

## **Capítulo 76**

# **Transição em bueiros e escadas hidráulicas**

## Capítulo 76- Transição na saída de bueiros e entrada de escadas hidráulicas

### 76.1 Introdução

O escoamento em transição são mudanças na seção transversal de um canal aberto numa distância curta, conforme Mays,

Em um canal a transição é o alargamento ou contração da seção.

A transição se dá na entrada e saída de bueiros e na entrada de escadas hidráulicas.

É importante no estudo de escoamento em transição na saída de um bueiro para sabermos se o regime de escoamento a montante é **subcrítico** ou se é **supercrítico** sendo os cálculos diferentes devendo-se tomar os devidos cuidados para não errar.

Geralmente em bueiros a transição é uma expansão e não contração.

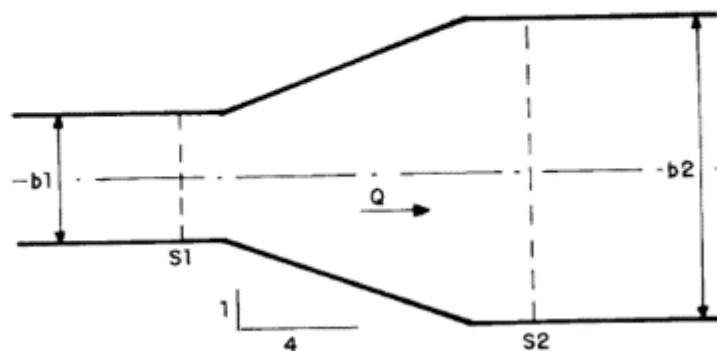
### 76.2 Transição na saída de bueiros em regime subcrítico no alargamento

No alargamento da transição em escoamento subcritico  $F < 1$  conforme Figura (76.1).

Segundo o FHWA deve-se evitar **número de Froude ente 0,8 e 1,1** na saída do bueiro para minimizar a formação de ondas.

A transição em canais e no final de um bueiro segue para alargamento ou redução a **proporção 1: 4** (  $14^\circ$ ) ou **1: 4,5** (  $12,5^\circ$ ) conforme FHWA.

Transição em canais  
Alargamento ou redução 1:4 PMSP  
Regime subcrítico  $F < 1$   
1: 4,5 / ângulo 12,5 graus FHWA



2

Figura 76.1- Alargamento na saída de um bueiro ou alargamento em um canal

### Exemplo 76.1: regime subcrítico na saída de um bueiro

Dimensionar o avental na saída de um bueiro com  $D=6,00\text{m}$  de largura por  $2,00\text{m}$  de altura e número de Froude  $F=0,4 < 0,8$ . Supomos que no final do avental haverá um avental com largura  $B=10,5\text{m}$ .

$$L = 2 (B-D) = 2 (10,5 - 6) = 9,00\text{m}$$

### 76.3 Transição na saída de um bueiro em escoamento supercrítico com expansão conforme FHWA, 2006

Vamos seguir as recomendações do FHWA, 2006 para cálculo de escoamento supercrítico em expansão abrupta tanto para aduelas como para bueiro de seção circular conforme Figura (76.2).

Transição para regime supercrítico FHWA  
saída da tubulação e entrada na escada hidráulica  
 $\tan \alpha = 1/3Fr$   
 $Fr$  = número de Froude =  $V/(gY)^{0,5}$   
 $\Theta$  = ângulo da parede lateral com respeito ao eixo do canal  $L$

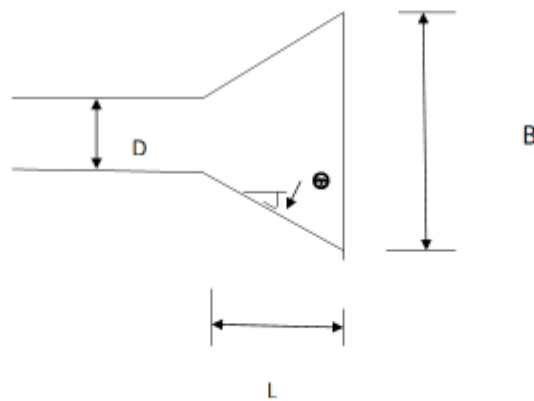


Figura 76.2- Alargamento de um bueiro observando-se o ângulo  $\Theta$

No regime supercrítico a maior parte do fluxo da água estará no ângulo  $\Theta$  que é definido como:

$$\tan \Theta = 1 / (3.Fr)$$

Sendo:

$Fr$  = número de Froude  $F > 1$

$\Theta$  = é o ângulo do alargamento

$\Theta_w$  = é um ângulo adotado maior que  $\Theta$ . Na prática é muito adotado  $\Theta_w = 45^\circ$

**Primeiro passo: dimensionar o bueiro**

São dados a velocidade  $V_0 = 5,66\text{m/s}$  e altura do nível de água  $y_0 = 1,50\text{m}$   
 $B = 2,00\text{m}$  (largura do bueiro). Vazão  $Q = 16,98\text{ m}^3/\text{s}$

**Segundo passo: número de Froude**

Calculamos o número de Froude  $Fr = V_0 / (g \cdot y_0)^{0,5}$

$$Fr = 5.66 / (9,81 \times 1,50)^{0,5} = 1,48 > 1 \text{ Escoamento supercrítico}$$

**Terceiro passo: estimar o ângulo  $\Theta$**

Calcular o ângulo ótimo baseado em Blaisdell e Donnelly, 1949.

$$\tan \theta = 1 / (3 \cdot Fr) = 1 / (3 \times 1,48) = 0,23$$

$$\Theta = 12,7^\circ$$

**Quarto passo: calcular a profundidade  $Y_A$  na base do trapézio (avental)**

Para comprimento  $L = 3B = 3 \times 2 = 6,00\text{m}$  na Figura (76.3) para aduela com o número de  $F = 1,48$  achamos  $0,21 = y_A / y_0$

$$y_A = y_0 \times 0,21 = 1,50 \times 0,21 = 0,32\text{m}$$

Portanto,  $Y_A = 0,32\text{m}$ .

**Quinto passo: achar a velocidade  $V_A$  na base do trapézio (avental)**

Calcule a velocidade  $V_A$  onde estará a altura  $y_A$  usando as equações de Watts, 1968 :

$$V_A / V_0 = 1,65 - 0,3 \cdot Fr \quad \text{Para aduelas}$$

$$\text{ou} \\ V_A / V_0 = 1,65 - 0,45 [Q / (g \cdot D^5)]^{0,5} \quad \text{Para seção circular}$$

A altura  $y_A$  poderá se achada conforme gráficos das Figuras (76.2) e (76.3) de Watts, 1968 citado pela FHWA, 2006.

Notar que o gráfico é para regime de escoamento supercrítico, isto é,  $F > 1$  e o valor máximo de  $F = 3$ . Temos o gráfico para saída de bueiro retangular e circular que podem ser adaptadas para qualquer canal.

Deverá ser observado que  $L \leq 3 \cdot D$ , sendo  $D =$  diâmetro do tubo.

Como temos seção retangular (aduela) usamos a equação:

$$V_A / V_0 = 1,65 - 0,3 \cdot Fr \quad V_A / 5,66 = 1,65 - 0,3 \times 1,48 = 1,21$$

$$V_A = 1,21 \times V_0 = 1,21 \times 5,66 = 6,8\text{m/s}$$

Portanto,  $V_A = V_2 = 6,8\text{m/s}$

Portanto,  $V_A = 6,8$  m/s

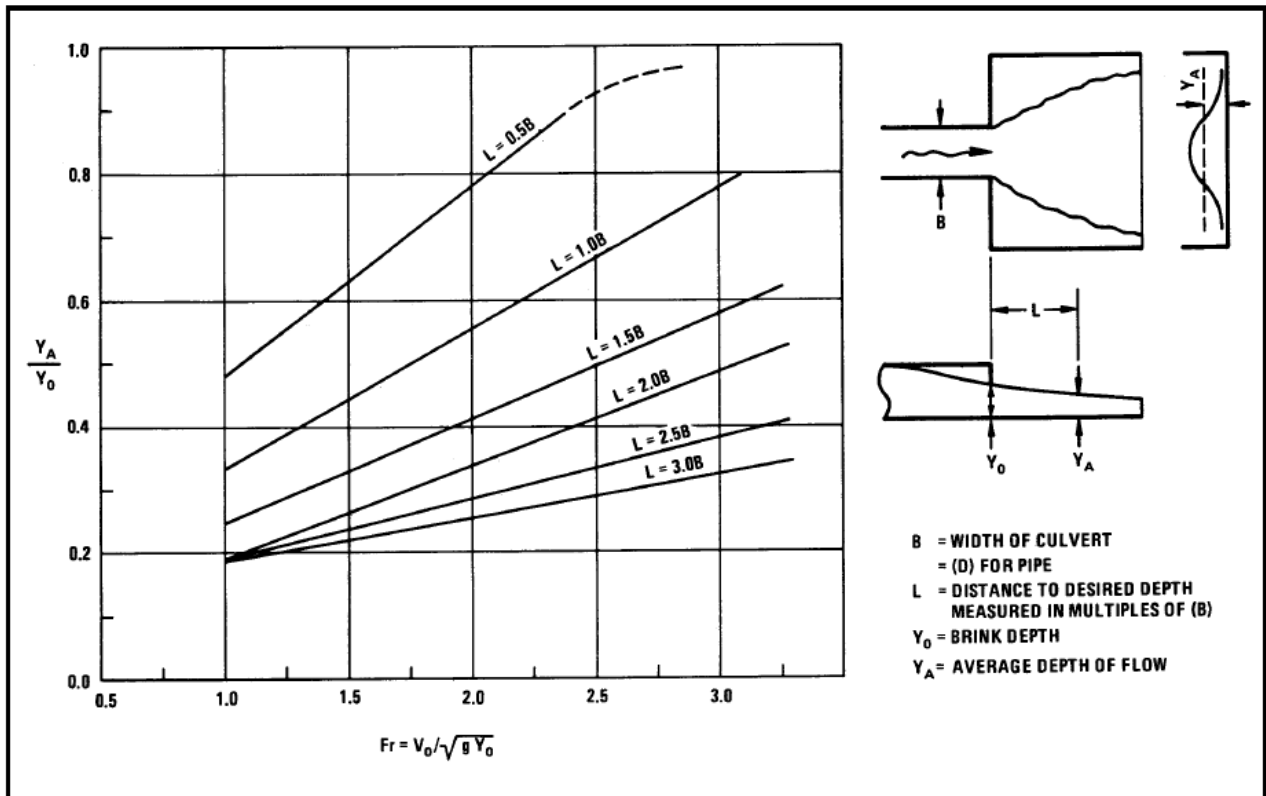


Figure 4.3. Average Depth for Abrupt Expansion Below Rectangular Culvert Outlet

Figura 76.3- Média da profundidade para expansão abrupta de saída de um bueiro retangular. Observar que temos os valores  $L=3.B$ , por exemplo, em que  $B$  é a largura.

Fonte: Watts, 1968 in FHWA, 2006

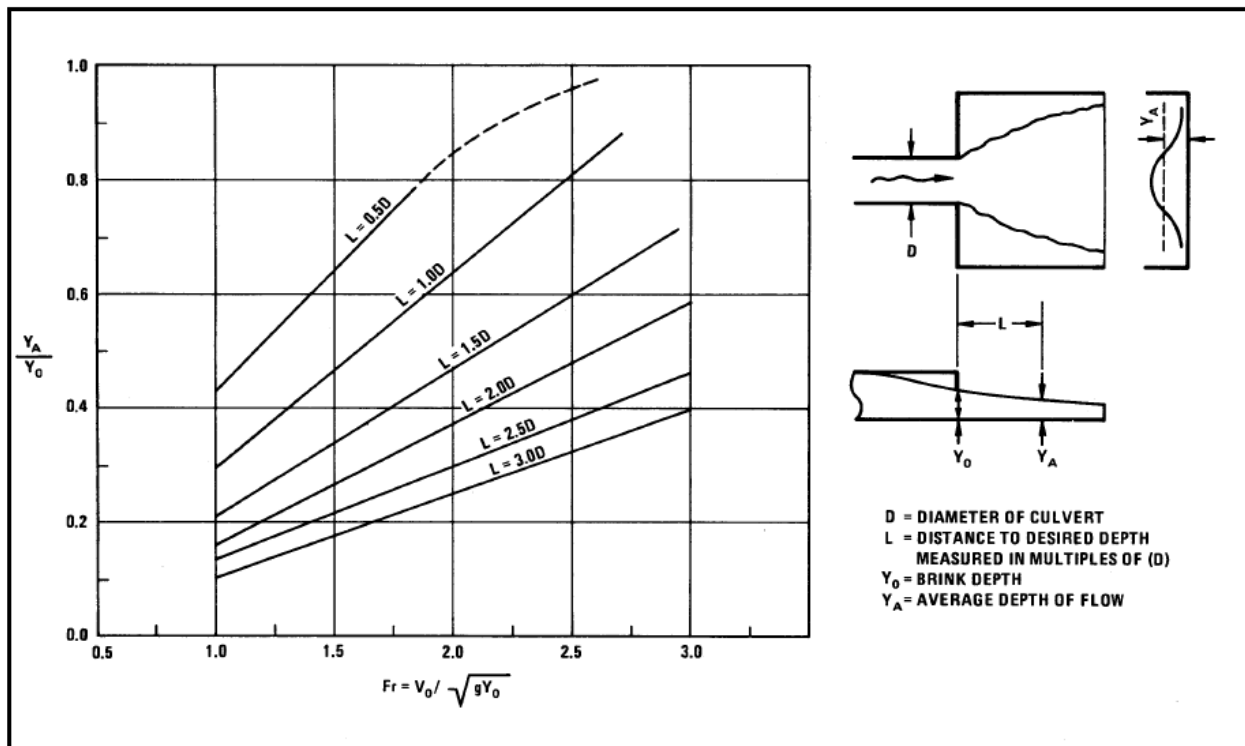


Figure 4.4. Average Depth for Abrupt Expansion Below Circular Culvert Outlet

Figura 76.4- Média da profundidade para expansão abrupta de saída de um bueiro circular. Observar que temos os valores  $L=3.D$ , por exemplo, em que  $D$  é o diâmetro.

Fonte: Watts, 1968 in FHWA, 2006

Sexto passo: cálculo da largura a jusante  $W_2$ .

Temos duas opções:

Primeira opção :se  $\Theta$  foi usado então:

$$Y = Y_A = 0,32\text{m}$$

$$\text{Verificar } W_A = Q / (V_A \cdot Y_A) = 16,98 / (6,8 \times 0,32) = 7,8\text{m} = W_2$$

Segunda opção: se foi usado  $\Theta_w > \Theta$  então  $y_2 = y_A$

$$\text{Escolhemos } \Theta_w = 45^\circ \quad \tan 45^\circ = 2, = 1,00$$

$$W_2 = W_0 + 2.L \cdot \tan\theta = 2,0 + 2 \times 6 \times 1,00 = 14,00\text{m}$$

Sétimo passo: profundidade a jusante  $y_2$

$$\text{Se foi usado o valor } \Theta \text{ calcule } y_2 = Q / (V_A \cdot w_2) = 16,98 / (6,8 \times 7,8) = 0,32\text{m}$$

$$W_A = Q / (V_A \cdot y_A) = 16,98 / (6,8 \times 0,32) = 7,8\text{m}$$

Verifique que  $W_A < W_2$  No caso  $7,8 < 14,00$

Caso tivéssemos  $W_A > W_2$  então  $y_2 = Q / (V_A \times W_2)$

### Escolha das alternativas:

Caso escolhêssemos o ângulo  $\Theta = 12,7^\circ$  obtido  $\tan \Theta = 1/3$  teríamos:

$$V_A = 6,8\text{m/s}$$

$$Y_A = 0,32\text{m}$$

$$W_A = 7,8\text{m}$$

$$L = 6\text{m (escolhido 3.D)}$$

Caso escolhêssemos ângulo  $\Theta_w = 45^\circ$  teríamos

$$V_2 = Q / (W_2 \times y_2) = 16,98 / (14 \times 0,32) = 3,8\text{ m/s}$$

$$Y_2 = Y_A = 0,32\text{m}$$

$$W_2 = 14,00\text{m}$$

$$L = 6\text{m (escolhido 3.D)}$$

Dica: o valor  $Y_A$  vale para qualquer caso.

### Paredes laterais da transição:

A parede lateral tem forma de um trapézio em pé, sendo uma linha a altura do bueiro que é  $D$  e no outro lado  $D/2$ .

### Cutoff

Não esquecer que no fim do trapézio ou avental da transição teremos o cutoff com no mínimo  $0,5\text{m}$  de profundidade.

### **76.3 Bibliografia e livros consultados**

- CETESB. *Drenagem Urbana- Manual de Projeto*. 3ª ed. São Paulo, 1986, 452 páginas.
- CHAUDHRY, M. HANIF. *Open-Channel Flow*. Prentice Hall, New Jersey, 1993, 483 páginas.
- FHWA (Federal Highway Administration). *Hydraulic design of energy dissipators for culverts and channels*. 2012. U.S. Department of Transportation.
- PMSP. *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo*. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo.
- SUBRAMANYA, K. *Flow in open channels*. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 2009, 3ª ed. 548 páginas.