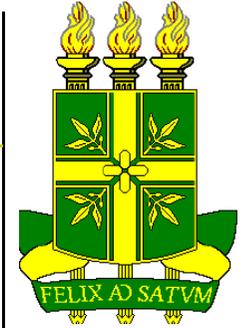


**Universidade Regional do Cariri – URCA**

---

Pró – Reitoria de Ensino de Graduação  
Coordenação da Construção Civil  
Disciplina: Hidráulica Aplicada



# Hidráulica de Canais

**Renato de Oliveira Fernandes**

*Professor Assistente  
Dep. de Construção Civil/URCA  
renatodeof@gmail.com*



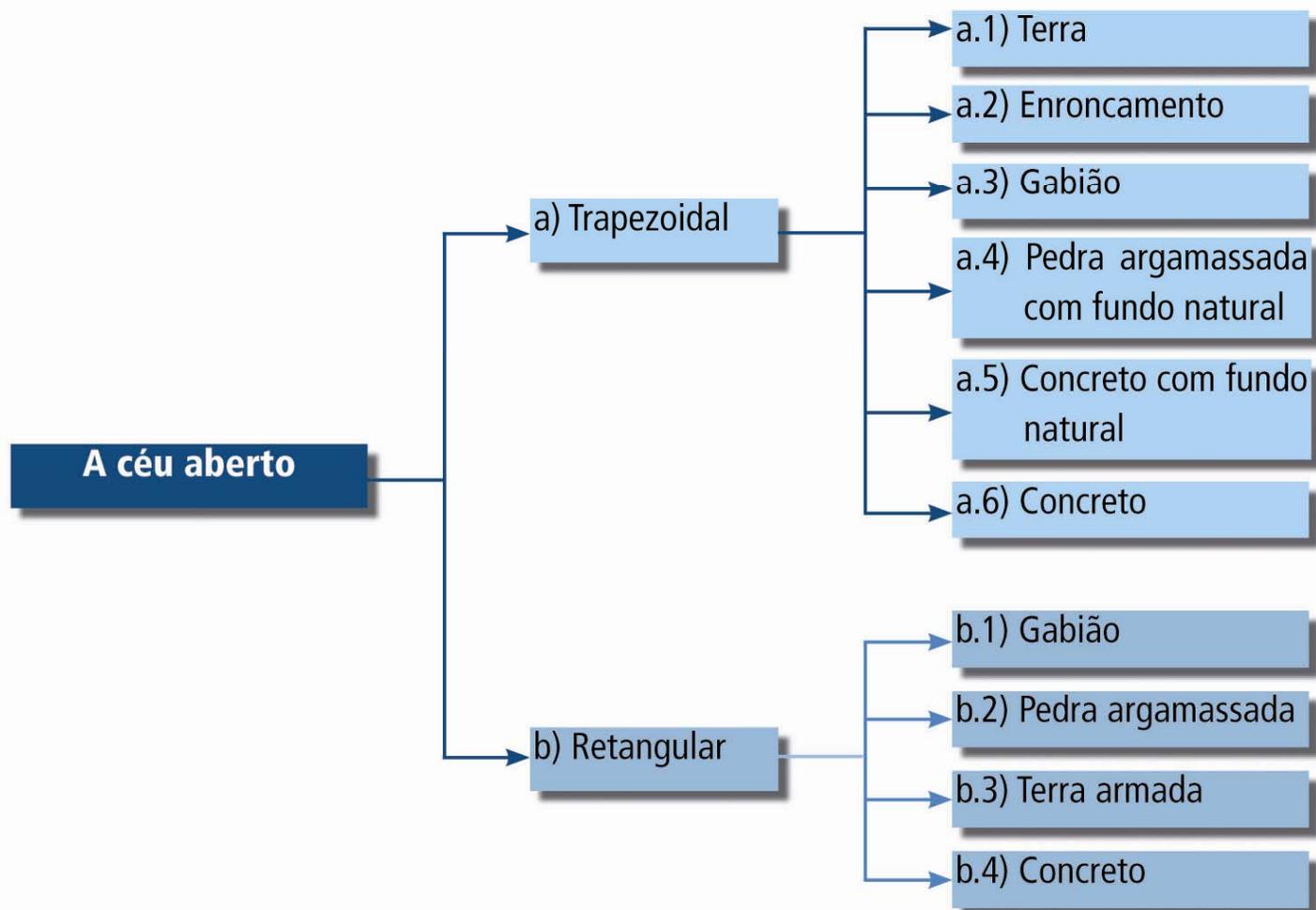
# Tipos de canais

- Canalizar significa modificar ou alterar o curso natural d'água

TIPOS DE CANALIZAÇÃO	A céu aberto (canais) De contorno fechado (galerias)
SEÇÕES GEOMÉTRICAS NORMALMENTE UTILIZADAS	Trapezoidal Retangular Circular
REVESTIMENTOS MAIS COMUNS	Terra Enrocamento (rachão) Pedra argamassada Concreto Gabião Terra armada



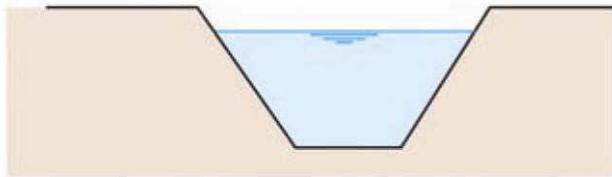
# Tipos de canais



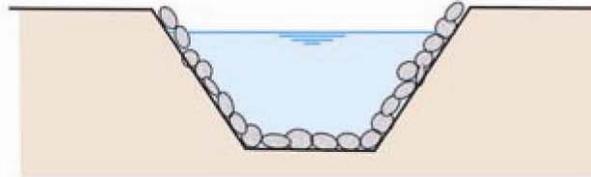
# Revestimentos para canais – Trapezoidal



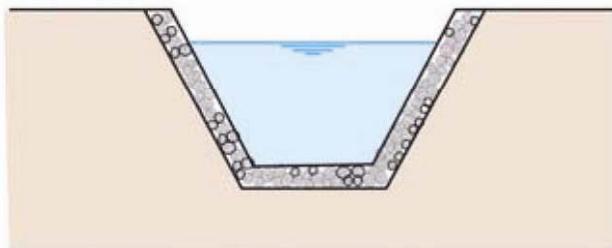
a1) terra



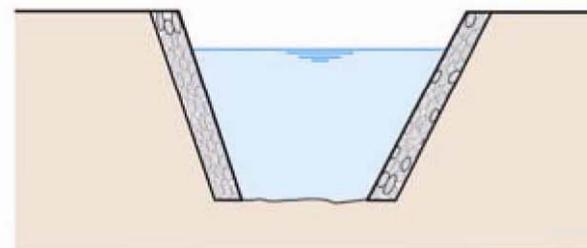
a2) enrocamento



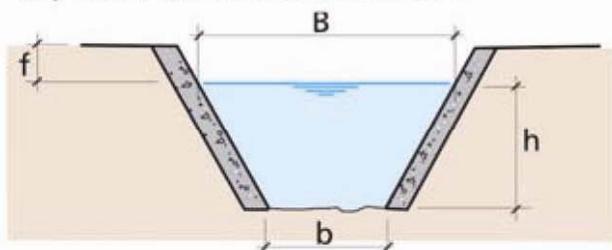
a3) gabião



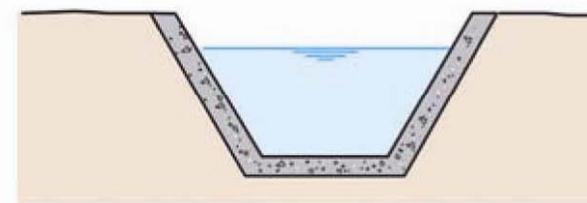
a4) pedra argamassada com fundo natural



a5) concreto com fundo natural



a6) concreto



b = largura da base menor  
B = largura da superfície da seção molhada  
h = profundidade da lâmina d'água  
f = borda livre

# Inclinação recomendada para os taludes de canais escavados (Tucci et al., 1995)

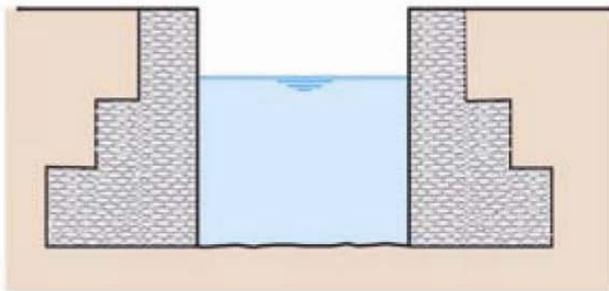


Material de revestimento	Inclinação dos taludes (H:V)
Rocha	0:1
Solos pedregosos	0,25:1
Canais em terra, revestidos de concreto	0,5:1 a 1:1
Argila resistente e compacta	1,5:1
Solos argilo-arenosos	2:1
Solos arenosos e argila de alta porosidade	3:1

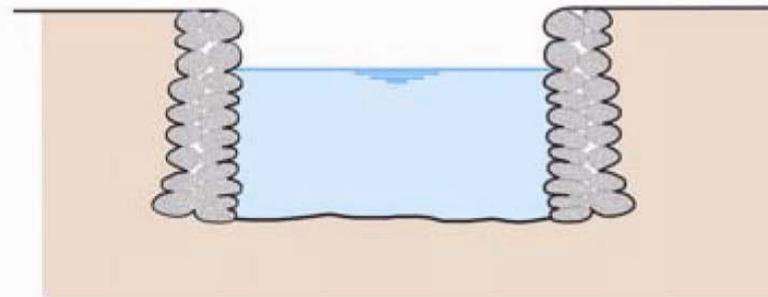
# Revestimentos para canais - Retangulares



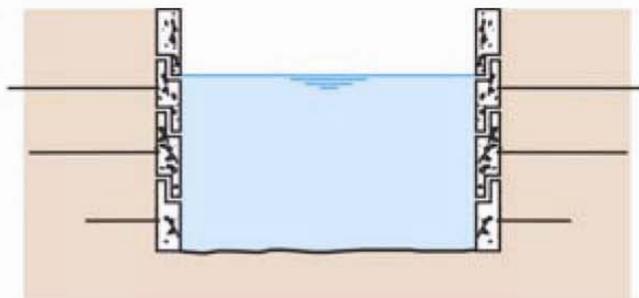
b1) gabião



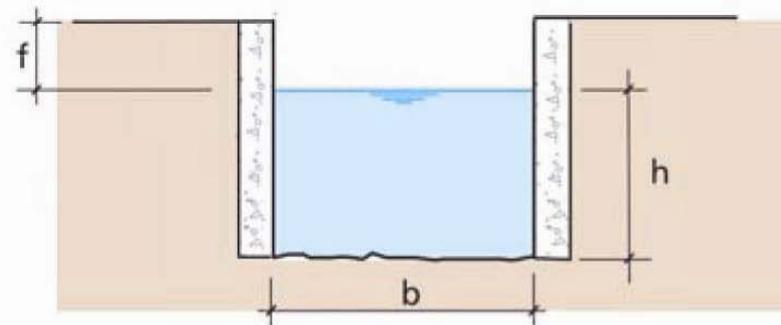
b2) pedra argamassada



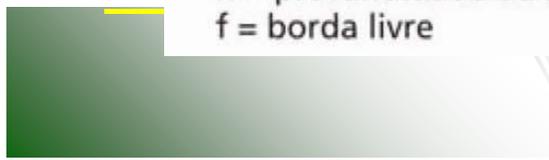
b3) concreto (terra armada)



b4) concreto



$b$  = largura do canal  
 $h$  = profundidade da lâmina d'água  
 $f$  = borda livre





## Enrocamento



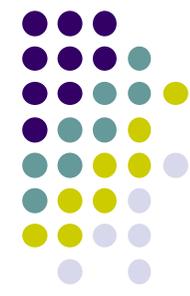
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Enrocamento>

## Gabião



<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Gabion.jpg>

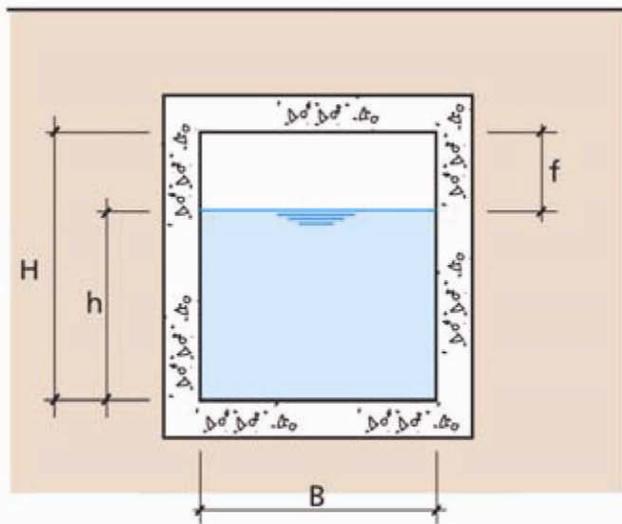




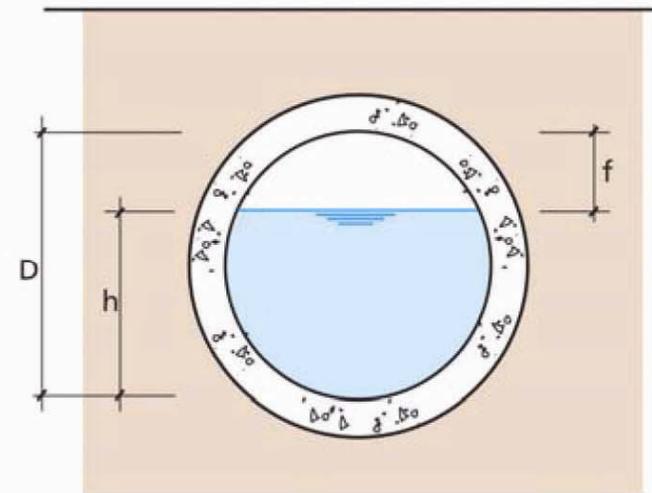
# Canalização com seção fechada



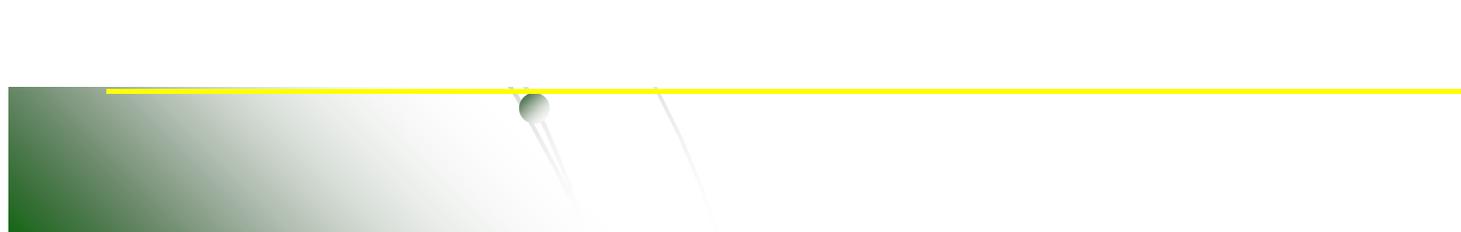
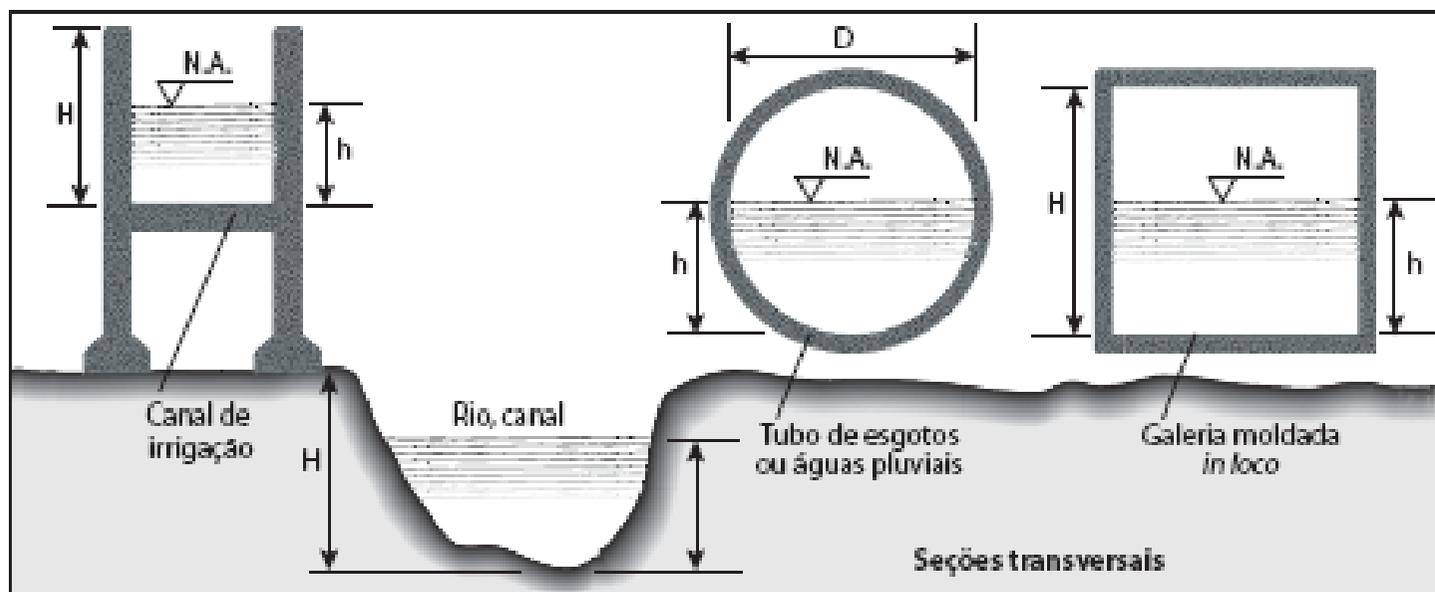
c) retangular



d) circular



B = largura interna da seção  
H = altura interna da seção  
h = profundidade da lâmina d'água  
D = diâmetro interno da seção  
f = borda livre





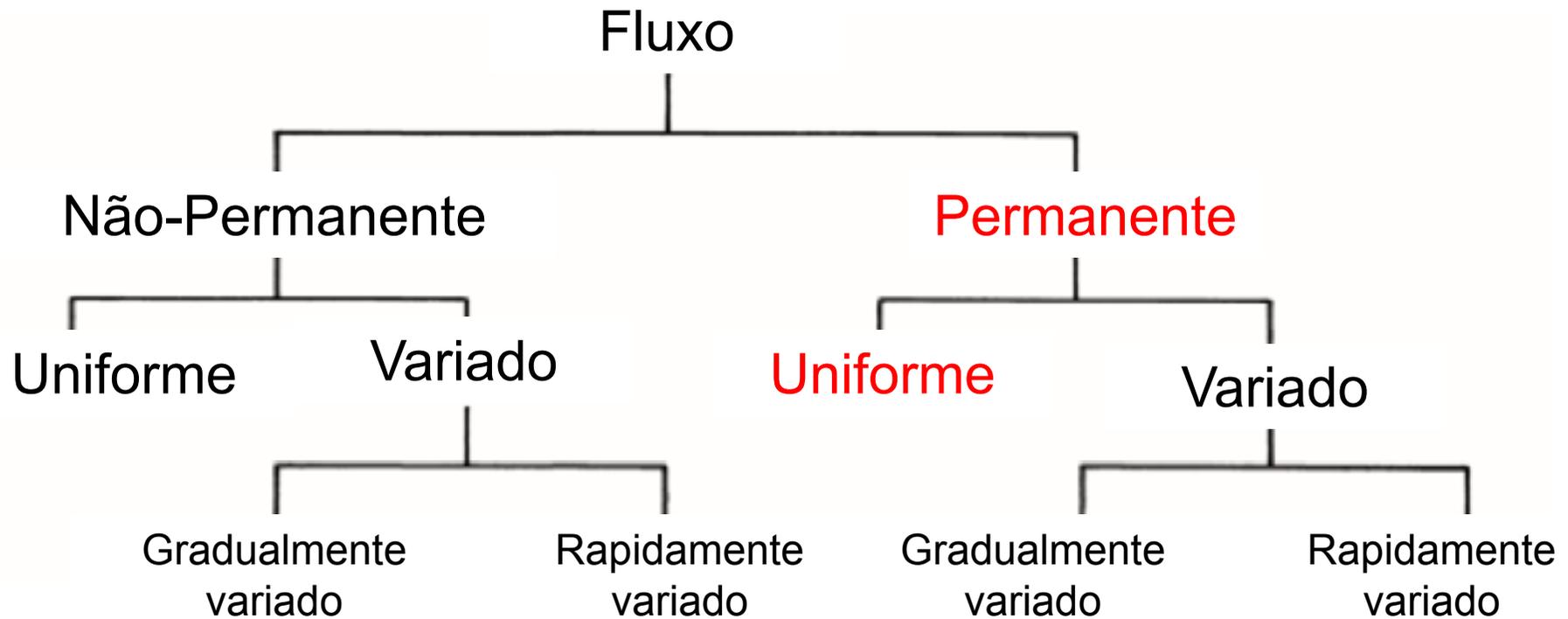
## Bueiro duplo de concreto

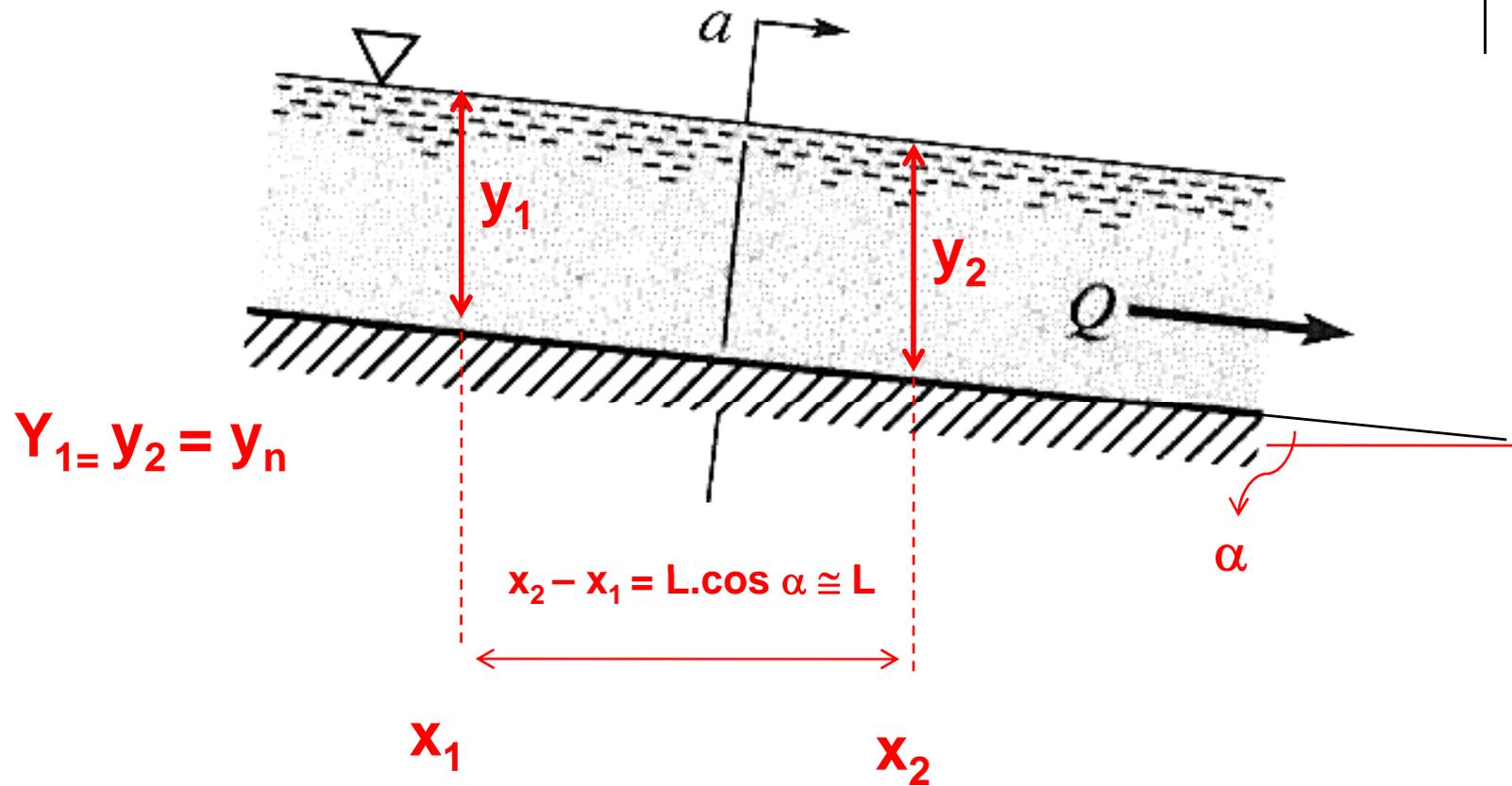






# Tipos de escoamento em canais

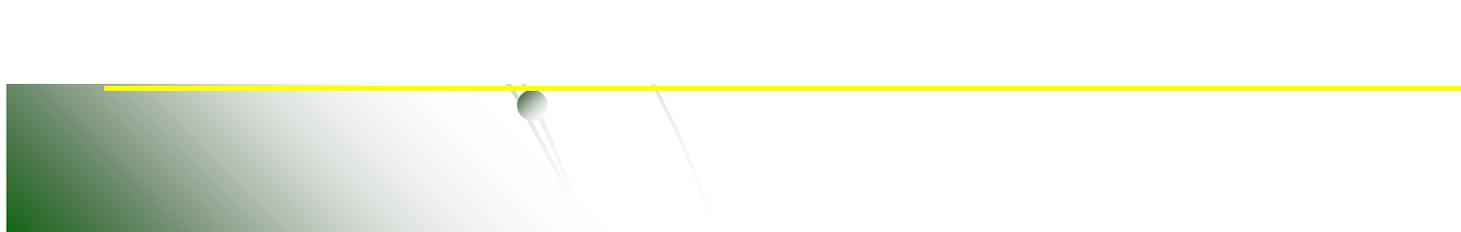


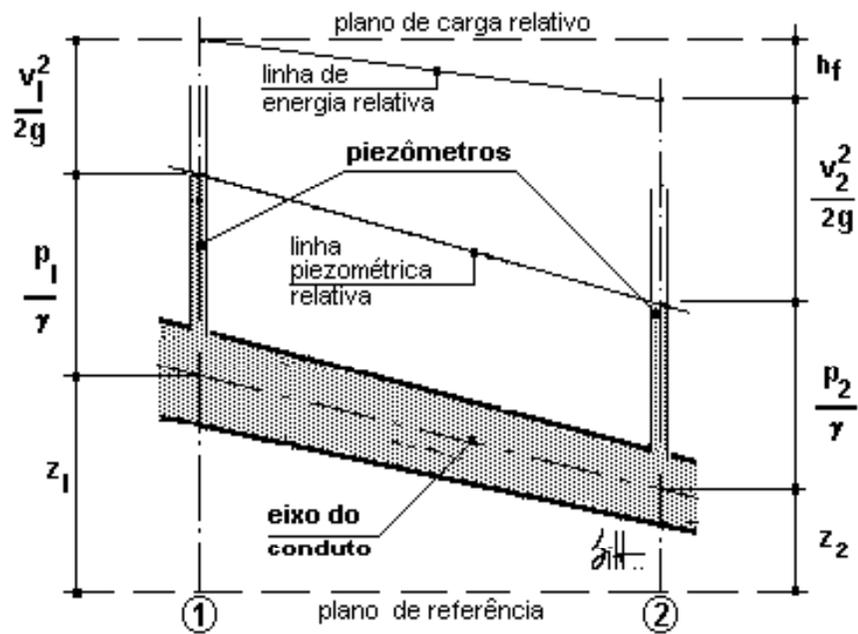


# Dimensionamento hidráulico

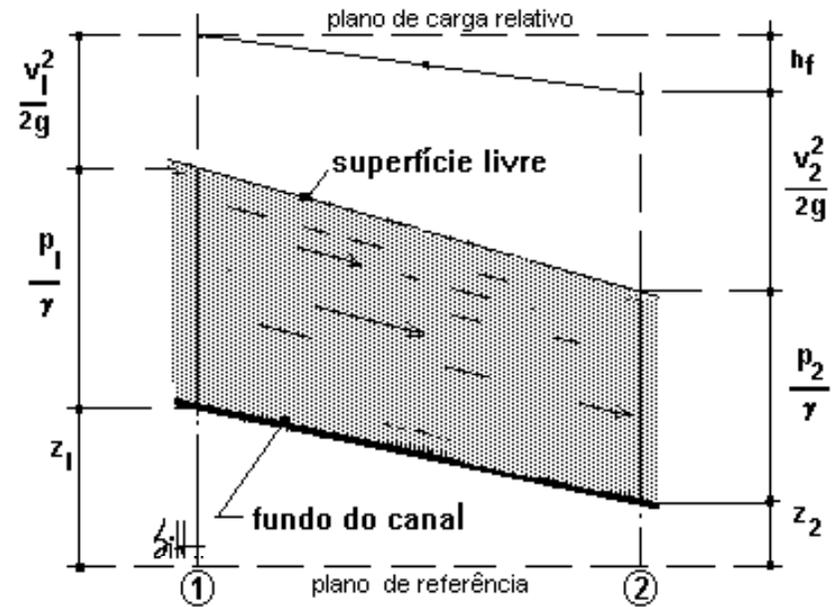


- Para o dimensionamento admite-se que o escoamento está em regime permanente ( $h$ ,  $Q$  e  $V$  constantes no tempo) e uniforme ( $h$ ,  $Q$  e  $V$  constantes ao longo do canal).
- A pressão exercida sobre a superfície líquida é a pressão atmosférica.





(a) escoamento forçado



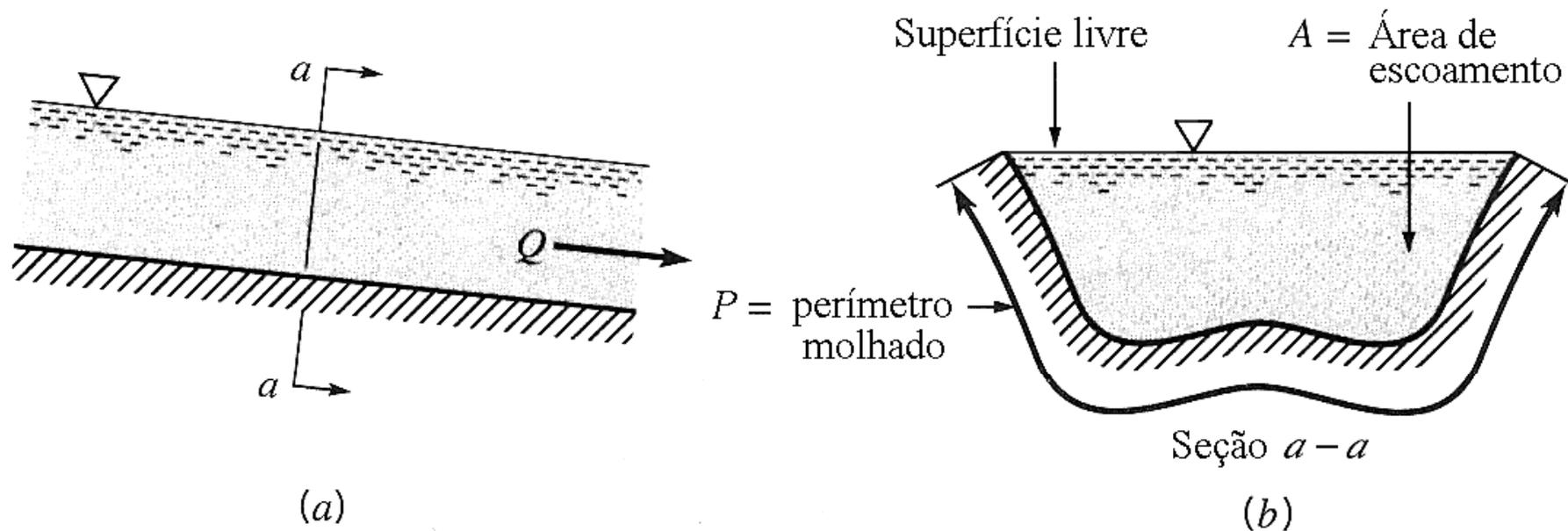
(b) escoamento livre



Fonte: FERNANDES, Carlos. 1997.



# Parâmetros hidráulicos



Fonte: Munson et al. 4th ED





# Equação de Manning

$$V = \frac{1}{n} R_H^{2/3} \sqrt{i}$$

6

onde:

$V$  = velocidade média (em m/s)

$n$  = coeficiente de rugosidade de Manning

$i$  = declividade média (em m/m)

$R_H$  = raio hidráulico (em m)

$$R_H = \frac{A_m}{P_m}$$

com:

$R_H$  = raio hidráulico (em m)

$A_m$  = área molhada (em m<sup>2</sup>)

$P_m$  = perímetro molhado (em m)

Perímetro Molhado	<i>n</i>
<b>A. Canais naturais</b>	
Limpo e reto	0,030
Escoamento vagarosos e com poças	0,040
Rio típico	0,035
<b>B. Planícies inundadas</b>	
Pasto	0,035
Cerrado leve	0,050
Cerrado pesado	0,075
Floresta	0,150
<b>C. Canais escavados na terra</b>	
Limpo	0,022
Com cascalho	0,025
Com vegetação rasteira	0,030
Com rochas	0,035
<b>D. Canais artificiais</b>	
Vidro	0,010
Latão	0,011
Aço, liso	0,012
Aço, pintado	0,014
Aço, rebitado	0,015
Ferro fundido	0,013
Concreto, com acabamento	0,012
Concreto, sem acabamento	0,014
Madeira aplainada	0,012
Tijolo de barro	0,014
Alvenaria	0,015
Asfalto	0,016
Metal corrugado	0,022
Alvenaria muito grosseira	0,025



Fonte: Munson et al. 4th ED

# Elementos hidráulicos



Geometria da Seção	Área Molhada ( $A_m$ )	Perímetro Molhado ( $P_m$ )	Raio Hidráulico ( $R_H$ )	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$b \cdot h$	$b+2h$	$\frac{b \cdot h}{b+2h}$	$b$
<p>Seção Plena</p>	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	$\frac{D}{4}$	----
<p>Meia Seção</p>	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4}$	----
<p>Vazão Máxima</p>	$0,7662 \cdot D^2$	$2,6467 \cdot D$	$0,2895 \cdot D$	----



$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

7

(m/m)

onde:

$\Delta h$  – diferença de cotas jusante e montante

L – comprimento do trecho do canal

### • Equação da Continuidade

$$Q = V A_m$$

8

onde:

V = velocidade média (em m/s)

$A_m$  = área molhada (em m<sup>2</sup>)

Q = vazão (em m<sup>3</sup>/s)



- Das equações 6 e 8, resulta:

$$Q = \frac{1}{n} R_H^{2/3} \sqrt{i} A_m$$

9

Essa é a vazão máxima que o canal transporta nas condições de declividade, rugosidade e diâmetro ou largura. Essa vazão deve ser maior ou igual a vazão gerada na bacia hidráulica de contribuição que por sua vez depende outros fatores, como a intensidade máxima da chuva e características de solo

# Coeficiente de rugosidade de Manning (n)



REVESTIMENTO	n
Terra	0,035
Rachão	0,035
Gabião	0,028
Pedra argamassada	0,025
Aço corrugado	0,024
Concreto <sup>6</sup>	0,018

Valores sugeridos pelo DAEE.



# Rugosidade relativa



$$n_{eq} = \frac{P_a \cdot n_a + P_b \cdot n_b + \dots + P_n \cdot n_n}{P}$$

10

onde:

$n_{eq}$  = coeficiente de rugosidade equivalente

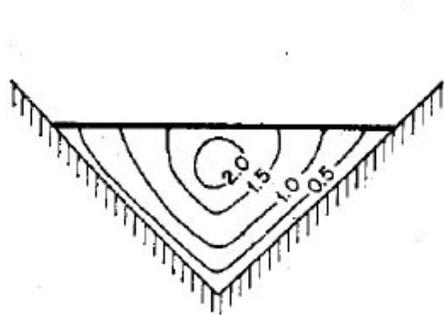
$P_a, P_b, \dots, P_n$  = perímetros molhados referentes aos revestimentos do tipo "a", "b", ..., "n"

$n_a, n_b, \dots, n_n$  = rugosidades referentes aos diferentes revestimentos

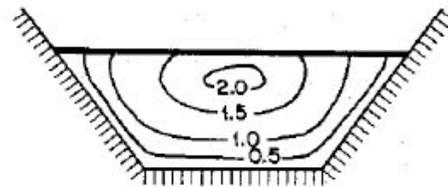
$P = P_a + P_b + \dots + P_n$  = somatório dos perímetros molhados,



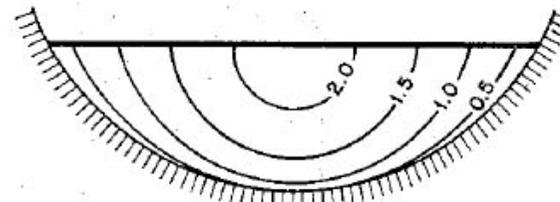
# Distribuição de velocidades



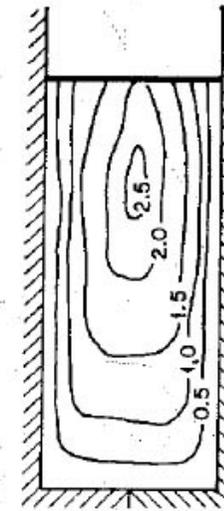
Canal triangular



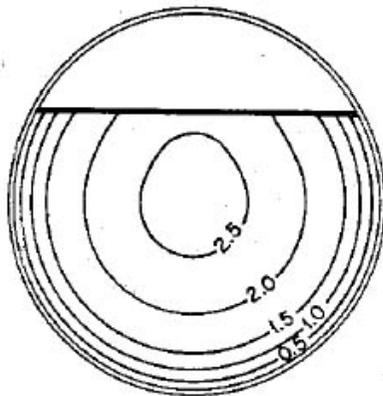
Canal trapezoidal



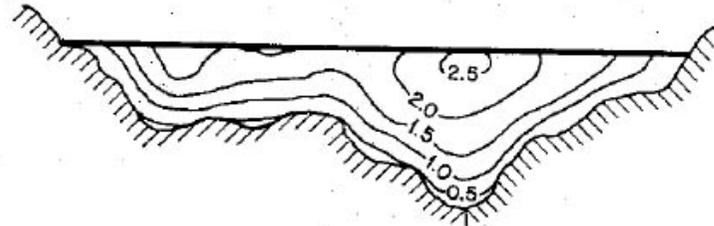
Cuneta poco profunda



Sección rectangular  
angosta



Tubería



Canal natural irregular



# Orientação para projeto de canais

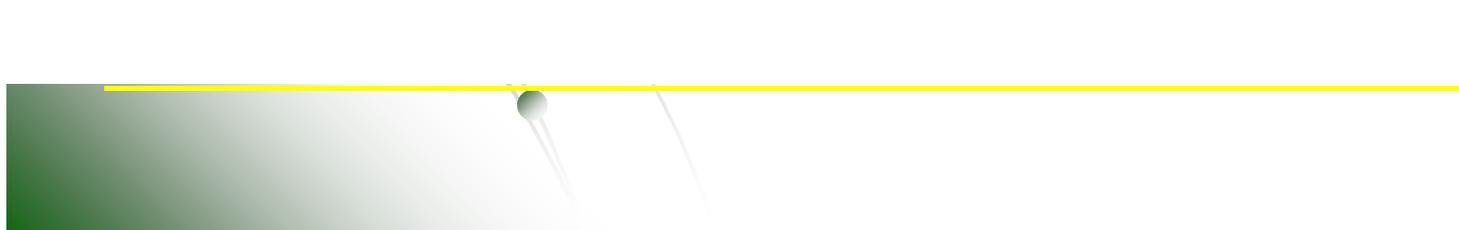


1. Reconhecimento do local
2. Análise ambiental e econômica
3. Execução da obra de jusante para montante
4. Prevendo-se o aumento da rugosidade do canal recomenda-se adotar como coeficiente de rugosidade de projeto, valores de 10 a 15% maiores
5. Para canais abertos, deixar folga ( $f$ ) mínima de 10% da lâmina máxima ( $0,1 \cdot h$ ) e não inferior a 0,4 m

# Orientação para projeto de canais



6. Evitar profundidade superior a 4m (questão de custo, segurança e estética)
7. Prever a utilização de drenos nas paredes e fundo para evitar subpressão quando nível do lençol estiver alto
8. Verificar limites de velocidade de acordo com o tipo de revestimento do canal

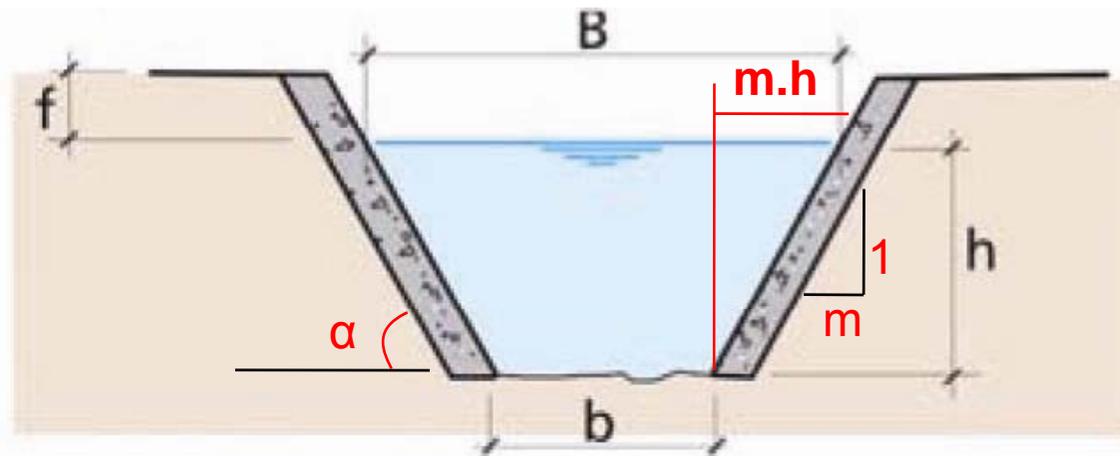


# Velocidades aconselháveis para canais



Material das paredes do canal	Velocidade Média (m/s)
Areia fina	0,23 a 0,30
Areia solta-média	0,30 a 0,46
Areia grossa	0,46 a 0,61
Terreno arenoso comum	0,61 a 0,76
Terreno silte-argiloso	0,76 a 0,84
Terreno de Aluvião	0,84 a 0,91
Terreno argiloso compacto	0,91 a 1,14
Terreno argiloso duro	1,14 a 1,22
Solo cascalho	1,22 a 1,52
Cascalho grosso, pedregulho, piçarra	1,52 a 1,83
Rocha sedimentar moles-xistos	1,83 a 2,44
Alvenaria	2,44 a 3,05
Rochas compactas	3,05 a 4,00
Concreto	4,00 a 6,00

# Escoamento em canal trapezoidal



$b$  = largura da base menor  
 $B$  = largura da superfície da seção molhada  
 $h$  = profundidade da lâmina d'água  
 $f$  = borda livre



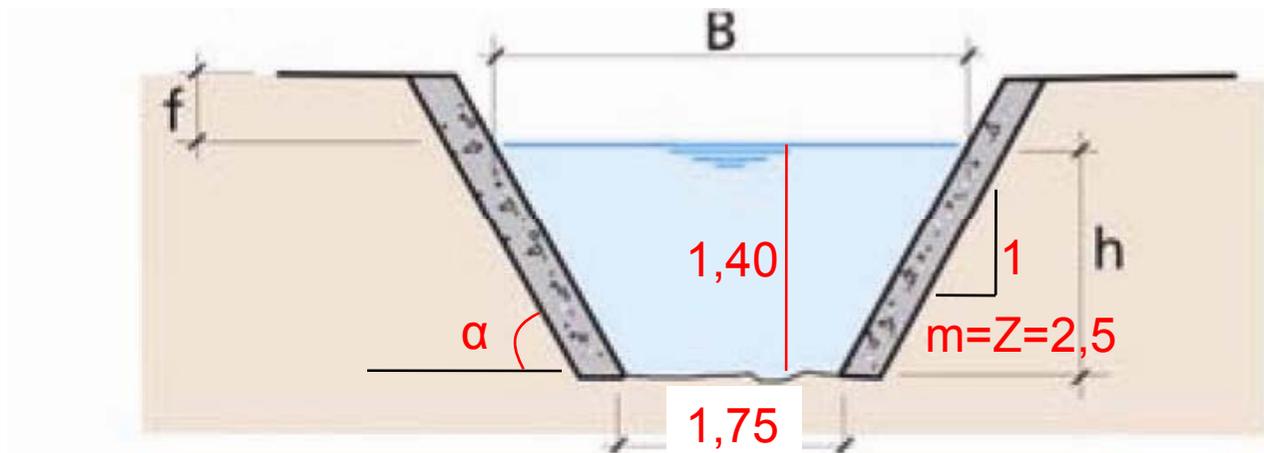
## Exemplo 1

- Um canal de drenagem, em terra com vegetação rasteira nos taludes e fundo, com taludes 2,5H:1V, declividade de fundo 0,0003 m/m, foi dimensionado para uma determinada vazão  $Q$ , tendo-se chegado a uma seção com largura de fundo  $b=1,75$  m e altura de água  $y_0=1,40$  m. Determine a vazão de projeto.





# Seção do exemplo 2

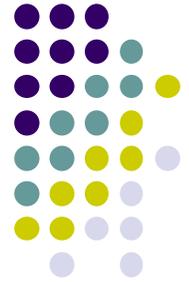


Geometria da Seção	Área Molhada ( $A_m$ )	Perímetro Molhado ( $P_m$ )	Raio Hidráulico ( $R_H$ )	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$

$$Q = \frac{1}{n} R_H^{2/3} \sqrt{i} A_m$$

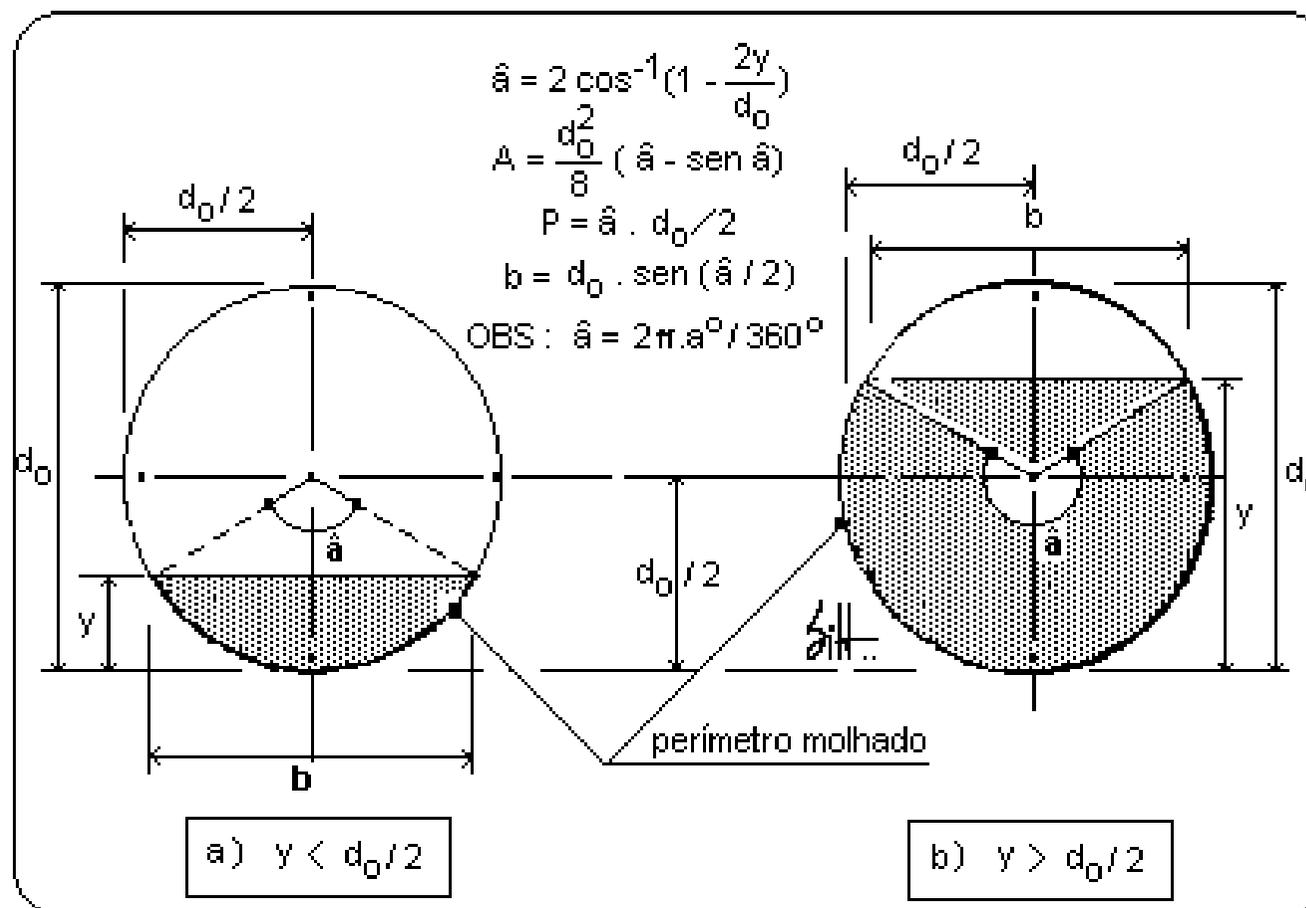


# Escoamento em seção circular



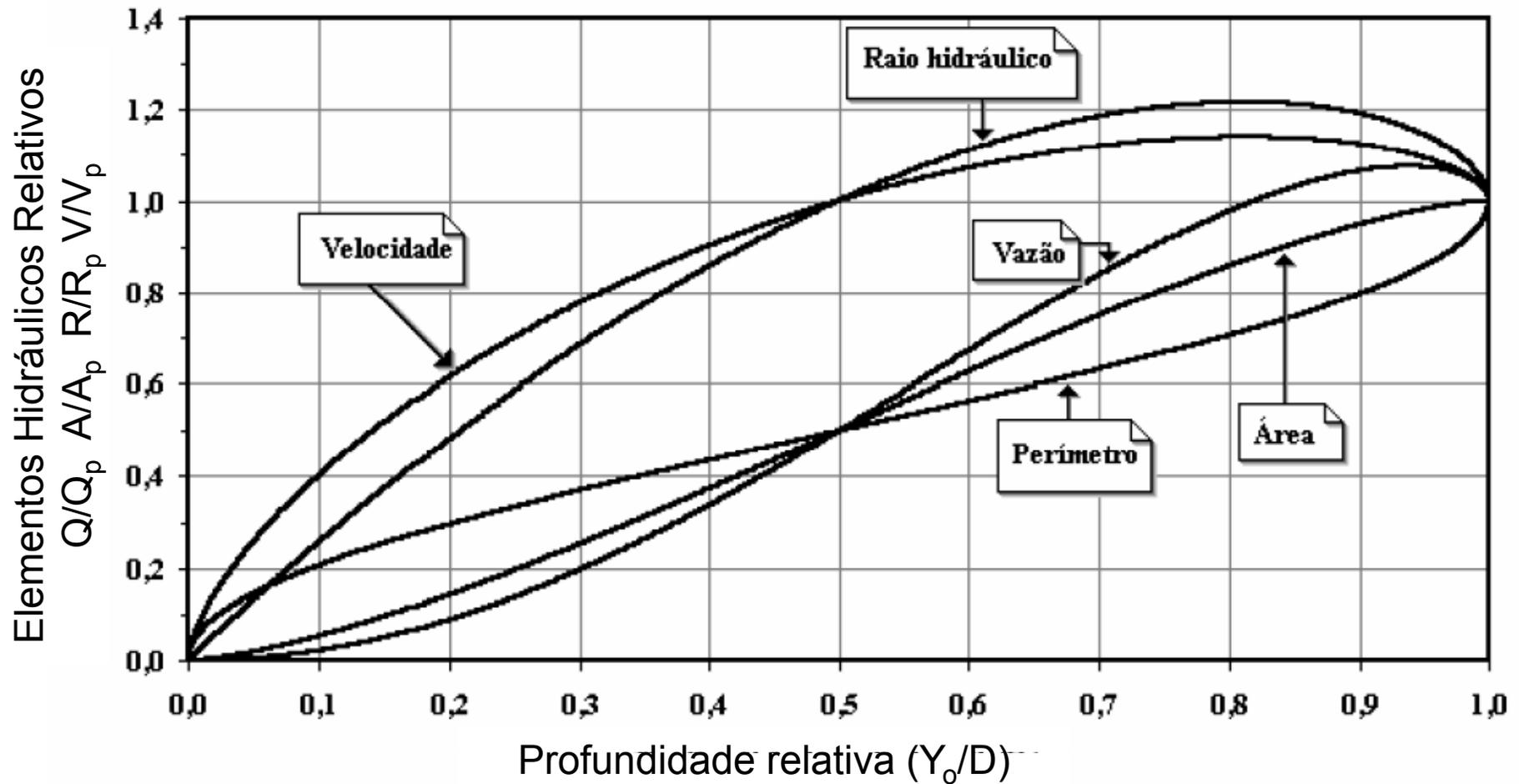
- Em projeto de esgotamento sanitário e de drenagem urbana em que as galerias, com seção circular, não funcionam com a seção cheia (ou plena) é necessário saber a relação entre os diferentes elementos hidráulicos em função da lâmina de líquido.
- **$Y_o/D$  (lâmina líquida / diâmetro)**
  - Ver fig. 8.7, p.257 (Porto, R. de M. 2006)

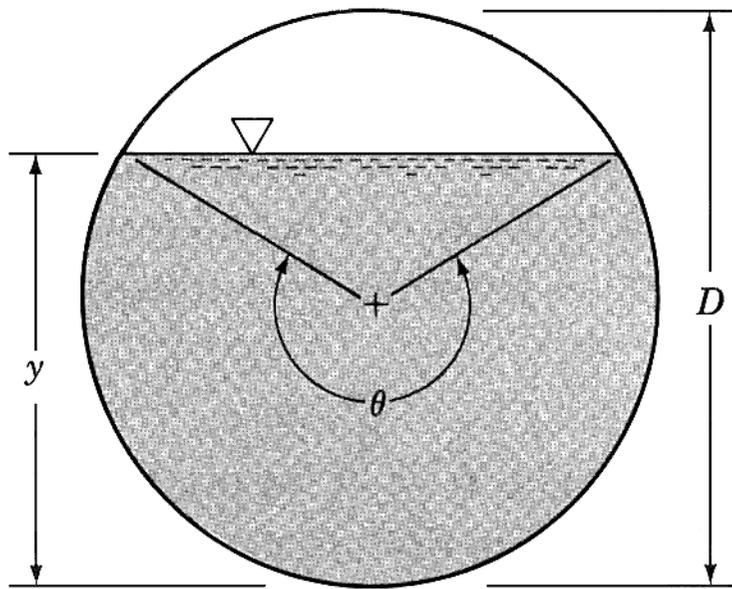
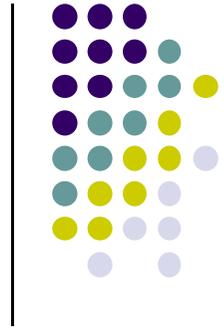




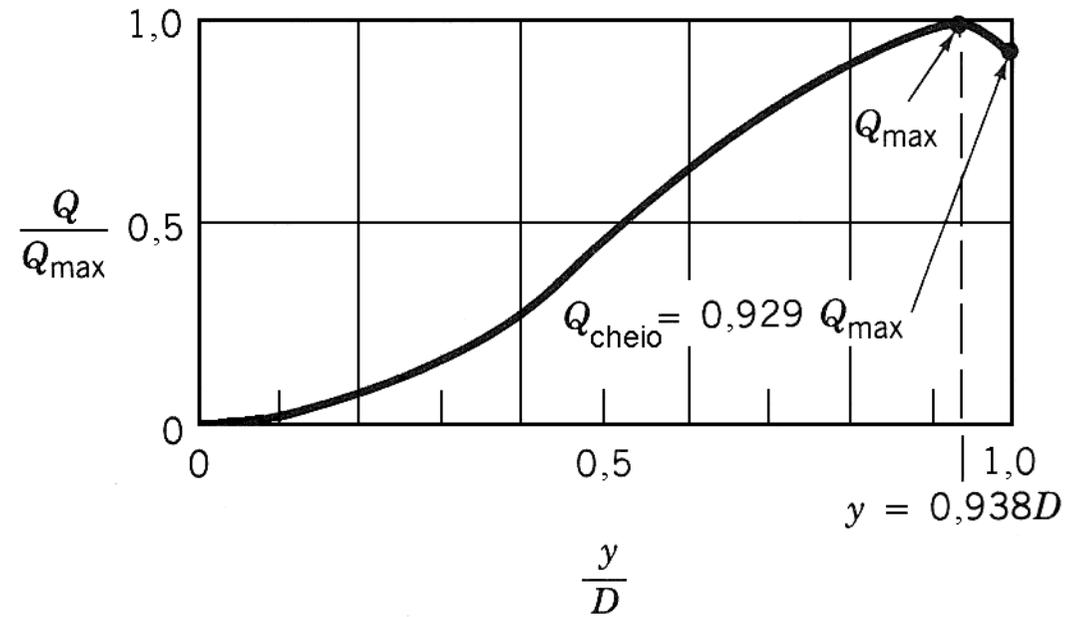
(Fonte: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento>)

# Seção Circular





(a)



(b)

Fonte: Munson et al. 4th ED





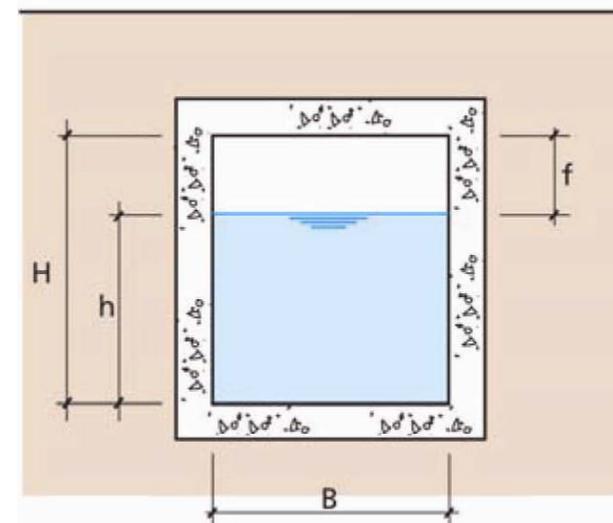
## Exemplo 2

- Uma galeria de águas pluviais de 1,0m de diâmetro, coeficiente de Manning ( $n=0,013$ ) e declividade de fundo  $I=0,0025$  m/m transporta, em condições de regime permanente uniforme, uma vazão de  $1,2$  m<sup>3</sup>/s. Determine:
  - A altura da lâmina d'água e a velocidade média
  - Qual seria a vazão da galeria, se ela funcionasse na condição de máxima vazão?



## Exemplo 3

- Projetar uma galeria de seção retangular com declividade de fundo  $I=0,01$  m/m para aduzir uma vazão de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  de água, de modo que a máxima velocidade seja de  $2,0 \text{ m/s}$ . Material de revestimento reboco de cimento não muito liso.



B = largura interna da seção  
H = altura interna da seção  
h = profundidade da lâmina d'água  
D = diâmetro interno da seção  
f = borda livre