



## CAPITULO VII

### CANAIS

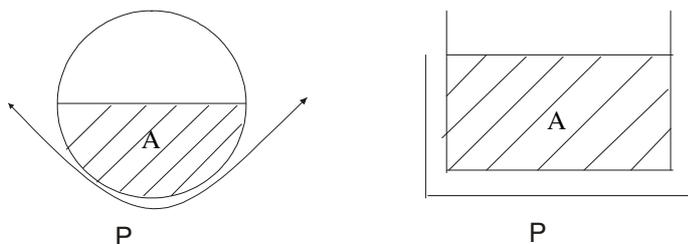
#### 7.1 – Introdução

Dá-se o nome de canais, condutos livres e, às vezes, canais abertos, aos condutos em que a parte superior do líquido está sujeita à pressão atmosférica; o movimento não depende, como nos condutos forçados, da pressão existente, mas da inclinação do fundo do canal e da superfície da água.

Neste tipo de conduto encontram-se os canais abertos e as canalizações fechadas onde o líquido não enche completamente a seção do escoamento.

A diversidade das formas das seções torna geralmente difícil defini-las por uma única dimensão, como o diâmetro, por exemplo, nos condutos circulares; deve-se por isto recorrer ao raio hidráulico, que é a relação entre a área da seção molhada e o respectivo perímetro molhado.

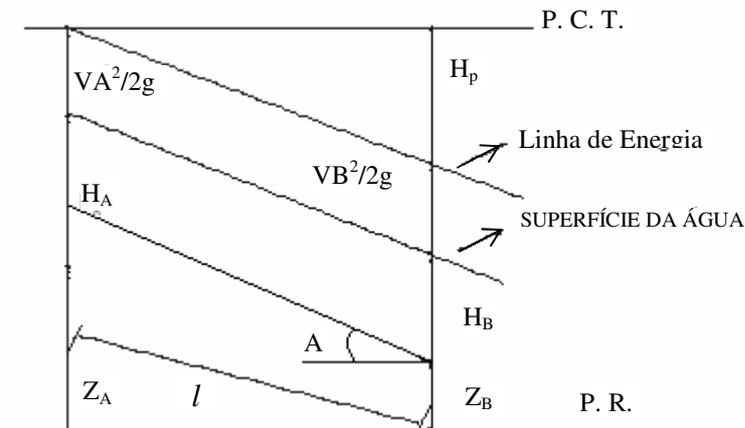
$$R = A / P$$



#### 7.2 – Movimento Uniforme ( V = cte )

Num canal de declividade constante há movimento uniforme quando a seção de escoamento é constante em forma e dimensões.

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2$$



- A profundidade da água é constante
- Superfície da água é paralela ao fundo
- Linha piezométrica coincide com a superfície da água

Aplicando Bernoulli entre A e B:

$$z_A + V_A^2 / 2g + h_A = z_B + V_B^2 / 2g + h_B + h_p$$

sendo  $V_A = V_B$  e  $h_A = h_B$ , temos

$$z_A - z_B = h_p$$

“No Movimento Uniforme, a perda de carga entre duas seções distantes de ‘L’ é igual à diferença das cotas da superfície da água nessas seções, ou das cotas do fundo do canal entre as mesmas.”

$$J = \frac{h_p}{l} = \frac{z_A - z_B}{l} = \text{sen} \alpha \rightarrow \text{Perda de carga unitária}$$

Obs.:

Sendo geralmente pequena a diferença entre o comprimento “l” e a sua projeção horizontal, pode-se considerar, sem grande erro, a perda de carga unitária igual a declividade do fundo.

$$J = I = \text{tg} \alpha$$

Como nos condutos sob pressão,  $h_p$  é proporcional à rugosidade das paredes, expressa por um coeficiente à segunda potência da velocidade média, à



superfície de atrito entre a água e as paredes ( P. l ) e inversamente proporcional a área de seção, pois quanto maior esta, menor a influência das paredes.

$$h_p = bV^2 \frac{Pl}{A} = bV^2 \frac{Pl}{R} \quad R = A / P$$

### 7.3– Fórmulas Fundamentais

#### 1.1 – Fórmulas de Tadini ( 1828 )

Usada para cálculos aproximados e em canais muito largos, onde a influência das paredes é pequena.

$$V = 50\sqrt{RI} \quad I = 0,0004V^2 / R$$

#### 1.2 Fórmula de Bazin ( 1897 )

É a mais usada, pode se empregada em condutos sob pressão

$$V = C \sqrt{RI} \quad C = \frac{87 \sqrt{R}}{m + \sqrt{R}}$$

O coeficiente “m” depende da natureza das paredes:

Natureza da Paredes	m
1 – Muito lisas ( cimento alisado, madeira aplainada )	0,06
2 – Lisa ( madeira não aplainada, pedra regular, tijolos )	0,16
3 – Alvenaria de Pedra Bruta	0,46
4 – Paredes Mistas; seções regulares de terra ou empedradas	0,85
5 – Canais de Terra, em condições normais	1,30
6 – Canais de Terra, com resistência excepcional, fundo com vegetação e pedras	1,75

#### 3.3 – Fórmula de Bazin - Contessini

$$V = C R^x I^{0,5}$$

C e x dependem da categoria da parede.



Movimento uniforme em canais:

### FÓRMULA DE BAZIN, MODIFICADA POR CONTESSINI

Classe	Natureza das Paredes	<i>m</i>	<i>C</i>	<i>x</i>
1.	Cimento muito liso; pranchas de madeira aplainada, sem fendas, dispostas longitudinalmente; tubulações metálicas ou com revestimento de chapas lisas sem rebites projetando-se para o interior, e sem rebarbas nas juntas, tubos novos de cimento amianto (canais retilíneos ou com curvas de grande raio, água limpa).....	0,06	81,4	0,54
2.	Concreto ou madeira como na classe 1; curvas de raio menor e água pouco turva, tubos de aço laminado, novos.....	0,10	78,8	0,57
3.	Concreto com revestimento bem feito, porém não perfeitamente alisado e com saliências nas juntas; madeira aplainada, com algumas fendas entre as pranchas; canalizações metálicas ou com revestimento de chapas, com rebites salientes, juntas sem rebarbas. Alvenaria de tijolo ou pedra aparelhada, bem regular. Tubos novos de ferro fundido, colocados com cuidado. Tubos de aço laminado, em serviço corrente. Tubos cerâmicos de esgoto. (as curvas podem não ser muito amplas)....	0,16	74,0	0,60
4.	Tubos de concreto bem alisados, em boas condições ( $D = 0,40$ ). Águas limpas.....	0,18	76,7	0,64
5.	Tubos de concreto ( $D = 0,40$ ), com revestimento liso, porém com curvas de pequeno raio (águas turvas). Tubos de ferro fundido, de qualquer diâmetro, em serviços correntes.....	0,23	73,7	0,66
6.	Canais de concretos com paredes poucas lisas, com algumas irregularidades deixadas pelas formas; concreto velho. Madeira bruta e esquadrada com pouco cuidado, com fissuras entre as tabulas. Canais de terra bem construídos e em muito boas condições de manutenção; paredes e fundo sem vegetação. Alvenaria de pedra comum, bem executada. Tubos de ferro fundido, com muitos anos de serviços, com incrustações. Tubos velhos de esgoto e drenagem (Nos canais, as curvas devem ser amplas; as águas podem ser turvas e haver algum depósito de lodo no fundo).....	0,36	62,4	0,67
7.	Concreto parcialmente revestido, com saliências deixadas pelas juntas das formas; águas turvas e alguns depósitos nas paredes e no fundo; vegetação de musgos; traçado sinuoso. Alvenaria de pedra comum, pouco regular; alvenaria de pedra seca; tijolos mal assentados .	0,46	58,2	0,70
8.	Canais de terra com seções regulares, eventualmente empedrados; pequenos depósitos de lodo, que atenua a rugosidade das paredes e do fundo. Ausência de vegetação e curvas amplas. Alvenaria de pedra irregular, fundo bastante liso devido ao depósito de lodo. ....	0,85	45,8	0,77
9.	Tubulações metálicas, com rebites salientes e rebarbas nas juntas das chapas. Canais de terra, boa construção, com taludes lisos e pequenos depósitos de areia e material miúdo no fundo sem depósitos e pequena vegetação nos taludes. Alvenaria de pedra velha, com má conservação, fundo Lodoso .....	1,00	42,4	0,79
10.	Canais de terra de seção regular, com pequenas vegetações no fundo e com pequenas moitas nos taludes. Cursos d'águas naturais, com percurso regular, sem vegetação nem depósitos pronunciados .....	1,30	36,8	0,82
11.	Canais de terra em más condições de conservação, com tufo de vegetação no fundo e nas paredes, ou com depósitos de seixos e areia. Ou com erosões profundas e regulares. Canais de terra, escavados com máquinas e sem conservação .....	1,75	31,0	0,85



12.	Canais escavados no terreno, completamente abandonados, com margens irregulares, ou com a seção em grande parte obstruída pela vegetação. Cursos d'água naturais, com leito de areia e fundo móvel.....	2,30	25,8	0,88
-----	---	------	------	------

### 3.4 – Fórmula de Manning

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad C = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

O coeficiente “n” depende do tipo de parede

### MOVIMENTO UNIFORME EM CANAIS

Valores de *n*, segundo HORTON para emprego nas formulas de GANGUILLET KUTTER e de MANNING.

NATUREZA DAS PAREDES	Condições			
	Muito boas	Boas	Regulares	Mas
Tubos de ferro fundidos sem revestimento.....	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem, com revestimento de alcatrão .....	0,011	0,012*	0,013*	
Tubos de ferro galvanizados.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidros.....	0,009	0,010	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos.....	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem.....	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento; condutos de esgoto, de tijolos.....	0,012	0,013	0,015*	0,017
Superfícies de cimento alisado .....	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento .....	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de Concreto .....	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos de aduelas de madeira.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Calhas de pranchas de madeira aplainada.....	0,010	0,012*	0,013	0,014
Idem, não aplainadas.....	0,011	0,013*	0,014	0,015
Idem, com pranchoes.....	0,012	0,015*	0,016	
Canais com revestimentos de concreto.....	0,012	0,014*	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassa.....	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca.....	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares) .....	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem corrugadas.....	0,0225	0,025	0,0275	0,030
Canais de terra, retilíneos e uniformes.....	0,017	0,020	0,0225*	0,025
Canais aberto em rocha e uniformes.....	0,025	0,030	0,033*	0,035
Canais abertos em rocha irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal arrumadas.....	0,039	0,040	0,045	
Canais dragados.....	0,025	0,0275*	0,030	0,033
Canais curvilíneos e lamosos.....	0,0225	0,025*	0,0275	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação nos taludes.....	0,025	0,030	0,035*	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados.....	0,028	0,030	0,033	0,035



### ARROIOS e RIOS

1) Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,0275	0,030	0,033
2) Como em 1, porem com vegetação e pedras	0,030	0,033	0,035	0,040
3) Com meandros, brancos e poços poucos profundos, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
4) Como em 3, águas baixas, declividades fracas	0,040	0,045	0,050	0,055
5) Como em 3, com vegetação e pedras	0,033	0,035	0,040	0,045
6) Como em 4, com pedras	0,045	0,050	0,055	0,060
7) Com margens espraçadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
8) Com margens espraçadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

### 3.5 – Fórmula de Strikber

$$V = KR^{2/3} I^{1/2}$$

Podem ser usados os seguintes valores de  $K$ :

- Canais com revestimentos de concreto bruto	$K =$	53 a 57
- Canais com bom revestimento, bem alisado	$K =$	80 a 90
- Galerias de concreto, lisas	$K =$	90 a 95
- Galerias escavadas em rocha	$K =$	25 a 40
- Galerias c/fundo e aboba de concreto comprimido, paredes laterais de alvenaria de pedra	$K =$	85 a 90
- Galerias c/ fundo e paredes laterais com revestimento, aboba sem revestimento	$K =$	55
- Canais antigos com depósitos ou vegetação	$K =$	43 a 52
- Canais de terra	$K =$	30 a 40
- Canais com fundo não revestido		
Seixos grandes	$K =$	35
Seixos médios	$K =$	40
Pedra fina	$K =$	45
Pedra fina e areia	$K =$	50
Areia fina	$K =$	ate 90
- Canais de alvenaria bruta	$K =$	50
- Canais de alvenaria comum	$K =$	60
- Canais de tijolos ou pedra aparelhada	$K =$	80
- Canais muito lisos	$K =$	ate 90 e mais
- Rios e arroios		
Fundo rochoso, rugoso	$K =$	20
Medianamente rugoso	$K =$	20 a 28

### **7.4– Velocidades e Declividades Admensionais**

A velocidade de escoamento deve ser fixada em função do material e do revestimento das paredes e do fundo do canal.



Nos canais de terra, a velocidade que deve ser usada no projeto é aquela que, sem ser bastante alta para provocar a erosão das paredes, não favorece a deposição de materiais suspensos.

Esta velocidade pode ser obtida pela fórmula de Kennedy:

$$V_{\text{MIN}} = C h^{0,64} \quad ; \quad h = \text{altura da água no canal.}$$

$C \rightarrow$  coeficiente que depende do grau de finura do material suspenso.

- Material extremamente fino	$C = 0,36$
- Areia muito fina ( $0,125\text{mm} \leq d < 0,25 \text{ mm}$ )	$C = 0,55$
- Areia fina ( $0,25 \leq d < 0,5 \text{ mm}$ )	$C = 0,59$
- Areia média ( $0,5 \leq d < 1,0 \text{ mm}$ )	$C = 0,65$
- Barro ( $0,5 \leq d < 1,0 \text{ mm}$ )	$C = 0,65$
- Areia grossa ( $1,0 \leq d < 2,0 \text{ mm}$ )	$C = 0,70$

Para projetos, pode-se usar o critério de determinar a mínima velocidade necessária pela fórmula de Kennedy, e, por outro lado, empregar a máxima velocidade admissível no caso.

NATUREZA DO TERRENO	Velocidades em m/s		
	Água limpas Sem detritos	Água com material coloi- dal suspenso	Água com material não coloidal suspenso
Areia fina não coloidal .....	0,45	0,75	0,45
Terreno sílico – argiloso.....	0,50	0,75	0,60
Terreno argiloso (não coloidal) .....	0,60	0,90	0,60
Terreno de aluvião .....	0,60	1,05	0,60
Terreno argiloso consistente .....	0,75	1,05	0,70
Terreno de detritos vulcânicos .....	0,75	1,05	1,15
Cascalho miúdo .....	1,15	1,50	0,90
Argila compacta muito coloidal .....	1,15	1,50	1,50
Argila com cascalho não coloidal ...	1,15	1,50	0,90
Terrenos aluviais, coloidais .....	1,20	1,65	1,50
Argila com cascalho, não coloidal...	1,20	1,80	1,95
Pedregulho e piçarra .....	1,50	1,65	1,95
Esquisto e argila compacta .....	1,80	1,80	1,50

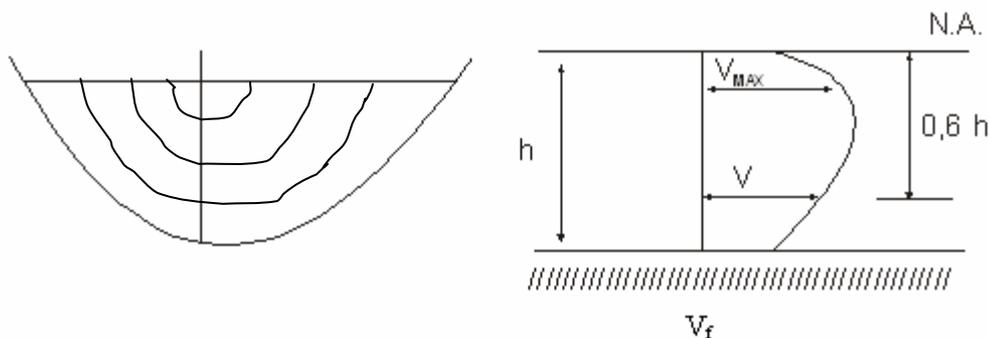


A velocidade depende da declividade e vice-versa. A declividade é limitada pela velocidade admissível em cada caso.

### **7.5– Distribuição das Velocidades na Seção Transversal**

A velocidade dos diferentes filêtes líquidos que atravessam uma seção transversal do canal são afetadas pela ação retardadora das paredes e pela superfície livre. A velocidade varia muito de um filête para outro, sendo maior nos mais afastados das paredes e do fundo.

Isotacas – são linhas que ligam os pontos de igual velocidade.



A medida das observações indica que:

- A velocidade máxima se encontra de 0,05 a 0,3 h abaixo da superfície, geralmente entre 0,2 e 0,3 h , sendo tanto maior a distância da superfície quanto maior a profundidade.
- A velocidade média se encontra abaixo da superfície da água a uma distância de 0,6 h.
- A velocidade média numa vertical é dada pela média das velocidades dos filêtes situados nas profundidades 0,2 h e 0,8 h, abaixo da superfície.
- A velocidade média varia entre 0,75 e 0,95 da velocidade superficial.
- A velocidade dos filetes próximos ao fundo pode ser tomada como 0,75 da velocidade média.



## 7.6– Seções de Máxima Vazão

$$V = C\sqrt{RI} \quad Q = AV$$

Para uma dada declividade do fundo, sendo fixada a área  $A$  da seção transversal, a velocidade  $v$ , conseqüentemente, a descarga serão máximos quando o raio hidráulico adquirir o máximo valor possível, o que ocorre quando o perímetro molhado da seção for o mínimo compatível com a área  $A$ , pois  $R = A/P$ .

Inversamente, se a velocidade  $v$  e a descarga são fixadas e conseqüentemente, a área da seção, a declividade será mínima quando for empregada a seção de menor perímetro, conforme se deduz da fórmula  $I = V^2/C^2 R$

Figuras de maior raio hidráulico:

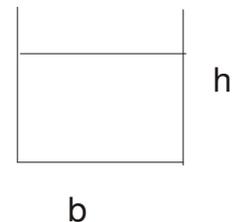
Figuras de mesma área  $\Rightarrow$  semicircunferência tem menor perímetro

Figuras retangular mesma ÁREA  $\Rightarrow$  quadrado tem menor PERÍMETRO

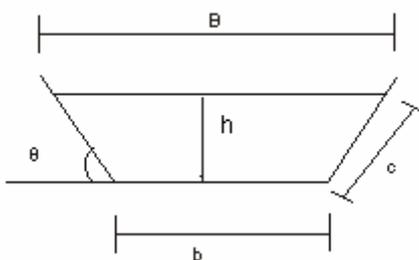
Figuras trapezoidais mesma ÁREA  $\Rightarrow$  meio hexágono regular tem menor PERÍMETRO

Obs.:

$$\text{Canal Retangular} \begin{cases} A = b h \\ P = b + 2h \end{cases}$$



Canal Trapezoidal:



$$A = bh + h^2 \cot \theta$$

$$P = b + 2h / \text{sen } \theta$$

$$A = bh + mh^2$$

$$P = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$$



## 7.7– Cálculo de Canais – Problemas Gerais

Os problemas usuais do cálculo de canais se enquadram nos seguintes tipos:

- a) Determinar a velocidade da água e a descarga de um canal de formas e dimensões conhecidas, bem como declividade e natureza das paredes.

$$1 - R = A/P \quad 2 - V = \sqrt{RI} \quad Q = AV$$

- b) Determinar a declividade e a velocidade da água conhecidas a descarga, a forma e dimensões da seção e a natureza das paredes.

$$1 - R = Q/A \quad 2 - I = V^2 / C^2 R$$

- c) Conhecidas a descarga  $Q$  e a velocidade  $I$ , determinar a seção de escoamento e a velocidade da água: “em função das condições locais ( natureza das parede ) ou do material que vai ser empregado na construção e revestimento escolhe-se a forma da seção e arbitra-se uma das dimensões da mesma ( profundidade, largura, raio em seções circulares, etc).”

- d) Conhecidas a velocidade e a declividade, determinar a descarga e a área da seção.

“Os problemas desse gênero devem ser resolvidos por tentativas, arbitrando uma forma de seção e determinando as dimensões que satisfazem os dados do problema.”

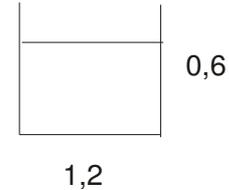


## 7.7- PROBLEMAS

1 – Qual a vazão de um canal, revertido de concreto pouco liso, com 1,20 m de largura, com uma declividade de 4,0 m em 10.000 m e uma profundidade d'água de 0,60 m? Aplicar Manning e Bazin – Contessini.

$$I = 4 / 10.000 = 4 \times 10^{-4} \quad m / m$$

$$R = A / P$$



$$\left. \begin{aligned} A &= 1,2 \times 0,6 = 0,72 \text{ m}^2 \\ P &= 1,2 + 2 \times 0,6 = 2,4 \text{ m} \end{aligned} \right\} R = 0,30 \text{ m}$$

$$Q = AV$$

a)Manning

$$V = 1 / n \ R^{2/3} \ I^{1/2}$$

$$\text{Tabela} \rightarrow n = 0,016$$

$$V = 1 / 0,016 \ (0,3)^{2/3} \ (4 \times 10^{-4})^{1/2} = 0,560 \therefore V = 0,560 \text{ m / s}$$

$$Q = AV = 0,72 \times 0,560 = 0,403 \therefore Q = 0,403 \text{ m}^3 / \text{s}$$

b)Bazin – Contessini

$$V = CR^x I^{0,5}$$

$$\text{Tabela} \rightarrow C = 62,4 ; x = 0,67$$

$$V = 62,4 \ x \ (0,3)^{0,67} \ (4 \times 10^{-4})^{1/2} = 0,557 \therefore V = 0,557 \text{ m / s}$$

$$Q = VA = 0,557 \times 0,72 = 0,401 \therefore Q = 0,401 \text{ m}^3 / \text{s}$$



2 – Em um laboratório hidráulico foi medida uma vazão de  $0,393 \text{ m}^3/\text{s}$  em um canal retangular de  $1,20 \text{ m}$  de largura e  $0,6 \text{ m}$  de profundidade. Se a declividade do canal era  $0,0004 \text{ m/m}$ , qual o fator de rugosidade para o revestimento do canal ?

$$A = 1,2 \times 0,6 = 0,72 \text{ m}^2$$

$$P = 1,2 + 2 \times 0,6 = 2,4 \text{ m}$$

$$R = 0,3 \text{ m}$$

$$Q = VA \quad ; \quad V = \frac{1}{\eta} R^{2/3} I^{1/2} \rightarrow \text{Manning}$$

$$Q = A \frac{1}{\eta} R^{2/3} I^{1/2}$$

$$0,393 = 0,72 \times \frac{1}{\eta} \times (0,3)^{2/3} (0,0004)^{1/2}$$

$$M = \frac{0,72}{0,393} \times (0,3)^{2/3} (0,0004)^{1/2} = 0,0164 \quad \therefore n = 0,0164$$

3 – Qual a declividade que deverá ser dada a uma tubulação de manilha de barro vitrificado de  $60 \text{ cm}$  de diâmetro para que circulem  $0,162 \text{ m}^3/\text{s}$  quando a tubulação está semi-cheia?

$$\text{Aplicando Bazin - Contessini} \rightarrow \begin{cases} C = 74,0 \\ x = 0,60 \end{cases}$$

$$Q = VA \Rightarrow \begin{cases} A = \left( \frac{\pi d^2}{4} \right) x^{1/2} = 0,141 \therefore A = 0,141 \\ P = (2\pi R) x^{1/2} = 0,942 \therefore P = 0,942 \text{ m} \\ V = CR^x I^{0,5} \end{cases} R = 0,1497 \text{ m}$$

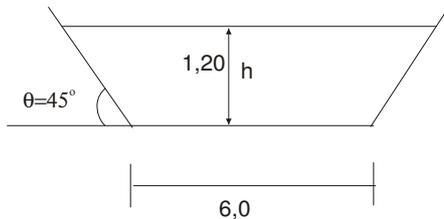
$$0,162 = 0,141 \times 74,0 (0,1497)^{0,5} \sqrt{I}$$

$$\therefore \sqrt{I} = \frac{0,162}{3,339} = 0,04852$$

$$\sqrt{I} = 0,04852 \Rightarrow I = 2,35 \times 10^{-3}$$



4 – Por um canal trapezoidal de 6,0 m de largura de fundo e inclinação das paredes 1:1 (  $\theta = 45^\circ$  ), circula água com 1,20 m de profundidade. Sabendo-se que a declividade do canal é 0,0009 m/m e que  $n = 0,025$  , qual a vazão ?



$$I = 0,0009$$

$$\eta = 0,025$$

$$Q =$$

$$\text{Cotg } 45^\circ = \text{tg } 45 = 1$$

$$A = bh + h^2 \cot g \theta$$

$$P = b + 2h / \text{sen } \theta$$

$$A = 6 \times 1,2 + (1,2)^2 \cot g 45^\circ = 8,64 m^2 \rightarrow A = 8,64 m^2$$

$$P = 6,0 + 2 \times 1,2 / \text{sen } 45^\circ = 9,394 m \rightarrow P = 9,394 m$$

$$R = A / P = 0,9197 \therefore R = 0,9197 m$$

$$V = \frac{1}{\eta} R^{2/3} I^{1/2} \rightarrow \text{Manning}$$

$$V = 1/0,025 (0,9197)^{2/3} (0,0009)^{1/2} = 1,135$$

$$V = 1,135 m / s \rightarrow Q = VA \rightarrow Q = 9,805 m^3 / s$$