

## **Capítulo 76**

# **Transição em bueiros e escadas hidráulicas**

## Capítulo 76- Transição em bueiros e 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 escadas hidráulicas.

É importante no estudo de escoamento em transição 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.

### 76.2 Transição em escoamento subcrítico

O escoamento subcrítico é quando o número de Froude for menor que 1.

Em um canal temos basicamente dois tipos de transição, sendo a primeira o alargamento da seção do canal e a segunda a contração.

#### Alargamento do canal com escoamento subcrítico

Quando temos alargamento gradual ou abrupto as perdas de cargas serão calculadas pelas equações abaixo conforme FHWA, 2006:

$$\text{Alargamento gradual } H_f = 0,50 \cdot [V_3^2 / (2 \cdot g) - V_4^2 / (2 \cdot g)] \quad (\text{Equação 76.1})$$

$$\text{Alargamento abrupto } H_f = 0,75 \cdot [V_3^2 / (2 \cdot g) - V_4^2 / (2 \cdot g)] \quad (\text{Equação 76.2})$$

Chaudhry, 1993 chama a atenção que normalmente a expansão está na relação 1:4 que é altamente recomendado e isto também é frizado nas *Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo* elaborado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo. Enfatiza ainda que um aumento da relação 1:4 não se obtém uma redução significativa de perda de carga.

#### Contração do canal com escoamento subcrítico

Para a contração de um canal temos duas equações para perda de carga, sendo uma para contração abrupta e outra contração gradual. Conforme FHWA, 2006 temos:

$$\text{Contração gradual } H_f = 0,30 \cdot [V_2^2 / (2 \cdot g) - V_1^2 / (2 \cdot g)] \quad (\text{Equação 76.3})$$

$$\text{Contração abrupta } H_f = 0,30 \cdot [V_2^2 / (2 \cdot g) - V_1^2 / (2 \cdot g)] \quad (\text{Equação 76.4})$$

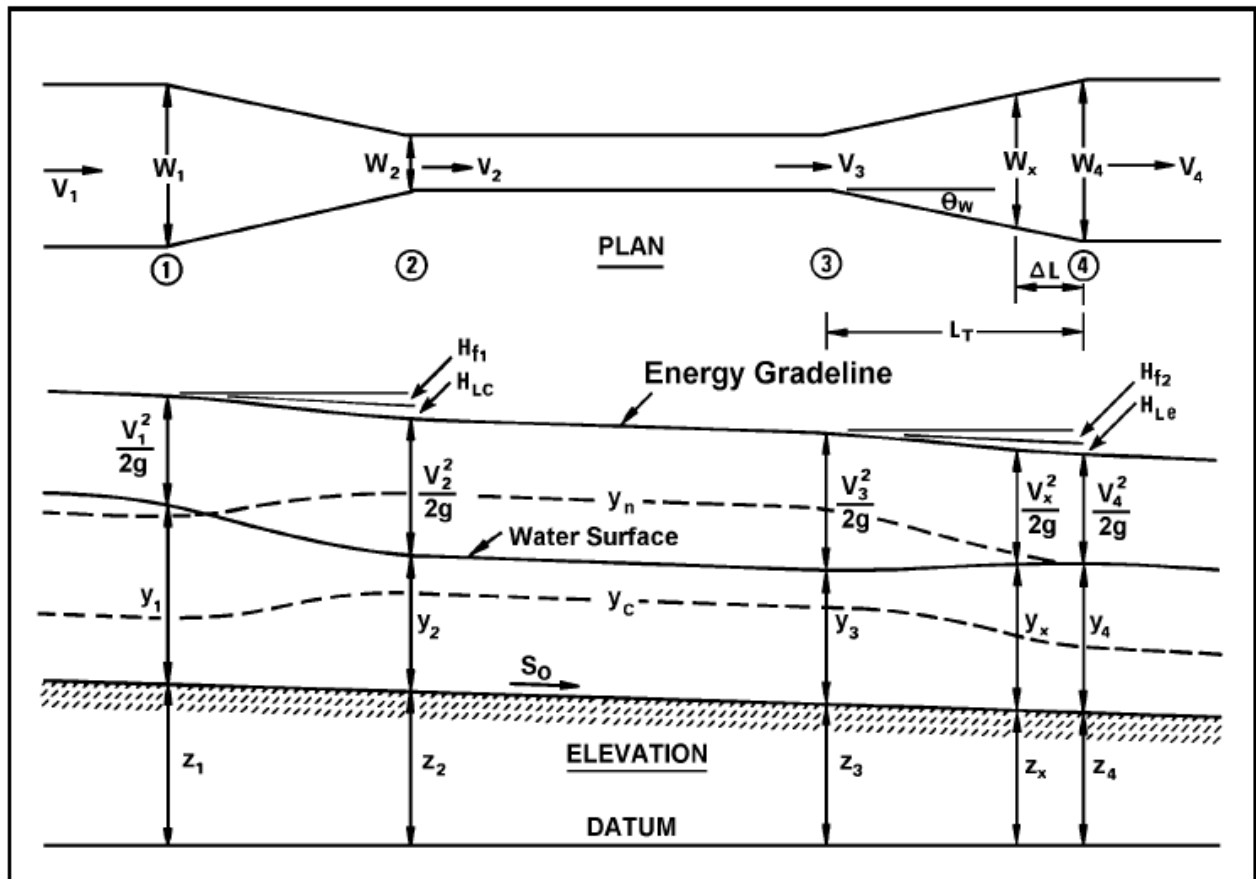


Figura 76.1- Esquema de contração e alargamento de canal em regime de escoamento subcrítico conforme FHWA, 206

### Como achar $y_4$ no alargamento ?

Para o alargamento de um canal vamos verificar a Figura (76.1) onde aparecem as seções 3 e 4 referente ao alargamento. Vamos seguir o modelo do FHWA, 2006 aplicando a equação de energia nos pontos 3 e 4;

$$z_3 + y_3 + V_3^2/2g = z_4 + y_4 + V_4^2/2g + H_f + H_c$$

Vamos considerar que não há perdas de carga distribuída e então  $H_f = 0$ . Somente consideraremos a perda de carga na contração que é:

$$H_f = 0,50 \cdot (V_3 - V_4)^2 / (2 \cdot g)$$

Fazendo as substituições temos:

$$E_3 = z_3 + y_3 + V_3^2/2g$$

$$E_4 = z_4 + y_4 + V_4^2/2g + 0,50 \cdot (V_3 - V_4)^2 / (2 \cdot g)$$

$$E_3 = E_4$$

$$z_3 + y_3 + V_3^2/2g = z_4 + y_4 + V_4^2/2g + 0,50 \cdot (V_3 - V_4)^2 / (2 \cdot g)$$

$$V_3 = Q / (w_3 \cdot y_3)$$

$$V_4 = Q / (w_4 \cdot y_4)$$

Colocando tudo em função de  $y_4$  teremos:

$$z_3 + y_3 + V_3^2 / 2g = z_4 + y_4 + 1,18V_4^2 / (2.g)$$

Por tentativas achamos o valor de  $y_4$ .

Nota: o mesmo raciocínio é seguido para a redução da largura do canal.

Calculamos o valor de  $y_4$  e veremos que é maior que  $y_3$  e poderemos verificar a parede do canal e se quisermos poderemos fazer o cálculo do remanso.

### Exemplo 76.1

Calcular o  $y_4$  de um canal com  $Q=4,53\text{m}^3/\text{s}$ , sendo que a montante temos uma tubulação com 1,50m de diametro com  $y_3=1,01\text{m}$  e  $V_3=0,70\text{m/s}$ .

Vamos achar o valor de  $y_4$  por tentativas e erros.

Achamos  $y_4=0,877\text{m}$  e portanto, houve um abaixo de  $y_3=1,01\text{m}$  para  $y_4=0,877\text{m}$

**Tabela 76.1- Cálculo de  $y_4$  por tentativas e erros**

$y_4$	$y_3$	Q	W3	w4	V3	z3	E3	z4	v4	E4
0,800	1,01	4,53	1,5	3,2	0,7	0	1,034975	0	1,770	0,989
0,877	1,01	4,53	1,5	3,2	0,7	0	1,034975	0	1,614	1,034

Na Tabela (76.1) calculamos o valor da energia  $E_3=1,034975\text{m}$  e por tentativa achamos a altura  $y_4$  que dá o valor mais próximo de  $E_3=1,034975\text{m}$ . Achamos  $y_4=0,877\text{m}$ .

### Como achar $y_4$ na contração ?

Fazer de modo semelhante ao alargamento.

### 76.3 Transição em escoamento supercrítico com expansão conforme FHWA, 2006

No regime de escoamento supercrítico quando estudamos as transições temos que tomar alguns cuidados, pois surgem complicações que são as formações de ondas que afetam a altura do nível de água podendo haver transbordamento.

Vamos seguir as recomendações do FHWA, 2006 para cálculo de escoamento supercrítico em expansão abrupta.

#### Primeiro passo:

São dados a velocidade  $V_0$  e altura do nível de água  $y_0$ .

#### Segundo passo:

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

#### Terceiro passo:

Cálculo do ângulo ótimo baseado em Blaisdell e Donnelly, 1949.

$$\tan \theta = Fr/3$$

Se o ângulo escolhido  $\theta_w$  for maior que  $\theta$  devemos reduzir  $\theta_w$  para  $\theta$ .

**Quarto passo:**

Calcule a velocidade  $V_A$  onde estará a altura  $y_A$  usando a equação:

$$V_A/V_0 = 1,65 - 0,3.Fr$$

ou

$$V_A/V_0 = 1,65 - 0,45 [Q/(g.D^5)^{0,5}]$$

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  $L \leq 3.D$ , sendo  $D$ = diâmetro do tubo.

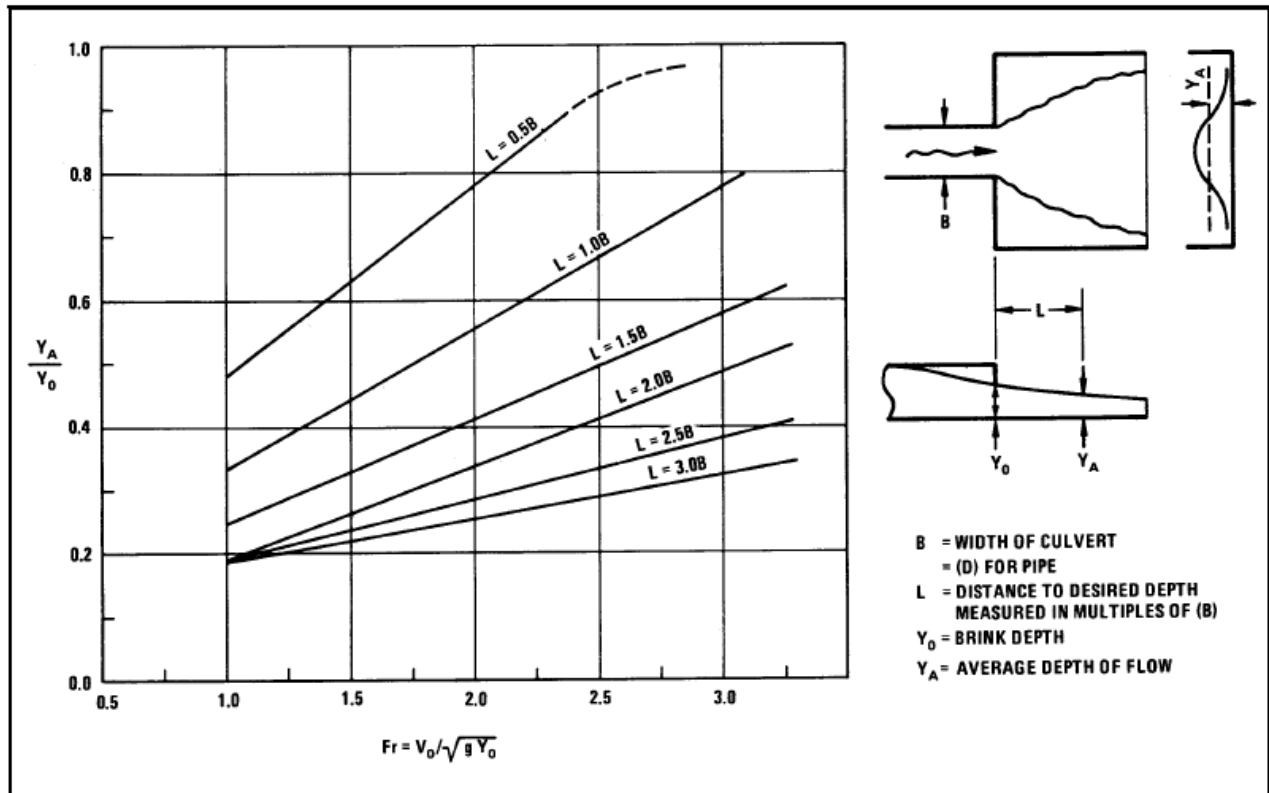


Figura 76.2- Média da profundidade para expansão abrupta de saída de um bueiro retangular  
Fonte: FHWA, 2006

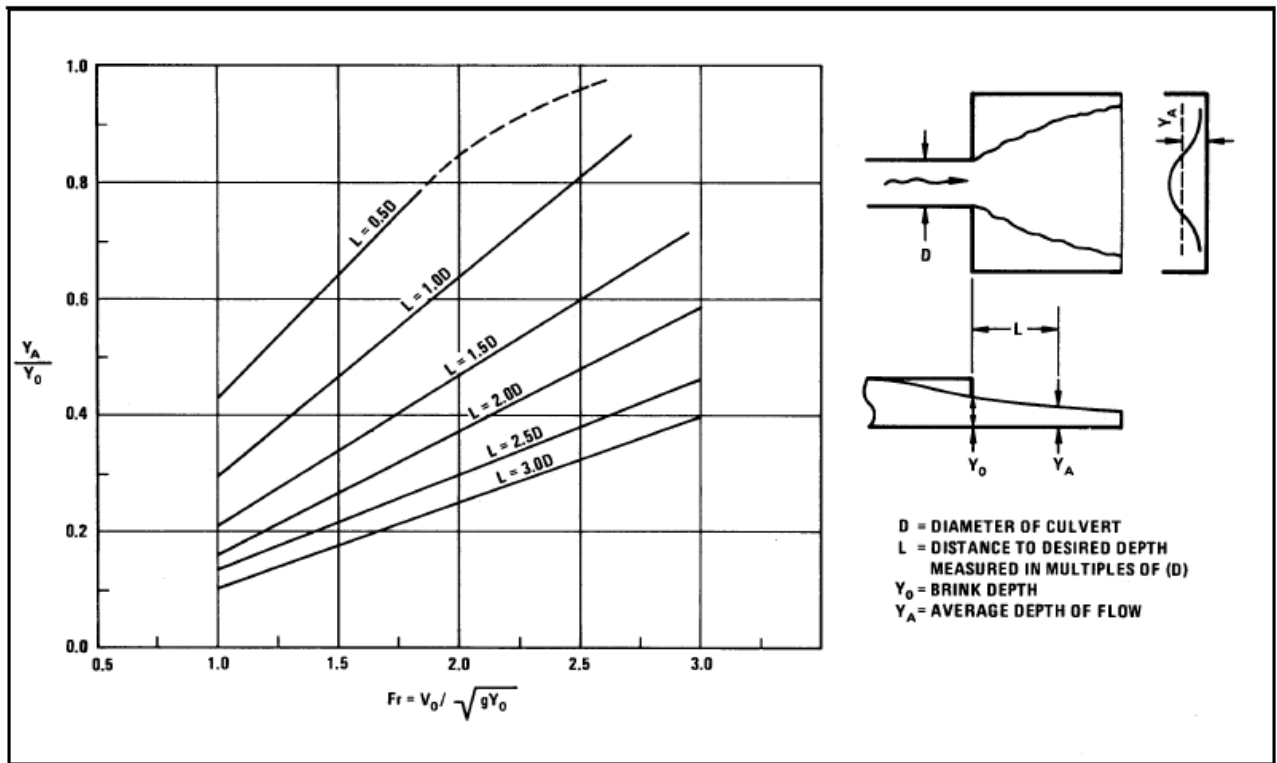


Figura 76.3- Média da profundidade para expansão abrupta de saída de um bueiro retangular  
 Fonte: FHWA, 2006

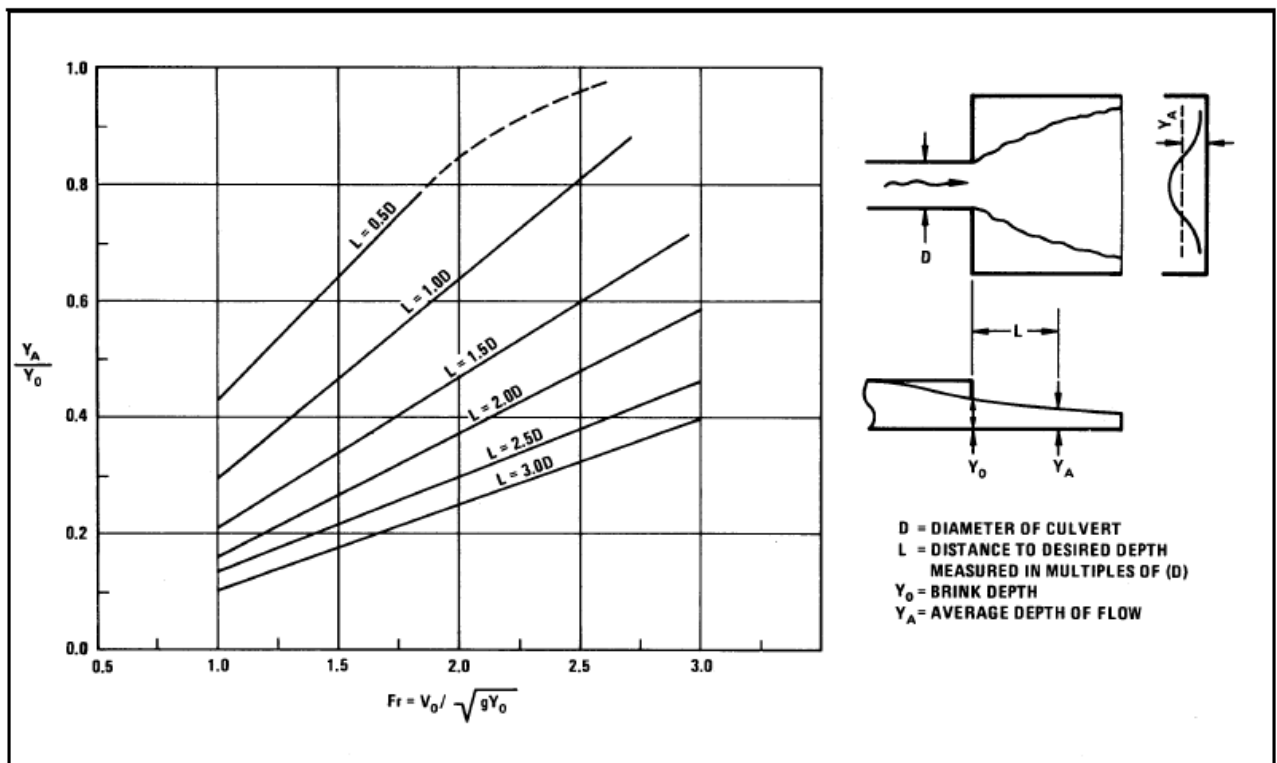


Figura 76.4- Média da profundidade para expansão abrupta de saída de um bueiro circular  
 Fonte: FHWA, 2006

**Quinto passo:**

Calcule a largura  $W_2$ .

$$W_2 = W_0 + 2.L .\tan\theta$$

**Exemplo 76.2 Cálculo de alargamento do canal**

Dados:

$$V_0 = 5,66 \text{ m/s}$$

$$y = 1,50 \text{ m}$$

**Primeiro passo:**

São dados a velocidade  $V_0 = 5,66 \text{ m/s}$  e altura do nível de água  $y_0 = 1,50 \text{ m}$ .

**Segundo passo:**

Calculamos o número de Froude  $Fr = V_0 / (gxy)^{0,5}$

$$Fr = 5,66 / (9,81 \times 1,50)^{0,5} = 1,48 > 1 \quad \text{Escoamento supercrítico}$$

**Terceiro passo:**

Cálculo do ângulo ótimo baseado em Blaisdell e Donnelly, 1949.

$$\tan \theta = Fr/3$$

$$\tan \theta = 1,48/3 = 0,59$$

$$\theta = 33,93^\circ$$

Se o ângulo escolhido  $\theta_w$  for maior que  $\theta$  devemos reduzir  $\theta_w$  para  $\theta$ .

**Quarto passo:**

Calcule a velocidade  $V_A$  onde estará a altura  $y_A$  usando a equação:

$$V_A/V_0 = 1,65 - 0,3.Fr = 1,65 - 0,3 \times 1,48 = 1,206$$

$$V_A = V_0 \times 1,206 = 5,66 \times 1,206 = 6,83 \text{ m/s}$$

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

Para comprimento  $L = 1,00 \text{ m}$  o que significa  $1/1,50 = 0,67$  e entrando na Figura (76.2) para tubo circulares com o número de  $F = 1,48$  achamos  $0,63 = y_A/y_0$

$$y_A = y_0 \times 0,63 = 1,50 \times 0,63 = 0,95 \text{ m}$$

**Quinto passo:**

Calcule a largura  $W_2$ .

$$W_2 = W_0 + 2.L .\tan\theta = 1,5 + 2 \times L \times 0,59$$

Adotando  $L=1,00\text{m}$

$$W_2 = W_0 + 2.L \cdot \tan\theta = 1,5 + 2 \times 1,00 \times 0,59 = 2,68\text{m}$$

$$y_2 = Q / (V_A \cdot W_2) = 10 / (6,85 \times 2,68) = 0,54\text{m}$$

$$W_A = Q / (V_A \cdot y_A) = 10 / (6,85 \times 0,95) = 1,54\text{m} < W_2$$

Adotamos  $W_2=2,68\text{m}$



#### **76.4 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*. 3ª ed. julho, 2006. 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.