

Universidade Regional do Cariri – URCA
Pró – Reitoria de Ensino de Graduação
Coordenação da Construção Civil



SECONSTEC

II Semana da Construção Civil e Tecnologia

Drenagem de Rodovias

Dimensionamento de Bueiros

Prof. MSc. Renato de Oliveira Fernandes

Professor Assistente

Dep. de Construção Civil/URCA

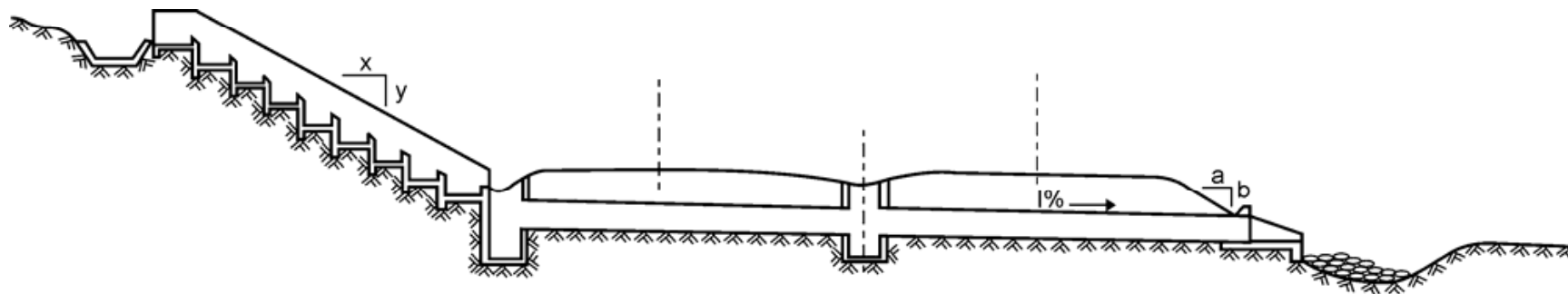
renatodeof@gmail.com



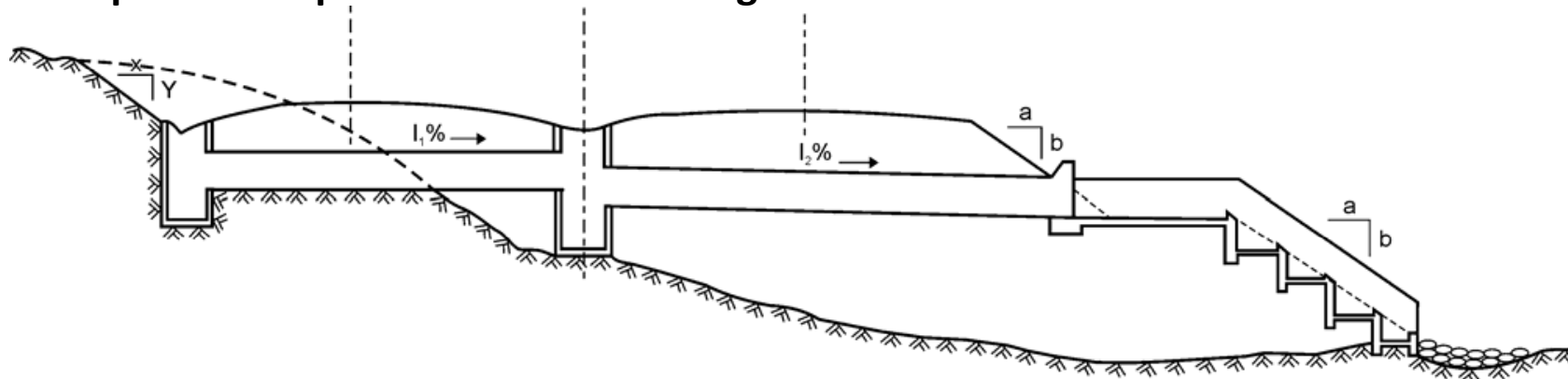
Bueiro celular de concreto



Esquema completo de um bueiro de greide em corte



Esquema completo de um bueiro de greide em aterro



Classificação

Número de linhas

Simplex, duplo e triplo

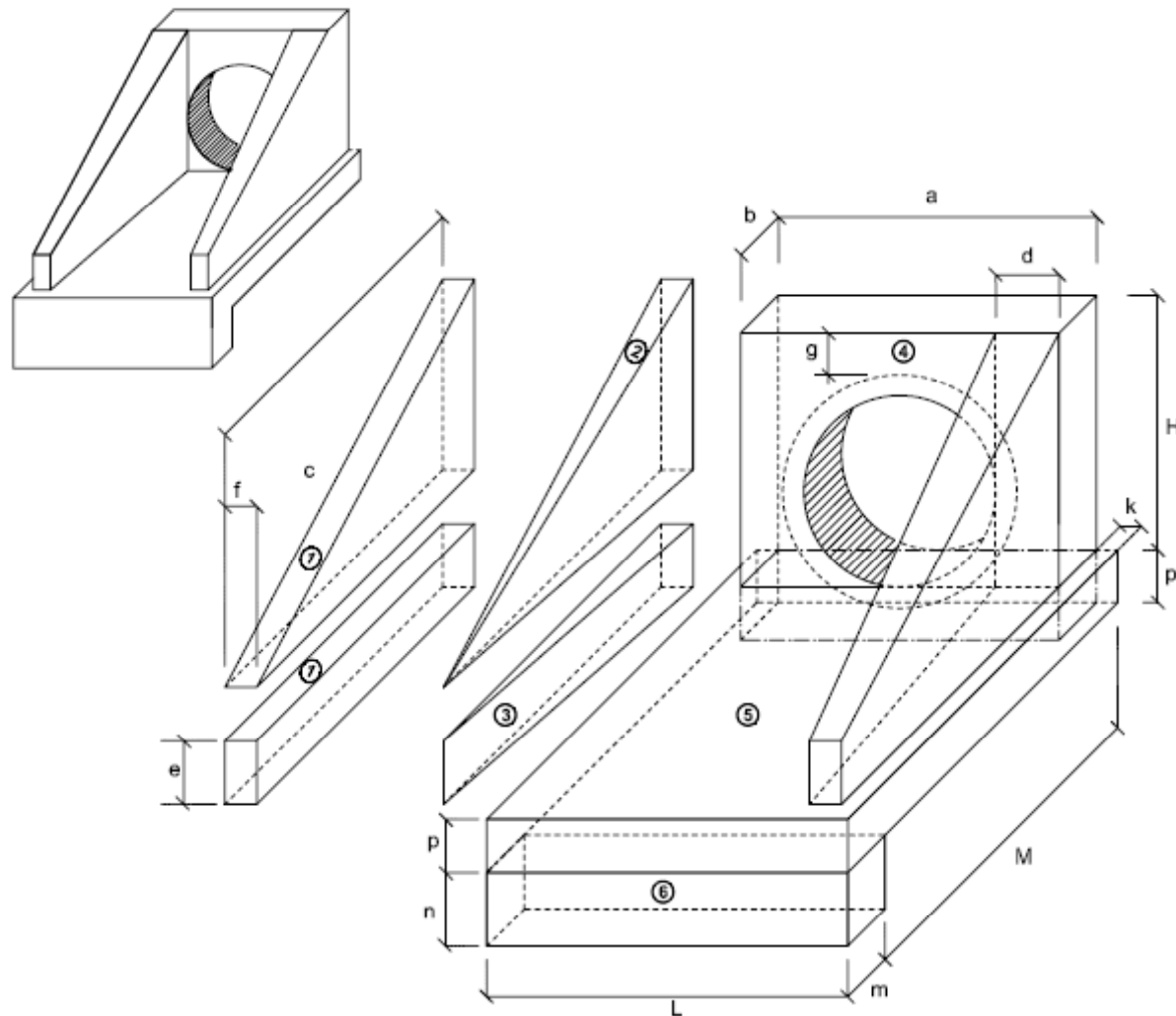
Forma da seção (mais comuns)

Circular e celular

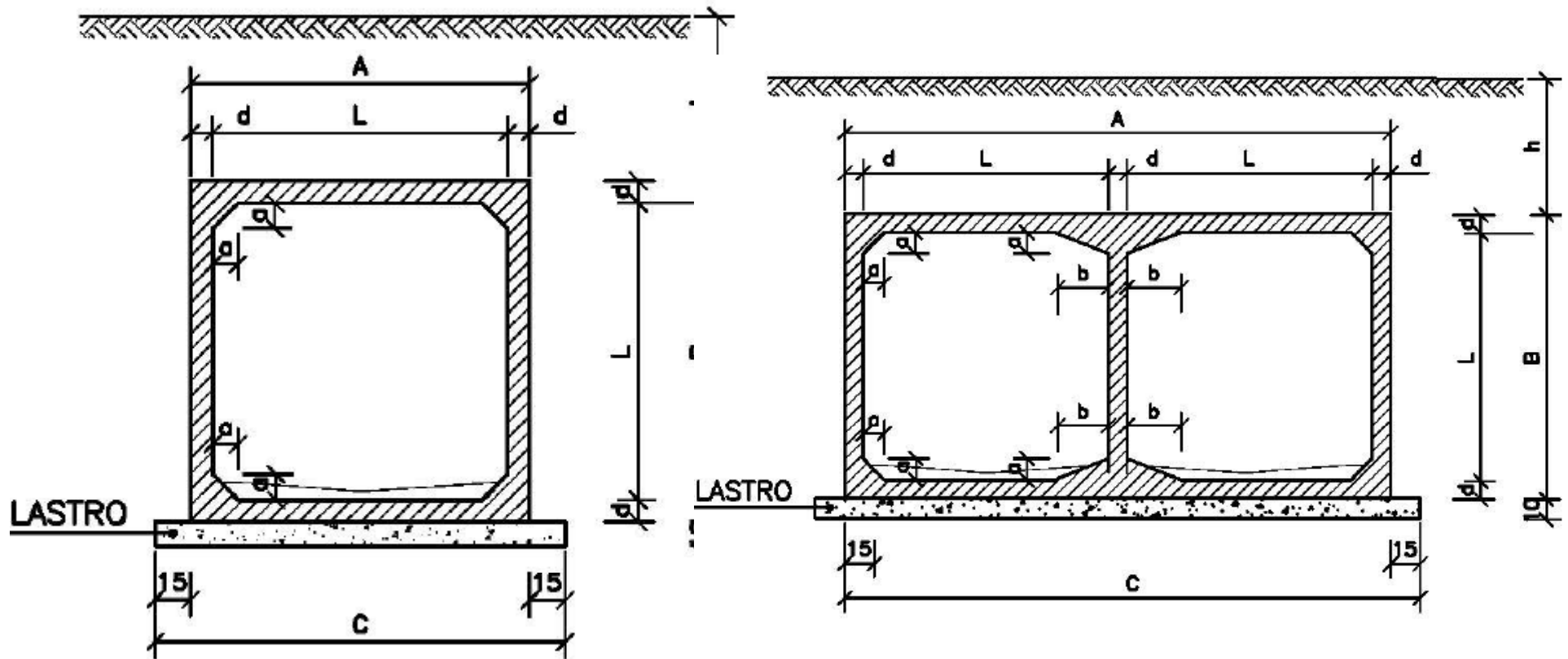
Material

Concreto armado e concreto pré-moldado

Bueiro simples tubular



Bueiro celular simples e duplo



Terminologia

- BSTC - bueiro simples tubular de concreto;
- BDTC - bueiro duplo tubular de concreto;
- BTTC - bueiro triplo tubular de concreto;
- BSCC - bueiro simples celular de concreto;
- BDCC - bueiro duplo celular de concreto;
- BTCC - bueiro triplo celular de concreto;
- BSTM - bueiro simples tubular metálico;
- BDTM - bueiro duplo tubular metálico;
- BTTM - bueiro triplo tubular metálico.

- Bueiros (variáveis usadas no dimensionamento)
 - Material das paredes do conduto
 - Característica geométricas
 - Comprimento e declividade
 - Condições de entrada a montante e saída a jusante (afogado e não afogado, altura do aterro)

Drenagem de transposição de talvegues (bueiros)

- Para o dimensionamento hidráulico dos bueiros podem se admitir que eles possam funcionar como **canais**, **vertedoures** ou como **orifícios**.
 - **Orifício**: quando a vazão afluyente supera a capacidade do bueiro ocorrendo a elevação do nível somente montante (Circular nº 5 do “Bureau of Public Roads”)
 - **Canal**: quando as extremidades de montante e jusante não se encontram submersas.
 - **Vertedoures**: dimensionar pela fórmula de Francis, considerando a altura d'água sobre a borda superior nula

- O funcionamento como orifício ou canal (os mais comuns) dependendo da possibilidade da obra poderá funcionar com carga hidráulica a montante.
 - **Com carga hidráulica a montante:** funciona como orifício. É necessário verificar a altura máxima da carga hidráulica em relação ao aterro (NBR 8890/2003).
 - **Sem carga hidráulica a montante:** funciona como canal. Verificar a declividade crítica para definir o regime de escoamento.

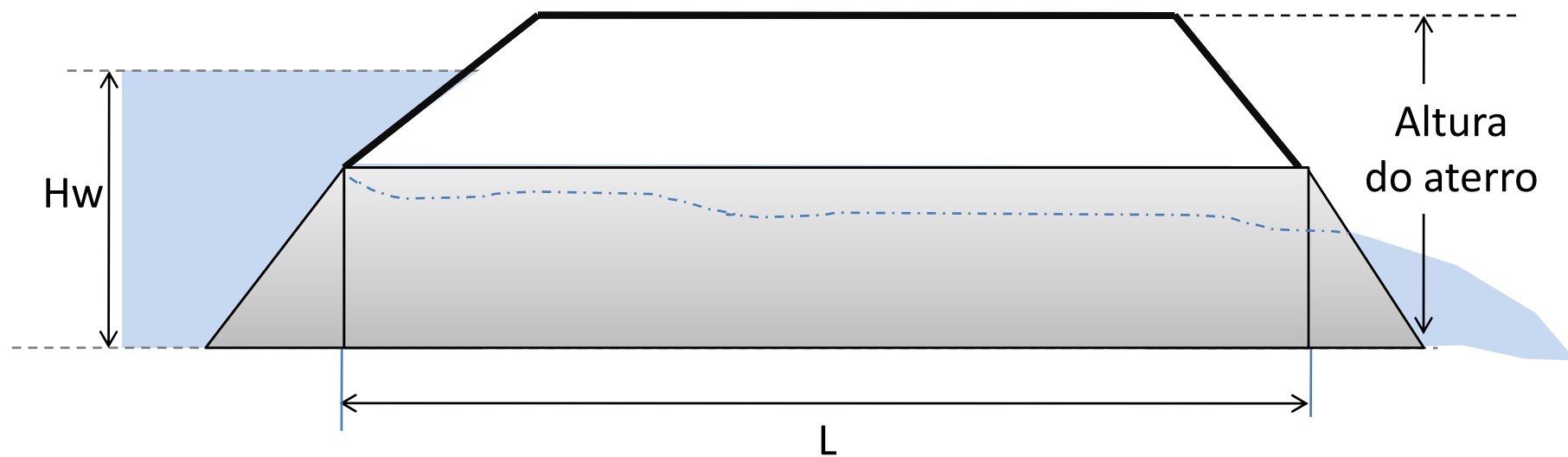
Controle de Vazão

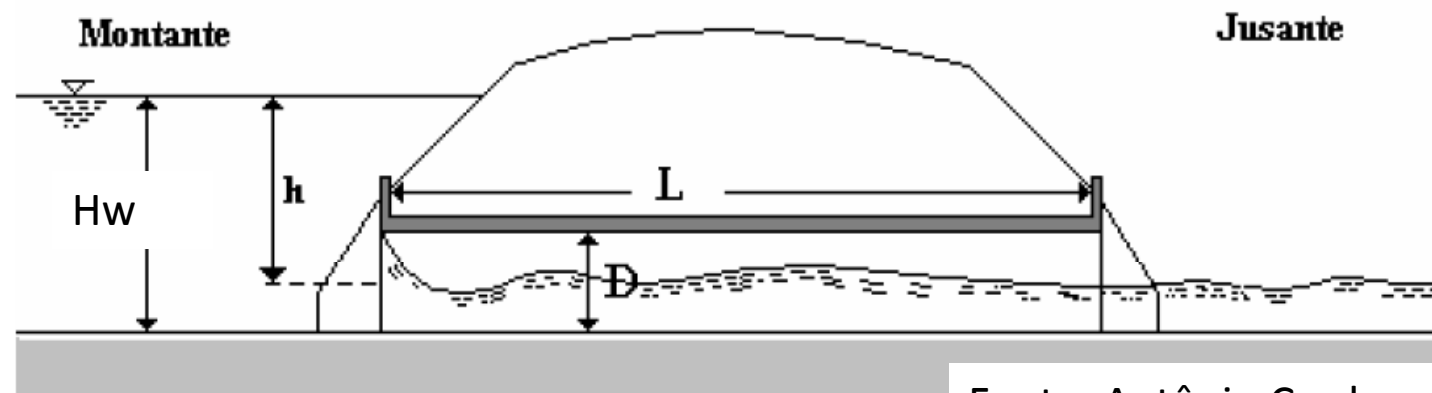
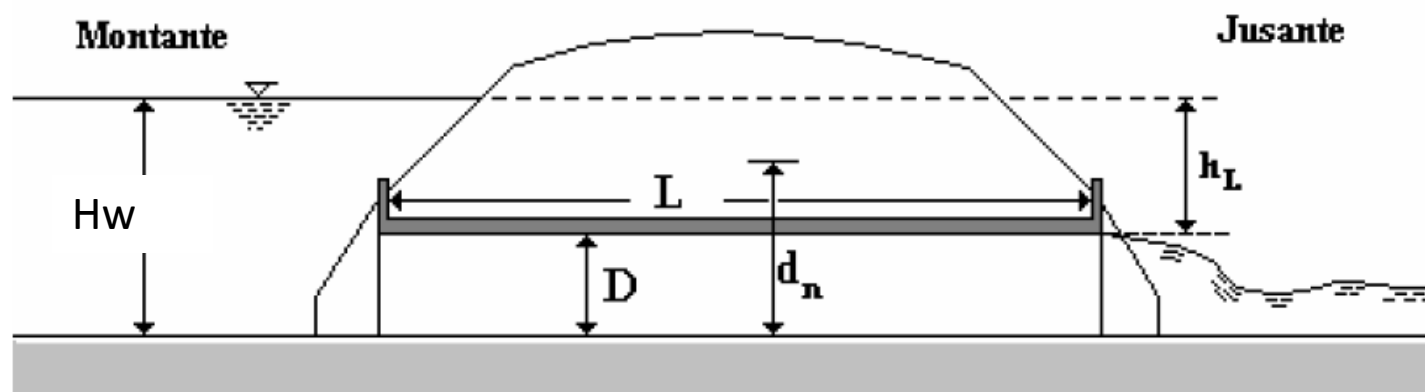
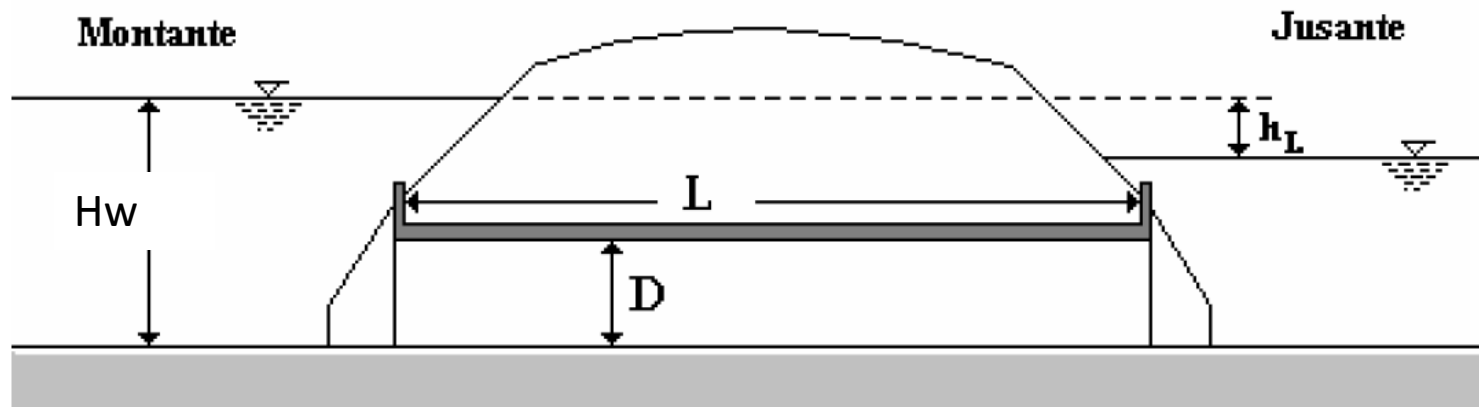
- **Controle de entrada**

- Controle de entrada significa que a capacidade de descarga do bueiro é controlada na sua entrada pela profundidade da água represada a montante (HW), pela geometria da boca de entrada e pela seção transversal do conduto.

- **Controle de saída**

- O escoamento de bueiros com controle de saída pode ocorrer com o conduto total ou parcialmente cheio, em parte ou em todo o seu comprimento.





Fonte: Antônio Cardoso Neto, ANA

Drenagem de transposição de talvegues

BUEIRO FUNCIONANDO COMO ORIFÍCIO

Bueiro funcionando como orifício

- Bueiro funciona como orifício quando (DNIT):
 - $h \geq 1,2D$ ou $h \geq 1,2H$
 - D é o diâmetro do bueiro tubular
 - H é a altura do bueiro celular

$$Q_{adm} = C \cdot A \cdot (2 \cdot g \cdot h)^{0,5}$$

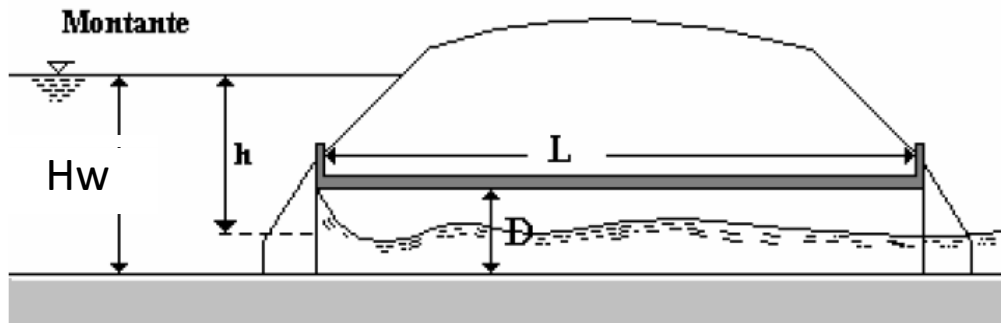
Em que:

C – coeficiente de descarga (0,62)

A – área da seção do bueiro (m^2)

g – aceleração da gravidade (m^2/s)

h – carga hidráulica (m)



Bueiro funcionando como orifício

Vazão:

bueiro simples: $Q_1 = \frac{c\sqrt{2g}}{4} \times D^2 \times 3,14159 \sqrt{h}$

Velocidade: $Q_1 = 2,192 \times D^2 \sqrt{h}$ Com C=0,62

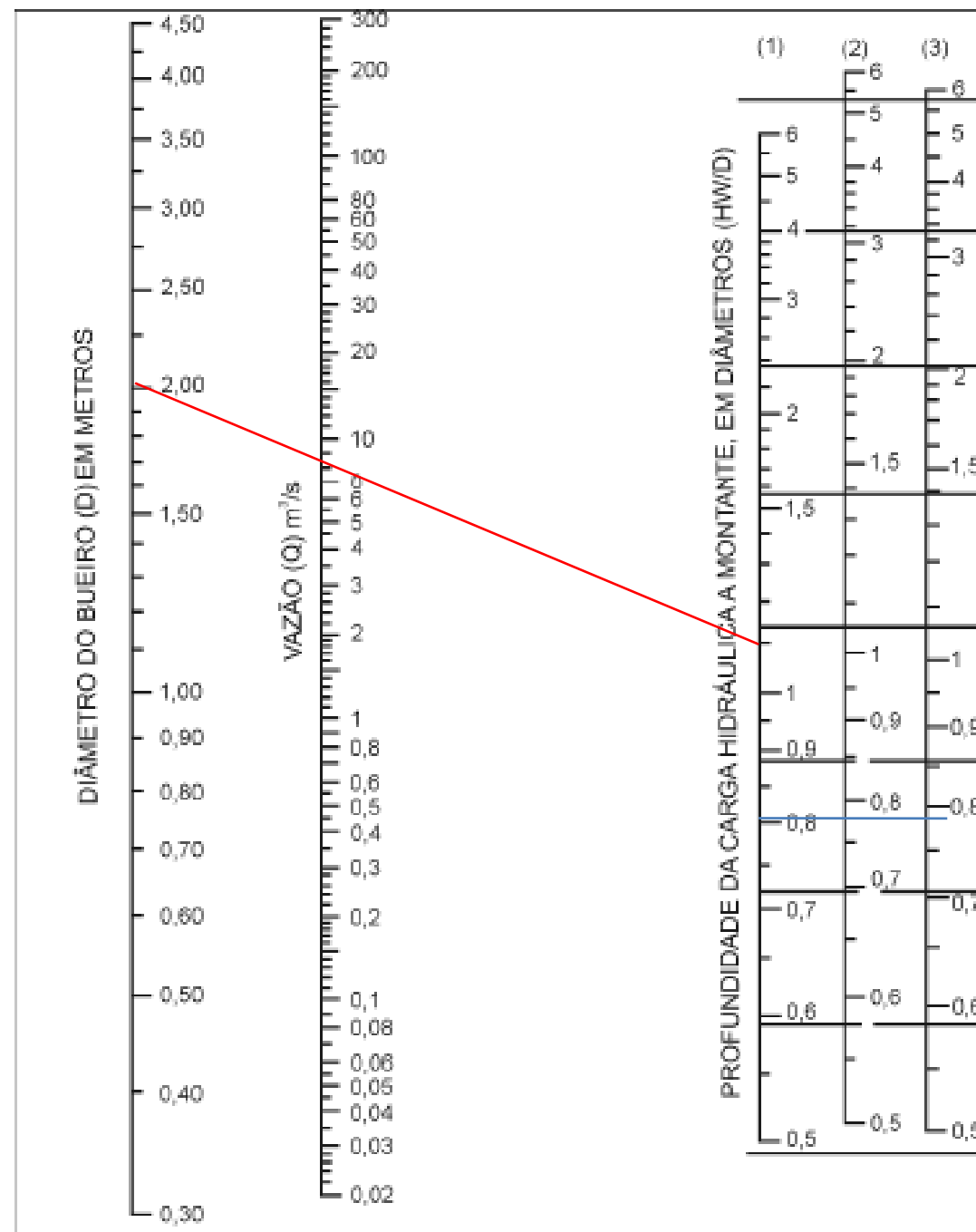
$V = c\sqrt{2g \times h}$ e $V = 2,79 \sqrt{h}$

h = carga hidráulica

PROFUNDIDADE DA CARGA HIDRÁULICA A MONTANTE PARA BUEIROS DE TUBO DE CONCRETO COM CONTROLE DE ENTRADA

ESCALA HW/D	TIPO DE ENTRADA
(1)	SEÇÃO QUADRADA COM TESTA
(2)	TERMINAL RANHURADO COM TESTA
(3)	TERMINAL RANHURADO COM SALIENTE

- **BUEIRO
FUNCIONANDO COMO
ORIFÍCIO**
- Fonte: Circular nº 5 do
“Bureau of Public
Roads”



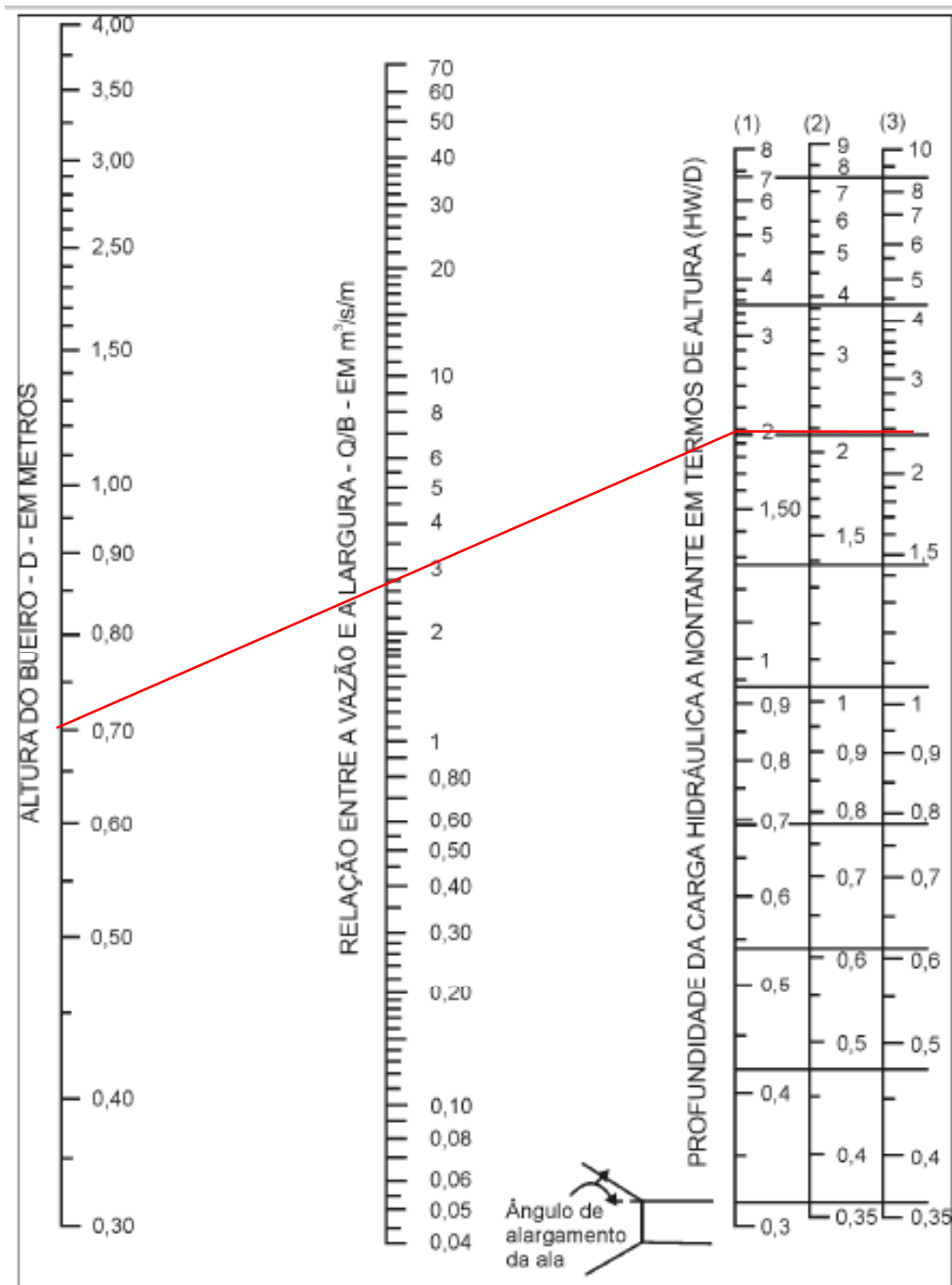
PROFUNDIDADE DA CARGA HIDRÁULICA A MONTANTE PARA **BUEIROS EM CÉLULA DE CONCRETO COM CONTROLE DE ENTRADA**

- **BUEIRO
 FUNCIONANDO COMO
 ORIFÍCIO**
- Fonte: Circular nº 5 do
 “Bureau of Public
 Roads”

ESCALA
 HW/D

ALARGAMENTO
 DO MURO DA ALA

30° a 75°
 90° A 15°
 0°



Drenagem de transposição de talvegues

BUEIRO FUNCIONANDO COMO CANAL

Bueiro funcionando como canal ($H_w < D$ ou H)

- Equação de Manning para determinação da vazão em um canal:

$$Q = \frac{1}{n} R_H^{2/3} \sqrt{i} A_m$$

$$R_H = \frac{A_m}{P_m}$$

com:

R_H = raio hidráulico (em m)

A_m = área molhada (em m²)

P_m = perímetro molhado (em m)

Essa é a vazão máxima que o canal transporta nas condições de declividade, rugosidade e diâmetro ou largura. Essa vazão deve ser maior ou igual a vazão gerada na bacia hidráulica de contribuição (vazão de projeto). Caso contrário surgirá uma lâmina de água a montante e o bueiro funcionará como orifício.

Coeficiente de rugosidade da equação de Manning (n)

Cimento		
Superfície acabada	0,010	0,013
Argamassa	0,011	0,013
Canais abertos revestidos		
Concreto, com superfície de:		
Acabamento a colher	0,011	0,012
Acabamento a desempenadeira	0,013	0,015
Acabamento com cascalhos no fundo	0,015	0,017
Sem acabamento	0,014	0,017
Sobre escavação em rocha boa	0,017	0,020
Sobre escavação em rocha irregular	0,022	0,027

- Outros valores consultar: *Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT, 2006. p.127.*

Regimes de escoamento em canais

- **Regime crítico:** ocorre o mínimo de energia;
- **Regime supercrítico (rápido):** definido por ter uma declividade superior à do regime crítico;
- **Regime subcrítico (lento):** definido por uma declividade inferior à do regime crítico.

Energia específica

$$E = Y_n + \frac{V^2}{2g}$$

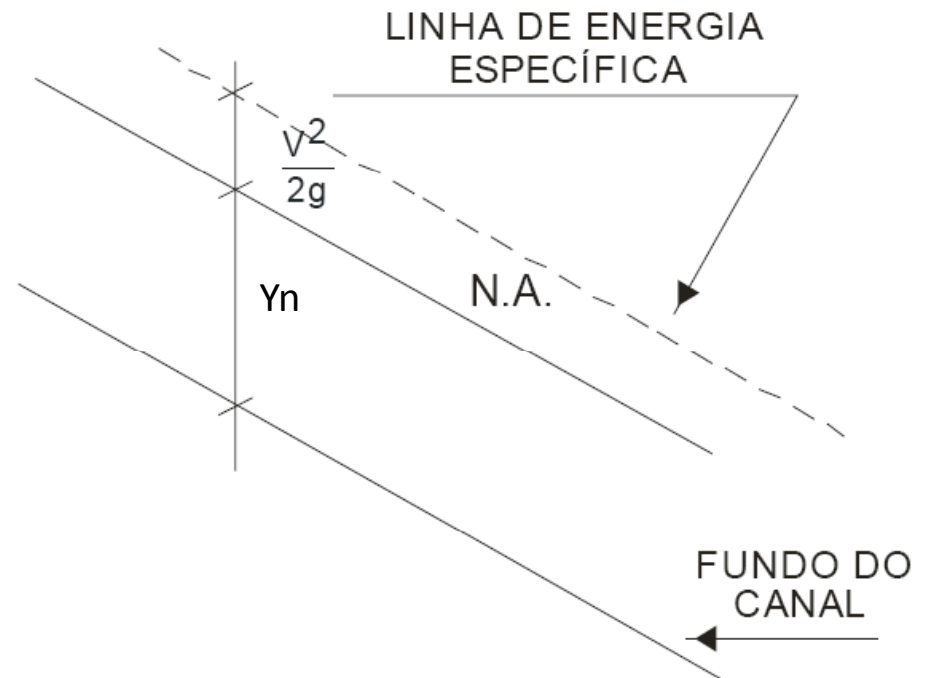
em que:

E = energia específica, m;

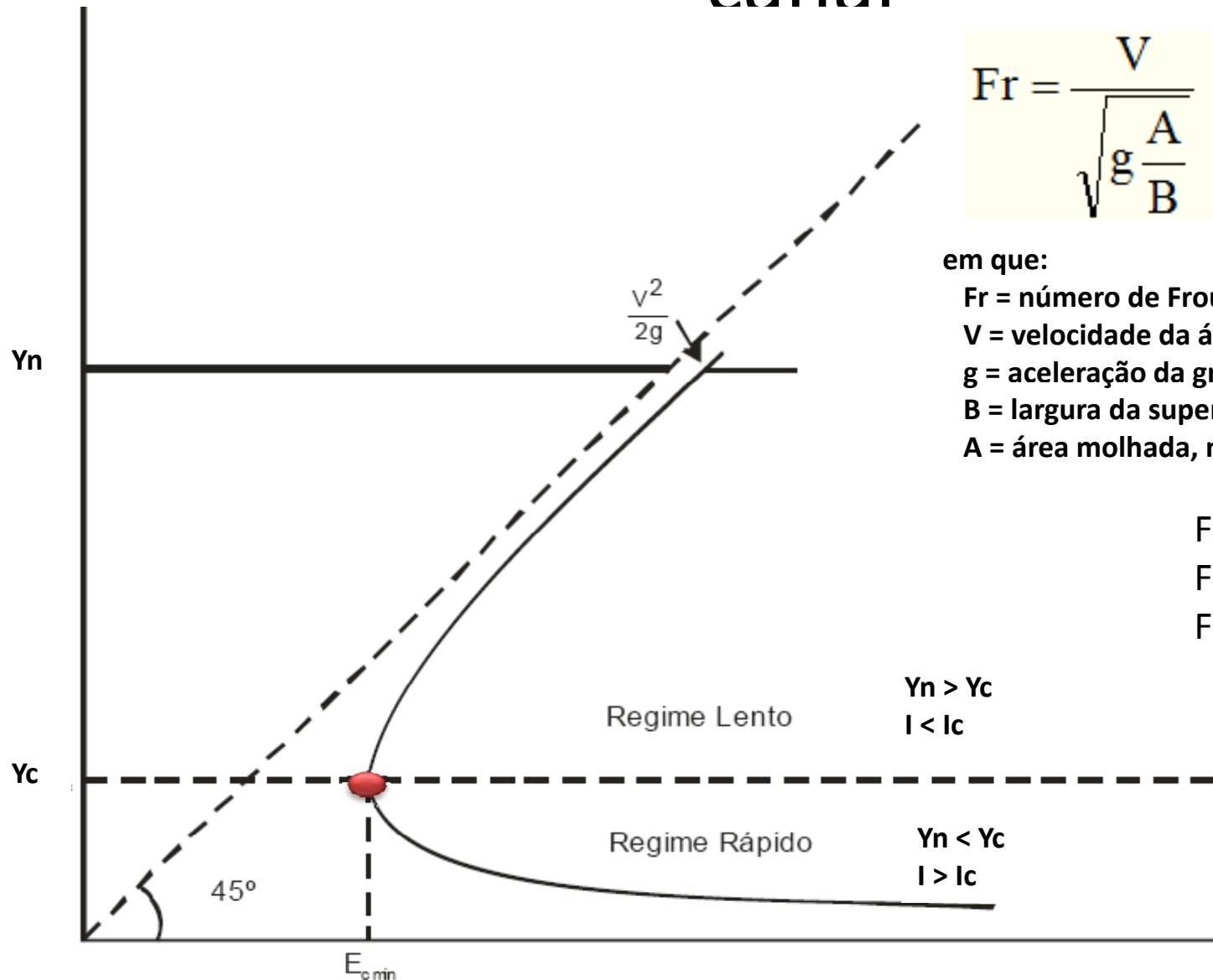
Y_n = profundidade normal, m;

V = velocidade da água, m/s; e

g = aceleração da gravidade, m/s².



Variação da energia específica em um canal



$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \frac{A}{B}}}$$

em que:

Fr = número de Froude, adimensional;
 V = velocidade da água no canal, m/s;
 g = aceleração da gravidade, m/s²;
 B = largura da superfície do canal, m;
 A = área molhada, m².

$Fr = 1$ (crítico)

$Fr < 1$ (subcrítico)

$Fr > 1$ (supercrítico)

Declividade crítica

– Tubulares :

$$I_c = 32,82 \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}}$$

– Celulares :

$$I_c = \frac{2,6.n^2}{\sqrt[3]{H}} \left(3 + \frac{4.H}{B} \right)^{4/3}$$

Declividade de assentamento do bueiro

- Recomenda-se para bueiros tubulares:
 - $1,5\% < I < 2,0\%$
- Recomenda-se para bueiros celulares:
 - $0,5\% < I < 1,0\%$

Escoamento crítico

- Para que aconteça o escoamento crítico no movimento uniforme é necessário que a superfície da lâmina d'água seja paralela ao fundo do canal e tenha altura igual a altura crítica (Y_c) correspondente à vazão em escoamento.
- No escoamento crítico a vazão é máxima e a energia específica é a mínima.

- Canais retangulares:

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

- Canais triangulares:

$$Y_c = \left(\frac{2Q^2}{z^2 g} \right)^{1/5}$$

- Canais circulares:

$$Y_c = \left[1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] \frac{D}{2}$$

$$\theta = 2 \arccos\left(1 - \frac{2Y_n}{D}\right)$$

Dimensionamento de bueiro tubulares no regime crítico

$$E = Y_n + \frac{V^2}{2g}$$

- Fazendo, $E = D$ (garante que funcionará como canal), então:

$$Q_c = 1,533 D^{2,5}, \text{ em m}^3/\text{s}$$

$$V_c = 2,56 \sqrt{D}, \text{ em m/s}$$

$$l_c = 32,82 \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}}, \text{ em m/m}$$

Bueiro tubular de concreto (regime crítico)

Bueiros tubulares de concreto

Vazão crítica:

bueiro simples: $Q_1 = 1,533D^{2,5}$

bueiro duplo : $Q_2 = 2 \times 1,533D^{2,5}$

bueiro triplo : $Q_3 = 3 \times 1,533D^{2,5}$

Velocidade crítica: $V = 2,56\sqrt{D}$

Declividade crítica: $I_c = \frac{0,739}{\sqrt[3]{D}}$ (%) para $n = 0,015$

Bueiro celular de concreto (regime crítico)

Vazão crítica:

bueiro simples: $Q_1 = 1,705B \times H^{1,5}$

bueiro duplo: $Q_2 = 2 \times 1,705B \times H^{1,5}$

bueiro triplo: $Q_3 = 3 \times 1,705B \times H^{1,5}$

Velocidade crítica: $V_c = 2,56 \times V^{0,5}$

Declividade crítica:

$$I_c = \frac{0,0585}{\sqrt[3]{H}} \left(3 + \frac{4H}{B} \right)^{4/3}, \text{ em \%}, \text{ para } n = 0,015$$

Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros tubulares de
concreto trabalhando como canal
(E = D)

TIPO	DIÂMETRO (m)	ÁREA MOLHADA CRÍTICA (m ²)	VAZÃO CRÍTICA (m ³ /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
BSTC	0,60	0,22	0,43	1,98	0,88
BSTC	0,80	0,39	0,88	2,29	0,80
BSTC	1,00	0,60	1,53	2,56	0,74
BSTC	1,20	0,87	2,42	2,80	0,70
BSTC	1,50	1,35	4,22	3,14	0,65
BDTC	1,00	1,20	3,07	2,56	0,74
BDTC	1,20	1,73	4,84	2,80	0,70
BDTC	1,50	2,71	8,45	3,14	0,65
BTTC	1,00	1,81	4,60	2,56	0,74
BTTC	1,20	2,60	7,26	2,80	0,70
BTTC	1,50	4,06	12,67	3,14	0,65

Fonte: DNIT, 2006

Verificação da vazão admissível (bueiro simples)

- Se, $l < l_c$

Regime Subcrítico

- Tubular :
$$Q_{adm} = \frac{0,305}{n} D^{8/3} I^{1/2}$$

- Celular :
$$Q_{adm} = \left[\frac{(0,8BH)^5}{(B + 1,6H)^2} \right]^{1/3} \frac{I^{1/2}}{n}$$

Verificação da vazão admissível (bueiro simples)

- Se, $l > l_c$

Regime supercrítico

- tubular : $Q_{adm} = Q_c = 1,533 D^{5/2}$
- celular : $Q_{adm} = Q_c = 1,705 BH^{3/2}$

Uso de tabelas para dimensionar o bueiro como canal

d = Tirante d'água

D = Diâmetro do bueiro

$$K_V = \frac{V \times n}{D^{2/3} \times I^{1/2}}$$

A = Área molhada

R = Raio Hidráulico

$$K_Q = \frac{Q \times n}{D^{8/3} \times I^{1/2}}$$

Q = Vazão (m^3/s)

n = Coeficiente de rugosidade de Manning

I = declividade do bueiro (m/m)

Tabela dos circulares parcialmente cheios (Manual de Drenagem de Rodovias, p.80)

d/D	A/D^2	R/D	K_v	K_Q
0,01	0,0013	0,0066	0,0353	0,00005
0,02	0,0037	0,0132	0,0559	0,00021
0,03	0,0069	0,0197	0,0730	0,00050
0,04	0,0105	0,0262	0,0881	0,00093
0,05	0,0147	0,0326	0,1019	0,00150
0,06	0,0192	0,0389	0,1147	0,00221
0,07	0,0242	0,0451	0,1267	0,00306
0,08	0,0294	0,0513	0,1381	0,00406
0,09	0,0350	0,0575	0,1489	0,00521
0,10	0,0409	0,0635	0,1592	0,00651
0,11	0,0470	0,0695	0,1691	0,00795
0,12	0,0534	0,0755	0,1786	0,00953
0,13	0,0600	0,0813	0,1877	0,01126
0,14	0,0668	0,0871	0,1965	0,01313
0,15	0,0739	0,0929	0,2051	0,0152
0,16	0,0811	0,0986	0,2133	0,0173

d/D	A/D ²	R/D	K _V	K _Q
0,56	0,4526	0,2676	0,4153	0,1879
0,57	0,4625	0,2703	0,4180	0,1933
0,58	0,4724	0,2728	0,4206	0,1987
0,59	0,4822	0,2753	0,4231	0,2040
0,60	0,4920	0,2776	0,4256	0,2094
0,61	0,5018	0,2799	0,4279	0,2147
0,62	0,5115	0,2821	0,4301	0,2200
0,63	0,5212	0,2842	0,4323	0,2253
0,64	0,5308	0,2862	0,4343	0,2306
0,65	0,5404	0,2881	0,4362	0,2358
0,66	0,5499	0,2900	0,4381	0,2409
0,67	0,5594	0,2917	0,4398	0,2460
0,68	0,5687	0,2933	0,4414	0,2511
0,69	0,5780	0,2948	0,4429	0,2560
0,70	0,5872	0,2962	0,4444	0,2609
0,71	0,5964	0,2975	0,4457	0,2658
0,72	0,6054	0,2987	0,4469	0,2705
0,73	0,6143	0,2998	0,4480	0,2752
0,74	0,6231	0,3008	0,4489	0,2797
0,75	0,6319	0,3017	0,4498	0,2842
0,76	0,6405	0,3024	0,4505	0,2886
0,77	0,6489	0,3031	0,4512	0,2928
0,78	0,6573	0,3036	0,4517	0,2969
0,79	0,6655	0,3039	0,4520	0,3008
0,80	0,6736	0,3042	0,4523	0,3047
0,81	0,6815	0,3043	0,4524	0,3083
0,82	0,6893	0,3043	0,4524	0,3118

Seqüência de cálculo

(DNIT, 2006) – Verificação Inicial

- Verificar o regime de escoamento de acordo com a declividade especificada e a declividade crítica;
- Verificar a vazão admissível de acordo com o regime de escoamento;
- Caso a vazão de projeto seja inferior a vazão admissível adotar a lâmina máxima de água no bueiro (d/D), caso contrário verificar as condições de funcionamento como orifício.

Seqüência de cálculo (DNIT, 2006) – cálculo como canal

- O valor de Q é conhecido porque é a descarga da bacia a ser drenada (vazão de projeto), calculada nos estudos hidrológicos do projeto;
- O valor de l é conhecido pelo levantamento topográfico do local onde o bueiro deverá ser implantado;
- O valor n (coeficiente de Manning) é conhecido pois depende da natureza do material de que será feito o bueiro (concreto, chapa metálica, corrugada etc).

Seqüência de cálculo (DNIT, 2006) – cálculo como canal

- Admite-se inicialmente um valor para a relação d/D , variando de 0,20 a 0,80, optando-se em geral pelo valor máximo;
- Com o valor adotado para a relação d/D , entra-se na tabela dos parcialmente cheios, para obtenção do coeficiente K_Q

$$- D = [Q \cdot n / (K_Q \cdot I^{0,5})]^{3/8}$$

- Com K_Q determina-se o valor do diâmetro teórico e se este mostrar-se inadequado pelas restrições do local de assentamento ou por não existir comercialmente tubo com diâmetro de tal porte, deverá ser considerado bueiro de seção múltipla, dividindo-se a descarga de projeto pelo número de linhas de tubo a adotar. Ao final será fixado para a linha de tubos simples ou múltipla o diâmetro mais próximo comercialmente disponível;

Seqüência de cálculo (DNIT, 2006) – cálculo como canal

- com o diâmetro comercial calcula-se o novo valor de K_Q obtendo-se na tabela a relação d/D , e o valor de K_v , que fornecerá o valor de V , comparando a velocidade de escoamento com os valores mínimo e máximo aceitáveis, função da sedimentação das partículas em suspensão e da erosão das paredes dos tubos;

$$- K_v = V \cdot n \cdot D^{-2/3} \cdot I^{-0,5}$$

- Se os valores acima estiverem dentro dos limites estabelecidos, o dimensionamento é concluído; caso contrário, faz-se nova tentativa com outra relação d/D , procurando-se aumentar ou diminuir a velocidade.

Exemplo

- Dimensionar um bueiro tubular para transpor a vazão de projeto calculada nos estudos hidrológicos realizados no exemplo 1 (apresentação anterior). Considere o bueiro funcionando como orifício e o aterro com altura de 2,5 m. Em uma segunda análise, verifique o funcionamento do bueiro como canal considerando as informações mostradas na figura abaixo.

