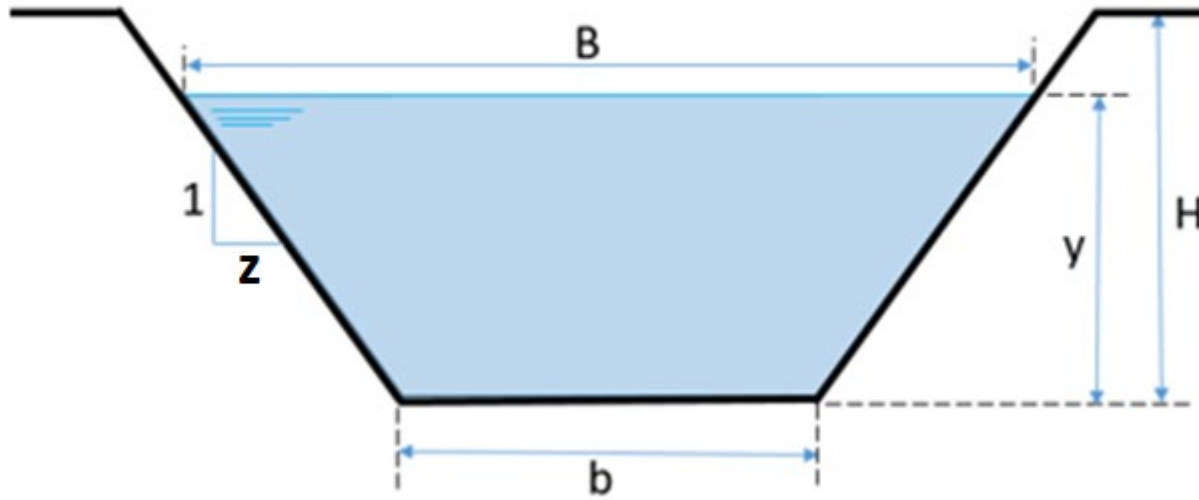


$$A = (b + z \cdot y) \cdot y$$



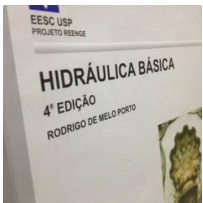
Cálculos em canais

Seções diversas

Hidráulica Básica

Aula 14





Cálculos dos elementos hidráulicos em canais

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R_H^{2/3} \times I_0^{1/2} \quad \Rightarrow \quad \underbrace{\frac{n \times Q}{I_0^{1/2}}}_{(1)} = \underbrace{A \times R_H^{2/3}}_{(2)}$$

(1) = dados necessários para dimensionar a seção

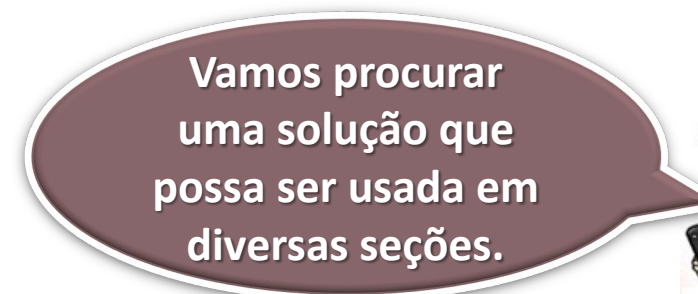
(2) = parâmetros geométricos



Partimos da fórmula de Manning



Escolhida a forma geométrica, existirá mais de uma combinação entre os elementos da seção que satisfaz a fórmula de Manning!



Vamos procurar uma solução que possa ser usada em diversas seções.





Consideramos uma dimensão característica da seção representada pela letra λ

Reescrevemos a fórmula de Manning com a dimensão característica e os parâmetros de forma.



$$\left. \begin{array}{l} A = \kappa \times \lambda^2 \\ \sigma = \xi \times \lambda \end{array} \right\} \kappa \text{ e } \xi \Rightarrow \text{são denominados de parâmetros de forma}$$

Portando, fixada a seção passa a ser objetivo a determinação de κ (capa) e ξ (csi)

$$\frac{n \times Q}{I_0^{1/2}} = A \times R_H^{2/3} \Rightarrow \frac{n \times Q}{I_0^{1/2}} = \kappa \times \lambda^2 \times (\xi \times \lambda)^{2/3} \Rightarrow \frac{n \times Q}{I_0^{1/2}} = \kappa \times \xi^{2/3} \times \lambda^{8/3}$$

$$\frac{n \times Q}{I_0^{1/2}} = L \Leftrightarrow R = \kappa \times \xi^{2/3} \therefore L = R \times \lambda^{8/3} \Rightarrow \lambda = \frac{L^{3/8}}{R^{3/8}}$$



Importante:

$$L^{3/8} = \left(\frac{n \times Q}{\sqrt{I_0}} \right)^{3/8} = M = \text{coeficiente dinâmico}$$

$$R^{3/8} = K = \text{coeficiente de forma}$$

$$\lambda = \frac{L^{3/8}}{R^{3/8}} = \frac{M}{K} = \frac{\text{coeficiente dinâmico}}{\text{coeficiente de forma}}$$

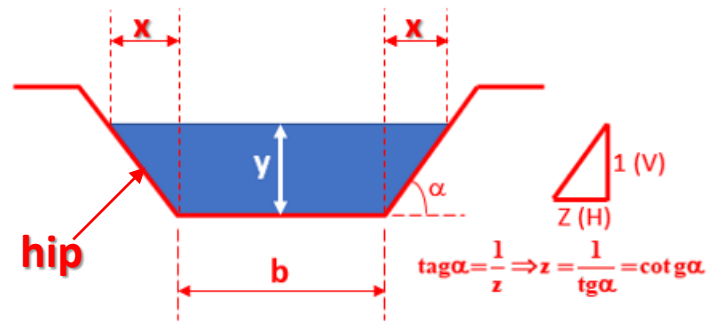


Eu também!

Gostaria de ver isto em
um exemplo de seção
de canal!



Vamos iniciar com um canal de seção trapezoidal



$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y}{x} = \frac{1}{z} \Rightarrow x = z \times y$$

↓

$$\lambda = y$$

$$\text{hip}^2 = y^2 + y^2 \times z^2 = y^2 \times (1 + z^2) \therefore \text{hip} = y \times \sqrt{1 + z^2}$$

$$\frac{b}{y} = m = \text{razão de aspecto}$$

Como $\lambda = y$, vamos obter o parâmetro de forma κ

$$A = \frac{b + b + 2 \times y \times z}{2} \times y = (b + y \times z) \times y$$

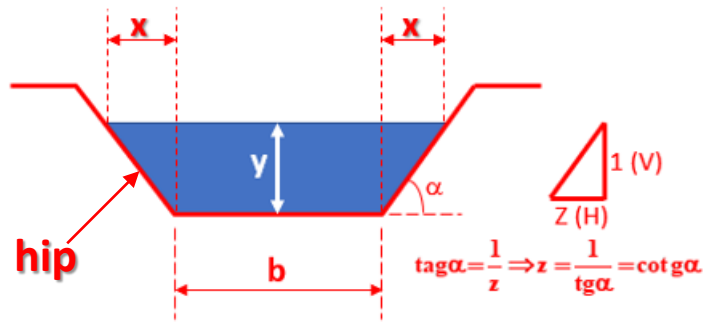
$$\sigma = b + 2 \times y \times \sqrt{1 + z^2}$$

$$R_H = \frac{A}{\sigma} = \frac{(b + z \times y) \times y}{b + 2 \times y \times \sqrt{1 + z^2}}$$

$$A = \kappa \times y^2 = (b + z \times y) \times y \Rightarrow \kappa = \left(\frac{b}{y} + z \right) = (m + z)$$



Vamos iniciar com um canal de seção trapezoidal



$\frac{b}{y} = m = \text{razão de aspecto}$

↓
 $\lambda = y$

Como $\lambda = y$, vamos obter o parâmetro de forma ξ

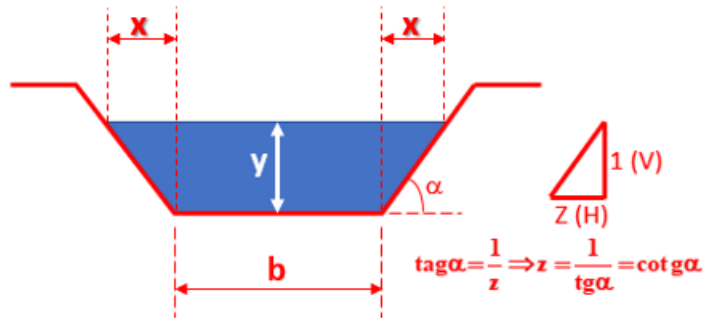


$$\sigma = \xi \times y = b + 2y\sqrt{1+z^2} \therefore \xi = \frac{b + 2y\sqrt{1+z^2}}{y} = \frac{b}{y} + 2\sqrt{1+z^2} = m + 2\sqrt{1+z^2}$$

Consideramos que:

$$R_H = \frac{A}{\sigma} = \frac{\left(\frac{b}{y} + z\right) \times y^2}{\left(\frac{b}{y} + 2\sqrt{1+z^2}\right) \times y} = \frac{(m+z) \times y}{m + 2\sqrt{1+z^2}}$$

Vamos iniciar com um canal de seção trapezoidal



$$\frac{b}{y} = m = \text{razão de aspecto}$$

$$\lambda = y$$

$$AR_H^{2/3} = (m + z) \times y^2 \times \left(\frac{(m + z) \times y}{m + 2\sqrt{1 + z^2}} \right)^{2/3} = \frac{(m + z)^{5/3} \times y^{8/3}}{(m + 2\sqrt{1 + z^2})^{2/3}}$$

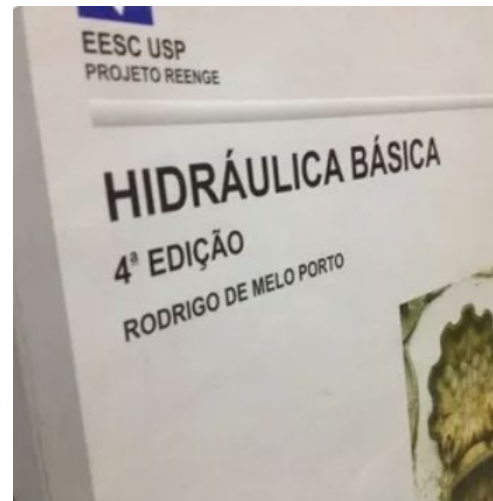
$$\frac{nQ}{\sqrt{I_0}} = AR_H^{2/3} \therefore \frac{nQ}{\sqrt{I_0}} = \frac{(m + z)^{5/3} \times y^{8/3}}{(m + 2\sqrt{1 + z^2})^{2/3}} \Rightarrow y^{8/3} = \left(\frac{nQ}{\sqrt{I_0}} \right) \times \frac{(m + 2\sqrt{1 + z^2})^{2/3}}{(m + z)^{5/3}}$$

$$y = \left(\frac{nQ}{\sqrt{I_0}} \right)^{3/8} \times \left[\frac{(m + 2\sqrt{1 + z^2})^{2/3}}{(m + z)^{5/3}} \right]^{3/8} = \frac{M}{K} = \frac{\text{coeficiente dinâmico}}{\text{coeficiente de forma}}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{n \times Q}{\sqrt{I_0}} \right)^{3/8} = M = \text{coeficiente dinâmico}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{K} = \left[\frac{\left(m + 2\sqrt{1+z^2} \right)^{2/3}}{(m+z)^{5/3}} \right]^{3/8} \Rightarrow K = \left[\frac{(m+z)^{5/3}}{\left(m + 2\sqrt{1+z^2} \right)^{2/3}} \right]^{3/8} = \text{coeficiente de forma}$$

$\frac{b}{y} = m = \text{razão de aspecto}$



**FORNECE AS TABELAS
QUE PODEMOS
CONSTRUIR NO EXCEL
COMO MOSTRA O
PRÓXIMO SLIDE**

$$\Rightarrow \left(\frac{n \times Q}{\sqrt{I_0}} \right)^{3/8} = M = \text{coeficiente dinâmico}$$

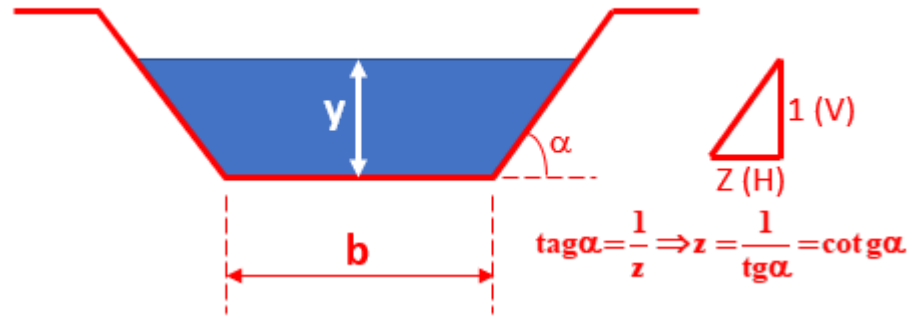
$$\text{coeficiente de forma} \Rightarrow K = \left[\frac{\left(\frac{b}{y} + z \right)^{5/3}}{\left(\frac{b}{y} + 2 \times \sqrt{1 + z^2} \right)^{2/3}} \right]^{3/8} = \left[\frac{(m + z)^{5/3}}{\left(m + 2 \times \sqrt{1 + z^2} \right)^{2/3}} \right]^{3/8}$$

Tabela obtida no Excel



m = b/y	valores de z													
	0	0,5	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3	3,25	3,5	4
0	0	0,530	0,771	0,859	0,935	1,001	1,061	1,114	1,164	1,210	1,253	1,294	1,332	1,404
0,2	0,300	0,640	0,850	0,929	0,998	1,058	1,113	1,164	1,210	1,254	1,294	1,333	1,370	1,438
0,4	0,453	0,735	0,921	0,993	1,056	1,112	1,163	1,210	1,254	1,295	1,334	1,371	1,406	1,472
0,6	0,572	0,818	0,986	1,052	1,110	1,163	1,211	1,255	1,297	1,336	1,373	1,408	1,442	1,505
0,8	0,672	0,893	1,046	1,107	1,162	1,211	1,256	1,298	1,337	1,375	1,410	1,444	1,476	1,537
1	0,760	0,961	1,103	1,159	1,210	1,257	1,299	1,339	1,376	1,412	1,446	1,478	1,509	1,568
1,2	0,838	1,023	1,155	1,209	1,257	1,300	1,341	1,378	1,414	1,448	1,481	1,512	1,542	1,598
1,4	0,909	1,082	1,205	1,255	1,301	1,342	1,380	1,416	1,451	1,483	1,514	1,544	1,573	1,628
1,6	0,974	1,136	1,253	1,300	1,343	1,382	1,419	1,453	1,486	1,517	1,547	1,576	1,604	1,657
1,8	1,034	1,187	1,298	1,342	1,383	1,421	1,455	1,488	1,520	1,550	1,579	1,607	1,634	1,685
2	1,091	1,236	1,340	1,383	1,422	1,458	1,491	1,523	1,553	1,582	1,610	1,637	1,663	1,713
2,02	1,096	1,241	1,345	1,387	1,426	1,461	1,495	1,526	1,556	1,585	1,613	1,640	1,666	1,716

Síntese dos cálculos dos elementos hidráulicos do canal de seção trapezoidal



$$K = \left[\frac{\left(\frac{b}{y} + z\right)^{5/3}}{\left(\frac{b}{y} + 2 \times \sqrt{1+z^2}\right)^{2/3}} \right]^{3/8} \quad M = \left[\frac{n \times Q}{\sqrt{I_0}} \right]^{3/8} \quad y = \frac{M}{K}$$

$$A = (b + z \times y) \times y$$

$$\sigma = b + 2 \times y \times \sqrt{1+z^2}$$

$$R_H = \frac{A}{\sigma}$$

$$v = \frac{1}{n} \times R_H^{2/3} \times I_0^{1/2}$$

$$Q = v \times A$$

$$B = b + 2 \times z \times y$$

$$y_H = \frac{A}{B}$$

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g \times y_H}} \Rightarrow F_r < 1 \Rightarrow \text{subcrítico ou fluvial e } F_r = 1 \Rightarrow \text{crítico}$$

$$F_r > 1 \Rightarrow \text{supercrítico ou torrencial}$$

$$D_H = 4 \times R_H$$

$$R_e = \frac{v \times D_H}{\nu} \Rightarrow R_e \leq 2000 \Rightarrow \text{escoamento laminar e } 2000 < R_e < 8000 \Rightarrow \text{esc. de transição}$$

$$R_e \geq 8000 \Rightarrow \text{escoamento turbulento}$$

Problema 19 – Calcular a vazão e a velocidade de um canal trapezoidal ($z = 1$) com as dimensões $b = 2$ m e $y = 1$ m. A declividade longitudinal (declividade de fundo) é de $0,0004$ m/m e a rugosidade $n = 0,018$.
(página 274 do livro **Manual de Hidráulica** escrito por **Azevedo Netto e outros**)

$$A = (b + z \times y) \times y \Rightarrow (2 + 1 \times 1) \times 1 = 3 \text{ m}^2$$

$$\sigma = b + 2 \times y \times \sqrt{1 + z^2} = 2 + 2 \times 1 \times \sqrt{1 + 1^2} = 2 + 2\sqrt{2} \text{ m}$$

$$R_H = \frac{A}{\sigma} = \frac{3}{2 + 2\sqrt{2}} \cong 0,62132 \text{ m}$$

$$v = \frac{1}{n} \times R_H^{2/3} \times I_0^{1/2} = \frac{1}{0,018} \times 0,62132^{2/3} \times 0,0004^{1/2} \cong 0,809 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = v \times A = 0,809 \times 3 \cong 2,427 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Resolução pelas
equações



Problema 20 – Qual a declividade de um canal trapezoidal ($z = 1$) com as dimensões $b = 2$ m e $y = 1$ m, que conduz uma vazão de $2,427$ m³/s e com velocidade de $0,809$ m/s. Dado a rugosidade $n = 0,018$. **(página 275 do livro Manual de Hidráulica escrito por Azevedo Netto e outros)**

$$Q = v \times A \Rightarrow 2,427 = 0,809 \times A \therefore A \cong 3\text{m}^2$$

$$\sigma = b + 2 \times y \times \sqrt{1 + z^2} = 2 + 2 \times 1 \times \sqrt{1 + 1^2} = 2 + 2\sqrt{2}\text{m}$$

$$R_H = \frac{A}{\sigma} = \frac{3}{2 + 2\sqrt{2}} \cong 0,62132\text{m}$$

$$v = \frac{1}{n} \times R_H^{2/3} \times I_0^{1/2} \Rightarrow 0,809 = \frac{1}{0,018} \times 0,62132^{2/3} \times I_0^{1/2}$$

$$I_0^{1/2} = 0,02 \therefore I_0 = 0,02^2 = 0,0004 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Resolução pelas equações



Problema 21 – Qual é a profundidade de escoamento num canal trapezoidal ($z = 1$) que conduz uma vazão de $2,427 \text{ m}^3/\text{s}$. Dados a rugosidade $n = 0,018$, $b = 2 \text{ m}$, $I_0 = 0,0004 \text{ m/m}$, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ e $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Classifique também o escoamento pelo número de Froude e pelo número de Reynolds (**adaptado da página 275 do livro Manual de Hidráulica escrito por Azevedo Netto e outros**)

1. Entre com os dados

Dados		
g	9,8	m/s^2
n	0,018	$\text{s/m}^{1/3}$
I_0	0,0004	
Q	2,427	m^3/s
b	2	m
z	1	
ν	1,00E-06	m^2/s

2. Adote um valor de y

Adote um valor para y		
y	0,500	m

Siga o roteiro:



Resolução pelo Excel
utilizando o teste de
hipóteses atingir
meta



MINHA
PROPOSTA!



3. Cálculos

Cálculos	
b/y	2,000057
K	1,340458

M	1,340424	m
y	0,999974	m
A	2,999898	m ²
s	4,828355	m
RH	0,621308	m
v	0,809026	m/s
Q	2,427	m ³ /s
B	2,427	m
yH	1,236052	m
Fr	0,232	
DH	2,485234	m
Re	2,01E+06	

Recorri ao teste de hipóteses

O valor para y		
y	1,000	m



$$K = \left[\frac{\left(\frac{b}{y} + z\right)^{5/3}}{\left(\frac{b}{y} + 2 \times \sqrt{1+z^2}\right)^{2/3}} \right]^{3/8} \quad M = \left[\frac{n \times Q}{\sqrt{I_0}} \right]^{3/8}$$

$$y = \frac{M}{K}$$

$$A = (b + z \times y) \times y$$

$$\sigma = b + 2 \times y \times \sqrt{1+z^2}$$

$$R_H = \frac{A}{\sigma}$$

$$v = \frac{1}{n} \times R_H^{2/3} \times I_0^{1/2}$$

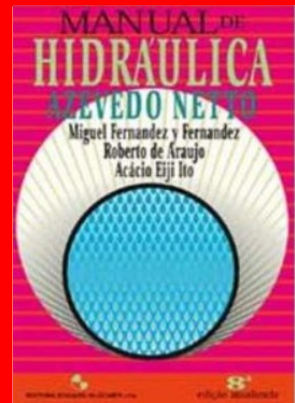
$$B = b + 2 \times z \times y$$

$$y_H = \frac{A}{B}$$

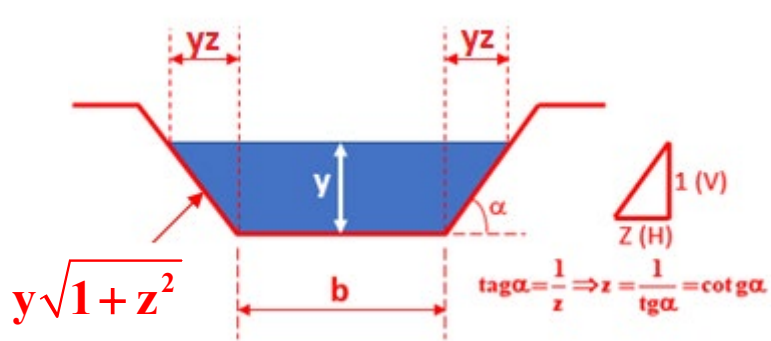
$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g \times y_H}}$$

$$D_H = 4 \times R_H$$

$$R_e = \frac{v \times D_H}{\nu}$$



Cálculos dos elementos hidráulicos em canais



$$A = (b + yz)y = (by + zy^2) \times \frac{b^2}{b^2} = \left(\frac{y}{b} + z \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right) b^2$$

$$\sigma = b + 2y\sqrt{1+z^2} = \left(1 + 2\frac{y}{b}\sqrt{1+z^2} \right) b$$

$$R_H = \frac{A}{\sigma} = \frac{\left(\frac{y}{b} + z \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right) b^2}{\left(1 + 2\frac{y}{b}\sqrt{1+z^2} \right) b} = \frac{\left(\frac{y}{b} + z \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right)}{\left(1 + 2\frac{y}{b}\sqrt{1+z^2} \right)} b$$

$$A \times R_H^{2/3} = \left(\frac{y}{b} + z \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right) b^2 \times \left\{ \frac{\left(\frac{y}{b} + z \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right)}{\left(1 + 2\frac{y}{b}\sqrt{1+z^2} \right)} b \right\}^{2/3}$$



$$\Rightarrow \frac{n \times Q}{I_0^{1/2}} = A \times R_H^{2/3}$$

$$\frac{n \times Q}{I_0^{1/2}} = A \times R_H^{2/3} \Rightarrow \frac{n \times Q}{I_0^{1/2}} = b^{8/3} \times \frac{\left(\frac{y}{b} + z \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right)^{5/3}}{\left(1 + 2 \frac{y}{b} \sqrt{1 + z^2} \right)^{2/3}} \quad \frac{(0,5y + 0,25y^2)^{5/3}}{(1 + y\sqrt{2})^{2/3}}$$

$$\frac{n \times Q}{b^{8/3} \times I_0^{1/2}} = \frac{\left(\frac{y}{b} + z \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right)^{5/3}}{\left(1 + 2 \frac{y}{b} \sqrt{1 + z^2} \right)^{2/3}}$$

Observe que ambos os membros são adimensionais e isto nos leva as tabelas fornecidas no Manual de Hidráulica



É possível também obter uma equação similar em função da velocidade média de escoamento

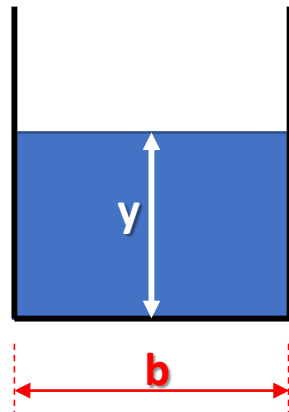
$$\frac{vn}{I_0^{1/2}} = R_H^{2/3}$$

Dividimos ambos os membros por $b^{2/3}$ para obtemos adimensionais em ambos os membros.

$$\frac{\mathbf{n} \times \mathbf{v}}{b^{2/3} \times I_0^{1/2}} = \left\{ \frac{\left(\frac{y}{b} + z \left(\frac{y}{b} \right)^2 \right)}{\left(1 + 2 \frac{y}{b} \sqrt{1 + z^2} \right)} \right\}^{2/3} = \left\{ \frac{\left(1 + z \frac{y}{b} \right)}{\left(1 + 2 \frac{y}{b} \sqrt{1 + z^2} \right)} \times \frac{y}{b} \right\}^{2/3}$$



$$\frac{\mathbf{n} \times \mathbf{Q}}{b^{8/3} \times I_0^{1/2}} = \left(\frac{y}{b} \right) \times \left\{ \frac{\left(\frac{y}{b} \right)}{\left(1 + 2 \frac{y}{b} \right)} \right\}^{2/3}$$



$$\frac{\mathbf{n} \times \mathbf{v}}{b^{2/3} \times I_0^{1/2}} = \left\{ \frac{1}{\left(1 + 2 \frac{y}{b} \right)} \times \frac{y}{b} \right\}^{2/3}$$

Problema 22 – Refazer os problemas 19, 20 e 21 pelo método apresentado no **livro Manual de Hidráulica escrito por Azevedo Netto e outros, porém usado o Excel e não tabelas.**

Dica: resolva o problema 21 com auxílio do SOLVER

É o aprender fazendo!



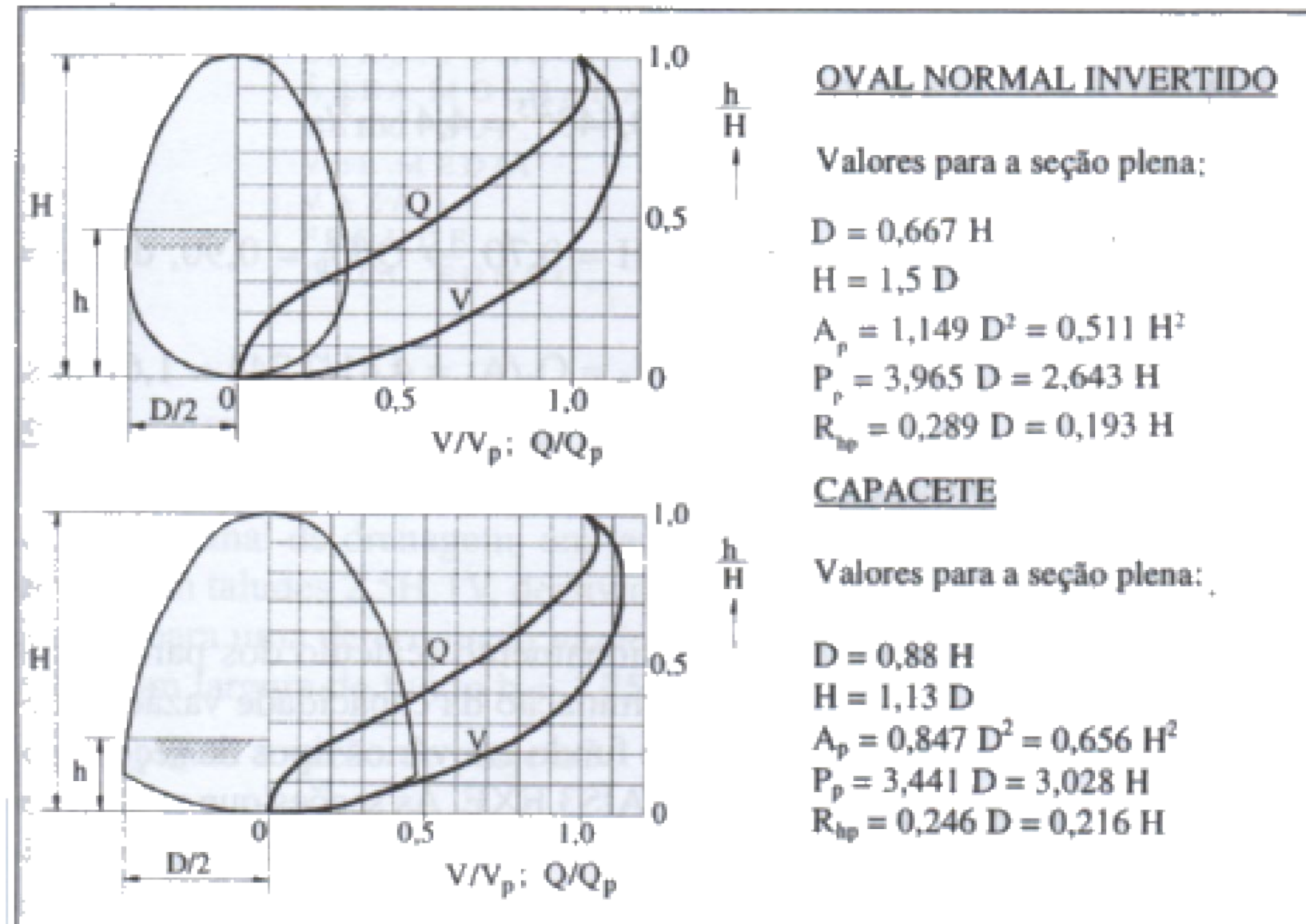
HIDRÁULICA BÁSICA

4ª EDIÇÃO
RODRIGO DE MELO PORTO



Página 261

Em obras de esgotamento de médio e grande porte, como interceptores e emissários de esgoto, galerias de drenagem sob aterros rodoviários etc., são utilizadas algumas vezes seções fechadas de formato especiais.



HIDRÁULICA BÁSICA

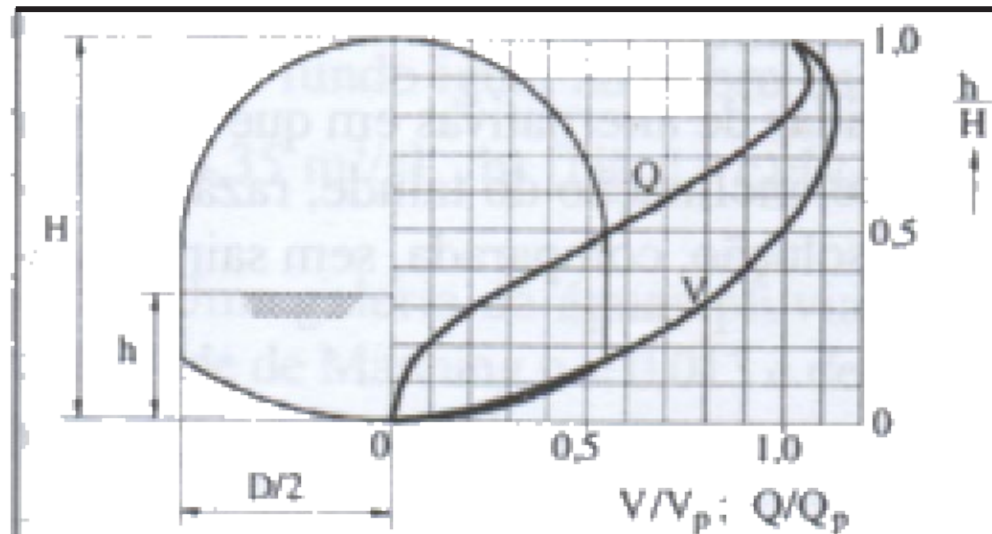
4ª EDIÇÃO

RODRIGO DE MELO PORTO

Página 261

D e H para seção plena

Assunto será
estudado no
próximo curso.



Valores para a seção plena:

$$D = 1,13 H$$

$$H = 0,88 D$$

$$A_p = 0,734 D^2 = 0,937 H^2$$

$$P_p = 3,118 D = 3,523 H$$

$$R_{hp} = 0,235 D = 0,267 H$$

ARCO DE CÍRCULO BAIXO

Valores para a seção plena:

$$D = 1,58 H$$

$$H = 0,63 D$$

$$A_p = 0,484 D^2 = 1,208 H^2$$

$$P_p = 2,618 D = 4,136 H$$

$$R_{hp} = 0,185 D = 0,292 H$$