

Cálculo da descarga através de Bueiro de Seção Circular

PROF. JACK C. HWANG*

* Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

1 — INTRODUÇÃO

O termo "bueiro", em engenharia, é aplicado a um tubo subterrâneo de curta extensão, que tem por finalidade drenar a água de canais, que seria represada devido à presença de obstáculos, tais como uma rodovia ou estrada de ferro.

O conhecimento sobre a hidráulica de bueiro é necessário para engenheiros de estradas, interessados em projetos de bueiros, e para engenheiros hidráulicos, interessados em avaliar a descarga através dos mesmos, especialmente quando a vazão de pico acontece e o método convencional para medição de descarga não pode ser aplicado. Diversas investigações, teóricas e experimentais, sobre a hidráulica dos bueiros foram feitas nos últimos vinte anos.

Baseado nos resultados dessas investigações, o autor apresenta o assunto de maneira unificada e dá um roteiro matemático para o cálculo da descarga através de um bueiro circular. Algumas das figuras e tabelas originalmen-

te apresentadas por autores antigos têm sido transformadas do sistema britânico ao sistema métrico. Assim, o leitor pode calcular a descarga seguindo os procedimentos apresentados neste trabalho, usando o sistema métrico. O procedimento geral de cálculo também é válido para bueiros não circulares, porém, devem-se usar outras tabelas e figuras, de acordo com a geometria do bueiro.

2 — DESCRIÇÃO DO ESCOAMENTO NO BUEIRO

As características do escoamento em um bueiro decorrem de um grande número de variáveis, tais como a geometria interna, declividade, dimensão física, rugosidade, condições de entrada e saída etc.

O escoamento em uma seção a montante do bueiro é usualmente tranquilo e razoavelmente uniforme. Dentro do bueiro, entretanto, o escoamento pode ser subcrítico, crítico e supercrítico, conforme este esteja parcial ou totalmente cheio e sob pressão.

A Figura 1 dá uma visão do aspecto físico do sistema associado ao escoamento no bueiro.

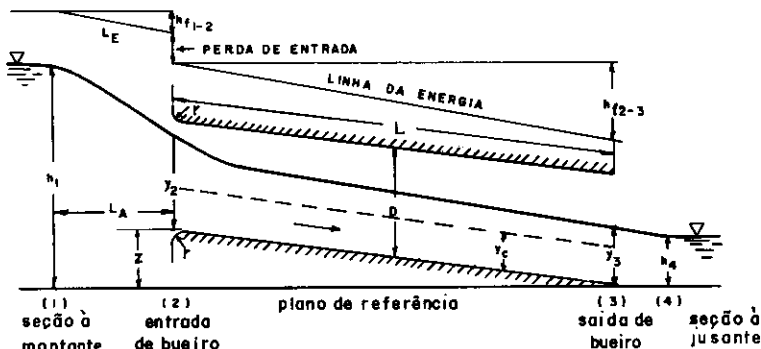


FIG. 1 — Aspecto físico associado ao escoamento de bueiro.

DESCARGA

Por conveniência de cálculo, o escoamento em um bueiro pode ser classificado em seis tipos (Chow, 1959), conforme a localização da seção de controle e os níveis da água a mon-

tante e a jusante do bueiro.

Os seis tipos de escoamento são ilustrados na Figura 2 e a identificação de cada tipo pode ser obtida na Tabela 1.

TABELA 1

Classificação dos Tipos de Escoamento*

Tipos de Escoamento	Escoamento dentro do bueiro	Saída	$\frac{h_1 - Z}{D}$	$\frac{h_1}{h_c}$	$\frac{h_1}{D}$	Declividade do bueiro
1	cheio	submersa	$> 1,0$	—	$> 1,0$	—
2	cheio	não submer.	$\geq 1,5$	—	$\geq 1,0$	—
3	parc. cheio	não submer.	$\geq 1,5$	—	$\geq 1,0$	—
4	parc. cheio	não submer.	$< 1,5$	$< 1,0$	$\geq 1,0$	$S_o > S_c$
5	parc. cheio	não submer.	$< 1,5$	$< 1,0$	$\geq 1,0$	$S_o > S_c$
6	parc. cheio	não submer.	$< 1,5$	$> 1,0$	$\geq 1,0$	—

* Ver Figura 1 e lista de simbologia para definição dos símbolos.

A fórmula de descarga para cada tipo de escoamento pode ser obtida pela aplicação da equação da continuidade e da equação da energia, entre a seção a montante e uma seção

dentro do bueiro. O leitor pode consultar os trabalhos de French, Rodhain e Straub, etc., para maiores detalhes.

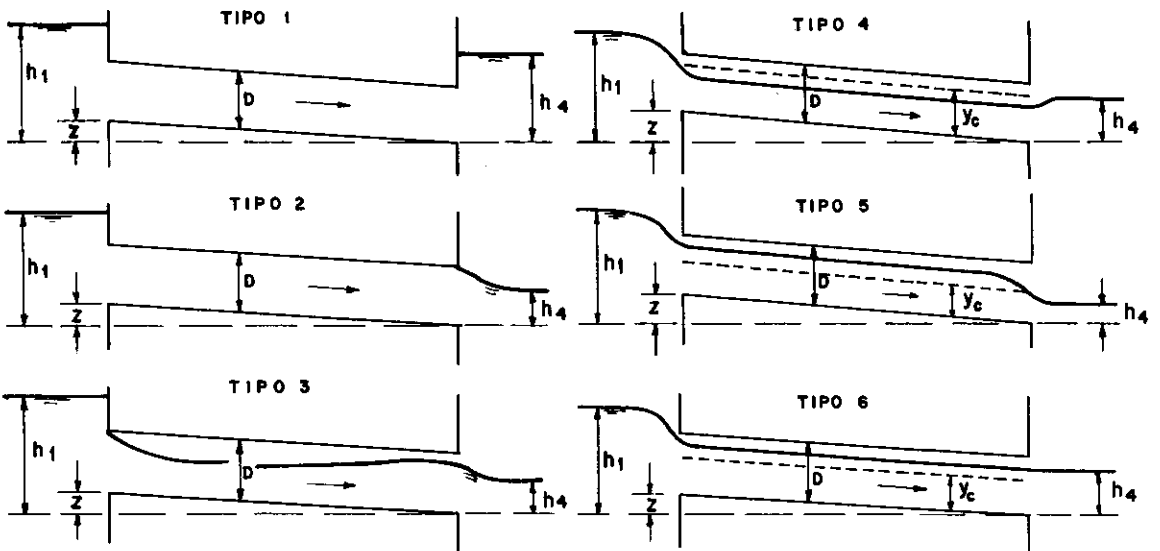


Fig. 2 — Perfis longitudinais de escoamentos através de bueiro

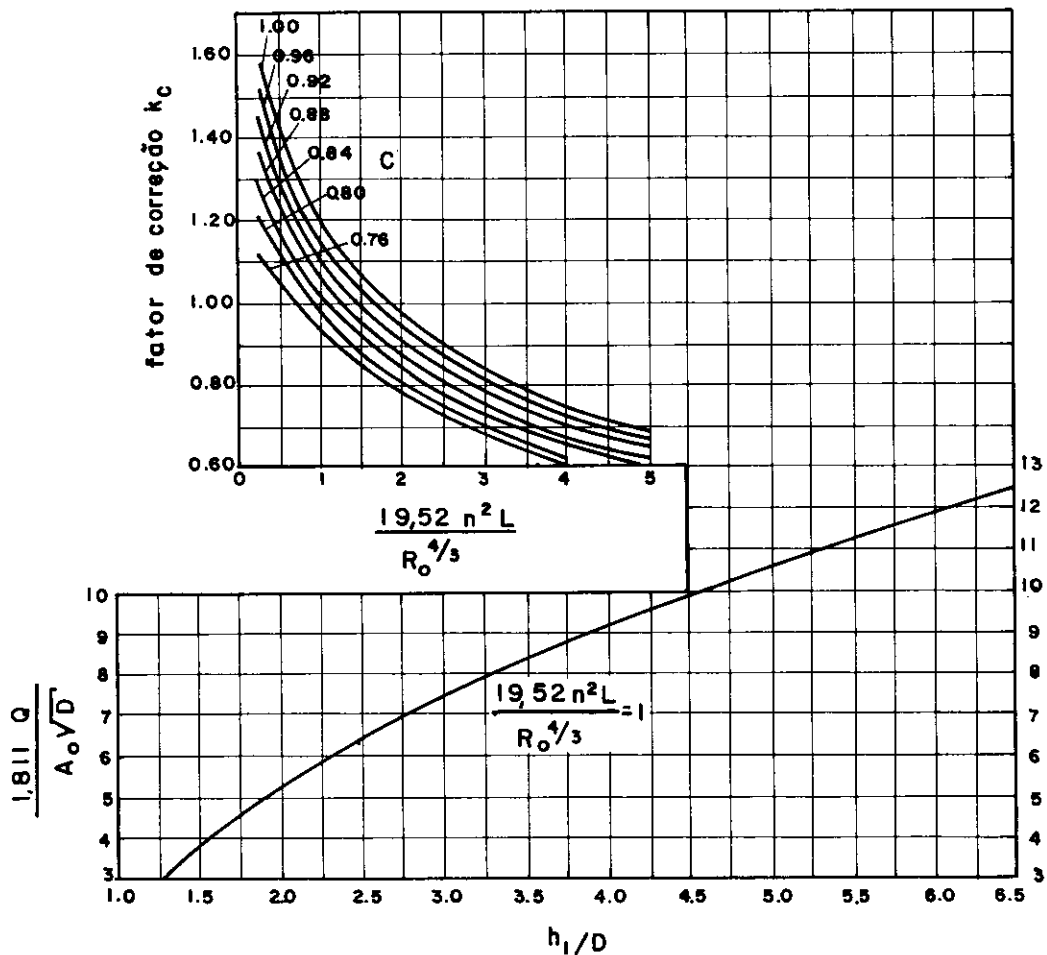


Fig. 3— Relação entre carga e vazão para o escoamento tipo 2
(Ver Bodhain, 1968)

Entretanto, vale notar que algumas grandezas dessas fórmulas não são obtidas diretamente. Por esta razão está utilizado o método das tentativas, necessário para calcular a descarga pelo bueiro.

3 — DADOS DE CAMPO

Os dados de campo podem ser divididos em três grupos: geometria do bueiro, seção a montante e seção a jusante.

3.1 — Geometria do Bueiro

Devem-se obter detalhes completos das dimensões do bueiro, incluindo diâmetro (D), forma (circular, retangular etc.), raio de arredondamento da borda (r), comprimento (L) e declividade (S_0). Especificar o material de que é feito o bueiro (concreto, metal etc.) e suas condições (novo, velho etc.). Registrar o valor

de "n", parâmetro de rugosidade de "Manning" (ver King, 1954).

3.2 — Seção a Montante

Normalmente necessita-se especificar uma seção a montante. Mas, se a área desta seção é maior ou igual a cinco vezes a área transversal do bueiro, pode-se supor igual a zero a velocidade de escoamento naquela seção. Neste caso, não é requerida uma seção a montante.

A elevação do nível da água a montante do bueiro tem que ser medida. No caso de inundação, a marca do nível da água ao longo da margem do canal deve ser registrada.

3.3 — Seção a Jusante

Obter os níveis a jusante ao longo da margem do canal, excluindo os níveis do jato

DESCARGA

à saída do bueiro, que podem ser mais elevados do que os de jusante.

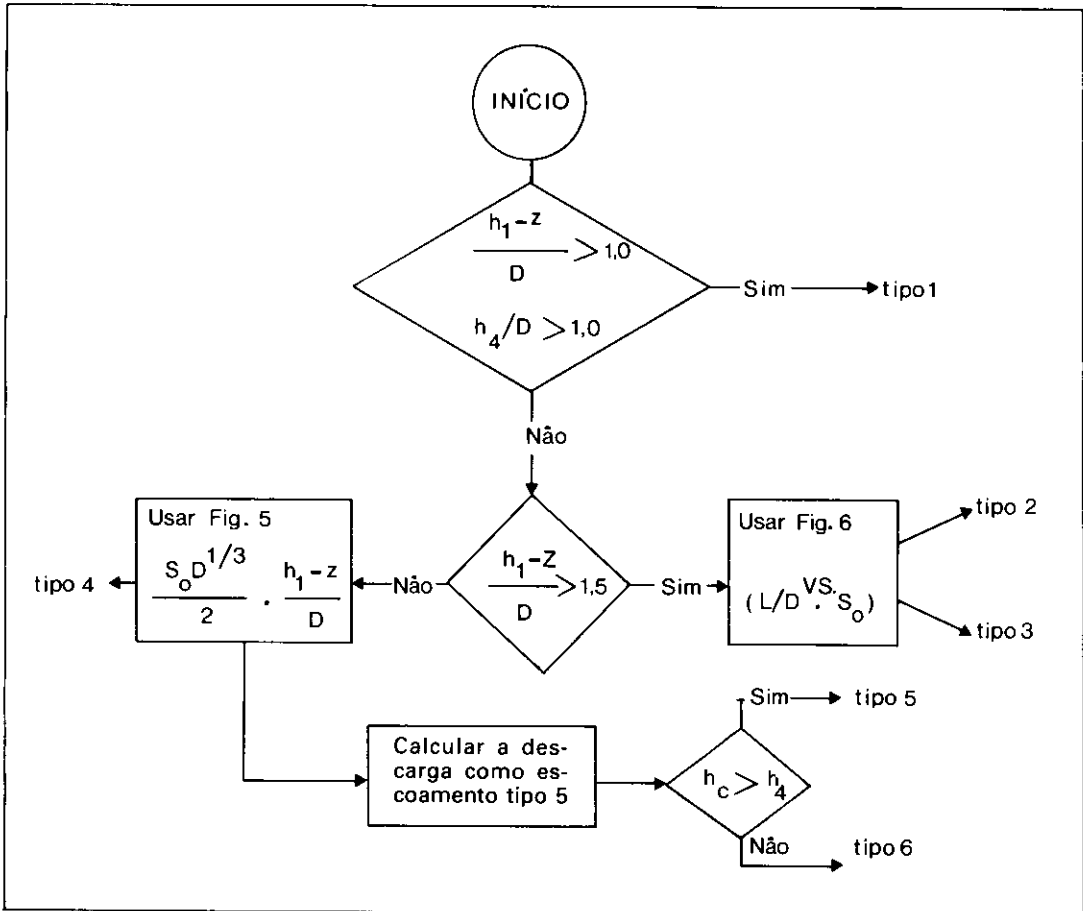
escoamento, cálculo da descarga e verificação dos resultados obtidos.

4 — CALCULO DA DESCARGA

O cálculo da descarga envolve três etapas importantes, a saber: identificação do tipo de

4.1 — Identificação do Tipo de Escoamento

O tipo de escoamento pode ser identificado conforme o diagrama seguinte:



4.2 — Cálculo da Descarga

Tipo 1

Calcular a descarga diretamente da expressão:

$$Q = C \cdot A_o \sqrt{\frac{2g (h_1 - h_4)}{1 + \frac{19,52 n^2 L}{R_o^{4/3}}}} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

onde C é o coeficiente de descarga que pode ser obtido da tabela 2. A_o e R_o são, respectivamente, a área e o raio hidráulico para bueiro cheio.

TABELA 2

Coefficientes de Descarga para Tipos 1 e 2 (Straub, 1954)

r/D	C
0,00	0,84
0,02	0,88
0,04	0,91
0,06	0,94
0,08	0,96
0,10	0,97
0,12	0,98

Tipo 2

a) Selecionar o coeficiente de descarga, C, da Tabela 2.

b) Da Figura 3, determinar o valor de $1,811 Q / (A_o \sqrt{D})$ correspondente a $19,52 n^2 L / R_o^{4/3} = 1$

c) Calcular o valor de $19,52 n^2 L / R_o^{4/3}$ para o bueiro em questão.

d) Da Figura 3, usando o valor obtido da relação $19,52 n^2 L / R_o^{4/3}$ e o coeficiente C, determinar o fator de correção k_c .

e) Multiplicar o valor de $1,811 Q / (A_o \sqrt{D})$, do item b), pelo valor de k_c do item d), obtendo-se assim um valor corrigido da relação $1,811 Q / (A_o \sqrt{D})$.

f) Determinar Q, da relação obtida no item e).

Tipo 3

Calcular a descarga diretamente da expressão:

$$Q = C A_o \sqrt{2g (h_1 - Z)}$$

onde o coeficiente de descarga C, pode ser obtido da Tabela 3.

TABELA 3

Coeficientes de Descarga para Tipo 3.

$(h_1 - Z)/D$	C	$(h_1 - Z)/D$	C
1,4	0,48	2,0	0,57
1,5	0,50	2,5	0,59
1,6	0,52	3,0	0,61
1,7	0,53	3,5	0,63
1,8	0,55	4,0	0,65
1,9	0,56	5,0	0,66

Tipo 4

a) Obter o valor de C da Tabela 4

b) Obter y_c/D da Figura 4

c) Calcular a descarga crítica (Q_c) da Tabela 4, usando o valor da relação y_c/D .

d) Calcular A_c e k_c da Tabela 4

e) Calcular $V_1^2/2g$

f) Calcular $Q_c^2 \cdot L_a$

$$h_{f_{1-2}} = \frac{Q_c^2 \cdot L_a}{K_1 \cdot K_c}$$

(perda de carga entre seções 1 e 2)

g) Calcular a descarga a partir da fórmula

$$Q = C A_c \sqrt{2g [h_1 - Z + (V_1^2/2g) - y_c - h_{f_{1-2}}]}$$

h) Se o valor calculado de Q não coincidir com o valor estimado no item c), tentar um outro valor de y_c/D e repetir a seqüência dos itens c) a g).

Tipo 5

Do item a) ao c) proceder como no tipo 4

d) Calcular

$$\frac{Q_c^2}{C^2 (h_1 - Z) D^4}$$
 e da figura 7 obter y_2/D e y_2

e) Calcular $\frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}$ e $h_{f_{1-2}}$

f) Calcular K_2 e K_c da tabela 4

g) Calcular $h_{f_{2-3}} = \frac{Q_c^2 L}{K_2 K_c}$

h) Calcular

$$H = h_1 + \frac{1}{2g} V_1^2 - h_{f_{1-2}} - h_{f_{2-3}}$$

i) Calcular valor do item h)/D

j) Usando o valor obtido no item i), determinar y_c/D da figura 4

k) Calcular Q_c , da tabela 4

l) Calcular $Q_c^2 [2g C^2 (h_1 - Z) D^4]$ e da figura 7 obter y_2/D e y_2

m) Calcular K_2 , K_c e A_c da tabela 4

n) Calcular $h_{f_{2-3}} = \frac{Q_c^2 L}{K_2 K_c}$

o) Calcular

$$Q = C A_c \sqrt{2g (h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} - y_c - h_{f_{1-2}} - h_{f_{2-3}})}$$

p) Se o valor calculado de Q não coincidir com o valor de Q_c do item k), tentar um outro valor de y_c/D e repetir as operações de k) a p).

Tipo 6

a) Calcular A_3 e K_3 da tabela 4 e estimar o valor de $h_{f_{1-2}}$

De b) até d) proceder como nos itens a)

a) do tipo 4.

e) Assumir um valor para Q

f) Assumir um valor para y_2

g) Calcular A_2 da tabela 4

h) Calcular $\frac{V_2^2}{2g C^2} = \frac{(Q/A_2)^2}{2g C^2}$

i) A igualdade seguinte precisa ser verificada:

$$y + \frac{V_2^2}{2g C^2} = h_1 - Z + \frac{V_1^2}{2g} - h_{f_{1-2}}$$

Se isto não acontecer, repetir a seqüência de e) a h)

j) Calcular K_2 da tabela 4

l) Calcular $h_{f_{2-3}} = \frac{Q^2 L}{K_2 K_3}$

TABELA 4

Coeficientes C_k , C_q , C_a para tubos de seção circular parcialmente cheios

y/D	C_k	C_q	C_a	y/D	C_k	C_q	C_a
0,01	0,000046	0,0003	0,0013	0,51	0,161112	0,8000	0,4027
0,02	0,000207	0,0014	0,0037	0,52	0,166362	0,8303	0,4127
0,03	0,000503	0,0030	0,0069	0,53	0,172015	0,8613	0,4227
0,04	0,000926	0,0054	0,0105	0,54	0,176995	0,8922	0,4327
0,05	0,001499	0,0084	0,0147	0,55	0,182371	0,9242	0,4426
0,06	0,002207	0,0121	0,0192	0,56	0,187830	0,9568	0,4526
0,07	0,003076	0,0165	0,0242	0,57	0,193348	0,9894	0,4625
0,08	0,004045	0,0215	0,0294	0,58	0,198867	1,0230	0,4724
0,09	0,005216	0,0271	0,0350	0,59	0,203982	1,0572	0,4822
0,10	0,006501	0,0334	0,0409	0,60	0,209635	1,0915	0,4920
0,11	0,007941	0,0404	0,0470	0,61	0,214817	1,1268	0,5018
0,12	0,009556	0,0471	0,0534	0,62	0,219931	1,1627	0,5115
0,13	0,011306	0,0561	0,0600	0,63	0,225181	1,1991	0,5212
0,14	0,013123	0,0649	0,0668	0,64	0,230363	1,2361	0,5308
0,15	0,015142	0,0744	0,0739	0,65	0,235612	1,2792	0,5404
0,16	0,017296	0,0845	0,0811	0,66	0,240861	1,3118	0,5499
0,17	0,019584	0,0952	0,0885	0,67	0,246178	1,3504	0,5594
0,18	0,022007	0,1064	0,0961	0,68	0,250821	1,3902	0,5687
0,19	0,024631	0,1184	0,1039	0,69	0,256071	1,4305	0,5780
0,20	0,027257	0,1309	0,1118	0,70	0,260714	1,4719	0,5872
0,21	0,030015	0,1440	0,1199	0,71	0,266031	1,5133	0,5964
0,22	0,033044	0,1577	0,1281	0,72	0,270607	1,5563	0,6054
0,23	0,036139	0,1720	0,1365	0,73	0,275251	1,5999	0,6143
0,24	0,039437	0,1869	0,1449	0,74	0,279760	1,6441	0,6231
0,25	0,042667	0,2024	0,1535	0,75	0,284403	1,6899	0,6319
0,26	0,046099	0,2185	0,1623	0,76	0,288239	1,7363	0,6405
0,27	0,049801	0,2351	0,1711	0,77	0,292681	1,7838	0,6489
0,28	0,053300	0,2524	0,1800	0,78	0,297123	1,8329	0,6573
0,29	0,057070	0,2701	0,1890	0,79	0,300824	1,8832	0,6655
0,30	0,061040	0,2887	0,1982	0,80	0,304458	1,9351	0,6736
0,31	0,065145	0,3075	0,2074	0,81	0,308092	1,9886	0,6815
0,32	0,069115	0,3268	0,2167	0,82	0,311592	2,0438	0,6893
0,33	0,073220	0,3467	0,2260	0,83	0,315024	2,1012	0,6969
0,34	0,077730	0,3677	0,2355	0,84	0,318381	2,1609	0,7043
0,35	0,082104	0,3887	0,2450	0,85	0,320871	2,2238	0,7115
0,36	0,086343	0,4102	0,2546	0,86	0,324109	2,2895	0,7186
0,37	0,090852	0,4328	0,2642	0,87	0,326465	2,3585	0,7254
0,38	0,095631	0,4554	0,2739	0,88	0,328686	2,4325	0,7320
0,39	0,100140	0,4787	0,2836	0,89	0,330839	2,5114	0,7384
0,40	0,105053	0,5024	0,2934	0,90	0,332118	2,5948	0,7445
0,41	0,109764	0,5272	0,3032	0,95	0,333195	2,6887	0,7504
0,42	0,114542	0,5521	0,3130	0,92	0,334204	2,7936	0,7560
0,43	0,119791	0,5775	0,3229	0,93	0,334944	2,9095	0,7612
0,44	0,124771	0,6034	0,3328	0,94	0,335071	3,0475	0,7662
0,45	0,129953	0,6299	0,3428	0,95	0,334473	3,2076	0,7707
0,46	0,134731	0,6570	0,3527	0,96	0,334002	3,4119	0,7749
0,47	0,139981	0,6846	0,3627	0,97	0,332254	3,6824	0,7785
0,48	0,145365	0,6962	0,3727	0,98	0,329817	4,0910	0,7817
0,49	0,150412	0,7415	0,3827	0,99	0,324648	4,8749	0,7841
0,50	0,155930	0,7707	0,3927	1,00	0,311794	—	0,7854

$$k = C_k \frac{D^{8/3}}{\eta}$$

$$Q_c = C_q D^{5/2}$$

$$A = C_a D^2$$

TABELA 5

Coefficientes de Descarga para tipo 4, 5 e 6

r/D	$(h_1 - z)/D$					
	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4
0	0,930	0,925	0,915	0,880	0,860	0,830
0,02	0,967	0,962	0,952	0,915	0,894	0,863
0,04	1,004	0,999	0,988	0,950	0,929	0,896
0,06	1,042	1,036	1,025	0,986	0,963	0,930
0,08	1,079	1,073	1,061	1,021	0,998	0,963
0,10	1,097	1,092	1,080	1,038	1,015	0,979
0,12	1,107	1,101	1,089	1,047	1,023	0,988
0,14	1,116	1,110	1,098	1,056	1,032	0,996

m) Calcular

$$Q = C A_3 \sqrt{2g \left(h_1 + \frac{V_1^2}{2g} - h_3 - h_{f_{1-2}} - h_{f_{2-3}} \right)}$$

n) Se o valor calculado de Q não coincidir com o valor assumido no item g) repetir a seqüência de g) a m).

4.3 — Verificação dos Resultados Obtidos por Cálculo

A verificação não é necessária para os tipos 1, 2 e 3, mas os resultados encontrados para os tipos 4, 5 e 6 precisam ser verificados. Para tanto, usam-se os seguintes critérios:

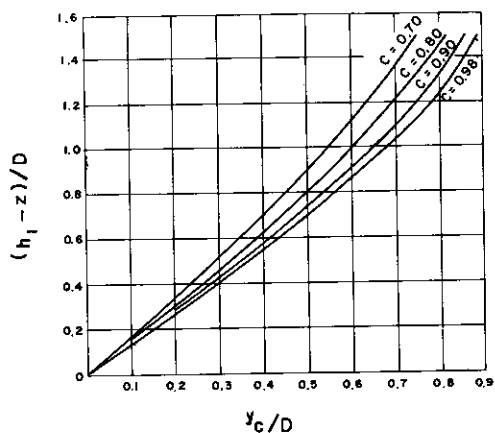


Fig. 4 - Relação entre carga e profundidade crítica (Ver Bodhain, 1963)

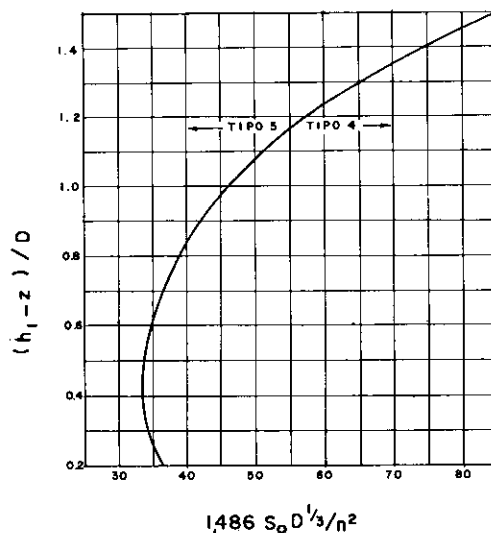


Fig. 5 - Critério para identificar os escoamentos tipo 5 e 6

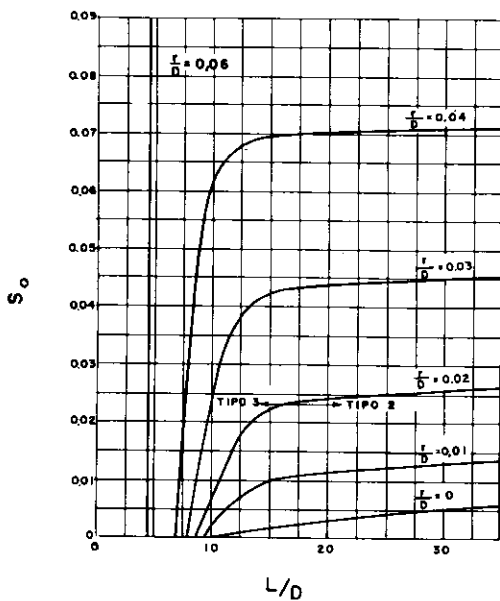


Fig. 6 - Critério para identificar os escoamentos tipo 2 e 3
(Ver Carter 1957)

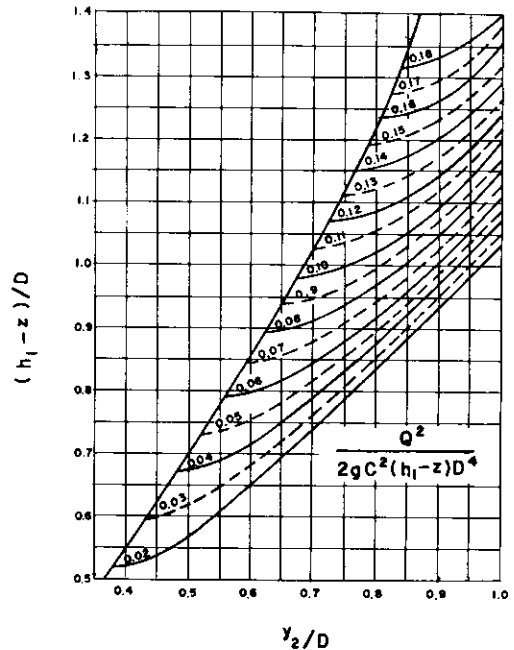
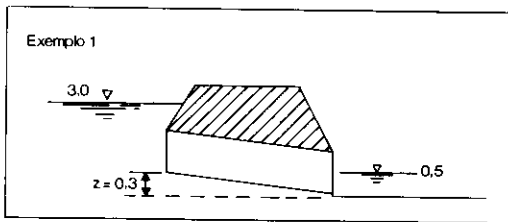


Fig. 7 - Relação entre carga e profundidade da água na seção de entrada para o escoamento tipo 5
(Ver Bodhain, 1963)

- Tipo 4 : $S_c < S_o$; $h_c > h_4$
- Tipo 5 : $S_o < S_c$; $h_c > h_4$
- Tipo 6 : $S_o < S_c$; $h_c < h_4$

EXEMPLOS



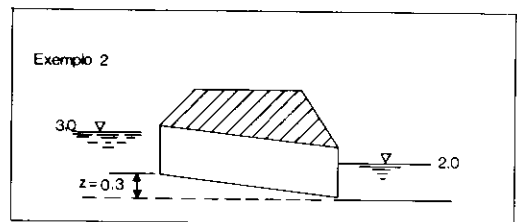
$h_1 = 3,0 \text{ m}$ $h_4 = 0,5 \text{ m}$ $z = 0,3 \text{ m}$
 $L = 20,00 \text{ m}$ $D = 1,22 \text{ m}$ $r/D = 0,06$
 $n = 0,015$

I. Identificação do tipo de escoamento

$(h_1 - Z)/D = (3,0 - 0,3)/1,22 = 2,21 > 1,5$
 $h_4/D = 0,5/1,22 = 0,41 < 1$
 $L/D = 20/1,22 = 16,39$
 $S_o = 0,3/20 = 0,015$
 $r/D = 0,06$
 da Figura 6 indica o escoamento tipo 2

II. Cálculo da Descarga

- (1). da tabela 2, $C = 0,94$
- (2). da figura 3, $1,811 Q/A_o \sqrt{D} = 6,4$
- (3). $19,52 n^2 L/R^{4/3} = 19,52 \times (0,015)^2 \times 20 / (0,305^{4/3}) = 0,428$
- (4). da figura 3, $k_c = 1,36$
- (5). $1,811 Q/(A_o \sqrt{D}) = 6,4 \times 1,36 = 8,70$
- (6). $Q = 8,7 A_o \sqrt{D} / 1,811 = 8,7 \times 3,14 \times (0,61)^2 \times 1,22 / 1,811 = 6,2 \text{ m}^3/\text{seg.}$



$h_1 = 3,00 \text{ m}$ $h_4 = 2,00 \text{ m}$ $z = 0,3 \text{ m}$
 $L = 20 \text{ m}$ $D = 3,05 \text{ m}$ $r/D = 0,02$
 $n = 0,015$

I. Identificação do Tipo de Escoamento

$(h_1 - Z)/D = (3 - 0,3)/3,05 = 0,885 < 1,5$

$h_3/D = 2,0/3,05 = 0,66 < 1$
 $S_o = 0,3/20 = 0,015$
 $1,486 S_o D^{1/3} / n^2 = 1,486 \times 0,015 \times$
 $\times (3,05)^{1/3} / (0,015)^2 = 143,6$
 da figura 5 indica o escoamento tipo 4

II. Cálculo da Descarga

- (1). da tabela 5, $C = 0,943$
- (2). da figura 4, $y_c/D = 0,62$; $y_c = 1,89$
- (3). da tabela 4, $Q_c = C_q D^{5/2} = 1,1627 \times$
 $\times (3,05)^{5/2} = 18,89 \text{ m}^3/\text{seg}.$
- (4). da tabela 4, $A_c = C_a D^2 = 0,5115 \times$
 $\times (3,05)^2 = 4,76 \text{ m}^2$
- (5). $V^2/2g \sim O$ (desprezível)
- (6). $h_{f_{1-2}} \sim O$ (desprezível)
- (7). $Q = C A_c \sqrt{2g (h_1 - Z +$
 $\frac{V_1^2/2g - y_c - h_{f_{1-2}}}{+ V_1^2/2g - y_c - h_{f_{1-2}}}$
 $= 0,943 \times 4,76 \times \sqrt{2 \times 9,81 \times (3 - 0,3 +$
 $\frac{0 - 1,89 - 0}{+ 0 - 1,89 - 0})} = 17,89 \text{ m}^3/\text{seg}$
- (8). O valor calculado de Q, caso não coincida com o valor estimado no item (3), tentar $y_c/D = 0,6$; $y_c = 1,83$
- (9). da tabela 4, $Q_c = C_q D^{5/2} = 1,0915 \times$
 $(3,05)^2 = 17,73$
- (10). da tabela 4, $A_c = C_a D^2 = 0,4920 \times$
 $(3,05)^{5/2} = 4,57$
- (11). $Q = C A_c \sqrt{2g (h_1 - Z + V_1^2/2g$
 $\frac{- y_c - h_{f_{1-2}}}{- y_c - h_{f_{1-2}}}$
 $= 0,943 \times 4,57 \sqrt{2 \times 9,81 (3,0 - 0,3 +$
 $\frac{0 - 1,83 - 0}{0 - 1,83 - 0})} = 17,83 \text{ m}^3/\text{seg}$
 (valor estimado no item (9) é $17,73 \text{ m}^3/\text{seg}$)

III. Verificação do resultado obtido por Cálculo

da tabela 4, $K = C_k D^{8/3} / n = 0,209635 \times$
 $\times (3,05)^{8/3} / 0,015 = 273,43$

$$S_c = \left(\frac{Q}{K_c} \right)^2 = \left(\frac{17,83}{273,43} \right)^2 = 0,00425 < S_o$$

$$h_c = y_c + Z = 1,83 + 0,3 = 2,13 > h_4 = 2,0$$

$S_c < S_o$ e $h_4 < h_c$ escoamento tipo 4 aprovado

LISTA DA SIMBOLOGIA

- A = área
 A_c = área na condição crítica
 A_o = área transversal do bueiro
 C = coeficiente de descarga
 C_q = coeficiente para calcular Q_c
 C_k = coeficiente para calcular K
 C_a = coeficiente para calcular A
 D = diâmetro do bueiro
 g = aceleração gravitacional
 H = carga total
 h_1 = altura da água na seção a montante
 h_4 = altura da água na seção a jusante
 $h_c = y_c + Z$ (tipo 4), $h_c = y_c$ (tipo 5)
 $h_{f_{1-2}}$ = perda de carga entre seção 1 e 2
 $h_{f_{2-3}}$ = perda de carga entre seção 2 e 3
 K_1 = "conveyance" na seção 1; $Q = K S$
 K_c = "conveyance" na condição crítica
 k_c = fator de correção
 L = comprimento do bueiro
 LA = comprimento entre seção a montante e entrada do bueiro
 LE = linha de energia
 n = parâmetro de Manning
 Q = descarga
 Q_c = descarga crítica
 R = raio hidráulico
 R_o = raio hidráulico do bueiro cheio
 r = raio de arredondamento da borda
 S_c = declividade crítica
 S_o = declinação do bueiro
 V = velocidade
 V_1 = velocidade na seção 1
 y_2 = profundidade da água na seção 2
 y_3 = profundidade da água na seção 3
 y_c = profundidade crítica
 Z = altura do bueiro na entrada, relativa ao plano de referência

5 — BIBLIOGRAFIA

1. BODHAIN, G.L. — **Indirect measurement of peak discharge through culverts** U.S. Geol. Survey Open-file Report, 1963.
2. FRENCH, J.L. — **Pressure and resistance characteristics of a model pipe culvert**. U.S. Natl. Bur. Standards Prog. Repts. on Hydraulics of Culverts, 1956.
3. KING, H.W. — **Handbook of Hydraulics**. New York, McGraw Hill Book Co., 1954.
4. STRAUB, L.G., ANDERSON, A.G., and BOWERS, C.E. — **Effect of inlet design on capacity of culverts on steep slopes**. Minnesota Univ. Proj. Rept. 37, 1954.
5. BODHAIN, G.L. — **Measurement of peak discharge at culvert by indirect methods**. U.S. Geol. Survey Tech. Water-Resources Inv. Book 3, Chapter A 3, 1968.
6. CHOW, V.T. — **Open Channel Hydraulics**. New York, McGraw-Hill Book Co., 1959.
7. CARTER, R.W. — **Computation of peak discharge at culverts**. USGS Circular 376, 1957.