,45	0,465	0,78	0,634
0,13	0,186	0,46	0,472	0,79	0,637
0,14	0,197	0,47	0,479	0,8	0,640
0,15	0,208	0,48	0,485	0,81	0,643
0,16	0,218	0,49	0,492	0,82	0,646
0,17	0,229	0,5	0,498	0,83	0,649
0,18	0,239	0,51	0,504	0,84	0,651
0,19	0,249	0,52	0,511	0,85	0,653
0,2	0,259	0,53	0,517	0,86	0,655
0,21	0,269	0,54	0,523	0,87	0,657
0,22	0,279	0,55	0,528	0,88	0,659
0,23	0,288	0,56	0,534	0,89	0,660
0,24	0,297	0,57	0,540	0,9	0,661
0,25	0,306	0,58	0,546	0,91	0,662
0,26	0,316	0,59	0,551	0,92	0,663
0,27	0,324	0,6	0,556	0,93	0,664
0,28	0,333	0,61	0,562	0,94	0,664
0,29	0,342	0,62	0,567	0,95	0,664
0,3	0,350	0,63	0,572	0,96	0,663
0,31	0,359	0,64	0,577	0,97	0,661
0,32	0,367	0,65	0,582	0,98	0,659
0,33	0,375	0,66	0,586	0,99	0,658

Tabela (8.1) - Valores do coeficiente de forma  $K_1$  para canais circulares



$$D = \frac{M}{K_1}$$

$$M = \left( \frac{n \cdot Q}{\sqrt{i}} \right)^{3/8}$$

Fonte: Porto (1998)

# Exemplo 2

---

Dimensionar a galeria de drenagem em tubos de concreto para escoar a vazão  $2,85 \text{ m}^3/\text{s}$  sabendo-se que a declividade é  $0,2\%$  e que a profundidade da lâmina d'água não deve ultrapassar  $80\%$  do diâmetro.

# Exemplo 2

## Solução:

$$Q = 2,85 \text{ m}^3/\text{s}; i = 0,2\% = 0,002 \text{ m/m};$$

$$y_{\max}/D = 80\% = 0,80; \quad D = ?$$

Material = concreto  $\rightarrow n = 0,013$

$$M = \left( \frac{n \cdot Q}{\sqrt{i}} \right)^{3/8} = \left( \frac{0,013 \cdot 2,85}{\sqrt{0,002}} \right)^{3/8} = 0,932$$

Da tabela: *para*:  $y_o / D = 0,8 \rightarrow K_1 = 0,640$

# Exemplo 2 (continuação)

$$D = \frac{M}{K_1} = \frac{0,932}{0,640} = 1,45 \text{ m}$$

Portanto Adota-se:  $D = 1,50 \text{ m}$

Para se determinar a altura da lâmina líquida ( $y_o$ ) do canal circular:

$$K_1 = \frac{M}{D} = \frac{0,932}{1,50} = 0,621$$

Da tabela: *para:*  $K_1 = 0,621 \rightarrow y_o / D \approx 0,74$

$$y_o \approx D \cdot 0,74 = 1,50 \cdot 0,74$$

$$y_o \approx 1,11 \text{ m}$$