

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

AULA 13 – CONDUTOS LIVRES OU CANAIS

ROTEIRO

Tópicos da aula:

- 1) Conceitos: forma, seção molhada, perímetro molhado e raio hidráulico.
- 2) escoamento em condutos livres
- 3) Problemas hidráulicamente determinados
- 4) Limites de velocidade de escoamento
- 5) Exercício para entrega (Provinha Aula 13)

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

Aula 13 – CONDUTOS LIVRES

1. Introdução

1.1. Definição: Condutos livres são aqueles em que o escoamento ocorre à pressão atmosférica local.

1.2. Finalidades

- Aquedutos para abastecimento urbano (Ex.: Canal do Trabalhador – Ceará)
- Condução de água em áreas agrícolas (Ex.: perímetros irrigados e usinas sucroalcooleiras)
- Drenagem superficial (bueiros, valetas etc.)
- Irrigação por superfície (sulcos e inundação)

1.3. Formas

- Circular ou semicircular
- Retangular
- Trapezoidal
- Ferradura
- Irregular

Caracterização da forma:

- Seção molhada (S)
 - Perímetro molhado (P)
 - Raio hidráulico (R_H)
-

a) Seção ou área molhada (S): área útil de escoamento numa seção transversal de fluxo.

DESENHO (CADERNO) – SEÇÃO MOLHADA E PERÍMETRO MOLHADO

b) Perímetro molhado (P): comprimento da linha de contato entre a água, as paredes e o fundo do canal.

c) Raio hidráulico (R_H): é a razão entre S e P

$$R_H = \frac{S}{P}$$

Condutos circulares:

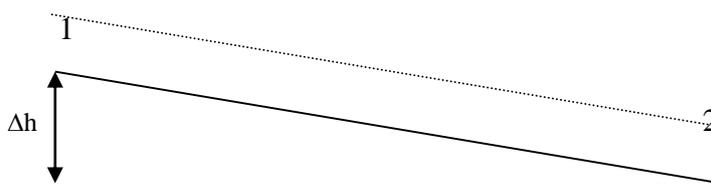
$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$P = \pi D$$

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

$$D = 4 R_H$$

1.4. Teorema de Bernoulli aplicado aos condutos livres



$$V_1 = V_2$$

$$P_1 = P_2 = 0$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + hf_{1-2}$$

$$hf_{1-2} = h_1 - h_2 = \Delta h$$

$$J = \frac{hf}{L} = \frac{\Delta h}{L}$$

$$\frac{\Delta h}{L} = i \text{ (declividade)}$$

2. Velocidade de escoamento em condutos livres

2.1. Fórmulas:

2.1.1. Hazen-Williams (Canais circulares)

$$\text{Condutos forçados} \rightarrow V = 0,355 \cdot C \cdot D^{2,63} \cdot J^{0,54}$$

$$\text{Condutos livres} \rightarrow V = 0,355 \cdot C \cdot (4 R_H)^{2,63} \cdot i^{0,54}$$

2.1.2. Manning

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

$$Q = \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

V – velocidade de escoamento, m/s

R_H – raio hidráulico, m

i – declividade do canal, m/m

n – coeficiente de rugosidade de Manning (tabelado, depende do material)

Coefficiente de rugosidade de Manning (n) em função do revestimento do canal

Material	n
Terra (sem revestimento)	
Argiloso	0,025 – 0,030
Arenoso	0,030 – 0,040
Cascalho	0,030 – 0,035
Revestido	
Concreto	0,018 – 0,022
Tijolos	0,018 – 0,022
Membrana plástica	0,025 – 0,030

3. Solução de problemas com a fórmula de Manning

3.1. Problemas hidráulicamente determinados

- Dados disponíveis levam a uma única solução

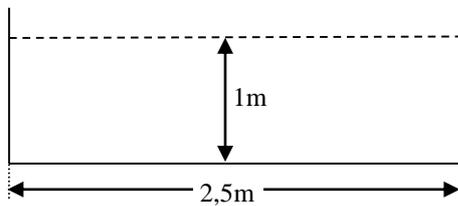
Dados	Incógnita
1) n, R_H , S, V ou Q	i
2) n, R_H , S, i	Q ou V
3) n, Q, i	H, R_H , S

- Problemas 1 e 2: solução direta

- Problema 3: solução por tentativas

3.2. Exercícios de fixação

a) (Problema Tipo 1) Calcular a declividade que deverá ter o canal do esquema a seguir:



Revestimento: cimento ($n = 0,018$)

$$Q = 2,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$S = 2,5 \text{ m}^2$$

$$P = 4,5 \text{ m}$$

$$R_H = \frac{2,5}{4,5} = 0,556$$

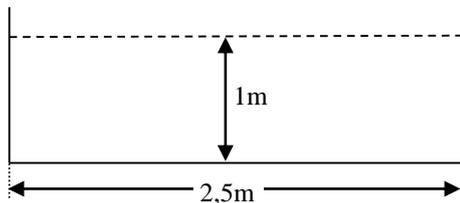
$$Q = \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

$$2,7 = \frac{2,5}{0,018} \cdot 0,556^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

$$i^{0,5} = \frac{2,7}{93,893}$$

$$i = 0,00083 \text{ m/m (0,83‰)}$$

b) (Problema Tipo 2) Calcular a vazão do canal do esquema a seguir:



$$i = 0,4‰ \text{ (0,0004 m/m)}$$

Revestimento: cimento liso ($n = 0,013$)

$$S = 2,5 \text{ m}^2$$

$$P = 4,5 \text{ m}$$

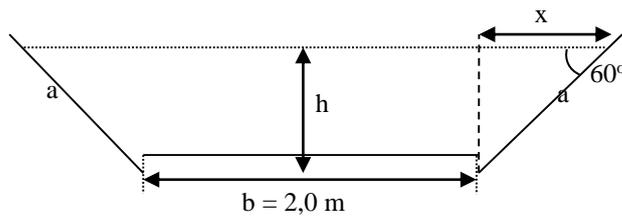
$$R_H = \frac{2,5}{4,5} = 0,556$$

$$Q = \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

$$Q = \frac{2,5}{0,013} \cdot 0,556^{2/3} \cdot 0,0004^{0,5}$$

$$Q = 2,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

c) (Problema Tipo 3) Calcular a altura (h) que o canal deverá ter no esquema a seguir.



$$Q = 4,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0,3\%$$

$$n = 0,013 \text{ (cimento liso)}$$

$$\text{sen } 60^\circ = \frac{h}{a} \quad \Rightarrow \quad a = \frac{h}{\text{sen } 60^\circ} \quad \Rightarrow \quad P = 2 \cdot a + b$$

$$\text{cos } 60^\circ = \frac{x}{a} \quad \Rightarrow \quad x = a \cdot \text{cos } 60^\circ \quad \Rightarrow \quad S = b \cdot h + 2 \cdot \frac{x \cdot h}{2}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{0,5} \quad Q = \frac{S}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{0,5}$$

Solução por tentativas:

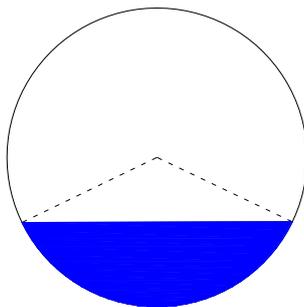
- Estipular uma altura de água no canal;
- Calcular o perímetro molhado (P), a seção molhada (S) e o raio hidráulico (R_H);
- Calcular V e Q e verificar se atendem às necessidades preestabelecidas.
- Repetir o processo até que Q seja igual à necessária (vazão de projeto).

Tentativas

h (m)	a (m)	x (m)	P (m)	S (m ²)	R_H (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)
1,0	1,155	0,577	4,31	2,577	0,598	0,946	2,44
2,0	2,309	1,155	6,618	6,310	0,953	1,290	8,14
1,5	1,732	0,866	...				

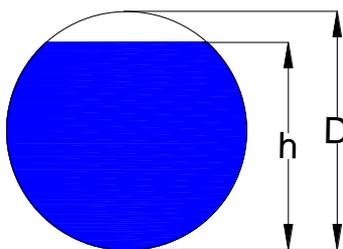
4. Bueiros circulares

Seção parcial:



$$Q = \frac{K}{n} \cdot D^{2,667} \cdot i^{0,5}$$

$$D = \left(\frac{Q \cdot n}{K \cdot i^{0,5}} \right)^{0,375}$$



Seção parcial (%)	K
50	0,156
60	0,200
70	0,244
80	0,284
90	0,315
95	0,324
100	0,311

Seção parcial h/D	K
0,5	0,156
0,6	0,209
0,7	0,260
0,8	0,304
0,9	0,331
0,95	0,334
1,0	0,311

4.1. Exercícios

- a) Calcular o diâmetro do bueiro de concreto do esquema a seguir para que a altura de água seja igual a 90% da seção total.

$$Q = 2,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0,0002 \text{ m/m (0,2‰)}$$

$$n = 0,015 \text{ (concreto)}$$

Solução:

$$\text{Seção parcial} = 90\% \text{ da seção total} \Rightarrow K = 0,315$$

$$D = \left(\frac{2,36 \cdot 0,015}{0,315 \cdot 0,0002^{0,5}} \right)^{0,375}$$

$$D = 2,18 \text{ m}$$

b) Calcule a vazão que passará por um bueiro circular com as seguintes características:

$$D = 2,2 \text{ m}$$

Água ocupa 90% da seção do bueiro

Concreto ($n = 0,015$)

$$i = 0,2\text{‰} \text{ (} 0,0002 \text{ m/m)}$$

$$\text{Seção molhada} = 90\% \text{ da seção} \Rightarrow K = 0,315$$

$$Q = \frac{0,315}{0,015} \cdot 2,2^{2,667} \cdot 0,0002^{0,5}$$

$$Q = 2,432 \text{ m}^3/\text{s}$$

c) Com os dados a seguir, calcule o diâmetro do bueiro.

$$Q = 2,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0,2\text{‰}$$

$$n = 0,015$$

$$\text{Seção molhada: } h/D = 0,9$$

Solução:

$$h/D = 0,9 \Rightarrow K = 0,331$$

$$D = \left(\frac{2,36 \cdot 0,015}{0,331 \cdot 0,0002^{0,5}} \right)^{0,375} \Rightarrow D = 2,14 \text{ m}$$

d) Calcule a vazão de um bueiro com as seguintes características.

$$D = 2,2 \text{ m}$$

$$h/D = 0,9 \text{ (} K = 0,331)$$

Concreto ($n = 0,015$)

$$i = 0,2\text{‰}$$

$$Q = \frac{0,331}{0,015} \cdot 2,2^{2,667} \cdot 0,0002^{0,5}$$

$$Q = 2,56 \text{ m}^3/\text{s}$$

5. Exercício (Provinha)

LEB 0472 – Hidráulica

Nome:

Data:

Calcule o diâmetro de um bueiro circular com as seguintes características:

$$Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 0,4\text{‰}$$

Material: concreto ($n = 0,015$)Seção molhada: $h/D = 0,6$