

Cálculo Direto das Alturas de Água nos Condutos Livres

ENIO TOURASSE (*)

I. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

O presente trabalho está baseado em monografia anteriormente apresentada (1), que indicou os fundamentos para a determinação direta das alturas de água nos canais em regime de escoamento uniforme, partindo-se de valores conhecidos de vazão, declividade e forma da seção transversal.

A solução do problema é geral, podendo-se calcular tanto a altura de lâmina para vazão e declividade determinadas, como também a altura crítica e a declividade correspondente, conhecida a vazão.

O emprego do método fica bastante simplificado pela utilização de somente uma tabela para cada tipo de seção transversal.

Além das seções usuais, retangulares, trapezoidais e outras, foi tabelada, também, a seção parabólica, para qualquer relação entre o eixo e a flecha da parábola.

Por outro lado, a determinação da vazão a partir dos elementos da seção transversal pode ser resolvida com facilidade, com a utilização das mesmas tabelas.

1.2 Problemas Típicos

Dois problemas se apresentam, geralmente, quando se lida com movimento permanente uniforme em canais. O primeiro consiste em determinar a vazão ou a declividade para uma determinada seção, conhecida a altura da lâmina líquida. Neste caso, tem-se S e R conhecidos e:

$$Q = C S \sqrt{R I}, \text{ ou } \sqrt{I} = \frac{Q}{C S \sqrt{R}}$$

Q — vazão.

C — coeficiente que depende da natureza das paredes do canal e do raio hidráulico (fórmulas usuais).

S — área da seção transversal molhada.

S

R — — raio hidráulico.

P

P — perímetro molhado.

I — declividade do fundo

O segundo problema, que, para as seções usuais, não é passível de solução direta, é aquele em que são conhecidas a vazão, a forma da seção transversal e a declividade, e se quer determinar o tirante d'água h.

A solução indicada neste caso consiste em calcular para uma determinada seção, uma série de vazões a partir das alturas de água h, formando-se um gráfico com os resultados. Com esse gráfico, pode-se determinar o tirante para várias descargas.

Bakhtmeteff adota este método, chamado de "coeficiente de condução": $K = C S R^2$, função dos elementos transversais da corrente líquida.

Procuraremos solucionar esse caso, de um modo geral, sem necessidade de tentativas ou de traçar uma curva para cada seção, o que se torna por demais trabalhoso, principalmente, no caso de lidarmos com várias seções transversais.

Outra determinação importante, que, ainda pertencendo ao movimento uniforme, interessa mais ao estudo do movimento permanente gradualmente variado, é calcular a altura e a declividade críticas, conhecendo-se a vazão e a seção do canal.

(*) Engenheiro do Estado — RJ e Professor da Escola Nacional de Saúde Pública.

Esta determinação costuma ser feita para os canais retangulares ou para os perfis parabólicos de grande largura, onde são iguais o comprimento da lâmina líquida e o perímetro molhado. Ainda assim, normalmente não é considerada a variação de velocidades na seção transversal.

Também, para este problema, pode-se dar uma solução geral, conforme será visto adiante.

2. DETERMINAÇÃO DA ALTURA

2.1 Sejam duas seções semelhantes, como na figura 1, com áreas S e S_0 .

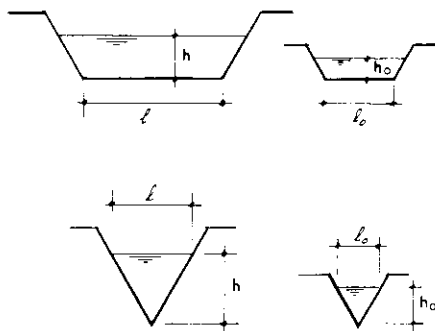


FIG. 1

$$\frac{l}{l_0} = \frac{h}{h_0} \quad (1)$$

Figura — 1

Para figuras semelhantes, as áreas estão entre si como o quadrado de suas linhas homólogas, e os comprimentos são proporcionais às linhas homólogas.

Tem-se então:

$$\frac{S}{S_0} = \left(\frac{l}{l_0}\right)^2 \text{ e } \frac{R}{R_0} = \frac{l}{l_0}$$

As vazões nas duas seções, utilizando fórmulas monômias, serão:

$$Q = C S R^a l^b$$

$$Q_0 = C S_0 R_0^a l_0^b$$

ou então:

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{S R^a}{S_0 R_0^a} = \left(\frac{l}{l_0}\right)^2 \times \left(\frac{l}{l_0}\right)^a \times \left(\frac{l}{l_0}\right)^{b-a} \quad (2)$$

Fazendo-se $l_0 = 1.00$, vem:

$$\text{de (2): } \frac{Q}{Q_0} = l^{2+a} \text{ e de (1): } h = l h_0$$

Pode-se, então, tabelar os valores

$$\frac{Q_0}{C_0 l_0^b} = S_0 R_0^a$$

$C_0 l_0^b$ em relação a h_0 , para as diversas formas de seção transversal, com largura unitária de lâmina ou de fundo.

O problema estará resolvido, calculando-se o que se pode denominar **fator unitário de vazão**:

$$S_0 R_0^a = \frac{Q_0}{C l_0^b} = \frac{Q}{C l^{b+a}}$$

O h_0 correspondente dará então:

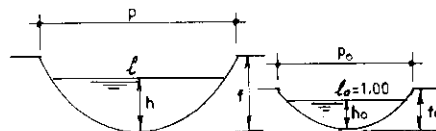
$$h = h_0$$

Para as seções triangulares, que não possuem largura de fundo, tomou-se como largura unitária a linha da superfície; nestes casos h_0 fica determinado e se deve calcular:

$$l^{b+a} = \frac{Q/C l^b}{S_0 R_0^a}, \text{ logo: } h = h_0$$

Para as parábolas de segundo grau, adotou-se também a linha de superfície de largura unitária, mas neste caso tem-se:

$$\left(\frac{l}{2}\right)^2 = 2 k h : \left(\frac{l_0}{2}\right)^2 = 2 k_0 h_0 : l = \frac{h_0}{f}$$



Daí chega-se a

$$Q_0 h_0^{2+a} = \frac{Q}{(p^2/f)^{2+a}}$$

$$\text{e: } \frac{Q_0 h_0^{2+a}}{C \sqrt{T}} = S_0 R_0^a h_0^{2-a}$$

que foram tabelados em relação a h_0 .

O problema inverso, ou seja, a determinação da vazão conhecidos os elementos da seção transversal, também é facilmente resolvido, calculando-se $h_0 = \frac{h}{l}$.

Deve-se notar que é suficiente uma tabela para cada forma de seção transversal.

2.2 Para a fórmula de Bazin, onde C não é função exponencial simples de R , há necessidade de uma determinação prévia de R_0 (ou de h_0 para as seções parabólicas e triangulares).

$$Q = \frac{87}{\sqrt{R+m}} S R \sqrt{T}$$

ou

$$Q = \frac{87}{\sqrt{l} \sqrt{R_0+m}} S_0 R_0^2 \sqrt{T} = \frac{87 S_0 R_0^2 \sqrt{T}}{\sqrt{l} \sqrt{R_0+m}}$$

Para arbitrar o valor inicial, é preferível lançar mão de uma das equações exponenciais, calculando-se:

$$S_0 R_0^a = \frac{Q}{C \sqrt{T}}$$

e a partir daí, na tabela correspondente à seção, tira-se R_0 . A seguir determina-se

$$M = \frac{87}{\sqrt{l} \sqrt{R_0+m}}$$

e, finalmente:

$$S_0 R_0^a = \frac{Q}{M l^3 \sqrt{T}}$$

Se o R_0 achado for diferente do arbitrado, deve-se repetir o processo até a precisão desejada.

2.3 Foram feitas tabelas (ver anexos) para as seções de forma retangular, trapezoidal, triangular, parabólica e circular; suas características são vistas no quadro II. As fórmulas utilizadas foram as de:

Manning:

$$Q = \frac{1}{n} S R^{2/3} l^{0.5}$$

Forchheimer:

$$Q = \frac{1}{n} S R^{0.7} l^{0.5}$$

Bazin:

$$Q = \frac{87}{\sqrt{R+m}} S R l^{0.5}$$

S em m^2

R em m

l em m/m

Q em $m^3/\text{seg.}$

No quadro I são dados os valores de n e de m para os diversos tipos de paredes dos canais.

3. DETERMINAÇÃO DA ALTURA CRÍTICA

3.1 A energia específica do líquido em uma determinada seção, definida como a energia da unidade de massa do líquido em relação à soleira do canal, nesta seção, é dada por:

$$E = h + \frac{\alpha v^2}{2g} = h + \frac{\alpha Q^2}{2g S^3}$$

onde:

- h — altura da lâmina líquida
- v — velocidade média na seção
- S — área da seção transversal
- Q — vazão
- α — coeficiente que depende da variação de velocidades na seção transversal.

O regime de escoamento é dito crítico, quando a energia específica do líquido é um mínimo; isto quer dizer que para uma determinada vazão existe uma certa declividade e consequentemente um tirante líquido capaz de tornar mínimo o valor de E.

Deve-se ter então: $dE/dh = 0$

Fazendo

$$\alpha = \alpha \cdot S^{-s} \text{ , vem:}$$

$$E = h + \frac{\alpha Q^2}{2g S^{2+s}} \therefore$$

$$dE/dh = 1 - \frac{dS}{dh} \frac{(2+s) \alpha \cdot Q^2}{2g S^{3+s}}$$

ou, considerando o valor de α visto acima:

$$dE/dh = 1 - \frac{dS}{dh} \frac{(2+s) \alpha Q^2}{2g S^3} \quad (3)$$

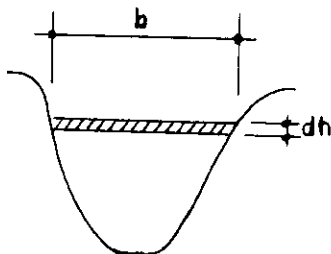


FIG. 2

Pela figura — 2, verifica-se que $dS = b dh$

A equação (3) ficará então:

$$dE/dh = 1 - \frac{(2+s) \alpha Q^2 b}{2g S^3}$$

A condição de mínimo será:

$$1 - \frac{(2+s) \alpha Q^2 b}{2g S^3} = 0$$

e finalmente:

$$0 = \frac{2g S^3}{(2+s) \alpha b}$$

3.2 O valor de α , que representa a variação de velocidades ao longo da seção transversal, é dado, segundo Bazin, por:

$$\alpha = 1 + 1.07 \left(\frac{v_s}{v} - 1 \right)^2 \quad (4)$$

De acordo com o mesmo autor:

$$v_s - v = 14 \sqrt{R} \quad (5)$$

onde v e v_s são as velocidades média e da superfície, respectivamente, na seção considerada.

Sendo

$$v = C R^a \sqrt{T} - C R^d \sqrt{R T} \text{ , vem, de (4) e (5)}$$

$$\alpha = 1 + \frac{210}{C^2} \frac{1}{R^{2d}}$$

Outra expressão para o coeficiente α resulta de admitir uma variação logarítmica de velocidades ao longo da altura do canal; tem-se:

$$\alpha = 1 + 3c^2 - 2c^3$$

onde

$$c = \frac{V_{max}}{v} - 1 = \frac{1}{C}$$

Nesse caso α varia apenas com a rugosidade do canal e seus valores podem ser vistos no quadro seguinte:

$C = \frac{1}{n}$	α
100	1.06
90	1.07
80	1.08
70	1.11
60	1.14
50	1.20
40	1.29
30	1.46

3.3 A determinação da altura crítica pode ser feita diretamente ou pelo processo das seções semelhantes. No primeiro caso, para que se tenha uma fórmula de mais fácil aplicação, é preferível referir o coeficiente α e

a seção transversal S, como funções do tirante h, isto é:

$$\alpha = A_3 h^{-t}$$

$$S = B h^u$$

Tem-se então:

$$E = h + \frac{A_3 h^{-t} Q^2}{2g B h^u} = h + \frac{A_3 Q^2}{2g B h^{2+u+t}}$$

Derivando:

$$dE/dh = 1 - \frac{A_3 Q^2 (2u+t) h^{2+u+t-1}}{2g B h^{2+4u+2t}}$$

Igualando a zero:

$$1 - \frac{A_3 Q^2 (2u+t)}{2g B h^w} = 0$$

onde $w = 2u + t + 1$

Portanto:

$$h_c = \left[\frac{(2u+t) A_3 Q^2}{2g B} \right]^{1/w}$$

A aplicação da fórmula acima fica condicionada ao conhecimento dos valores de A_3 , t, B e u, sendo que estes dois últimos somente são constantes para determinadas seções.

A variação de α com o tirante, torna-se mais significativa no caso de lâminas líquidas muito reduzidas; por isso, muitas vezes prefere-se tomar um valor constante para este coeficiente.

Para as seções retangulares, triangulares e parabólicas, adotando $\alpha = \text{const.}$ (h) = F (C), donde t = 0, tem-se:

— seção retangular:

$$S = b h ; B = b , u = 1 \text{ e } w = 3$$

$$h_c = \left(\frac{\alpha Q^2}{g b} \right)^{1/3}$$

— seção triangular:

$$S = tg \cdot \frac{\theta}{2} n \cdot B \cdot tg \frac{\theta}{2} , u = 2 \text{ e } w = 5$$

$$h_c = \left(\frac{2\alpha Q^2}{g tg^2 \theta/2} \right)^{1/5}$$

— seção parabólica:

$$(b/2)^2 = 2 k h ; S = 2/3 b h$$

substituindo o valor de b nesta segunda equação:

$$S = 4/3 \sqrt[3]{2k} h^{3/2}$$

Portanto:

$$B = 4/3 \sqrt[3]{2k} u = 3/2 \text{ e } w = 4$$

$$h_c = \left(\frac{27 \alpha Q^2}{64 k g} \right)^{1/4}$$

3.4 A solução geral para o problema da altura crítica, pode ser dada como segue:

Supondo duas seções semelhantes como na figura 1, vem:

$$\frac{(2 + S)}{2} \alpha Q_c^2 = \frac{g S^3}{b}$$

$$\frac{(2 + S)}{2} \alpha_n Q_{oc}^2 = \frac{g S_o^3}{b_o}$$

Como

$$b_o = 1,00 \text{ e } \frac{S}{S_o} = b^2,$$

tem-se:

$$\frac{\alpha}{\alpha_o} \frac{Q_c^2}{Q_{oc}^2} = b^3 \therefore \frac{Q_c}{Q_{oc}} = \sqrt{\frac{\alpha_o}{\alpha}} b^{2.5}$$

Se for adotado $\alpha = \alpha_o = \text{const}(h)$, vem:

$$\frac{Q_c}{Q_{oc}} = b^{2.5}$$

Para as seções retangulares e trapézoidais, pode-se tomar a base como largura unitária, e para as circulares o diâmetro, de modo que: $b/b_o = l$ (retâng. e trap.) e $b/b_o = D$ (círculo) e portanto:

$$Q_c/Q_{oc} = l^{2.5} \text{ e } Q_c/Q_{oc} = D^{2.5}$$

Tabelando-se os valores de Q_{oc} para cada tipo de seção transversal, obtém-se h_{oc} e então:

$$\begin{aligned} h_c &= b h_{oc} \text{ (triângulo e parábola)} \\ h_c &= l h_{oc} \text{ (triângulo e trapézio)} \\ h_c &= D h_{oc} \text{ (círculo)} \end{aligned}$$

Nas seções parabólicas, conforme já foi visto:

$$(b/2)^2 = 2 k h_c$$

$$(b_o/2)^2 = 2 k_o h_{oc}; b = p^2 \frac{h_{oc}}{f}$$

e portanto:

$$Q_{oc} h_{oc}^{2.5} = \frac{Q_c}{(p^2/f)^{2.5}}$$

3.5 Foram determinados os valores de Q_{oc} para os mesmos tipos de seção vistos no quadro II.

$$Q_{oc} = \sqrt{\frac{g S_o^3}{\alpha_o b_o}}$$

Como tabelas foram feitas para $\alpha_o = 1$, deve-se tomar:

$$Q_{oc} = \frac{Q_c}{b^{2.5}} \sqrt{\alpha}$$

4. EXEMPLOS

4.1 Determinação do tirante

a) Calcular a altura da lâmina líquida do canal de seção retangular da figura 3, que escoa uma vazão de $36 \text{ m}^3/\text{seg}$ e tem uma declividade de 0.04 m/m .

Fórmulas a adotar:

$$\text{Forchheimer} \quad n = 0.013$$

$$\text{Bazin} \quad m = 0.16$$

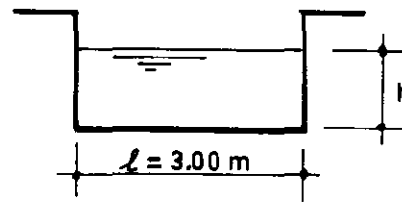


FIG. 3

Tem-se: **Forchheimer:**

$$C = \frac{1}{n} = \frac{1}{0.013} = 77$$

$$12.7 = 19.42 \text{ (quadro III)}$$

$$Q_o = \frac{Q}{l^{2.7}} = \frac{36}{19.42} = 1.852 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$S_o R_o^3 = \frac{Q_o}{C \sqrt{T}} = \frac{1.852}{77 \times 0.2} = 0.1202$$

da tabela 1, vem: $h_o = 0.358 \text{ m}$;
 $h = l h_o = 3.00 \times 0.358 = 1.074 \text{ m}$

Bazin:

$$S_o R_o^3 = 0.1202; \text{ da tabela 1: } R_o = 0.209 \text{ m}$$

logo:

$$\sqrt{R_o} = 0.457 \text{ e } M = \frac{87}{1.73 \times 0.457 - 0.16} = 91.5$$

$$S_o R_o = \frac{36}{91.5 \times 0.2 \times 27} = 0.0729$$

Novamente na tabela 1, acha-se,

$$a = 1:$$

$$R_o = 0.207 \text{ (praticamente igual ao arbitrado)}$$

$$h_o = 0.353 \text{ m}$$

e, finalmente:

$$h = l h_o = 3.00 \times 0.353 = 1.06 \text{ m}$$

b) Determinar o tirante na seção parabólica da figura 4, conhecendo-se:

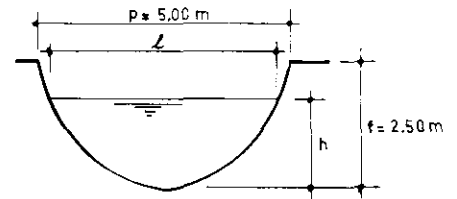


FIG. 4

$$Q = 20 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$l = 0.01 \text{ m/m}$$

$$n = 0.02 \text{ (Manning)}$$

$$p = 5.00 \text{ m}$$

$$f = 2.50 \text{ m}$$

Tem-se:

$$Q_o h_o^{2+a} = \frac{Q}{(p^2/f)^2 + a} = \frac{20}{(25/2.5)^2 + 0.67} = 0.0431$$

$$S_o R_o h_o^{2+a} = \frac{Q_o h_o^{2+a}}{C \sqrt{T}} = \frac{0.0431}{1/0.02 \sqrt{0.01}} = 0.00863$$

Na tabela 7:

$$h_o = 0.411 \text{ m}$$

logo:

$$l = \frac{h_o}{p^2} = 25 \frac{0.411}{2.5} = 4.11 \text{ m}$$

Donde:

$$h = l h_o = 4.11 \times 0.411 = 1.69 \text{ m}$$

c) Determinar o tirante da seção triangular da figura 5, sendo:

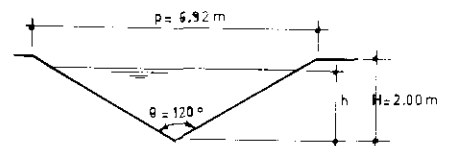


FIG. 5

$$Q = 25 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$l = 0.01 \text{ m/m}$$

$$\theta = 120^\circ$$

$$n = 0.02 \text{ (Manning)}$$

$$H = 2.00 \text{ m}$$

$$p = 6.92 \text{ m}$$

Pela fórmula de **Manning:**

$$C = \frac{1}{n} = \frac{1}{0.020} = 50$$

CONDUTOS LIVRES

na tabela 6:

$$S_u R_u^a = 0.0361 = \frac{Q_o}{C \sqrt{I}} ; h_u = 0.289 \text{ m}$$

$$l^{8/3} = \frac{Q}{Q_o} = \frac{25.0}{0.1805} = 138.5$$

no quadro III:

$$l = 6.35 \text{ m}$$

portanto:

$$h = l h_u = 6.35 \times 0.289 = 1.835 \text{ m}$$

d) Calcular as alturas de água no canal da figura 6, para as diversas declividades indicadas abaixo.

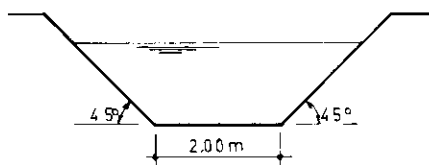


FIG. 6

$$Q = 50 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$n = 0.015 \text{ (Forchheimer)}$$

$$\text{ângulo dos taludes: } \theta = 45^\circ$$

$$\text{largura de fundo: } b = 2.00 \text{ m}$$

Declividades:

$$I_1 = 0.0030 \text{ m/m}$$

$$I_2 = 0.0008 \text{ m/m}$$

$$I_3 = 0.0190 \text{ m/m}$$

$$f = 2.50 \text{ m}$$

$$Q_o = \frac{Q}{12.7} ; \text{quadro III: } 12.7 = 22.7 = 6.498$$

$$\therefore Q_o = 50 \times 0.1 \times 0.0361 = 0.1805 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_o = \frac{50.0}{6.498} = 7.70 \text{ m}^3/\text{seg} \quad C = \frac{1}{n} = \frac{1}{0.015} = 66.7$$

$$I_1 = 0.0030 ; \sqrt{I_1} = 0.0546 ; \frac{Q_o}{C \sqrt{I_1}} = 2.11$$

$$I_2 = 0.0008 ; \sqrt{I_2} = 0.0283 ; \frac{Q_o}{C \sqrt{I_2}} = 4.07$$

$$I_3 = 0.0190 ; \sqrt{I_3} = 0.138 ; \frac{Q_o}{C \sqrt{I_3}} = 0.837$$

Da tabela 4, tira-se:

$$S_u R_u^a = 2.11 ; h_u = 1.276 \text{ m} ; h_1 = 2 \times 1.276 = 2.55 \text{ m}$$

$$S_u R_u^a = 4.07 ; h_u = 1.733 \text{ m} ; h_2 = 2 \times 1.733 = 3.47 \text{ m}$$

$$S_u R_u^a = 0.837 ; h_u = 0.8046 \text{ m} ; h_3 = 2 \times 0.8046 = 1.609 \text{ m}$$

4.2 Determinação da altura crítica

a) Calcular a altura e a declividade críticas para um canal de seção retangular, com vazão de $Q = 4.5 \text{ m}^3/\text{seg}$ e largura de 3.00 m .

Para $\alpha = 1.00$, tem-se:

$$\text{Quadro III: } b^2.5 = 32.5 = 15.589$$

$$Q_{oc} = \frac{Q_c}{b^2.5} = \frac{4.50}{15.59} = 0.289 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\text{tabela 2: } h_{oc} = 0.2038 \text{ m; logo: } h_c = 3.00 \times 0.2038 = 0.611 \text{ m}$$

Para a declividade crítica, tem-se, usando a fórmula de Manning com $n = 0.012$:

$$\sqrt{I} = \frac{Q_o}{C S_u R_u^a}$$

$$Q_o = 0.240 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C = \frac{1}{0.012} = 83.4$$

Para $h_{oc} = 0.2038 \text{ m}$, tira-se da tabela 1:

$$S_u R_u^a = 0.0564$$

Logo:

$$\sqrt{I} = \frac{0.240}{83.4 \times 0.0564} = 0.0697 ; I = 0.0026 \text{ m/m}$$

Para um valor de α constante, vem:
 $C = 83.4 \quad \text{logo } \alpha = 1.08$

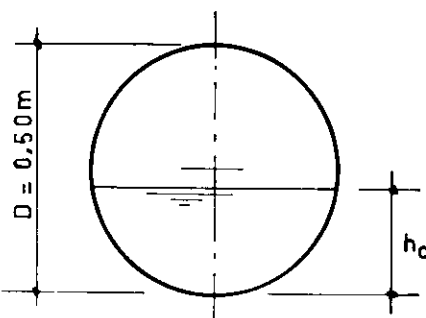
$$Q_{oc} = \frac{Q_c}{b^2.5} \sqrt{\alpha} = \frac{4.5}{15.59} \times \sqrt{1.08} = 0.300 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

na tabela 2:

$$h_{oc} = 0.209 \text{ m}$$

$$\therefore h_c = 3.00 \times 0.209 = 0.627 \text{ m}$$

b) Calcular a altura e a declividade críticas para a seção circular da figura, com uma vazão de $0.1 \text{ m}^3/\text{seg}$.



$$D = 500 \text{ mm} = 0.50 \text{ m}$$

$$C = 80 \text{ (Forchheimer)}$$

Para $\alpha_o = 1.00$:

$$Q_{oc} = \frac{Q_c}{D} = \frac{0.100}{0.1768} = 0.566$$

tabela 8:

$$h_{oc} = 0.425 \text{ m}$$

Logo:

$$h_c = 0.5 \times 0.425 = 0.213 \text{ m}$$

Para

$$\alpha = 1.08 \text{ (C = 80), vem:}$$

$$Q_{oc} = \frac{0.100}{0.1768} \times \sqrt{1.08} = 0.587 \text{ m}^3/\text{seg}$$

tabela 8:

$$h_{oc} = 0.433 \text{ m}$$

$$\therefore h_c = 0.5 \times 0.433 = 0.217 \text{ m}$$

a declividade crítica será:

$$S_u R_u^a = 0.1138 ; Q_{oc} = 0.635 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$\sqrt{I} = \frac{0.635}{80 \times 0.1138} = 0.0697 ; I = 0.00487 \text{ m/m}$$

4.3 Cálculo da vazão

Calcular a vazão para o canal retangular indicado na figura 7.

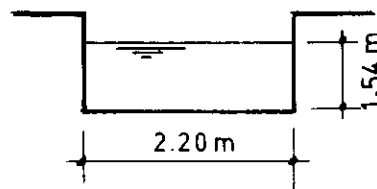


FIG. 7

$$n = 0.0125 \text{ (Manning)}$$

$$I = 0.0016 \text{ m/m}$$

$$h = 1.54 \text{ m}$$

$$b = 2.20 \text{ m}$$

Tem-se:

$$h_u = \frac{h}{l} = \frac{1.54}{2.20} = 0.70 \text{ m}$$

na Tabela 1:

$$S_u R_u^a = 0.308$$

logo:

$$Q_c = C \sqrt{I} S_u R_u^a = 80 \times 0.04 \times 0.308 = 0.985 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q = l^{8/3} Q_c = 8.19 \times 0.985 = 8.06 \text{ m}^3/\text{seg}$$

5. BIBLIOGRAFIA

- (1) Tourasse, E. — Determinação do Tirante de Água nos Condutos Livres, I E S — GB, 1965.
- Addison, H. — A Treatise on Applied Hydraulics, London, 1948.
- Azevedo Netto, J.M. — Manual de Hidráulica, S. Paulo, 1957.
- Bakhmeteff, Boris A. — Hidráulica de los Canales, trad. por Mariano de La Hoz, Madrid.
- Forchheimer, Ph. — Tratado de Hidráulica, trad. por M. Lucini, Barcelona, 1950.
- Rouse, Hunter — Elementary Mechanics of Fluids, N. York, 1957.
- Rouse, Hunter — Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, N. York, 1938.
- Trindade Neves, E. — Curso de Hidráulica, P. Alegre, 1960.

QUADRO I
VALORES DE n E DE m

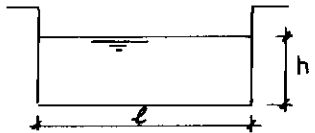
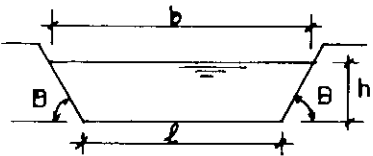
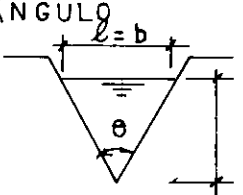
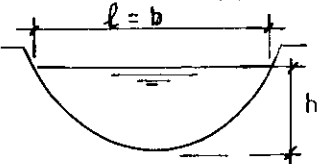
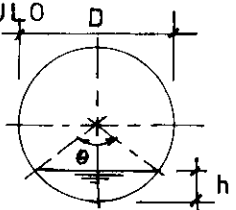
NATUREZA DAS PAREDES	n — Condições			m
	Muito Boas	Boas	Regulares	
Tubos de ferro fundido sem revestimento	0.012	0.013	0.014	0.23
Idem com revestimento de alcatrão	0.011	0.013	0.015	0.16
Tubos de ferro galvanizado	0.013	0.014	0.015	
Tubos de bronze ou vidro	0.009	0.010	0.011	0.06
Condutos de barro vitrificado para esgotos	0.011	0.013	0.015	0.16
Condutos de barro para drenagem	0.011	0.012	0.014	
Tubos de concreto	0.012	0.013	0.015	0.18
Alvenaria de tijolos com argamassa	0.012	0.013	0.015	0.16
Superfície de argamassa de cimento	0.011	0.012	0.013	
Cimento alisado	0.010	0.011	0.012	0.16
Condutos de aduelas de madeira	0.010	0.011	0.12	0.06
Calha de pranchas de madeira aplainada	0.010	0.012	0.013	0.10
Idem não aplainada	0.011	0.013	0.014	0.46
Idem com pranchões	0.012	0.015	0.016	0.36
Canais com revestimento de concreto	0.012	0.014	0.016	0.36
Alvenaria de pedra aparelhada	0.013	0.014	0.015	0.23
Aâvenaria de pedra argamassada	0.017	0.020	0.025	0.36
Alvenaria de pedra seca	0.025	0.030	0.033	0.46
Calhas metálicas lisas	0.011	0.012	0.013	0.16
Calhas metálicas corrugadas	0.0225	0.025	0.0275	1.00

Canais de terra, retílineos e uniformes	0.017	0.020	0.0225	0.85
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes	0.025	0.030	0.033	1.30
Canais abertos em rocha, irregulares	0.035	0.040	0.045	1.75
Canais curvilíneos e lamosos	0.0225	0.025	0.0275	
Canais com leito pedregoso e vegetação nos taludes	0.028	0.030	0.033	1.30
Canais com fundo de terra e taludes empedrados				

VALORES DE m

Categoria	NATUREZA DAS PAREDES	m
1.ª	Canais e tubos muito lisos	0.06
2.ª	Condutos comuns; coletores de esgoto	0.16
3.ª	Alvenaria de pedra bruta	0.46
4.ª	Paredes mistas (parte revestida e parte s/revest.)	0.85
5.ª	Canais em terra	1.30
6.ª	Canais com grande resistência ao escoamento	1.75

QUADRO II
ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DAS SEÇÕES TRANSVERSAIS DOS CANAIS

SEÇÃO TRANSVERSAL	TIRANTE D'ÁGUA	ÁREA MOLHADA	PERÍMETRO MOLHADO	RAIO HIDRÁULICO
RETÂNGULO 	h	$S = lh$	$P = l + 2h$	$R = \frac{lh}{l + 2h}$
TRAPÉZIO 	h	$S = h \left(l + \frac{b}{\operatorname{tg} \theta} \right)$	$P = l + \frac{2h}{\operatorname{sen} \theta}$	$R = \frac{S}{P}$
TRIÂNGULO 	h	$S = \frac{lh}{2} = h^2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$	$P = \frac{2h}{\cos \frac{\theta}{2}}$	$R = \frac{h}{2} \operatorname{sen} \frac{\theta}{2}$
PARÁBOLA equa $\left(\frac{l}{2}\right)^2 = 2kh$ 	$h = \frac{l^2}{6k}$	$S = \frac{2}{3}lh$	$P = \frac{l}{2k} \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + K^2} + K \log \frac{\frac{l}{2} + \sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + K^2}}{K}$	$R = \frac{S}{P}$
CÍRCULO 	$h = \frac{D}{2} \left(1 - \cos \frac{\theta}{2} \right)$	$S = \frac{D^2}{4} \left[\frac{\pi \theta}{360} - \frac{\operatorname{sen} \theta}{2} \right]$	$P = \pi D \frac{\theta}{360}$	$R = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{360}{\theta} \frac{\operatorname{sen} \theta}{2\pi} \right)$

QUADRO III
POTENCIAS 2.5, 8/3 e 2.7 DOS NÚMEROS

N	N2.5	N8/3	N2.7	N	N2.5	N8/3	N2.7	N	N2.5	N8/3	N2.7	N	N2.5	N8/3	N2.7
0.050	0.000559	0.000340	0.000307	1.35	2.118	2.226	2.249	2.90	14.322	17.103	17.721	6.80	120.6	166.0	176.9
0.075	0.001540	0.001000	0.000918	1.40	2.319	2.453	2.481	2.95	14.947	17.901	18.557	7.00	129.6	179.3	191.3
0.100	0.003162	0.002154	0.001995	1.45	2.532	2.694	2.727	3.00	15.589	18.721	19.419	7.50	154.0	215.5	230.5
0.125	0.005524	0.003906	0.003645	1.50	2.756	2.948	2.988	3.10	16.920	20.436	21.216	8.00	181.0	256.0	274.4
0.150	0.008714	0.006352	0.005963	1.55	2.991	3.218	3.265	3.20	18.318	22.237	23.116	8.50	210.6	300.9	323.2
0.175	0.01281	0.009581	0.009040	1.60	3.238	3.502	3.557	3.30	19.783	24.139	25.118	9.00	243.0	350.5	377.1
0.200	0.01789	0.01369	0.01297	1.65	3.497	3.802	3.865	3.40	21.316	26.140	27.227	9.50	278.2	404.9	436.4
0.225	0.02401	0.01873	0.01782	1.70	3.768	4.116	4.190	3.50	22.918	28.240	29.444	10	316.2	464.2	501.2
0.250	0.03125	0.02480	0.02368	1.75	4.051	4.448	4.531	3.60	24.590	30.450	31.769	11	401.3	598.5	648.3
0.257	0.03966	0.03198	0.03063	1.80	4.347	4.794	4.889	3.70	26.333	32.751	34.209	12	498.8	754.8	820.0
0.30	0.04929	0.04033	0.03875	1.85	4.655	5.158	5.265	3.80	28.149	35.164	36.763	13	609.3	934.4	1018
0.35	0.07247	0.06084	0.05875	1.90	4.976	5.538	5.658	3.90	30.037	37.686	39.433	14	733.3	1139	1243
0.40	0.1012	0.08686	0.08425	1.95	5.310	5.935	6.069	4.00	32.000	40.319	42.224	15	871.4	1369	1498
0.45	0.1358	0.1189	0.1158	2.00	5.657	6.350	6.498	4.10	34.038	43.063	45.135	16	1024	1626	1783
0.50	0.1768	0.1575	0.1539	2.05	6.017	6.782	6.946	4.20	36.151	45.922	48.170	17	1192	1911	2100
0.55	0.2243	0.2031	0.1991	2.10	6.391	7.232	7.413	4.30	38.342	48.896	51.330	18	1375	2226	2450
0.60	0.2789	0.2561	0.2518	2.15	6.778	7.701	7.899	4.40	40.610	51.986	54.616	19	1574	2571	2836
0.65	0.3406	0.3170	0.3125	2.20	7.179	8.187	8.405	4.50	42.957	55.198	58.032	20	1789	2948	3257
0.70	0.4100	0.3863	0.3817	2.25	7.593	8.693	8.931	4.60	45.383	58.530	61.581	22	2270	3800	4212
0.75	0.4871	0.4643	0.4599	2.30	8.023	9.218	9.477	4.70	47.890	61.986	65.263	24	2822	4793	5328
0.80	0.5724	0.5515	0.5474	2.35	8.466	9.762	10.044	4.80	50.478	65.563	69.080	26	3447	5933	6613
0.85	0.6661	0.6483	0.6448	2.40	8.923	10.326	10.631	4.90	53.148	69.273	73.037	28	4149	7230	8079
0.90	0.7684	0.7550	0.7524	2.45	9.395	10.910	11.240	5.00	55.901	73.104	77.129	30	4929	8690	9732
0.95	0.8796	0.8722	0.8706	2.50	9.882	11.513	11.870	5.20	61.661	81.164	85.743	35	7247	13110	14760
1.00	1.000	1.000	1.000	2.55	10.384	12.137	12.522	5.40	67.762	89.752	94.940	40	10120	18720	21160
1.05	1.130	1.139	1.141	2.60	10.900	12.783	13.195	5.60	74.211	98.901	104.7	50	17680	33940	38660
1.10	1.269	1.289	1.294	2.65	11.432	13.449	13.893	5.80	81.016	108.6	115.2	60	27890	55180	63240
1.15	1.418	1.452	1.458	2.70	11.979	14.136	14.611	6.00	88.181	118.9	126.2	70	41000	83240	95890
1.20	1.577	1.627	1.636	2.75	12.541	14.844	15.353	6.20	95.715	129.7	137.9	80	57240	118800	137500
1.25	1.747	1.813	1.827	2.80	13.119	15.576	16.119	6.40	103.6	141.2	150.2	90	76840	162700	189100
1.30	1.927	2.013	2.031	2.85	13.712	16.328	16.907	6.60	112.0	153.3	163.2	100	100000	215500	251200

TABELA 1
SEÇÃO RETANGULAR

h _u	S _u	R _u	S _u R _u ^a			h _u	S _u	R _u	S _u R _u ^a		
			a = 2/3	a = 0.7	a = 1.0				a = 2/3	a = 0.7	a = 1.0
(m)	(m ²)	(m)				(m)	(m ²)	(m)			
0.01	0.01	0.00980	0.000458	0.000393	0.000098	1.10	1.10	0.3438	0.5398	0.5209	0.3781
0.02	0.02	0.01923	0.001435	0.001258	0.000385	1.15	1.15	0.3485	0.5695	0.5498	0.4008
0.03	0.03	0.02830	0.002786	0.002474	0.000849	1.20	1.20	0.3529	0.5993	0.5789	0.4235
0.04	0.04	0.03704	0.004444	0.003982	0.001481	1.25	1.25	0.3571	0.6295	0.6080	0.4464
0.05	0.05	0.04546	0.006368	0.005745	0.002273	1.30	1.30	0.3611	0.6592	0.6372	0.4694
0.06	0.06	0.05357	0.008526	0.007734	0.003214	1.35	1.35	0.3649	0.6893	0.6665	0.4926
0.07	0.07	0.06140	0.01089	0.009928	0.004298	1.40	1.40	0.3684	0.7195	0.6959	0.5158
0.08	0.08	0.06897	0.01345	0.01231	0.005517	1.45	1.45	0.3718	0.7497	0.7254	0.5391
0.09	0.09	0.07627	0.01619	0.01486	0.006864	1.50	1.50	0.3750	0.7800	0.7549	0.5625
0.10	0.10	0.08333	0.01908	0.01756	0.008333	1.55	1.55	0.3781	0.8104	0.7845	0.5860
0.15	0.15	0.1154	0.03555	0.03308	0.01731	1.60	1.60	0.3810	0.8408	0.8142	0.6095
0.20	0.20	0.1429	0.05466	0.05122	0.02857	1.65	1.65	0.3837	0.8712	0.8439	0.6331
0.25	0.25	0.1667	0.07571	0.07133	0.04167	1.70	1.70	0.3864	0.9018	0.8737	0.6568
0.30	0.30	0.1875	0.09827	0.09294	0.05625	1.75	1.75	0.3889	0.9323	0.9035	0.6806
0.35	0.35	0.2059	0.1220	0.1158	0.07206	1.80	1.80	0.3913	0.9629	0.9333	0.7043
0.40	0.40	0.2222	0.1467	0.1396	0.08889	1.85	1.85	0.3936	0.9936	0.9632	0.7282
0.45	0.45	0.2368	0.1723	0.1642	0.1066	1.90	1.90	0.3958	1.024	0.9931	0.7521
0.50	0.50	0.2500	0.1984	0.1895	0.1250	1.95	1.95	0.3980	1.055	1.023	0.7760
0.55	0.55	0.2619	0.2251	0.2153	0.1440	2.00	2.00	0.4000	1.086	1.053	0.8000
0.60	0.60	0.2727	0.2523	0.2416	0.1636	2.10	2.10	0.4039	1.147	1.113	0.8481
0.65	0.65	0.2826	0.2799	0.2684	0.1837	2.20	2.20	0.4074	1.209	1.173	0.8963
0.70	0.70	0.2917	0.3079	0.2955	0.2042	2.30	2.30	0.4107	1.271	1.234	0.9446
0.75	0.75	0.3000	0.3361	0.3229	0.2250	2.40	2.40	0.4138	1.333	1.294	0.9931
0.80	0.80	0.3077	0.3646	0.3506	0.2462	2.50	2.50	0.4167	1.395	1.355	1.042
0.85	0.85	0.3148	0.3933	0.3785	0.2676	3.00	3.00	0.4286	1.705	1.658	1.286
0.90	0.90	0.3214	0.4223	0.4066	0.2893	3.50	3.50	0.4375	2.017	1.962	1.531
0.95	0.95	0.3276	0.4514	0.4339	0.3112	4.00	4.00	0.4444	2.330	2.267	1.778
1.00	1.00	0.3333	0.4807	0.4635	0.3333	4.50	4.50	0.4500	2.642	2.573	2.025
1.05	1.05	0.3387	0.5102	0.4921	0.3556	5.00	5.00	0.4546	2.956	2.879	2.273

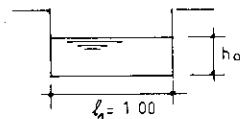


TABELA 2
SEÇÃO RETANGULAR
VALORES DA VAZÃO CRÍTICA UNITÁRIA — $\alpha = 1.00$

h	S _u	R _u	Vazão Crítica	h	S _u	R _u	Vazão Crítica	h	S _u	R _u	Vazão Crítica
			$\alpha = 1.00$ Q _{u,c} (m ³ /seg)				$\alpha = 1.00$ Q _{u,c} (m ³ /seg)				$\alpha = 1.00$ Q _{u,c} (m ³ /seg)
(m)	(m ²)	(m)		(m)	(m ²)	(m)		(m)	(m ²)	(m)	
0.01	0.01	0.00980	0.003132	0.65	0.65	0.2826	1.641	1.65	1.65	0.3837	6.638
0.02	0.02	0.01923	0.008859	0.70	0.70	0.2917	1.834	1.70	1.70	0.3864	6.943
0.03	0.03	0.02830	0.01628	0.75	0.75	0.3000	2.034	1.75	1.75	0.3889	7.251
0.04	0.04	0.03704	0.02506	0.80	0.80	0.3077	2.241	1.80	1.80	0.3913	7.564
0.05	0.05	0.04506	0.03502	0.85	0.85	0.3148	2.455	1.85	1.85	0.3936	7.881
0.06	0.06	0.05357	0.04603	0.90	0.90	0.3214	2.674	1.90	1.90	0.3958	8.203
0.07	0.07	0.06140	0.05801	0.95	0.95	0.3276	2.900	1.95	1.95	0.3980	8.529
0.08	0.08	0.06897	0.07087	1.00	1.00	0.3333	3.132	2.00	2.00	0.4000	8.859
0.09	0.09	0.07627	0.08457	1.05	1.05	0.3387	3.370	2.10	2.10	0.4039	9.532
0.10	0.10	0.08333	0.09905	1.10	1.10	0.3438	3.614	2.20	2.20	0.4074	10.220
0.15	0.15	0.1154	0.1820	1.15	1.15	0.3485	3.863	2.30	2.30	0.4107	10.925
0.20	0.20	0.1429	0.2801	1.20	1.20	0.3529	4.117	2.40	2.40	0.4138	11.645
0.25	0.25	0.1667	0.3915	1.25	1.25	0.3571	4.377	2.50	2.50	0.4167	12.381
0.30	0.30	0.1875	0.5147	1.30	1.30	0.3611	4.643	3.00	3.00	0.4286	16.275
0.35	0.35	0.2059	0.6486	1.35	1.35	0.3649	4.913	3.50	3.50	0.4375	20.509
0.40	0.40	0.2222	0.7924	1.40	1.40	0.3684	5.189	4.00	4.00	0.4444	25.057
0.45	0.45	0.2368	0.9455	1.45	1.45	0.3718	5.469	4.50	4.50	0.4500	29.899
0.50	0.50	0.2500	1.107	1.50	1.50	0.3750	5.754	5.00	5.00	0.4546	35.018
0.55	0.55	0.2619	1.278	1.55	1.55	0.3781	6.044				
0.60	0.60	0.2727	1.456	1.60	1.60	0.3810	6.339				

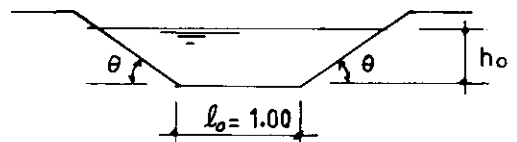


TABELA 3
SEÇÃO TRAPEZOIDAL
FÓRMULA DE BAZIN — $\alpha = 1.0$
VALORES DE S_o, R_o^3

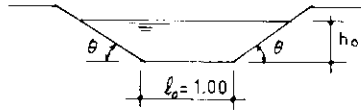
h_o (m)	$\theta = 15^\circ$			$\theta = 30^\circ$			$\theta = 45^\circ$			$\theta = 60^\circ$			$\theta = 75^\circ$		
	S_o (m ²)	R_o (m)	$S_o R_o^3$	S_o (m ²)	R_o (m)	$S_o R_o^3$	S_o (m ²)	R_o (m)	$S_o R_o^3$	S_o (m ²)	R_o (m)	$S_o R_o^3$	S_o (m ²)	R_o (m)	$S_o R_o^3$
0.010	0.01037	0.00963	0.000100	0.01017	0.00978	0.000100	0.01010	0.00982	0.000099	0.01006	0.00983	0.000099	0.01003	0.00982	0.000099
0.025	0.02733	0.02291	0.000626	0.02608	0.02371	0.000618	0.02563	0.02393	0.000613	0.02536	0.02398	0.000608	0.02517	0.02393	0.000602
0.050	0.05933	0.04280	0.002539	0.05433	0.04528	0.002460	0.05250	0.04600	0.002415	0.05144	0.04612	0.002372	0.05067	0.04592	0.002327
0.075	0.09599	0.06077	0.005834	0.08474	0.06519	0.005524	0.08063	0.06652	0.005363	0.07825	0.06670	0.005219	0.07651	0.06622	0.005067
0.10	0.1373	0.07746	0.01064	0.1173	0.08380	0.009831	0.1100	0.08575	0.009432	0.1058	0.08593	0.009089	0.1027	0.08506	0.008734
0.15	0.2340	0.1084	0.02535	0.1890	0.1181	0.02232	0.1725	0.1211	0.02089	0.1630	0.1211	0.01973	0.1560	0.1191	0.01858
0.20	0.3493	0.1372	0.04792	0.2693	0.1496	0.04028	0.2400	0.1533	0.03679	0.2231	0.1526	0.03404	0.2107	0.1490	0.03140
0.25	0.4833	0.1648	0.07965	0.3583	0.1791	0.06417	0.3125	0.1831	0.05721	0.2861	0.1814	0.05189	0.2668	0.1758	0.04689
0.30	0.6359	0.1916	0.1219	0.4559	0.2072	0.09447	0.3900	0.2110	0.08228	0.3520	0.2079	0.07318	0.3241	0.1999	0.06480
0.40	0.9971	0.2437	0.2430	0.6771	0.2604	0.1763	0.5600	0.2627	0.1471	0.4924	0.2559	0.1260	0.4469	0.2444	0.1092
0.50	1.433	0.2946	0.4222	0.9330	0.3110	0.2902	0.7500	0.3107	0.2330	0.6443	0.2990	0.1927	0.5670	0.2786	0.1580
0.60	1.944	0.3448	0.6702	1.224	0.3599	0.4403	0.9600	0.3559	0.3417	0.8079	0.3386	0.2736	0.6965	0.3106	0.2163
0.75	2.849	0.4193	1.195	1.724	0.4311	0.7433	1.313	0.4205	0.5519	1.075	0.3934	0.4228	0.9007	0.3528	0.3178
1.00	4.732	0.5422	2.566	2.732	0.5464	1.493	2.000	0.5224	1.045	1.577	0.4766	0.4518	1.268	0.4130	0.5236
1.25	7.081	0.6643	4.704	3.956	0.6594	2.609	2.813	0.6201	1.744	2.152	0.5537	1.192	1.669	0.4651	0.7760
1.50	9.897	0.7860	7.780	5.397	0.7710	4.161	3.750	0.7153	2.682	2.799	0.6270	1.755	2.103	0.5122	1.077
1.75	13.179	0.9075	11.960	7.054	0.8818	6.221	4.813	0.8089	3.893	3.518	0.6979	2.455	2.571	0.5560	1.429
2.00	16.928	1.029	17.415	8.928	0.9920	8.857	6.000	0.9013	5.408	4.309	0.7670	3.305	3.072	0.5975	1.835
2.50	25.825	1.271	32.825	13.325	1.211	16.142	8.750	1.084	9.486	6.108	0.9018	5.509	4.175	0.6759	2.822
3.00	36.588	1.513	55.359	18.588	1.430	26.579	12.000	1.265	15.181	8.196	1.034	8.473	5.412	0.7504	4.061

TABELA 4

SEÇÃO TRAPEZOIDAL

Fórmula de Manning — $\alpha = 2/3$
 Fórmula de Forchheimer — $\alpha = 0.7$

VALORES DE S_u, R_u^a

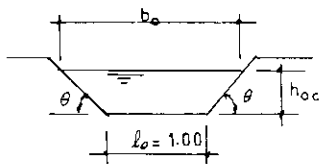


h_u (m)	$\theta = 15^\circ$		$\theta = 30^\circ$		$\theta = 45^\circ$		$\theta = 60^\circ$		$\theta = 75^\circ$	
	$a = 2/3$	$a = 0.7$	$a = 2/3$	$a = 0.7$	$a = 2/3$	$a = 0.7$	$a = 2/3$	$a = 0.7$	$a = 2/3$	$a = 0.7$
0.010	0.000469	0.000402	0.000465	0.000399	0.000463	0.00397	0.000462	0.000396	0.000460	0.000394
0.025	0.002204	0.001944	0.002153	0.001900	0.002128	0.001879	0.002109	0.001862	0.002090	0.001845
0.050	0.007258	0.006535	0.006901	0.006225	0.006739	0.006082	0.006615	0.005971	0.006497	0.005863
0.075	0.01484	0.01352	0.01373	0.01253	0.01324	0.01209	0.01287	0.01176	0.01252	0.01144
0.10	0.02495	0.02291	0.02247	0.02068	0.02139	0.01971	0.02059	0.01898	0.01986	0.01829
0.15	0.05318	0.40938	0.04549	0.04236	0.04222	0.03936	0.03988	0.03718	0.03776	0.03518
0.20	0.09292	0.08697	0.07588	0.07123	0.06874	0.06457	0.06370	0.05984	0.05923	0.05559
0.25	0.1453	0.1368	0.1138	0.1075	0.1007	0.09521	0.09166	0.08659	0.08370	0.07899
0.30	0.2114	0.2000	0.1596	0.1515	0.1382	0.1312	0.1235	0.1172	0.1108	0.1050
0.40	0.3891	0.3712	0.2761	0.2640	0.2297	0.2197	0.1985	0.1897	0.1747	0.1667
0.50	0.6345	0.6092	0.4283	0.4119	0.3440	0.3309	0.2881	0.2768	0.2419	0.2318
0.60	0.9556	0.9223	0.6190	0.5983	0.5524	0.4658	0.3925	0.3786	0.3194	0.3072
0.75	1.596	1.551	0.9839	0.9568	0.7367	0.7157	0.5771	0.5594	0.4497	0.4344
1.00	3.146	3.083	1.826	1.790	1.297	1.270	0.9625	0.9390	0.7032	0.6827
1.25	5.391	5.319	2.997	2.956	2.045	2.013	1.451	1.423	1.002	0.9764
1.50	8.430	8.362	4.538	4.499	2.999	2.966	2.050	2.019	1.346	1.317
1.75	12.353	12.313	6.487	6.460	4.178	4.148	2.768	2.735	1.738	1.704
2.00	17.251	17.268	8.881	8.878	5.599	5.579	3.611	3.579	2.179	2.142
2.50	30.303	30.546	15.142	15.239	9.234	9.259	5.702	5.682	3.215	3.174
3.00	48.226	48.892	22.688	22.915	14.037	14.147	8.380	8.389	4.469	4.426

TABELA 5

SEÇÃO TRAPEZOIDAL

VALORES DA VAZÃO CRÍTICA UNITÁRIA — $\alpha = 1.00$



h_u (m)	$\theta = 15^\circ$		$\theta = 30^\circ$		$\theta = 45^\circ$		$\theta = 60^\circ$		$\theta = 75^\circ$	
	R_u (m)	Q_{uc} (m ³ /seg)	R_u (m)	Q_{uc} (m ³ /seg)	R_u (m)	Q_{uc} (m ³ /seg)	R_u (m)	Q_{uc} (m ³ /seg)	R_u (m)	Q_{uc} (m ³ /seg)
0.010	0.00963	0.003192	0.00978	0.003159	0.00982	0.003148	0.00983	0.003141	0.00982	0.003136
0.025	0.02291	0.01299	0.02371	0.01266	0.02393	0.01254	0.02398	0.01247	0.02393	0.01242
0.050	0.04280	0.03845	0.04528	0.03662	0.04600	0.03593	0.04612	0.03553	0.04592	0.03526
0.075	0.06077	0.07410	0.06519	0.06884	0.06652	0.06686	0.06670	0.06577	0.06622	0.06499
0.10	0.07746	0.1206	0.08380	0.1085	0.08575	0.1043	0.08593	0.1020	0.08506	0.1004
0.15	0.1084	0.2435	0.1181	0.2087	0.1211	0.1968	0.1211	0.1903	0.1191	0.1857
0.20	0.1372	0.4095	0.1496	0.3364	0.1533	0.3112	0.1526	0.2975	0.1490	0.2879
0.25	0.1648	0.6215	0.1791	0.4917	0.1831	0.4468	0.1814	0.4222	0.1758	0.4052
0.30	0.1916	0.8824	0.2072	0.6752	0.2110	0.6031	0.2079	0.5636	0.1999	0.5364
0.40	0.2437	1.562	0.2604	1.130	0.2627	0.9784	0.2559	0.8951	0.2444	0.8421
0.50	0.2946	2.470	0.3110	1.708	0.3107	1.439	0.2990	1.290	0.2786	1.188
0.60	0.3448	3.626	0.3599	2.416	0.3559	1.986	0.3386	1.748	0.3106	1.584
0.75	0.4193	5.864	0.4311	3.739	0.4205	2.979	0.3934	2.555	0.3528	2.261
1.00	0.5422	11.08	0.5464	6.695	0.5224	5.115	0.4766	4.227	0.4130	3.609
1.25	0.6643	18.36	0.6594	10.68	0.6201	7.897	0.5537	6.326	0.4651	5.225
1.50	0.7860	27.93	0.7710	15.78	0.7153	11.37	0.6270	8.874	0.5122	7.112
1.75	0.9075	39.96	0.8818	22.08	0.8089	15.59	0.6979	11.89	0.5560	9.273
2.00	1.029	54.66	0.9920	29.68	0.9013	20.59	0.7670	15.40	0.5975	11.72
2.50	1.271	92.71	1.211	49.02	1.084	33.10	0.9018	23.99	0.6759	17.47
3.00	1.513	143.3	1.430	74.36	1.265	49.21	1.034	34.79	0.7504	24.42

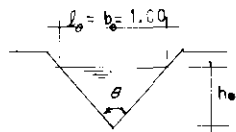


TABELA 6
SEÇÃO TRIANGULAR

Fórmulas de: Manning $\alpha = 2/3$ $l_0 = b_0 = 1.00$ m
 Forchheimer $\alpha = 0.7$
 Bazin $\alpha = 1.0$

H	h ₀ (m)	S ₀ (m ²)	R ₀ (m)	S ₀ , R ₀ ^a			Vazão Crítica $\alpha = 1.00$ Q _{cr} (m ³ /seg)
				a = 2/3	a = 0.7	a = 1.0	
10	5.714	2.857	0.2493	1.131	1.080	0.7116	15.128
15	3.798	1.899	0.2419	0.7495	0.7154	0.4707	8.196
20	2.836	1.418	0.2462	0.5569	0.5315	0.3491	5.288
25	2.256	1.128	0.2441	0.4405	0.4203	0.2752	3.751
30	1.866	0.9330	0.2415	0.3618	0.3444	0.2253	2.823
35	1.586	0.7929	0.2384	0.3048	0.2906	0.1891	2.211
40	1.374	0.6839	0.2349	0.2615	0.2491	0.1614	1.783
45	1.207	0.6036	0.2310	0.2272	0.2164	0.1394	1.469
50	1.072	0.5361	0.2266	0.1993	0.1897	0.1215	1.230
60	0.8660	0.4330	0.2165	0.1561	0.1484	0.09375	0.8925
70	0.7140	0.3570	0.2048	0.1241	0.1177	0.07312	0.6682
80	0.5958	0.2979	0.1915	0.09897	0.09367	0.05706	0.5093
90	0.5000	0.2500	0.1768	0.07876	0.07434	0.04420	0.3915
100	0.4196	0.2098	0.1607	0.06200	0.05834	0.03371	0.3009
110	0.3502	0.1751	0.1434	0.04796	0.04496	0.02510	0.2294
120	0.2886	0.1443	0.1250	0.03608	0.03367	0.01804	0.1718
130	0.2332	0.1166	0.1057	0.02607	0.02419	0.01232	0.1247
140	0.1820	0.09100	0.0855	0.01766	0.01627	0.00778	0.08598
150	0.1340	0.06699	0.0647	0.01080	0.00986	0.00434	0.05431

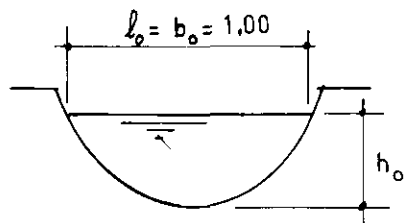


TABELA 7 (1.ª PARTE)
SEÇÃO PARABÓLICA

Fórmulas de: Manning $\alpha = 2/3$
 Forchheimer $\alpha = 0.7$
 Bazin $\alpha = 1.0$

Equação da parábola: $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = 2 k h$

H ₀ (m)	S ₀ , R ₀ , h ₀ ^a			Q _{cr} · h ₀ ^{2.5}
	a = 2/3	a = 0.7	a = 1.0	
0.010	0.1096 · 10 ⁻³	0.7962 · 10 ⁻³	0.4400 · 10 ⁻³	1.710 · 10 ⁻³
0.025	0.5801 · 10 ⁻⁷	0.4478 · 10 ⁻⁷	0.4330 · 10 ⁻⁷	6.661 · 10 ⁻⁷
0.050	1.169 · 10 ⁻⁶	0.9419 · 10 ⁻⁶	0.1380 · 10 ⁻⁶	1.065 · 10 ⁻⁶
0.075	6.719 · 10 ⁻⁶	5.580 · 10 ⁻⁶	1.039 · 10 ⁻⁶	5.393 · 10 ⁻⁶
0.10	2.320 · 10 ⁻⁵	1.962 · 10 ⁻⁵	4.332 · 10 ⁻⁵	1.705 · 10 ⁻⁵
0.15	1.319 · 10 ⁻⁴	1.144 · 10 ⁻⁴	3.192 · 10 ⁻⁴	8.631 · 10 ⁻⁴
0.20	4.475 · 10 ⁻⁴	3.952 · 10 ⁻⁴	1.295 · 10 ⁻³	0.002728
0.25	0.001142	0.001023	3.782 · 10 ⁻³	0.006659
0.30	0.002437	0.002205	8.967 · 10 ⁻³	0.01381
0.40	0.007923	0.007281	0.003412	0.04365
0.50	0.01944	0.01808	0.009391	0.1066
0.60	0.04005	0.03759	0.02113	0.2210
0.70	0.07328	0.06924	0.04150	0.4094
0.80	0.1231	0.1170	0.07393	0.6983
0.90	0.1937	0.1851	0.1223	1.119
1.00	0.2900	0.2782	0.1913	1.705
1.10	0.4167	0.4017	0.2858	2.496
1.20	0.5802	0.5603	0.4114	3.534
1.30	0.7839	0.7600	0.5734	4.870
1.40	1.037	1.008	0.7809	6.549
1.50	1.344	1.310	1.039	8.632
1.60	1.705	1.666	1.355	11.14
1.70	2.146	2.103	1.739	14.24
1.80	2.658	2.608	2.199	17.90
1.90	3.252	3.198	2.743	22.22
2.00	3.937	3.377	3.382	27.28
2.10	4.720	4.658	4.128	33.16
2.20	5.611	5.546	4.989	39.94
2.30	6.618	6.551	5.978	47.71
2.40	7.750	7.683	7.106	56.56
2.50	9.016	8.951	8.388	66.60
3.00	17.70	17.68	17.55	138.1

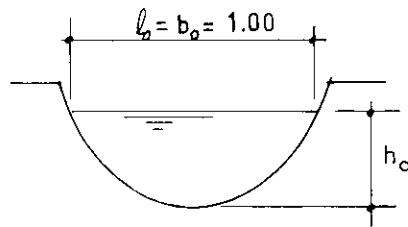


TABELA 7 (2.ª PARTE)
SEÇÃO PARABÓLICA

Fórmulas de: Manning — $\alpha = 2/3$
 Forchheimer — $\alpha = 0.7$
 Bazin — $\alpha = 1.0$

Equação da parábola: $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = 2 k h$

h ₀ (m)	S ₀ (m ²)	R ₀ (m)	S ₀ , R ₀			Vazão Crítica α = 1.00 Q _{cr} (m ³ /seg)
			a = 2/3	α = 0.7	a = 1.0	
0.010	0.00667	0.0667	0.00236	0.000200	0.0000444	0.00171
0.025	0.01667	0.01664	0.001086	0.000948	0.000277	0.00674
0.050	0.03333	0.03311	0.003437	0.003068	0.001104	0.01906
0.075	0.05000	0.04927	0.006719	0.006078	0.002463	0.03502
0.10	0.06667	0.06497	0.01077	0.009836	0.004332	0.05391
0.15	0.1000	0.09459	0.02076	0.01919	0.009459	0.09905
0.20	0.1333	0.1214	0.03269	0.03047	0.01619	0.1525
0.25	0.1667	0.1452	0.04604	0.04318	0.02420	0.2131
0.30	0.2000	0.1661	0.06042	0.05691	0.03321	0.2801
0.40	0.2667	0.2000	0.09118	0.08642	0.05442	0.4313
0.50	0.3333	0.2254	0.1234	0.1175	0.07513	0.6028
0.60	0.4000	0.2446	0.1564	0.1493	0.09784	0.7924
0.70	0.4667	0.2593	0.1897	0.1814	0.1210	0.9985
0.80	0.5333	0.2707	0.2232	0.2137	0.1444	1.220
0.90	0.6000	0.2797	0.2566	0.2460	0.1678	1.456
1.00	0.6667	0.2869	0.2900	0.2782	0.1913	1.705
1.10	0.7333	0.2928	0.3233	0.3104	0.2147	1.967
1.20	0.8000	0.2976	0.3566	0.3425	0.2381	2.241
1.30	0.8667	0.3012	0.3894	0.3742	0.2610	2.527
1.40	0.9333	0.3049	0.4228	0.4064	0.2846	2.824
1.50	1.000	0.3078	0.4558	0.4383	0.3078	3.132
1.60	1.067	0.3102	0.4869	0.4703	0.3309	3.452
1.70	1.133	0.3123	0.5214	0.5018	0.3540	3.779
1.80	1.200	0.3141	0.5545	0.5335	0.3770	4.117
1.90	1.267	0.3157	0.5873	0.5652	0.3999	4.465
2.00	1.333	0.3171	0.6200	0.5967	0.4228	4.822
2.10	1.400	0.3183	0.6527	0.6283	0.4457	5.188
2.20	1.467	0.3194	0.6854	0.6598	0.4685	5.564
2.30	1.533	0.3204	0.7179	0.6912	0.4913	5.947
2.40	1.600	0.3213	0.7505	0.7227	0.5140	6.339
2.50	1.667	0.3221	0.7831	0.7541	0.5368	6.740
3.00	2.000	0.3250	0.9454	0.9107	0.6500	8.859

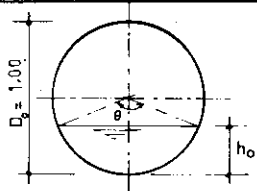


TABELA 8
SEÇÃO CIRCULAR
 Fórmulas de: Manning — $\alpha = 2/3$
 Forchheimer — $\alpha = 0.7$
 Bazin — $\alpha = 1.0$

$D_o = 1.00 \text{ m}$

h_o (m)	S_o (m ²)	R_o (m)	$S_o R_o^a$			Vazão Crítica $\alpha = 1.00$ Q_{oc} (m ³ /seg)
			$a = 2/3$	$a = 0.7$	$a = 1.0$	
0.025	0.0053	0.0165	0.000340	0.000297	0.0000875	0.002163
0.050	0.0147	0.0326	0.001502	0.001340	0.000479	0.008456
0.075	0.0268	0.0482	0.003533	0.003193	0.001292	0.01895
0.100	0.0409	0.0635	0.006485	0.005916	0.002597	0.03341
0.125	0.0567	0.0784	0.01040	0.009558	0.004445	0.05199
0.150	0.0739	0.0929	0.01514	0.01399	0.006865	0.07446
0.175	0.0923	0.1070	0.02085	0.01935	0.009876	0.1008
0.200	0.1118	0.1206	0.02726	0.02541	0.01348	0.1309
0.225	0.1323	0.1338	0.03463	0.03239	0.01770	0.1649
0.250	0.1535	0.1466	0.04266	0.04001	0.02250	0.2024
0.275	0.1756	0.1590	0.05259	0.04847	0.02792	0.2439
0.300	0.1982	0.1709	0.06108	0.05758	0.03387	0.2887
0.325	0.2214	0.1825	0.07118	0.06726	0.04041	0.3371
0.350	0.2450	0.1935	0.08196	0.07760	0.04741	0.3889
0.375	0.2691	0.2041	0.09313	0.08832	0.05492	0.4443
0.400	0.2934	0.2142	0.1050	0.09982	0.06285	0.5029
0.425	0.3180	0.2239	0.1172	0.1116	0.07120	0.5649
0.450	0.3428	0.2331	0.1298	0.1240	0.07991	0.6302
0.475	0.3677	0.2417	0.1427	0.1362	0.08887	0.6988
0.500	0.3927	0.2500	0.1558	0.1488	0.09818	0.7708
0.525	0.4177	0.2576	0.1690	0.1618	0.1076	0.8461
0.550	0.4426	0.2649	0.1825	0.1748	0.1172	0.9246
0.575	0.4674	0.2716	0.1960	0.1877	0.1269	1.007
0.600	0.4920	0.2776	0.2092	0.2007	0.1366	1.092
0.625	0.5164	0.2829	0.2226	0.2136	0.1461	1.181
0.650	0.5404	0.2881	0.2358	0.2261	0.1557	1.274
0.675	0.5641	0.2926	0.2485	0.2386	0.1651	1.371
0.700	0.5872	0.2962	0.2608	0.2507	0.1739	1.472
0.725	0.6099	0.2990	0.2727	0.2619	0.1824	1.579
0.750	0.6318	0.3017	0.2840	0.2730	0.1906	1.690
0.775	0.6531	0.3035	0.2950	0.2835	0.1982	1.809
0.800	0.6736	0.3042	0.3045	0.2926	0.2049	1.936
0.825	0.6931	0.3042	0.3135	0.3012	0.2108	2.073
0.850	0.7115	0.3033	0.3212	0.3088	0.2158	2.224
0.875	0.7287	0.3013	0.3275	0.3145	0.2196	2.396
0.900	0.7445	0.2980	0.3324	0.3194	0.2219	2.595
0.925	0.7586	0.2933	0.3348	0.3217	0.2225	2.854
0.950	0.7707	0.2869	0.3349	0.3212	0.2211	3.210
0.975	0.7801	0.2761	0.3307	0.3173	0.2154	3.862
1.000	0.7854	0.2500	0.3117	0.2976	0.1964	∞