



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

DP-H11

DIRETRIZES DE PROJETO PARA BUEIROS



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

ÍNDICE

	PÁG.
1. OBJETIVO	243
2. DEFINIÇÕES.....	243
3. BUEIROS EM ÁREAS URBANAS	244
4. METODOLOGIA.....	244
5. IMPORTÂNCIA DA ENTRADA.....	245
5.1 ENTRADAS DE BUEIROS	245
5.2 ENTRADAS DE CONDUTOS LONGOS	245
6. CONCEITOS HIDRÁULICOS BÁSICOS	245
6.1 PERDAS DE ENERGIA	246
6.2 LINHA DE ENERGIA E LINHA PIEZOMÉTRICA	248
6.3 HIDRÁULICA DOS BUEIROS	248
7. ESTRUTURAS DE ENTRADA DE SISTEMAS DE DRENAGEM	254
7.1 ENTRADAS PROJETANTES	254
7.2 ENTRADAS COM MUROS DE TESTA	257
8. PROJETO DE BUEIROS E ENTRADAS.....	261
8.1 INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS DE PROJETO	262
8.2 DIMENSÃO DOS BUEIROS	262
8.3 PROCEDIMENTO GERAL PARA O PROJETO DE BUEIROS.....	271
9. CONSIDERAÇÕES ESPECIAIS SOBRE BUEIROS.....	280
9.1 EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO.....	280



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99
9.2	CANAIS OBLÍQUOS AOS BUEIROS.....	281
9.3	TOMBAMENTO DA ENTRADA.....	282
10.	ENTRADAS DE GALERIAS DE CONCRETO	282
10.1	ENTRADAS COMUNS DE BUEIROS	283
10.2	ENTRADAS ESPECIAIS PARA BUEIROS.....	283
11.	ENTRADAS DE CONDUTOS LONGOS.....	284
11.1	ENTRADAS ESPECIAIS.....	284
12.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	284
12.1	ENTRADAS DE CANAIS ABERTOS	284
12.2	TRANSIÇÕES	285
13.	GRADES	285
13.1	GRADES PASSÍVEIS DE TOMBAMENTO.....	286
13.2	GRADES SITUADAS A MONTANTE.....	286
14.	GRÁFICOS DE CAPACIDADE E NOMOGRAMAS.....	286
14.1	DISPOSIÇÃO DAS CURVAS.....	287



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

1. OBJETIVO

Esta diretriz tem por objetivo estabelecer métodos e parâmetros de cálculo para o dimensionamento de bueiros a serem utilizados nos projetos da SVP/PMSP.

2. DEFINIÇÕES

Nos projetos de drenagem são considerados bueiros as galerias de águas pluviais de curta extensão, geralmente utilizadas na transposição de via sobre um curso d'água. A posição mais favorável para o bueiro é quando cruza transversalmente a via, mas em muitos casos o cruzamento é oblíquo.

Na presente diretriz de projeto são apresentados os seguintes símbolos:

- Q = Descarga total a ser transportada pelo bueiro ou canal (m^3/s).
- n = Coeficiente de rugosidade de Manning.
- A = Área da seção transversal do canal ou bueiro (m^2).
- R = Raio hidráulico (m).
- i = Declividade do bueiro ou canal (m/m).
- V = Velocidade média do escoamento (m/s).
- g = Aceleração da gravidade ($9,8 m^2/s$).
- P = Pressão (kgf/m^2).
- Z = Elevação do fundo de um canal ou bueiro acima de um plano arbitrário (m).
- W = Peso específico da água (g/cm^3).
- C = Coeficiente de descarga do orifício.
- He = Perda de carga na entrada (m).
- Ke = Coeficiente de perda de carga na entrada.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

H_f = Perda de carga por atrito (m).

f = Coeficiente de atrito.

L = Comprimento do bueiro (m).

D = Diâmetro do bueiro (cm ou m).

H_w = Altura d'água acima do fundo na entrada do bueiro (m).

h_o, H_s, T_w = Altura d'água, acima do fundo, na saída do bueiro (m).

H = Perda total de energia através do bueiro, da entrada até a saída (m).

h_c = Altura crítica (m).

3. BUEIROS EM ÁREAS URBANAS

As metodologias para dimensionamento dos bueiros são desenvolvidas geralmente para projeto de estradas, e sua aplicação em drenagem urbana exige um cuidado adicional quanto à carga hidráulica admissível a montante. O levantamento topográfico deve necessariamente conter as soleiras dos imóveis situados junto ao curso d'água em estudo e ainda, a cota de fundo e diâmetro das galerias que deságuam nesse mesmo córrego. Com esses dados, pode ser estabelecido o nível máximo d'água a montante, que deve estar 1,0 m abaixo da soleira mais baixa, e abaixo da geratriz superior das galerias que deságuam no córrego. Caso a área esteja ainda em urbanização, o mesmo critério deve ser adotado com relação à cota de lotes particulares. Em geral, essas condicionantes levam a se considerar o nível d'água a montante igual à cota da geratriz superior na entrada do bueiro.

4. METODOLOGIA

Para o dimensionamento dos bueiros, recomenda-se utilizar a metodologia apresentada em "Drenagem Urbana – Manual de Projeto, CETESB, 1986". Essa metodologia deve ser aplicada nos projetos de bueiros, no dimensionamento das embocaduras de galerias pluviais e na verificação de projetos quando se planeja a sua implantação em etapas.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

5. IMPORTÂNCIA DA ENTRADA

Um bueiro tem sua capacidade limitada pela descarga admitida em sua entrada. Frequentemente, bueiros e canais abertos são cuidadosamente projetados com grande atenção quanto à declividade, seção transversal e rugosidade, mas sem o devido cuidado quanto às limitações de entrada. Bueiros projetados com o auxílio das equações do regime uniforme raramente têm condições de transportar a descarga de projeto devido às limitações impostas pelas entradas.

5.1 ENTRADAS DE BUEIROS

Entradas de bueiros com vários formatos e diferentes características podem ser projetadas para objetivos específicos. As vantagens e desvantagens dos vários tipos de entrada devem ser pesadas, cuidadosamente, antes da seleção de um determinado tipo em particular, devendo-se incluir considerações de ordem hidráulica, topográfica, bem como as que levem em conta o custo total da instalação.

5.2 ENTRADAS DE CONDUTOS LONGOS

As entradas são importantes no projeto de bueiros para a travessia de estradas, entretanto, elas têm igualmente grande importância no projeto econômico de bueiros longos e outros condutos. Um bueiro longo que não tenha sua capacidade de transporte plenamente utilizada resulta em investimento parcialmente perdido.

6. CONCEITOS HIDRÁULICOS BÁSICOS

A importância das entradas pode ser melhor ilustrada, através da revisão das considerações hidráulicas necessárias para o projeto de bueiros. Com vistas a esta revisão, pressupõe-se que o leitor conheça os conceitos básicos de hidráulica envolvidos nas equações:



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Manning $Q = \frac{1}{n} . A . R_n^{2/3} . i^{1/2} \dots\dots\dots (6.1)$

Continuidade $Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \dots\dots\dots (6.2)$

Energia $\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{W} + Z + \text{perdas} = \text{constante} \dots\dots\dots (6.3)$

Um bueiro é definido como um conduto utilizado para dar passagem livre às águas provenientes de drenagem superficial, sob uma rodovia, ferrovia, canal ou qualquer tipo de aterro.

6.1 PERDAS DE ENERGIA

Em condutos curtos, como bueiros, as perdas de energia devidas à forma da entrada podem ser tão importantes quanto as perdas por atrito ao longo do conduto. Para a determinação da capacidade do bueiro, devem ser avaliadas as perdas de carga na entrada e na saída, bem como aquelas resultantes do atrito ao longo do conduto.

Perdas na entrada

As equações que regem o fenômeno são:

$Q = C . A . \sqrt{2 . g . H_e} \dots\dots\dots (6.4)$

$H_e = K_e . \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (6.5)$

onde K_e é o coeficiente de perda de carga na entrada.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Perdas na saída

As equações que permitem o cálculo da perda de carga na saída do bueiro são expressas em função da diferença entre as cargas cinéticas no conduto e no canal de jusante, podendo ser vistas na DP-H08 – Perda de carga em Singularidades de Canais e Galerias da SVP/PMSP, em especial, alargamentos e rebaixamentos de nível.

Perdas por atrito

Para condutos trabalhando à seção plena, as perdas de carga devido ao atrito podem ser determinadas através da equação:

$$H_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \dots\dots\dots (6.6)$$

f = coeficiente de atrito

L = comprimento do bueiro

D = diâmetro do bueiro

$\frac{V^2}{2g}$ = carga cinética do escoamento

Os manuais de hidráulica apresentam tabelas que permitem avaliar o coeficiente de atrito. Entretanto, normalmente, são utilizados gráficos que permitem uma determinação direta das perdas de carga por atrito. Para as obras da SVP/PMSP, podem ser utilizados os coeficientes apresentados no documento DP-H13 – Coeficientes de Rugosidade da SVP-PMSP, associados à fórmula de Manning.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

6.2 LINHA DE ENERGIA E LINHA PIEZOMÉTRICA

As Figuras 6.1 e 6.2 ilustram as linhas de energia e piezométrica, bem como os termos a elas relacionados.

A linha de energia (L.E.), também conhecida como linha de carga total, é a soma da carga cinética $V^2/2g$, da profundidade do escoamento ou carga de pressão P/W e da cota, medida em relação a um plano arbitrário de referência, representada pela distância Z . A linha de energia inclina-se na direção do escoamento de uma razão igual ao gradiente de energia H_L/L , onde H_L é a perda total de energia ao longo do percurso L . A linha piezométrica (L.P.), é a soma da elevação Z e da profundidade do escoamento ou carga de pressão P/W .

Para escoamento em canal aberto, o termo P/W é equivalente à profundidade do escoamento, e a linha piezométrica coincide com a superfície do nível d'água. Para escoamento sob pressão, em condutos fechados, P/W é a carga de pressão, e a linha piezométrica decresce acima do topo do conduto, enquanto a pressão se mantiver acima da pressão atmosférica.

6.3 HIDRÁULICA DOS BUEIROS

A aproximação da entrada de um bueiro (ponto 1 da Figura 6.1) ocorre em regime uniforme e as linhas piezométrica e de energia são praticamente coincidentes. Ao atingir o bueiro, o escoamento sofre inicialmente uma contração e, em seguida, uma expansão provocada pelas características geométricas da entrada, causando uma perda de energia no ponto 2.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

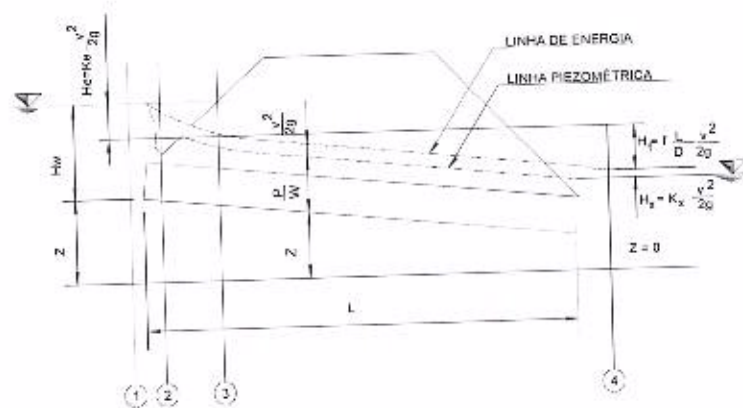


Figura 6.1
Definição de termos para escoamento em condutos fechados.

Em bueiros curtos, as perdas de carga devidas à entrada podem ser tão altas quanto as perdas por atrito. Na saída, ponto 4, uma perda adicional ocorre provocada pela turbulência, pois o escoamento se expande no canal a jusante. No ponto 5 da Figura 6.2, o escoamento em canal aberto é restabelecido e a linha piezométrica coincide com a linha d'água.

A capacidade de descarga de um bueiro é determinada pela localização de sua seção de controle. A influência de uma seção de controle pode ser ilustrada através do exemplo de uma válvula, cujo ajuste controla a vazão em um conduto. Desta forma, a capacidade de descarga do conduto é superior à permitida pela válvula. De modo análogo, a seção de controle de um bueiro é aquela que opera com máxima capacidade. Somente em sistemas hidráulicos muito simples, todos os seus componentes operam com mesma capacidade de descarga. Assim sendo, o escoamento em um bueiro é controlado pela capacidade hidráulica de uma determinada seção, que pode estar localizada na entrada ou na saída do bueiro.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99



Figura 6.2

Definição de termos para escoamento em canal aberto.

Em geral, o controle na entrada ocorre quando a capacidade de escoamento do bueiro, para uma certa vazão, é superior à capacidade de admissão de água pela entrada. Neste caso, a descarga torna-se independente do comprimento, declividade e rugosidade do conduto. Quando a capacidade hidráulica do conduto for inferior à capacidade de admissão de água pela entrada, configura-se o controle na saída. Neste caso, a descarga será afetada por todos os fatores hidráulicos existentes a montante da saída, ou seja: carga hidráulica, geometria da entrada, diâmetro do conduto, rugosidade das paredes, comprimento e declividade do bueiro. A localização da seção de controle pode ser alterada, à medida que as capacidades hidráulicas da entrada e do conduto mudem com o aumento ou diminuição da descarga.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Controle na entrada

O controle na entrada de bueiros pode ocorrer sob duas condições. A menos freqüente ocorre quando o nível d'água a montante não é suficiente para afogar o topo do bueiro e a declividade de fundo do bueiro é supercrítica, como mostrado na Figura 6.3. O controle na entrada mais comum ocorre quando o nível d'água a montante afoga o topo do bueiro, Figura 6.4, e o conduto não trabalha à seção plena. Um bueiro trabalhando sob controle na entrada é definido como conduto hidráulicamente curto.

Controle na saída

Se o nível d'água a montante é suficientemente elevado, a declividade do bueiro é bastante suave e o conduto suficientemente longo, o controle será transferido para a saída. Nestas condições, a descarga é uma função das perdas de carga na entrada, da profundidade do nível d'água a montante, da rugosidade, comprimento e diâmetro do bueiro, além da declividade e, em alguns casos, do nível d'água a jusante.

O controle na saída poderá existir sob duas condições. A primeira, menos comum, ocorre quando o nível d'água a montante é insuficiente para afogar o topo do bueiro e a declividade de fundo é subcrítica (Figura 6.5). A situação mais comum ocorre quando o bueiro trabalha à seção plena (Figura 6.6). Um bueiro trabalhando sob controle na saída é definido como um conduto hidráulicamente longo.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

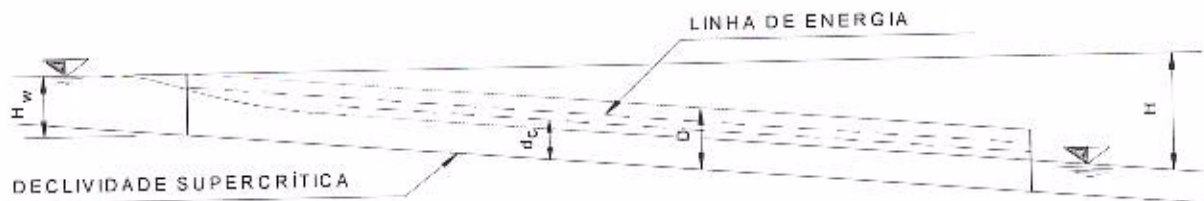


Figura 6.3
Controle na entrada – entrada não afogada.



Figura 6.4
Controle na entrada – entrada afogada.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

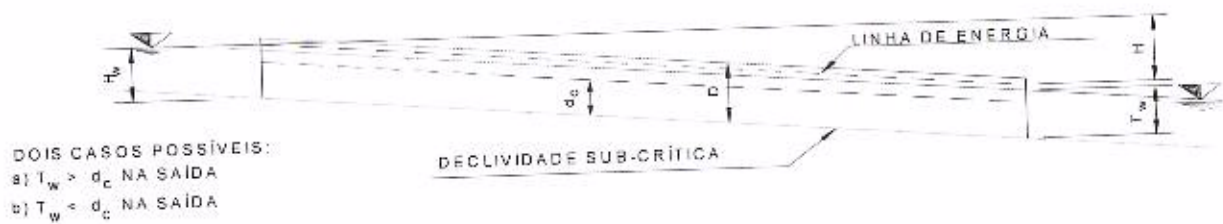


Figura 6.5
Controle na saída – conduto parcialmente cheio.

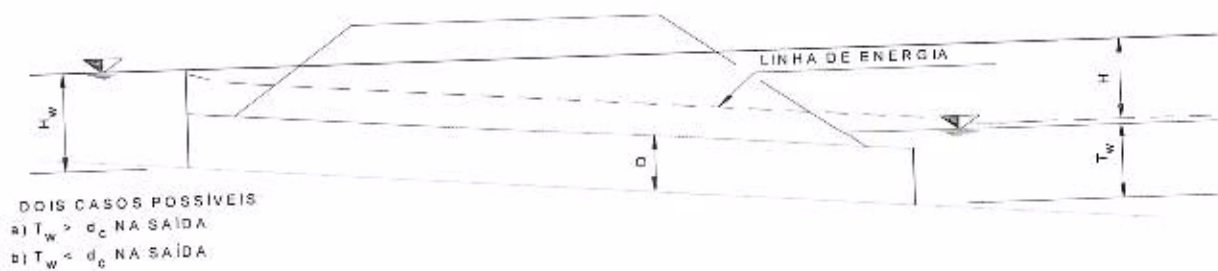


Figura 6.6
Controle na saída – conduto cheio.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

7. ESTRUTURAS DE ENTRADA DE SISTEMAS DE DRENAGEM

O projeto de um bueiro, incluindo as estruturas de entrada e saída, requer uma análise dos custos, eficiência hidráulica, objetivos e condições topográficas do local de implantação. Quando as condições permitirem um nível elevado d'água a montante, a escolha de um determinado tipo de entrada poderá não ser o ponto crítico, mas se o nível for limitado e/ou os processos de sedimentação e erosão forem apreciáveis, a escolha de uma entrada mais eficiente deve ser providenciada para se obter a necessária capacidade de descarga pelo bueiro.

O objetivo principal de um bueiro é conduzir uma determinada vazão. Um bueiro pode também ser utilizado para limitar uma vazão, isto é, para descarregar um volume controlado de água, enquanto a bacia a montante do mesmo é utilizada como reservatório de detenção, a fim de reduzir a vazão de pico de enchente. Neste caso, é desejável a escolha de uma entrada que apresente baixa eficiência hidráulica.

Os tipos de entrada, a seguir descritos, podem ser relacionados para satisfazer qualquer uma das exigências mencionadas, dependendo da topografia ou das condições impostas pelo projetista. O coeficiente de entrada, K_e , que foi definido pela equação 6.5 é uma medida da eficiência hidráulica do tipo de entrada escolhido, sendo os valores mais baixos indicadores de maior eficiência.

Os coeficientes de entrada recomendados são apresentados na Tabela 7.1.

7.1 ENTRADAS PROJETANTES

Este tipo de entrada apresenta grande variação quanto à eficiência hidráulica, bem como quanto à sua adaptabilidade em relação ao tipo de material utilizado na confecção do tubo. A Figura 7.1 ilustra este tipo de entrada.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

Tabela 7.1

Coeficientes de entrada (K_e) para controle na saída

TIPO DE ENTRADA	COEFICIENTE DE ENTRADA (K_e)
Entrada do tubo com muro de testa	
• Borda ranhurada	0,20
• Borda arredondada (raio = 0,15D)	0,15
• Borda arredondada (raio = 0,25D)	0,10
• Borda em ângulo reto (concreto e TMC)	0,40
Entrada do tubo com muro de testa e muro de ala a 45°	
• Borda ranhurada	0,20
• Borda em ângulo reto	0,35
Muro de testa com muros de ala paralelos, espaçados de 1,25D.	
• Borda ranhurada	0,30
• Borda em ângulo reto	0,40
Entrada projetante	
• Borda ranhurada	0,25
• Borda em ângulo reto	0,50
• Borda delgada, parede fina	0,90



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

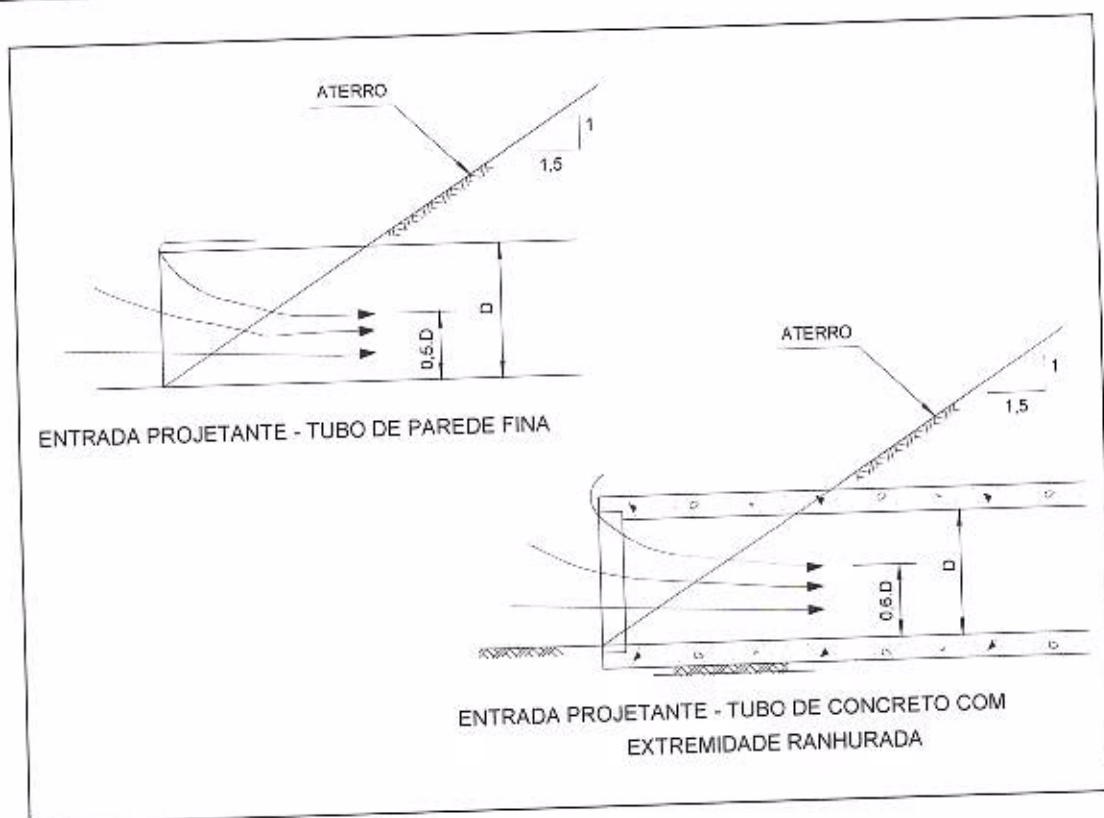


Figura 7.1
Definição de termos para escoamento em condutos fechados

Tubo de concreto

Tubo de concreto do tipo ponta e bolsa, ou do tipo macho e fêmea com extremidade em bolsa ou com extremidade ranhurada, utilizado como entrada, apresenta alta eficiência hidráulica, com um coeficiente de entrada em torno de 0,25. Quando o tubo for seccionado, apresentando a entrada com aresta em canto vivo, o coeficiente de entrada passa a ser de 0,50.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Tubo de metal corrugado

Uma entrada projetante constituída por tubo de metal corrugado (TMC) comporta-se de modo semelhante a uma entrada de borda delgada com parede fina e apresenta um coeficiente de entrada em torno de 0,9.

Comentários sobre as entradas projetantes

A principal vantagem na utilização de entradas projetantes está no seu baixo custo. Considerando-se que este tipo de entrada fica sujeita a danos provocados por ocasião da manutenção do aterro, bem como da rodovia, além de acidentes que aí possam ocorrer, a utilização da mesma deve levar em conta o tipo de material utilizado na sua construção.

As entradas projetantes, constituídas por tubos de metal corrugado, apresentam limitações que incluem baixa eficiência, danos que podem ser provocados pela manutenção do canal e dificuldades encontradas pelo pessoal de manutenção para operar nas proximidades. A eficiência hidráulica dos tubos de concreto com a bolsa como entrada é boa e, por esta razão, a única restrição quanto a este tipo de entrada diz respeito à necessidade de manutenção do canal e do aterro nas vizinhanças da entrada. Quando for necessária a manutenção do aterro, não é recomendável o uso de qualquer tipo de entrada projetante.

7.2 ENTRADAS COM MUROS DE TESTA

Os muros de testa, conforme visualizado na Figura 7.2, podem ser usados por várias razões, como aumento da eficiência da entrada e da estabilidade do aterro, além de proteger o mesmo contra a erosão. A eficiência da entrada varia em função do tipo de material utilizado na execução do conduto. A Figura 7.2. ilustra um tipo de muro de testa, provido de muros de ala.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

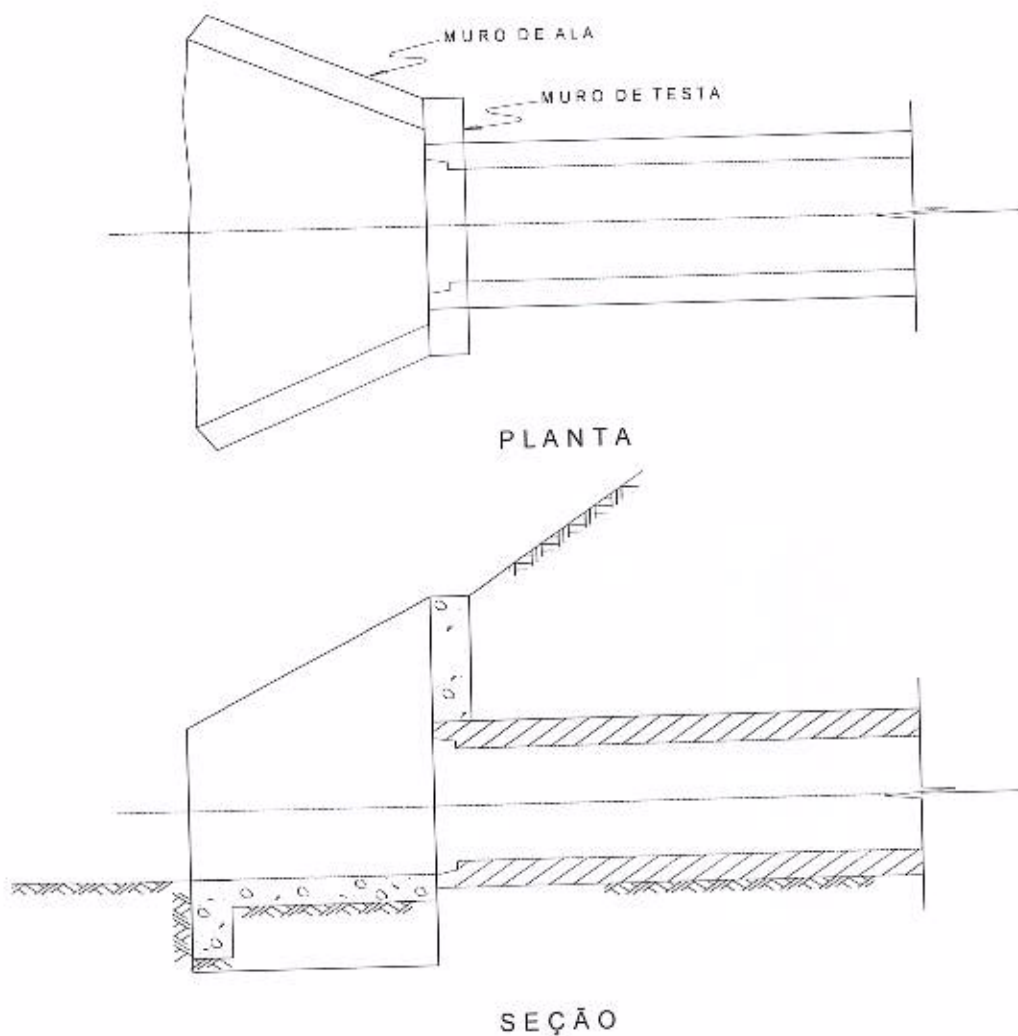


Figura 7.2
Entrada com muro de testa e muros de ala



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Tubo de metal corrugado

Este tipo de tubo, provido de muro de testa, constitui essencialmente uma entrada com aresta em canto vivo, com coeficiente de entrada em torno de 0,40. As perdas na entrada podem ser reduzidas pelo arredondamento dos bordos da entrada. O coeficiente de entrada pode ser reduzido para 0,15, caso o raio do arredondamento seja de 0,15 vez o diâmetro do bueiro, e para 0,10 para o raio igual 0,25 vez o diâmetro do bueiro.

Tubo de concreto

Para tubo de concreto do tipo macho e fêmea ou com extremidade em bolsa, a utilização de muro de testa permite um pequeno aumento na eficiência hidráulica. A principal razão para o uso do muro de testa está na proteção do aterro e na facilidade de manutenção. O coeficiente de entrada é da ordem de 0,20 para tubos terminando em bolsa ou ranhurados, e de 0,40 para tubos seccionados (borda em ângulo reto).

Muros de ala

São utilizados quando os taludes laterais do canal adjacente à entrada são instáveis e quando o bueiro é oblíquo ao escoamento normal no canal. O uso de muros de ala produz um pequeno aumento na eficiência hidráulica, independentemente do tipo de material usado na confecção do tubo. Portanto, o uso de muros de ala é justificável, por outras razões que não o aumento da eficiência hidráulica, como por exemplo a proteção do aterro contra erosões. A Figura 7.3 ilustra vários casos, onde estes elementos são utilizados. Para muros de ala paralelos, a distância mínima entre eles deve ser de 1,25 vez o diâmetro do conduto.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

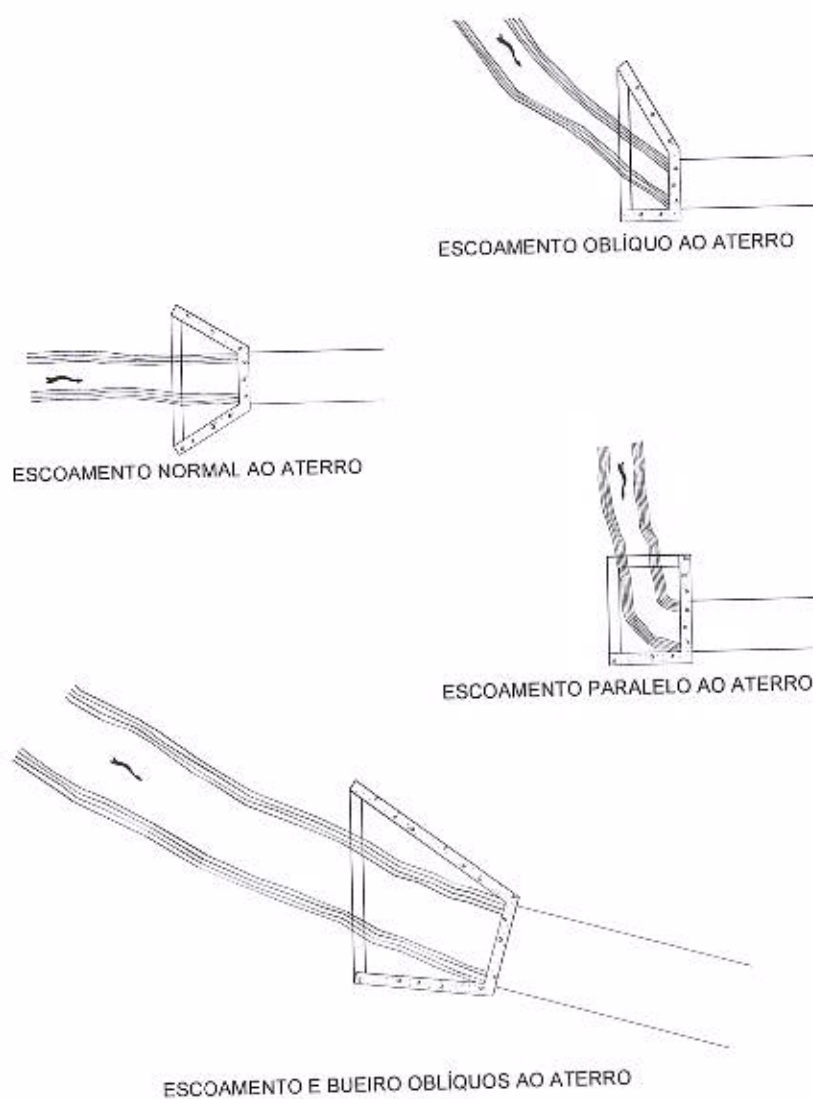


Figura 7.3
Configurações típicas de muro de testa e de muro de ala



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Revestimento

Se houver a possibilidade de ocorrência de níveis d'água elevados a montante da entrada, ou se a velocidade de aproximação no canal puder provocar erosão, deve ser providenciado o revestimento do canal junto ao pé do muro de testa. Este revestimento deve ter uma extensão mínima correspondente a um diâmetro do conduto, a montante da entrada, e seu topo não deve estar saliente em relação ao fundo do canal.

Bueiros providos de muros de ala devem ser projetados com revestimento de concreto entre os referidos muros. Este revestimento deve ser reforçado, a fim de se evitar rupturas. Como está ilustrado na Figura 7.3, a configuração dos muros de ala varia em função da direção do escoamento e pode também variar de acordo com as condições topográficas do local.

Quando as altas velocidades de aproximação aliadas a condições especiais de solos, como no caso de solos aluvionares, provocarem erosões intensas, é freqüentemente desejável um muro posicionado na base do talude, além da construção do revestimento.

8. PROJETO DE BUEIROS E ENTRADAS

As informações e publicações necessárias para o projeto de bueiros, de acordo com a metodologia apresentada nesta diretriz, podem ser encontradas nos trabalhos "Hydraulic Charts for Selection of Highway Culverts", Hydraulic Engineering Circular nº 5, December 5, 1965 e "Capacity Charts for the Hydraulic Design of Highway Culverts", Hydraulic Engineering Circular nº 10, march, 1965. Estes dois trabalhos são publicações do "U.S. Bureau of Public Roads (B.P.R.)". Esta diretriz apresenta alguns gráficos e nomogramas relativos aos casos mais comuns. No item 14 são encontrados gráficos que abrangem toda a faixa de aplicações comumente encontrada em drenagem urbana. Estes gráficos foram adaptados ao sistema métrico de unidades. As indicações e diâmetros de condutos, embora em unidades métricas,



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

referem-se a valores originariamente em polegadas. Para casos especiais, podem ser utilizadas as publicações do "BRP – Bureau of Public Roads".

8.1 INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS DE PROJETO

Várias informações necessárias para projeto de bueiros são obtidas em outras diretrizes, oportunamente indicadas. Os elementos seguintes devem ser determinados, antes que o bueiro possa ser projetado:

- Cota do nível d'água a montante
- Cota do nível d'água a jusante
- Vazão de projeto
- Cotas do fundo do bueiro

8.2 DIMENSÃO DOS BUEIROS

O método empregado cobre a maior parte dos casos encontrados nos projetos e é baseado nas publicações do "Bureau of Public Roads", previamente mencionadas.

Descrição dos gráficos de capacidade

A Figura 8.1 fornece o exemplo de um gráfico de capacidade utilizado na determinação da dimensão de um bueiro.

Cada gráfico contém uma série de curvas que mostram a capacidade de descarga por conduto, em m^3/s , para diversos diâmetros de bueiros similares, em função dos níveis d'água a montante da entrada referidos ao fundo do bueiro. Este é definido como sendo o ponto mais baixo da transversal do bueiro.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

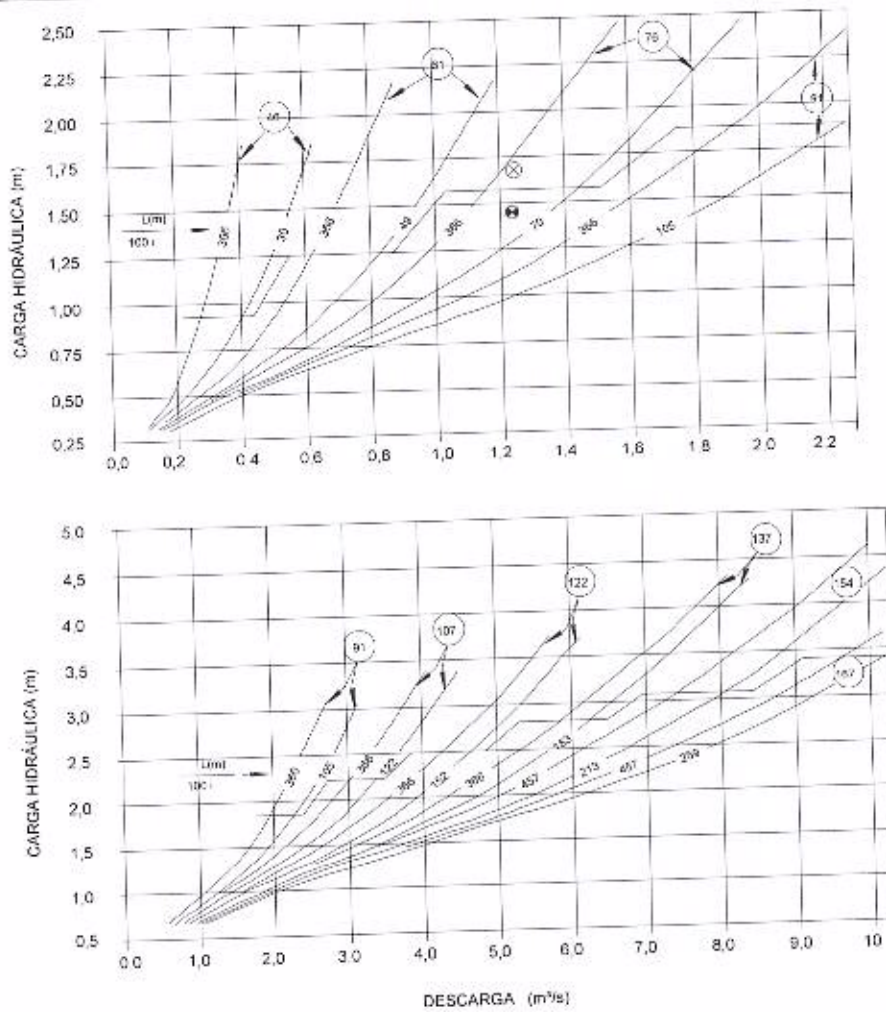
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

⊗ DADO

$Q = 1,22 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_w = 1,65 \text{ m}$
 $L = 37 \text{ m}$ $i = 0,002$

➔ SELECIONADO

$H_w = 1,43 \text{ m}$
 $D = 76$

PARA PROJETO USE OS GRÁFICOS E NOMOGRAMAS DO ITEM 14

CAPACIDADE DE BUEIRO
 TUBO CIRCULAR DE CONCRETO
 ENTRADA COM BORDA RANHURADA

DIÂMETROS 46 cm a 168 cm

Figura 8.1
Exemplo de gráfico de capacidade de bueiro



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Cada diâmetro é limitado por duas linhas, uma cheia e outra tracejada. Os números associados a essas linhas são a relação entre o comprimento L , em metros, e $100 \times i$, sendo i dado em metro por metro. As linhas tracejadas representam a máxima relação $L/(100i)$, para a qual a curva pode ser utilizada sem alterações. A linha cheia representa o limite entre a operação com controle na saída e na entrada. Para valores de $L/(100i)$ menores que os indicados na linha cheia, o bueiro irá operar com controle na entrada e a profundidade do nível d'água a montante será determinada através da relação $L/(100i)$ dada pela linha cheia, a qual é traçada a partir de resultados obtidos em modelos.

As curvas tracejadas (controle na saída) foram computadas para bueiros de diversos comprimentos com pequenas declividades, admitindo descarga livre a jusante, ou seja, o nível d'água a jusante não influi no comportamento do bueiro.

Para bueiros operando sob controle na saída, as perdas de carga na entrada foram calculadas utilizando os coeficientes dados anteriormente, sendo que a rugosidade hidráulica dos vários materiais usados na fabricação dos tubos foi levada em consideração no cálculo das perdas por atrito, para escoamento com seção parcial ou totalmente cheia. Os valores do coeficiente n de Manning usados para cada tipo de bueiro variaram de 0,012 a 0,032.

Com exceção dos condutos de grande diâmetro, as profundidades da linha d'água a montante, nos gráficos, atingem até três vezes a altura do bueiro.

A linha pontilhada passando através dos gráficos mostra profundidades da linha d'água a montante correspondente a cerca de duas vezes a altura dos condutos, e indica o limite superior de uso recomendável dos gráficos. Acima desta linha, os níveis d'água devem ser confrontados com os resultados obtidos dos nomogramas apresentados adiante.

A profundidade da linha d'água a montante, dada pelos gráficos, é na realidade a diferença de cotas entre o fundo do bueiro na entrada e a carga total, isto é, a profundidade somada à



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

carga cinética do escoamento no canal de aproximação. Na maioria dos casos, pode-se tomar a indicação dada no gráfico como altura do escoamento a montante da entrada.

Quando a velocidade de aproximação exceder a 1,0 m/s, a carga cinética precisa ser descontada do valor obtido do gráfico, a fim de se obter a profundidade real.

Utilização dos gráficos de capacidade

Para minimizar os efeitos advindos da erosão ou sedimentação, devem ser levados em consideração os problemas relacionados no item 9.1. O procedimento a ser seguido para se dimensionar um bueiro é sumarizado abaixo, com os dados devendo ser tabulados em planilhas para cálculo.

- Listar os dados de projeto: Q (m^3/s), L (m), carga hidráulica admissível a montante H_w (m), declividade i (m/m), tipo de bueiro e de entrada.
- Selecionar o gráfico apropriado (item 14) em função do tipo de bueiro e de entrada. Em vários casos, para que seja possível uma comparação econômica, devem ser selecionados diferentes tipos de bueiros e de entradas.
- Entrar no gráfico com a descarga Q e subir até encontrar o valor da carga hidráulica admissível. Este ponto é indicado no gráfico, através de um exemplo, pelo símbolo \oplus .
 - A primeira linha cheia, abaixo deste ponto \oplus , fornece o diâmetro de bueiro e a carga hidráulica, se $L/100i$, para as condições locais, não for superior ao valor indicado na curva. A linha cheia será aplicada para qualquer comprimento de bueiro que forneça $L/100i$ igual ou menor que o valor indicado pela curva.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

- Para qualquer valor superior de $L/100i$, existe a possibilidade de que a carga hidráulica real, para este diâmetro, possa superar a carga admissível. Se $L/100i$, para as condições locais, for superior ao valor indicado pela linha cheia do passo anterior, a carga hidráulica real é lida por interpolação ao longo da ordenada para o valor de Q . Se este valor for superior ao da carga hidráulica admissível a montante, então o diâmetro estudado é muito pequeno, devendo ser pesquisado um bueiro de diâmetro imediatamente superior.

Se o nível d'água a jusante afogar o topo da saída do bueiro, os gráficos de capacidade não podem ser utilizados. Nestas condições, o gráfico de capacidade apropriado deve ser selecionado com o objetivo de fornecer um diâmetro aproximado de bueiro. A seguir, deve ser utilizado o nomograma para o bueiro escolhido escoando à seção plena.

Quando a saída não é afogada, mas o valor de $L/100i$ é superior ao apresentado no gráfico para um determinado tipo de bueiro, pode ser utilizado o nomograma para este tipo de bueiro escoando à seção plena. Aqui, novamente, o diâmetro de bueiro, inicialmente escolhido para o uso do nomograma, pode ser obtido do gráfico de capacidade apropriado. Em seguida, devem ser observadas as instruções para uso de nomograma para bueiros escoando à seção plena. Deve ser ressaltado que, no caso do bueiro operar com pequenas descargas e saída não afogada, ocorrerá uma superfície d'água livre no interior do mesmo, decrescendo em profundidade para jusante e aproximando-se da profundidade crítica próximo à saída. Como neste caso não ocorre escoamento à seção plena, a solução do nomograma apresentará uma carga hidráulica a montante, superior à necessária. Nestes casos, uma melhor estimativa da carga hidráulica real pode ser obtida através dos gráficos de capacidade, pela extrapolação de uma curva correspondente ao valor de $L/100i$ para as condições locais.

Quando a carga hidráulica admissível for superior àquela que pode ser lida das curvas dos gráficos de capacidade, deve ser utilizado um dos nomogramas.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

- Usar o nomograma apropriado, para controle na entrada, quando $L/100i$ for igual ou menor que o valor dado pela curva de controle na entrada (linha cheia do gráfico de capacidade).
- Usar o nomograma apropriado para bueiro escoando à seção plena, quando $L/100i$ for superior ao valor indicado pela curva de controle na entrada.

Utilização dos nomogramas

Nas figuras 8.2 e 8.3 apresentam-se exemplos de dois nomogramas utilizados para projeto de bueiros. O uso desses nomogramas está limitado ao caso em que a altura do nível d'água a jusante for superior à profundidade crítica de escoamento no bueiro. A vantagem na utilização dos gráficos de capacidade, em relação aos nomogramas, está em que os primeiros fornecem diretamente os resultados procurados, ao passo que os nomogramas pressupõem um procedimento de aproximações sucessivas. Os gráficos de capacidade não podem ser usados quando o nível d'água a jusante afoga o topo do bueiro na saída. Os nomogramas devem ser utilizados sempre que o nível d'água a jusante for superior à profundidade crítica do escoamento na saída; entretanto, ambos apresentarão o mesmo resultado quando tanto um como outro método puder ser utilizado. O procedimento para uso dos nomogramas é descrito a seguir.

- a) Listar os dados de projeto: Q (m^3/s), L (m), cotas do fundo do bueiro na entrada e na saída, H_w (m) admissível, velocidade média e máxima do escoamento no canal natural (m/s), assim como o tipo de bueiro e de entrada para a primeira tentativa.
- b) Adotar, como tentativa, um diâmetro de tubo assumindo uma velocidade média baseada nas características do canal e calcular a área $A = Q/V$.
- c) Determinar H_w para o bueiro escolhido, admitindo-se, primeiro, controle na entrada e depois controle na saída. Para controle na entrada utilizar a Figura 8.2. Ligar com uma reta o diâmetro (D) e descarga (Q) e marcar a intercessão desta linha com a escala (1) de H_w/D . Caso sejam utilizadas as escalas (2) ou (3), estender horizontalmente o ponto



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

de intercessão com (1) para escala (2) ou (3). Calcular o valor de H_w , se este for muito elevado ou baixo, adotar outro diâmetro antes de calcular H_w para controle na saída.

A seguir, deve-se calcular H_w para controle na saída, a partir da Figura 8.3. Para tanto, entrar no gráfico com o comprimento, coeficiente de entrada e diâmetro do tubo adotado. Por meio de uma reta, ligar os pontos correspondentes nas escalas de comprimento e de diâmetro, para se determinar o ponto de cruzamento na linha base. Ligar esse ponto da linha – base com a descarga e ler a carga na escala H. Calcula-se, a seguir, H_w pela equação:

$$H_w = H + h_o - L.i \quad (8.1.)$$

Para T_w superior ou igual ao topo do bueiro $h_o = T_w$, e para T_w menor que o topo do bueiro.

$h_o = (h_c + D)/2$ ou T_w , qual seja o mais elevado.

Se T_w for menor que h_c , os nomogramas não deverão ser usados. Na equação acima, D é o diâmetro do bueiro e h_c a altura crítica que pode ser obtida a partir das diretrizes de projeto DP-H14 – “Hidráulica em Drenagem Urbana”, da SVP/PMSP.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

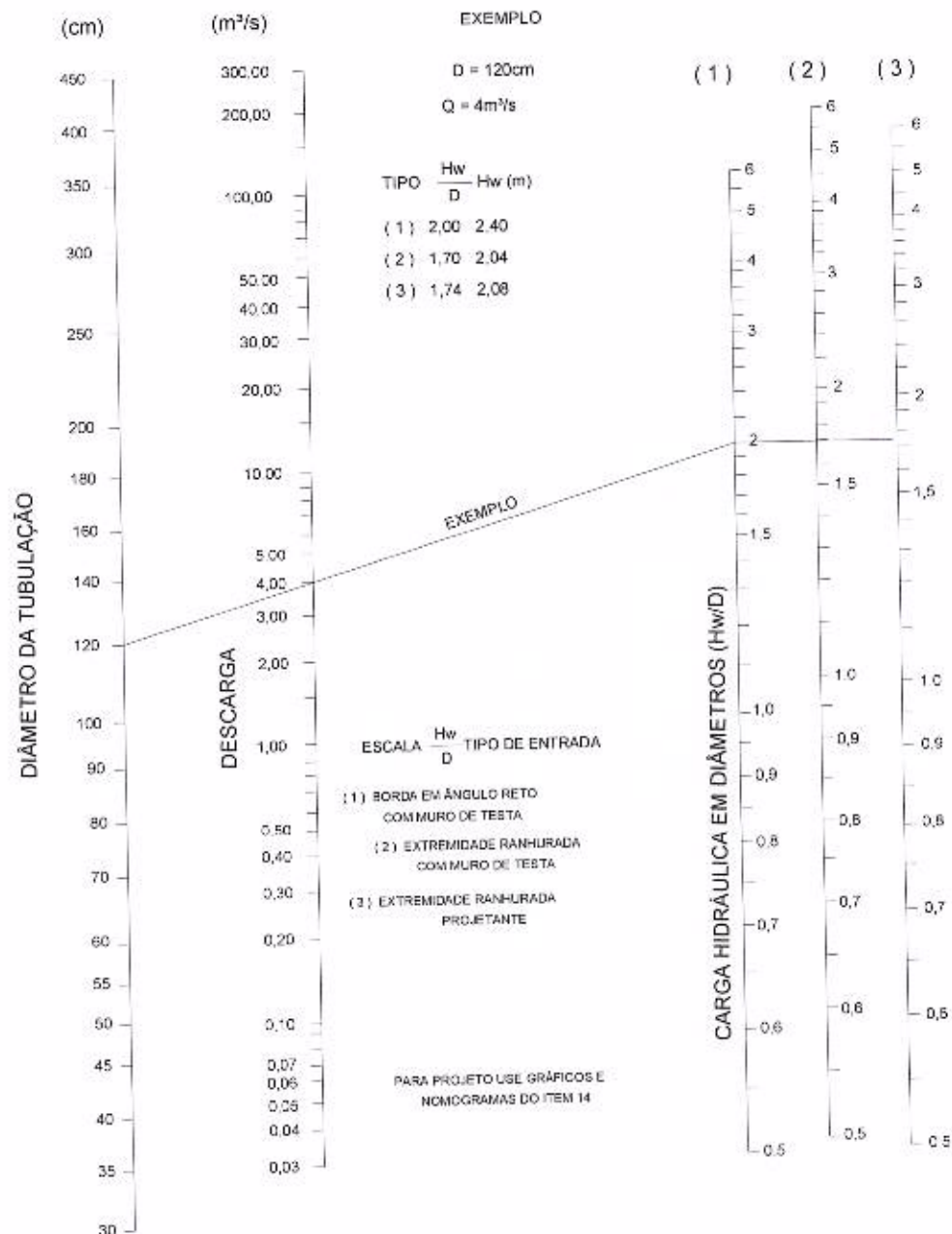


Figura 8.2

Exemplo de nomograma para controle na entrada.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

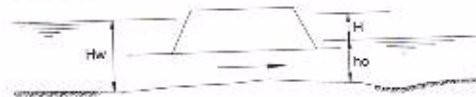
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

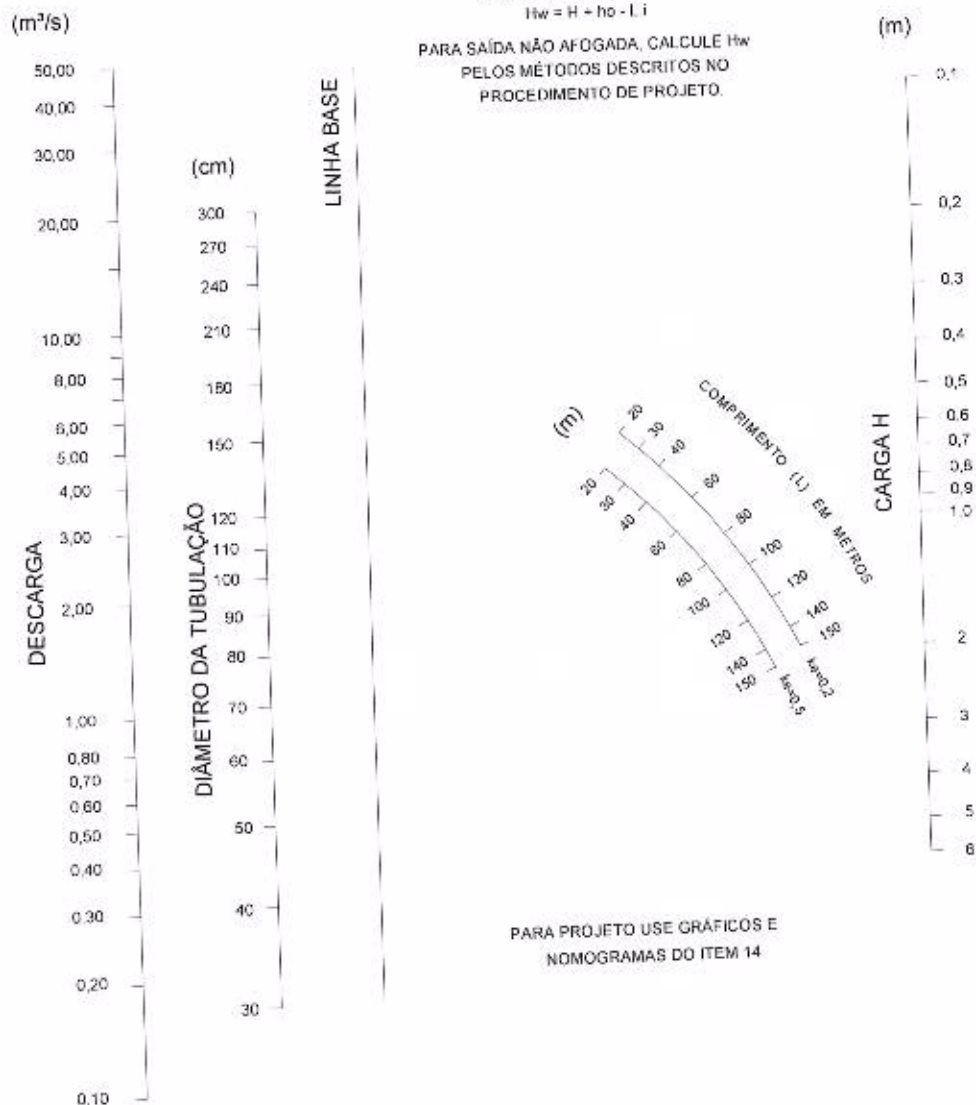
30/06/99



SEÇÃO PLENA. SAÍDA AFOGADA

$$H_w = H + h_o - L \cdot i$$

PARA SAÍDA NÃO AFOGADA, CALCULE H_w
PELOS MÉTODOS DESCRITOS NO
PROCEDIMENTO DE PROJETO.



PARA PROJETO USE GRÁFICOS E
NOMOGRAMAS DO ITEM 14

Figura 8.3

Exemplo de nomograma para controle na saída.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

- d) Comparar os valores calculados de carga hidráulica e usar o valor mais elevado de Hw para determinar se o bueiro está sob controle na entrada ou na saída. Se ocorrer controle na saída e Hw for inaceitável, deve-se escolher um diâmetro maior e calcular o correspondente valor de Hw através dos nomogramas de controle na saída. Caso o menor diâmetro de bueiro tenha sido selecionado, satisfazendo o valor admissível de Hw através dos nomogramas de controle na entrada, este controle não precisará ser verificado para tubos com diâmetros superiores.

8.3 PROCEDIMENTO GERAL PARA O PROJETO DE BUEIROS

Considerando-se os problemas resultantes da topografia e outros que deverão ser levados em consideração, o projeto completo de um bueiro oferece maiores dificuldades que o simples processo para seu dimensionamento. As informações que serão fornecidas servirão apenas como orientação para o projeto, uma vez que os problemas encontrados são muito variados e numerosos para serem generalizados. Entretanto, o procedimento apresentado deverá ser seguido para que nenhum problema especial seja relegado. Diversas combinações de tipos de entrada, cotas de fundo e diâmetros de tubos deverão ser pesquisados, até que seja obtido o projeto mais econômico, tendo em vista as condições impostas pela topografia e pela solução técnica adotada.

Planilhas para cálculo de projeto

O uso de planilhas de cálculo torna possível a obtenção de um projeto consistente, com um custo mínimo de bueiro. Um exemplo de planilha é apresentado na Figura 8.4.

Cotas do fundo do bueiro

Após a determinação da carga hidráulica admissível a montante, da altura d'água a jusante e do comprimento aproximado, as cotas do bueiro deverão ser fixadas. Havendo ou não



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA DP-H11	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM Diretrizes de Projeto para Bueiros	DATA 30/06/99

afogamento da entrada do bueiro, não é desejável a erosão das paredes do canal quer para a condição de escoamento da vazão de projeto, quer para vazões menores. Para reduzir as possibilidades de erosão no canal a montante, deve-se, numa primeira tentativa, fixar a declividade do bueiro como sendo idêntica à do canal. Para canais naturais, as condições de escoamento a montante do bueiro devem ser investigadas, para que seja verificada a ocorrência de erosão. Os bueiros devem ser implantados, considerando-se o critério apresentado no item 9.1 (canais naturais).

Diâmetro do bueiro

Após a determinação da declividade do bueiro e usando-se as planilhas de cálculo, gráficos de capacidade e nomogramas, deve-se determinar o diâmetro do conduto que satisfaça a imposição de carga admissível a montante. O diâmetro mínimo apresentado nos gráficos de capacidade e nomogramas é de 0,30 metros. Nas obras de drenagem no Município de São Paulo o diâmetro mínimo a ser utilizado em bueiros é de 0,60 m. Tendo em vista que a rugosidade do tubo influi no diâmetro do bueiro, devem ser considerados no projeto os coeficientes de rugosidade estabelecidos na DP-H13 – Coeficiente de Rugosidade da SVP/PMSP.

Limitação da carga hidráulica a montante

Se a carga hidráulica for insuficiente para proporcionar a descarga exigida, será necessário considerar uma das seguintes soluções: aumentar o diâmetro do tubo, rebaixar o fundo da entrada, adotar uma seção transversal irregular, utilizar tubos múltiplos ou bueiros celulares, ou ainda, qualquer combinação das soluções apresentadas. Se o fundo da entrada for rebaixado, deve-se considerar um possível solapamento, e verificar a necessidade de adotar medidas contra essa erosão, tais como enrocamentos, estruturas verticais de concreto, gabiões, muros de testa com soleiras e muretas de pé.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Saída do bueiro

Deverá ser verificada a possibilidade de erosão provocada por velocidades elevadas na saída do bueiro. Se esta possibilidade for verificada, será necessário incluir no custo do bueiro a construção de uma seção terminal alargada, de uma estrutura de dissipação de energia, ou então, de proteção do canal com enrocamento.

Declividade mínima

Para evitar uma possível sedimentação que iria provocar entupimento do bueiro, sua declividade deverá ser suficiente para que seja mantida uma velocidade que proporcione sua auto-limpeza. A declividade deverá ser verificada para cada projeto, e caso a velocidade mínima não seja atingida, poderá ser adotada uma das seguintes soluções: aumento da declividade do tubo, aumento do diâmetro do tubo, utilização de tubo com menor rugosidade, ou então, uma combinação dessas soluções.

Exemplos de projeto

Os problemas-exemplos apresentados adiante ilustram os procedimentos a serem seguidos nos projetos de bueiros.

Exemplo de bueiro sob um aterro

Dados: Vazão com período de retorno de 5 anos: $Q_5 = 0,57 \text{ m}^3/\text{s}$.

Vazão com período de retorno de 100 anos: $Q_{100} = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$.

Comprimento: $L = 29$ metros



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

PROJETO:

PROJETISTA:
DATA:

HIDROLOGIA E DADOS PARA PROJETO

$Q_1 =$ $H_2 =$
 $Q_2 =$ $H_2 =$

(Q_1 = VAZÃO DE PROJETO, P/EX Q_{25} OU Q_5)
(Q_2 = VAZÃO P/ VERIFICAÇÃO, P/EX Q_{50} OU Q_{100})

CROQUIS ESTACA
L/100i =

$i =$
 $L =$

VEL. REAL:
VEL. MÁX.:

DESCRIÇÃO DO BUEIRO	TIPO DE ENTRADA	SEÇÃO TRANSV. D (m)	CÁLCULO DA ALTURA NA ENTRADA							GRÁFICOS DE CAPACIDADE	VERIFICAÇÃO Hw (%)	VELOCIDADE NA SAÍDA (m/s)	CUSTO (R\$)	OBS.	
			CONT. ENTR.		CONTROLE SAÍDA $H_w = H + h_a + L_i$										
	Q (m³/s)		Hw/D	Hw (m)	Kw	H (m)	hc (%)	(hc - D)/2 (%)	Hs (m)	hc (m)	Li (m)	Hw (m)			

SUMÁRIO E RECOMENDAÇÕES:

FIGURA 8.4 - PLANILHA PARA CÁLCULO DE BUEIROS

A cota correspondente à máxima carga hidráulica admissível a montante é fixada em 611,48 m para enchente com período de retorno de 5 anos e 612,09 m para a de 100 anos.

As cotas de fundo do canal natural são 610,41 m e 609,80 m na entrada e na saída, respectivamente.

As alturas do nível d'água a jusante são de 0,76 m e 0,91 m para as vazões com 5 e 100 anos de período de retorno.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

SOLUÇÃO:

PASSO 1: Preencher os dados básicos (Figura 8.5).

Q_5 = Vazão com período de retorno de 5 anos.

Q_{100} = Vazão com período de retorno de 100 anos.

Cota do nível d'água a montante.

Cota do nível d'água a jusante.

PASSO 2: Fixar as cotas de fundo do bueiro, procurando-se evitar problemas de erosão. Calcular a declividade i e a relação $L/(100i)$.

PASSO 3: Admitir, inicialmente, um diâmetro de bueiro e um tipo de entrada que permitam o escoamento da vazão com período de retorno de 5 anos, adotando uma velocidade de 2 m/s. Neste caso, o primeiro diâmetro foi estimado através do cálculo da área da seção transversal.

$A = Q/V$ ou seja: $A = 0,57/2 = 0,29 \text{ m}^2$, resultando um bueiro com $D = 0,61 \text{ m}$ (24 polegadas).

PASSO 4: Como a saída está afogada, o bueiro estará operando com controle na saída, não se devendo considerar os nomogramas de controle na entrada. Adotando-se $K_e = 0,5$, o valor de H encontrado é de 1,07 m, para tubo de metal corrugado.

PASSO 5: A diretriz de Macrodrenagem (DP-H16 da SVP/PMSP) fornece uma profundidade crítica de 0,43 m e $h_o = T_w$, resultando $H_w = 1,22 \text{ m}$, que é muito elevada.

PASSO 6: Repetir o Passo 5 para diferentes tipos de entradas e diâmetros de bueiros, até que seja obtido um projeto satisfatório.

PASSO 7: Calcular as velocidades de saída para cada alternativa.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

PASSO 8: Verificar o valor de H_w correspondente a descarga com período de retorno de 100 anos, para os bueiros que satisfazem as exigências da descarga com períodos de retorno de 5 anos.

PASSO 9: Calcular os custos de cada alternativa.

PASSO 10: Fazer as recomendações necessárias.

Exemplo de bueiro sob um aterro, com carga limitada

DADOS:

$$Q_5 = 0,57 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{100} = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

Comprimento: $L = 29$ metros

A cota correspondente à máxima carga hidráulica admissível a montante é fixada em 610,56 m para a descarga com período de retorno de 5 anos, e 610,99 m para a descarga de 100 anos.

As cotas do fundo do canal são de 610,10 m na entrada e 609,34 m na saída.

SOLUÇÃO:

PASSO 1: Preencher os dados básicos.

Q_1 = Vazão com período de retorno de 5 anos.

Q_2 = Vazão com período de retorno de 100 anos.

Cota do nível d'água a montante.

Cota do nível d'água a jusante.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

PASSO 2: Fixar as cotas de fundo do bueiro, procurando-se evitar problemas de erosão. Calcular a declividade de i e $L/100i$.

PASSO 3: Iniciar com o primeiro tipo de entrada para se obter o diâmetro do bueiro e H_w através das curvas de capacidade, para a descarga com 5 anos de período de retorno (Figura 8.6).

PASSO 4: Verificar o valor de hc para o tubo, a fim de determinar se as curvas de capacidade podem ser usadas.

PASSO 5: Pesquisar outros diâmetros e tipos de tubos para o valor admissível de H_w . Neste caso, ficou clara a impossibilidade de se conseguir um tubo de diâmetro suficientemente pequeno para manter o bueiro coroado sob o aterro, usando as cotas do canal natural e satisfazendo os requisitos de carga hidráulica a montante.

PASSO 6: Considerando-se um rebaixamento da entrada do bueiro, verifica-se que com 0,30 m adicionais de queda ficam satisfeitos os requisitos de carga hidráulica na entrada. Esta solução requer uma comparação de custos para as várias alternativas, como o uso de gabiões, enrocamento, etc. (Figura 8.7).

PASSO 7: Calcular as velocidades de saída para cada alternativa.

PASSO 8: Verificar o valor de H_w correspondente à descarga com período de retorno de 100 anos, para os bueiros que satisfazem as condições impostas pela descarga com período de retorno de 5 anos.

PASSO 9: Calcular os custos de cada alternativa.

PASSO 10: Fazer as recomendações necessárias.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

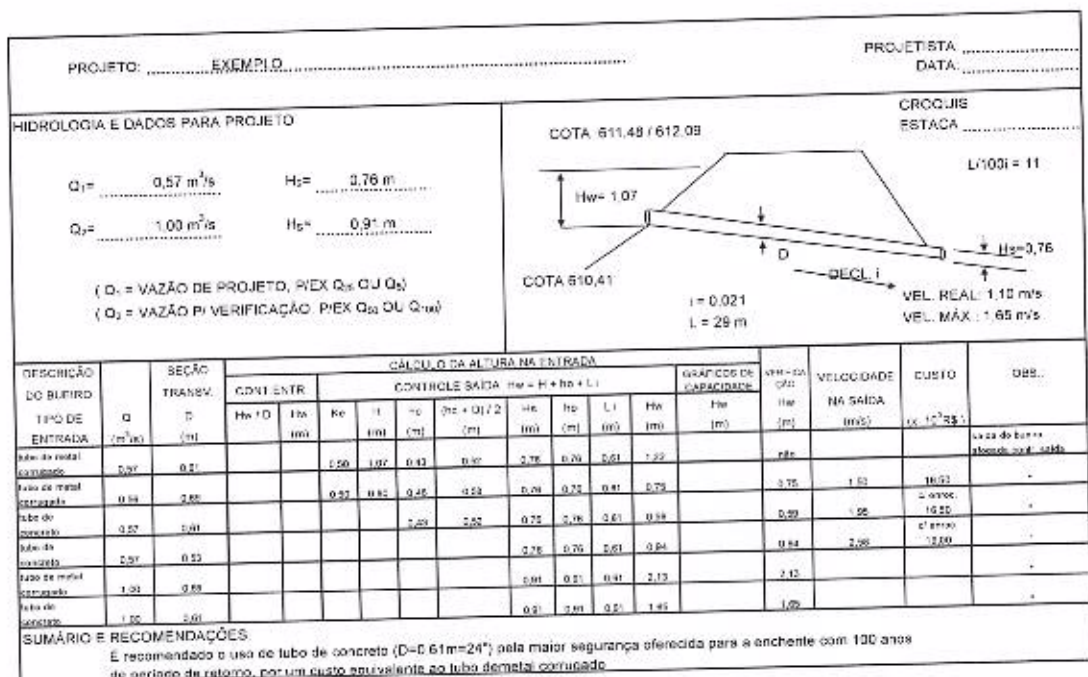


FIGURA 8.5 - PLANILHA PARA CÁLCULO DE BUEIROS



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA: ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM
 DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

DATA
 30/06/99

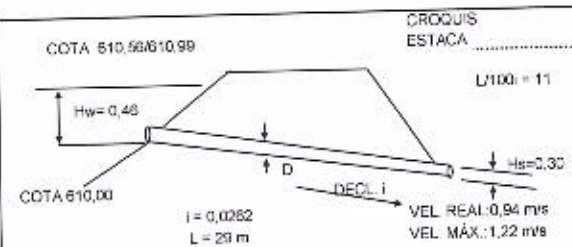
PROJETO: EXEMPLO		PROJETISTA: DATA:															
HIDROLOGIA E DADOS PARA PROJETO $Q_1 = 0,67 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_0 = 0,30 \text{ m}$ $Q_2 = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_0 = 0,43 \text{ m}$ (Q_1 = VAZÃO DE PROJETO, PEX Q_{22} OU Q_0) (Q_2 = VAZÃO P/ VERIFICAÇÃO, PEX Q_{33} OU Q_{12})		CROQUI/ESTACA COTA 510,56/610,99  L/100 = 11 $i = 0,0262$ $L = 29 \text{ m}$ VEL REAL: 0,94 m/s VEL MÁX.: 1,22 m/s															
DESCRIÇÃO DO BUEIRO	TIPO DE ENTRADA	Q (m³/s)	SEÇÃO TRANSV. D (m)	CÁLCULO DA ALTURA NA ENTRADA										VELOC. NA SAÍDA (m/s)	CUSTO (x 10³ R\$)	OBS.	
				CONT. ENTR.		CONTROLE SAÍDA: $H_e = H_0 + L \cdot i$						GRÁFICOS DE CAPACIDADE					VERIFICAÇÃO
				H_w/D	H_w (m)	K_e	r (m)	f_c (m)	$(H_0 + D)/2$ (m)	H_0 (m)	f_0 (m)	L (m)	H_w (m)	H_w (m)			
tubo de metal corrugado		0,67	0,69	1,13	0,77										0,7		
tubo de metal corrugado		0,67	0,76												0,67		
tubo de concreto		0,67	0,69														
SUMÁRIO E RECOMENDAÇÕES: Não usar nenhuma destas indicações: veja a folha seguinte.																	

FIGURA 8.6 - PLANILHA PARA CÁLCULO DE BUEIROS



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

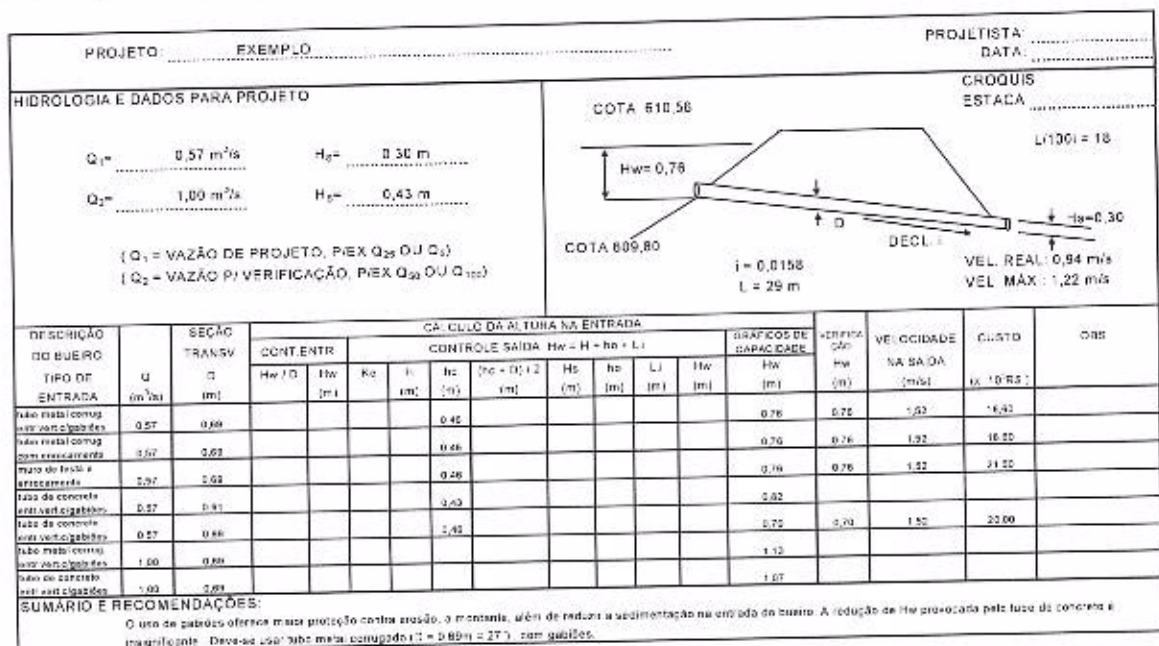


FIGURA 8.7 - PLANILHA PARA CÁLCULO DE BUEIROS

9. CONSIDERAÇÕES ESPECIAIS SOBRE BUEIROS

9.1 EROSIÃO E SEDIMENTAÇÃO

Os fenômenos de erosão e sedimentação são de difícil análise, não sendo suscetíveis de sistematização através de tabelas ou fórmulas. Nos casos em que houver dúvida quanto à possibilidade de ocorrência de erosão ou sedimentação, deve ser proporcionada suficiente proteção compatível com a importância da estrutura e das propriedades vizinhas.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

Canais artificiais

A declividade e a geometria de um canal artificial devem ser fixadas de maneira que os processos de erosão ou sedimentação que eventualmente ocorram sejam significativamente inferiores aos que seriam observados, admitindo-se a situação de canal natural. Para impedir erosão e deposição, as cotas do fundo do bueiro devem ser fixadas após uma análise detalhada da linha de energia.

Canais naturais

Os canais naturais representam um sério desafio para o bom desempenho de um bueiro. Quando a declividade do canal a montante se reduz, existe grande possibilidade de ocorrer sedimentação. No caso de ocorrer suficiente cobertura do aterro, o bueiro pode ser elevado de cerca da metade do seu diâmetro sobre o greide do canal, desde que o conseqüente aumento do nível d'água a montante seja aceitável. Não sendo possível esta elevação, deve-se selecionar um bueiro de maior diâmetro. Por outro lado, quando houver um aumento da declividade nas proximidades do bueiro, deve ser providenciada proteção contra a erosão que aí possa ocorrer.

A implantação de um bueiro em um canal natural deve ser precedida de uma inspeção local, para que fique estabelecido se as condições naturais do canal são de deposição, erosão ou de estabilidade.

9.2 CANAIS OBLÍQUOS AOS BUEIROS

Um bueiro, sempre que possível, deve ter o mesmo alinhamento do canal. Frequentemente, essa situação não ocorre, sendo necessário o uso de muros de ala e de testa, além de revestimento de fundo com configurações semelhantes às da Figura 7.3. Estes dispositivos têm o objetivo de proteger o canal contra a erosão, além de tornar a entrada mais eficiente.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

9.3 TOMBAMENTO DA ENTRADA

Nos bueiros funcionando em regime livre (portanto sem pressão interna), porém com altas cargas desequilibradas, é comum surgirem grandes momentos de tombamento na estrutura de entrada, devido à predominância das forças de pressão. Este problema merece especial atenção, nos casos em que as profundidades a montante do bueiro atingem 5 metros ou mais. É conveniente, nesses casos, escolher um bueiro com menor diâmetro e que funcione em carga, de maneira que, as pressões internas e externas não sejam apreciavelmente diferentes, garantindo melhores condições de estabilidade à estrutura.

10. ENTRADAS DE GALERIAS DE CONCRETO

Os projetos de entradas de galerias de concreto devem, quanto aos aspectos hidráulicos, dispensar tantos cuidados quantos para o caso de bueiros circulares. Quanto mais elevado for o aterro e mais longo o conduto, tanto mais importante deve ser o projeto da entrada, tendo em vista reduzir os custos de implantação. Nos casos de aterros elevados, sob o ponto de vista estrutural, um bueiro de seção transversal reduzida representa sensível economia de investimento. Para condutos longos, a importância do custo do metro linear se torna ainda mais significativa.

O projetista, ao analisar as possibilidades de redução das dimensões do conduto, deve ter em conta os seguintes aspectos:

- Custo de entradas especiais;
- Pressões internas admissíveis no conduto;
- Sedimentação a montante;



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

- Velocidade na saída e erosão a jusante;
- Deposição de detritos na entrada;
- Carga hidráulica admissível a montante.

10.1 ENTRADAS COMUNS DE BUEIROS

Em geral, os bueiros são relativamente curtos, e o custo relativo de uma entrada é alto se comparado com o mesmo custo para o caso de um bueiro longo. Assim sendo, a entrada de um bueiro deve ser dimensionada de forma a oferecer proteção suficiente, a um custo relativamente baixo. Esta solução pode ser obtida através de muros de ala similares aos apresentados no item 7.

Tendo-se em vista suas dimensões, as entradas de bueiros devem ser projetadas como muros de arrimo, e caso seja necessário, o uso de lajes de fundo a montante para impedir erosão do canal, estas devem resistir à subpressão.

10.2 ENTRADAS ESPECIAIS PARA BUEIROS

Entradas para bueiros não podem ser caracterizadas de forma geral, sendo impossível apresentar coeficientes, curvas ou tabelas para o projeto das mesmas. Uma entrada especial, freqüentemente é escolhida, tendo em vista, uma função específica, como a redução das perdas de carga na entrada a valores bem abaixo dos obtidos com entradas comuns, ou proporcionar a conversão de energia potencial (nível d'água elevado, a montante) em energia cinética (velocidade). Entradas especiais são também utilizadas para limitar a descarga no conduto, provocando armazenamento a montante e reduzindo a descarga de pico.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

11. ENTRADAS DE CONDUTOS LONGOS

Os condutos longos apresentam custos elevados e exigem um trabalho detalhado de engenharia, planejamento e projeto. Nestes casos, as entradas são extremamente importantes para o perfeito funcionamento do conduto e devem receber especial atenção no seu projeto.

11.1 ENTRADAS ESPECIAIS

A maior parte dos condutos longos requer considerações especiais quanto à estrutura de entrada, para satisfazer as características hidráulicas particulares do conduto. Geralmente, testes em modelos hidráulicos resultarão na construção de uma entrada mais eficiente e menos dispendiosa.

12. CONSIDERAÇÕES GERAIS

12.1 ENTRADAS DE CANAIS ABERTOS

As entradas de canais abertos freqüentemente exigem planejamento e projeto tão cuidadosos quanto o dispensado aos bueiros e condutos longos, para que seja alcançado o necessário desempenho hidráulico.

O projetista deve analisar as características do gradiente de energia para que sejam asseguradas condições para uma equilibrada distribuição de energia, além de um controle de velocidade e perda de energia que, juntamente com outros fatores, controlam as características do escoamento a jusante. As confluências de canais, em particular, devem ter cuidadoso projeto hidráulico para eliminar problemas de erosão, reduzir a ocorrência de ondas e minimizar os efeitos de remanso.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

12.2 TRANSIÇÕES

As transições de condutos fechados para canais abertos, ou de regimes subcríticos para supercríticos, devem ser projetadas com base nos conceitos de conservação de energia e de hidráulica de canais abertos. Normalmente, o projetista deverá ter como objetivo evitar excessiva perda de energia, ondas transversais e turbulência. São necessários, também, cuidados especiais com vista a evitar erosão e extravasamento do canal.

As transições em regime supercrítico devem receber maior atenção que a dedicada normalmente às transições em regime subcrítico. Em geral, se o escoamento for tranqüilo, pode-se utilizar uma transição ao longo da qual os eixos dos condutos se mantenham alinhados, com suas paredes formando um ângulo de cerca de $12^{\circ}30'$. Devem ser tomados cuidados contra a formação de ressalto hidráulico e de velocidades que possam proporcionar o surgimento de altura crítica. Escoamentos com números de Froude entre 0,9 e 1,1 devem ser evitados.

13. GRADES

A única função das grades nas entradas de bueiros é evitar a admissão de material que possa provocar a obstrução do mesmo. Observa-se, no entanto, que durante a ocorrência de grandes descargas, as grades se encontram bloqueadas por detritos, reduzindo drasticamente a capacidade do bueiro. Para que este fato não ocorra, o vão entre as suas barras deve ser suficientemente grande para permitir a passagem fácil, entre elas, dos materiais de menor porte. Um vão entre as barras de no mínimo metade a um terço da menor dimensão do bueiro será suficiente.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

13.1 GRADES PASSÍVEIS DE TOMBAMENTO

Em grandes bueiros onde as grades sejam necessárias, o uso do tipo passível de tombamento é o mais recomendado. Estas grades devem ser cuidadosamente projetadas, sob o ponto de vista estrutural, para que o tombamento se dê com uma carga hidrostática de cerca de metade da máxima carga admissível a montante. Este tombamento da grade deve desobstruir a seção do canal de forma a permitir uma operação adequada da entrada do bueiro. Isto pode ser obtido, por exemplo, usando-se como apoio um eixo descentrado na vertical, o que provoca o tombamento da grade quando da atuação de um empuxo em toda a vertical.

13.2 GRADES SITUADAS A MONTANTE

Em substituição às grades passíveis de tombamento e quando houver risco à segurança, uma grade situada a montante da tomada, a uma distância razoável, é freqüentemente a solução mais satisfatória. Este tipo de grade pode ser constituído por uma série de tubos verticais ou de postes cravados no canal de aproximação. Quando ocorrer bloqueio da grade, a água ficará represada até atingir níveis suficientes para passar por cima da mesma, atingindo o bueiro.

14. GRÁFICOS DE CAPACIDADE E NOMOGRAMAS

Cada gráfico de capacidade apresenta uma série de diâmetros de um determinado tipo de bueiro, com respectiva entrada, para uma certa gama de vazões. Para cada diâmetro, é apresentada uma curva em linha cheia, que indica controle de entrada, e uma ou mais curvas tracejadas, indicando controle na saída. Todas as curvas são identificadas por um número índice, $L/100i$, onde L é o comprimento do conduto, em metros, e i é a declividade do bueiro em m/m.

A linha cheia, para um determinado diâmetro, fornece a máxima descarga possível para uma determinada carga a montante do bueiro. Não haverá redução na carga hidráulica a montante, para uma dada vazão, caso o valor de $L/100i$ seja inferior ao indicado pela linha cheia. No



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

entanto, a comparação de curvas para os vários tipos de entrada mostrará diferentes cargas hidráulicas a montante para uma dada vazão. Para qualquer ponto sobre a linha cheia, pode ser admitido que o bueiro esteja operando com controle na entrada, isto é, a carga hidráulica dependerá somente do tipo de entrada adotado.

As curvas tracejadas indicam a relação carga hidráulica-vazão para bueiros operando com controle na saída. Neste caso, a carga a montante irá depender do comprimento, declividade e perdas no conduto. O bueiro irá operar parcialmente cheio, enquanto o nível d'água a montante, estiver substancialmente abaixo do topo do bueiro na entrada. Nos gráficos onde não existir linha tracejada para um determinado diâmetro, a carga hidráulica operacional para controle na saída será tão próxima da carga para controle na entrada, que a curva cheia poderá ser utilizada, sem que se incorra em erro significativo.

14.1 DISPOSIÇÃO DAS CURVAS

As curvas são dispostas, de modo que a interpolação linear para o cálculo da carga hidráulica possa ser feita entre as curvas de controle na entrada e na saída, de acordo com o valor de $L/100i$ obtido para um dado diâmetro de bueiro. Assim, se o valor numérico de $L/100i$ (baseado nas condições locais) estiver situado à meia distância entre a curva cheia e a tracejada relativas a um diâmetro, o valor de Hw para um determinado Q pode ser obtido por interpolação, tomando o ponto, a meia distância, entre as referidas curvas. A interpolação pode também ser feita, caso se deseje obter uma determinada vazão Q para um dado Hw , seguindo o procedimento descrito anteriormente.

É possível, também, efetuar uma interpolação linear para diâmetros intermediários aos fornecidos pelos gráficos. Neste caso, se $L/100i$ for igual ou menor que o indicado pelas linhas cheias, para os dois diâmetros adjacentes, deve-se interpolar diretamente entre estas duas linhas, em função do diâmetro do bueiro escolhido. Quando $L/100i$ for superior ao indicado pelas duas linhas cheias adjacentes, deve-se interpolar, inicialmente, $L/100i$ para cada diâmetro adjacente e, a seguir, fazer a interpolação entre esses pontos para localizar o valor de Hw em



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

função do diâmetro escolhido. A precisão não é essencial, uma vez que o diâmetro selecionado para a descarga de projeto raramente requer a carga total proporcionada pelas condições locais.

Os gráficos podem também ser aplicados para a seleção de um bueiro quando sua declividade for nula. Neste caso, o valor de $L/100i$ não pode ser calculado. Esta dificuldade pode ser facilmente contornada admitindo-se uma pequena declividade para o conduto, com o propósito de se calcular o valor de $L/100i$. Em geral, usa-se $i=0,002$ para condutos de concreto e $i=0,004$ para tubos de metal corrugado. Inicialmente, deve ser obtido H_w do gráfico para o valor hipotético de $L/100i$. Este valor de H_w deve ser acrescido de L_i , que representa a queda do conduto admitido no cálculo.

As linhas pontilhadas são traçadas para valores de H_w equivalentes ao dobro do diâmetro do conduto. O uso dos gráficos de capacidade oferece grande precisão, sempre que os valores de H_w obtidos estejam abaixo da linha pontilhada. Por outro lado, para valores de H_w acima da referida linha, nos casos de controle na saída, a precisão diminui para certas combinações de comprimento, declividade e rugosidade do conduto. Neste caso, H_w pode ser calculado com segurança através do uso dos nomogramas para escoamento à seção plena, utilizando o diâmetro determinado por estes gráficos de capacidade.

Para os casos de baixa carga hidráulica, os gráficos de capacidade apresentados são bastante precisos. Eles abrangem uma faixa de valores que incluem cargas inferiores à altura do conduto. É justamente nesta faixa de valores de vazões que os nomogramas para escoamento à seção plena têm menos aplicação.

A seguir, são apresentados os gráficos de capacidade e os nomogramas, que cobrem toda a gama de aplicações comumente encontradas em drenagem urbana. Estes gráficos foram transcritos de publicações do "U.S. Bureau of Public Roads", mencionadas no item 8.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

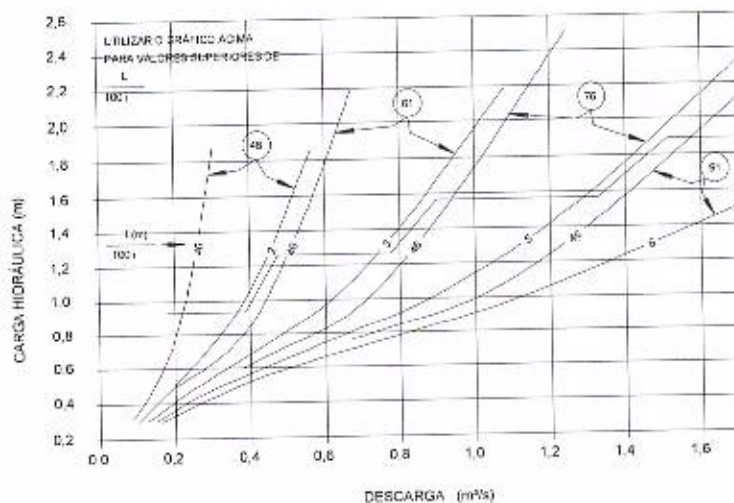
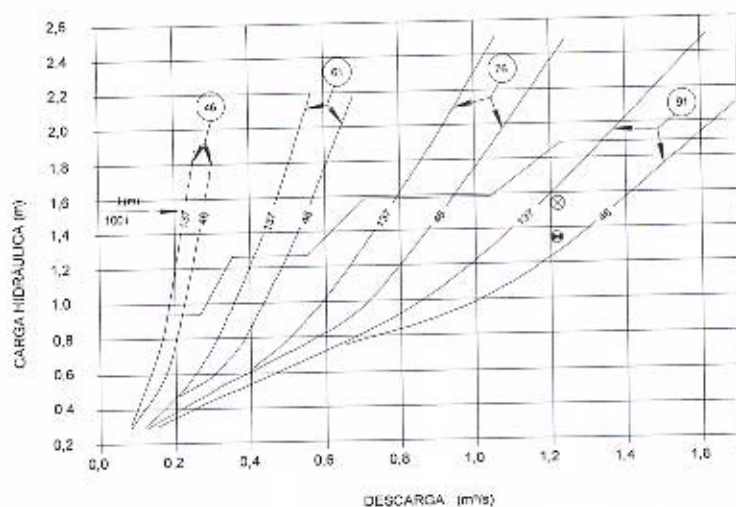
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

⊗ DADO

$Q = 1,22 \text{ m}^3/\text{s}$
 $H_w = \text{CARGA HIDRÁULICA}$
ADMISS. VEL. A MONTANTE = $1,50 \text{ m}$
 $L = 22 \text{ m}$ $i = 0,003$

CAPACIDADE DE BUEIRO
TUBO CIRCULAR DE METAL CORRUGADO
ENTRADA COM MURO DE TESTA

DIÂMETROS $\textcircled{46}$ a $\textcircled{91}$
cm cm

⊕ SELECIONADO

$H_w = 1,34 \text{ m}$
 $D = \textcircled{91}$

Figura 14.1



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

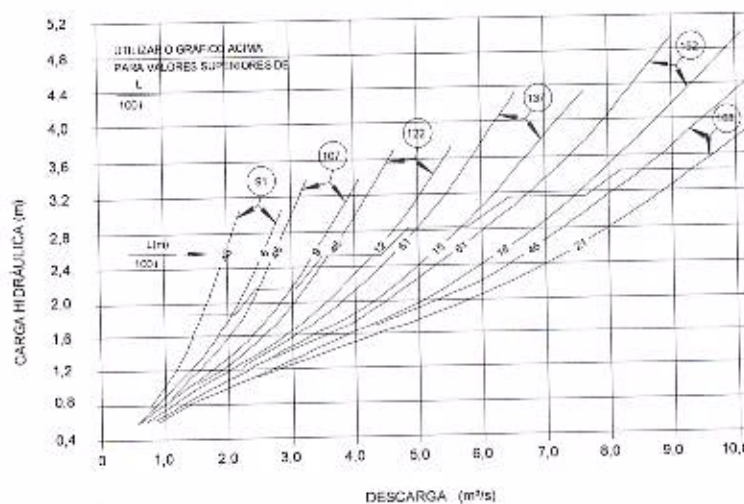
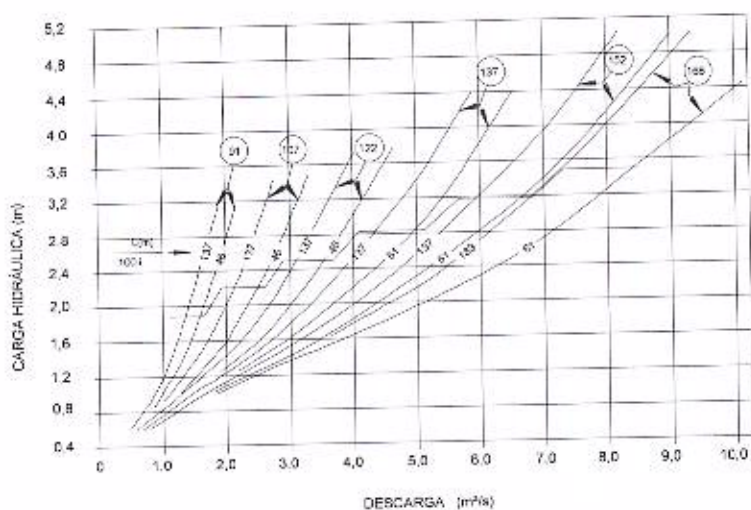
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

⊗ DADO

$$Q = 3,70 \text{ m}^3/\text{s} \quad H_w = 1,50 \text{ m}$$

$$L = 37 \text{ m} \quad i = 0,025$$

⇒ SELECIONADO

$$H_w = 1,70 \text{ m}$$

$$D = 137$$

CAPACIDADE DE BUEIRO
TUBO CIRCULAR DE METAL CORRUGADO
ENTRADA COM MURO DE TESTA

DIÂMETROS 81 cm e 168 cm

Figura 14.2



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

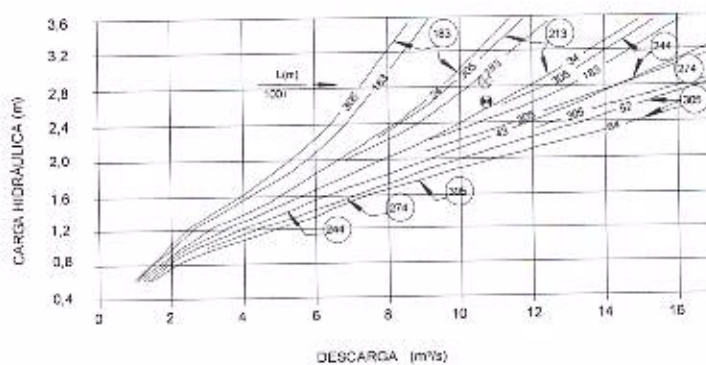
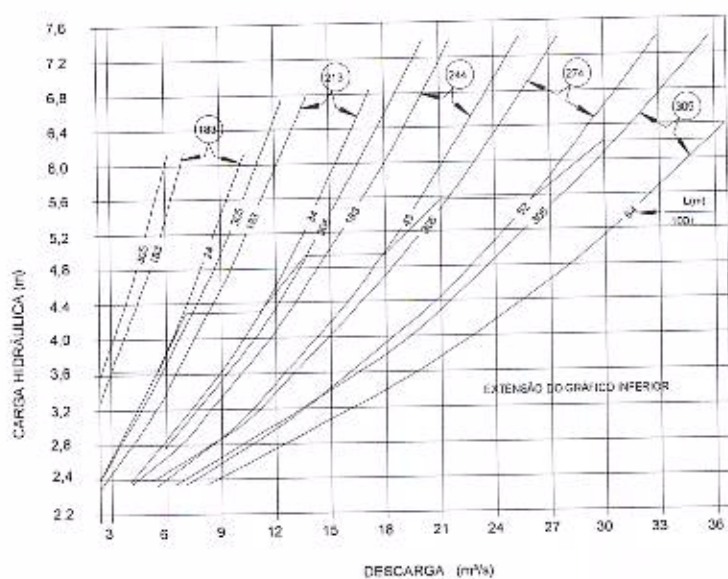
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

⊗ DADO

$$Q = 10.8 \text{ m}^3/\text{s} \quad H_w = 2.50 \text{ m}$$

$$L = 37 \text{ m} \quad i = 0.0083$$

⊕ SELECIONADO

$$H_w = 2.68 \text{ m}$$

$$D = 213$$

CAPACIDADE DE BUEIRO
TURO CIRCULAR DE METAL CORRUGADO
ENTRADA COM MURO DE TESTA

DIÂMETROS 183 cm e 305 cm

Figura 14.3



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

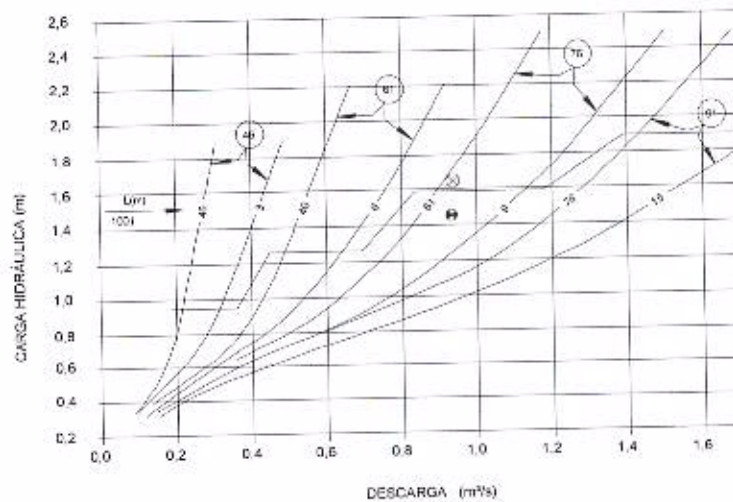
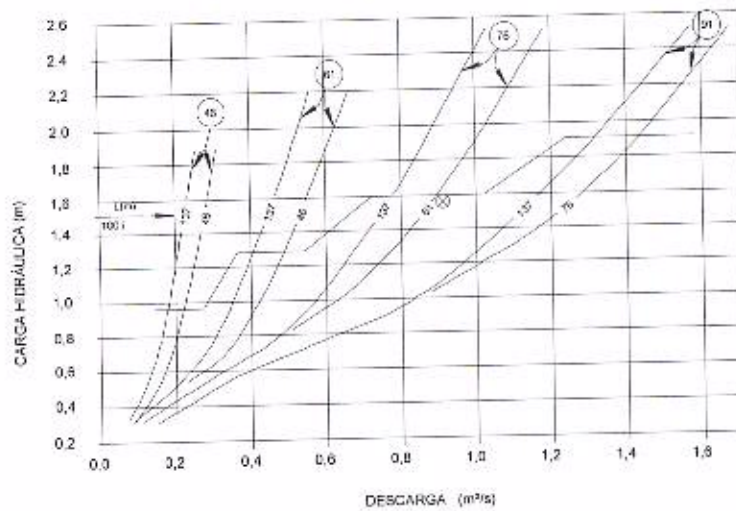
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

⊙ DADO

$Q = 0,93 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_w = 1,50 \text{ m}$
 $L = 21 \text{ m}$ $i = 0,005$

CAPACIDADE DE BUEIRO
TUBO CIRCULAR DE METAL CORRUGADO
ENTRADA PROJETANTE

DIÂMETROS $\begin{matrix} 45 \\ \text{cm} \end{matrix}$ a $\begin{matrix} 91 \\ \text{cm} \end{matrix}$

⊕ SELECIONADO

$H_w = 1,50 \text{ m}$
 $D = \begin{matrix} 78 \\ \text{cm} \end{matrix}$

Figura 14.4



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

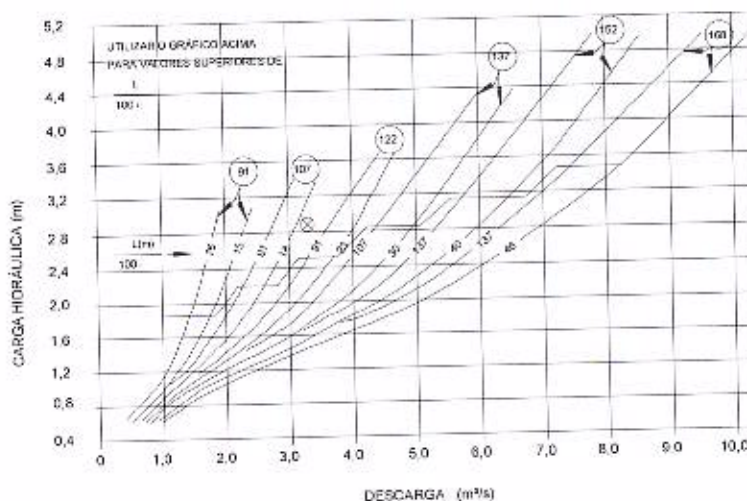
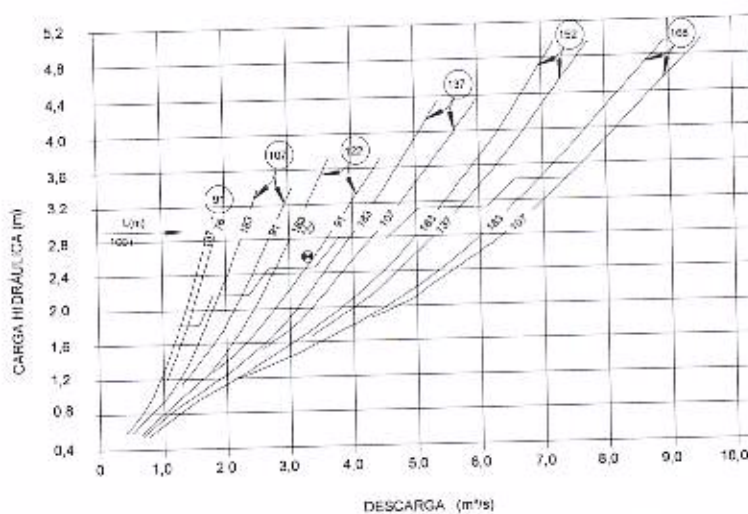
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

○ DADO

$$Q = 3,28 \text{ m}^3/\text{s} \quad H_w = 2,87 \text{ m}$$

$$L = 41 \text{ m} \quad i = 0,0034$$

⊕ SELECIONADO

$$H_w = 2,62 \text{ m}$$

$$D = 122$$

CAPACIDADE DE BUEIRO
TUBO CIRCULAR DE METAL CORRUGADO
ENTRADA PROJETANTE

DIÂMETROS 91 cm a 168 cm

Figura 14.5



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

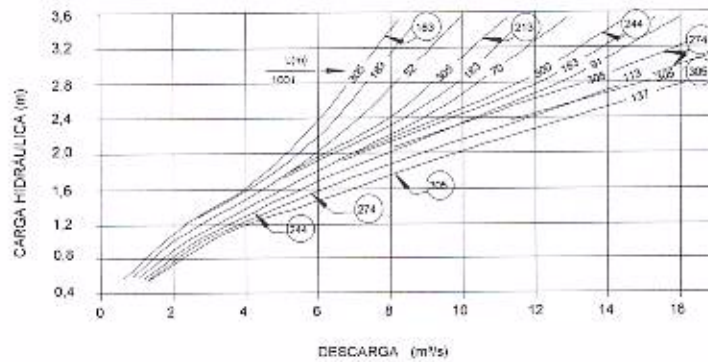
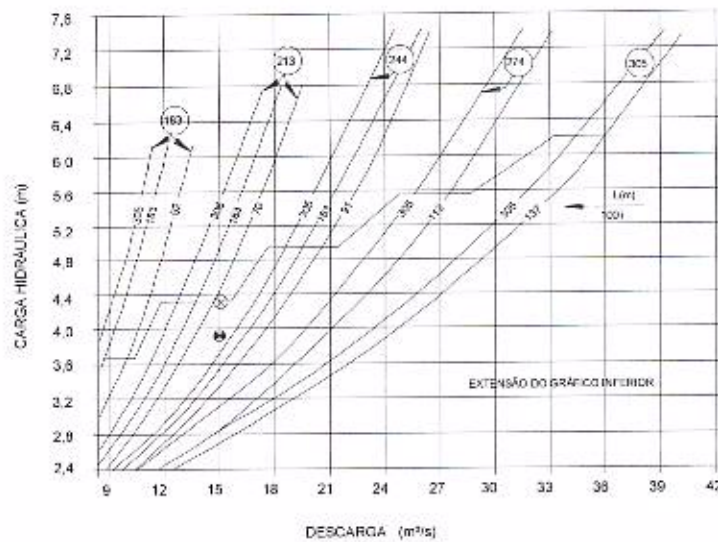
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

⊗ DADO

$Q = 15.0 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_w = 4.21 \text{ m}$
 $L = 82 \text{ m}$ $i = 0.0050$

CAPACIDADE DE BUEIRO
 TUBO CIRCULAR DE METAL CORRUGADO
 ENTRADA PROJETANTE

DIÂMETROS $\text{\textcircled{163 cm}}$ e $\text{\textcircled{305 cm}}$

⊕ SELECIONADO

$H_w = 3.98 \text{ m}$

$\text{\textcircled{229}}$

Figura 14.6



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

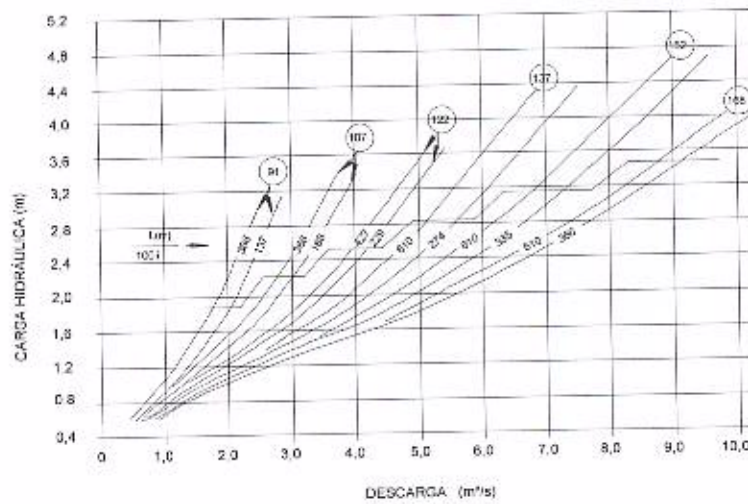
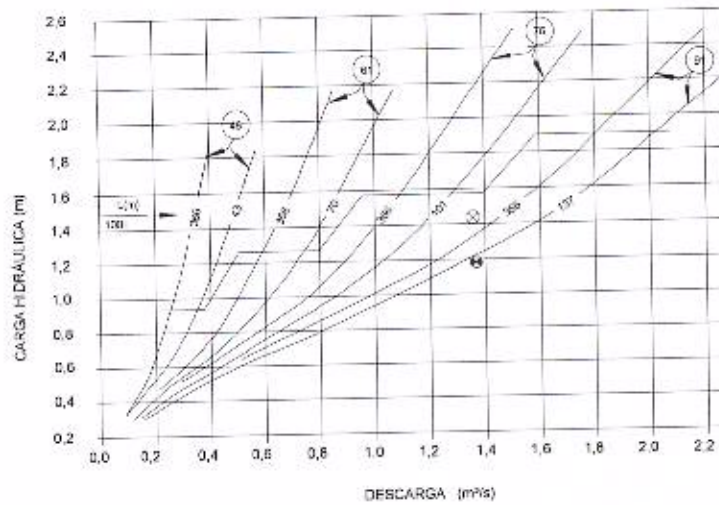
SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM
DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

DATA
30/06/99



EXEMPLO

⊗ DADO
 $Q = 1,36 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_w = 1,46 \text{ m}$
 $L = 18 \text{ m}$ $n = 0,003$

GAPACIDADE DE BUEIRO
 TUBO CIRCULAR DE CONCRETO
 ENTRADA COM BORDA EM ÂNGULO RETO

DIÂMETROS $\begin{matrix} 45 \\ \text{cm} \end{matrix}$ e $\begin{matrix} 168 \\ \text{cm} \end{matrix}$

⊕ SELECIONADO
 $H_w = 1,20 \text{ m}$
 $D = \begin{matrix} 91 \\ \text{cm} \end{matrix}$

Figura 14.7



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

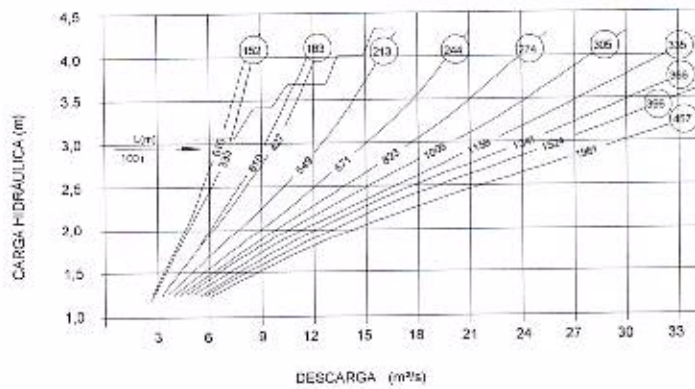
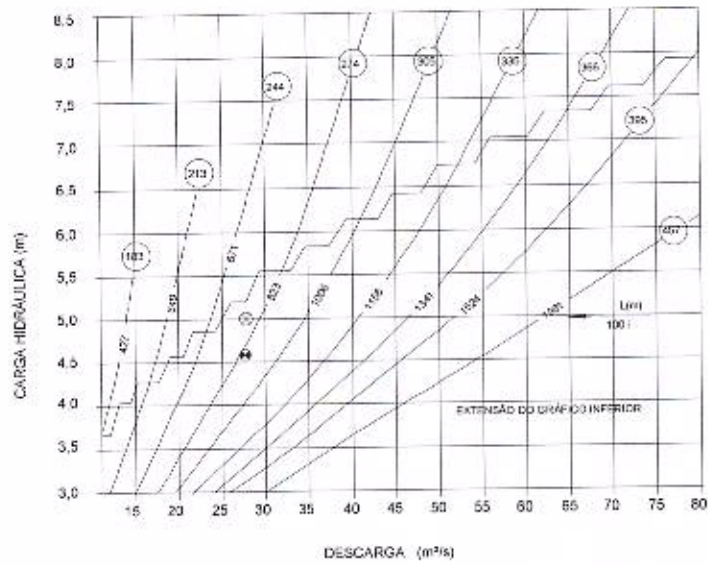
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

⊗ DADO

$Q = 26,5 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_w = 4,90 \text{ m}$
 $L = 146 \text{ m}$ $i = 0,340$

⊕ SELECIONADO

$H_w = 4,57 \text{ m}$
 $D = \text{274}$

CAPACIDADE DE BUEIRO
 TUBO CIRCULAR DE CONCRETO
 ENTRADA COM BORDA EM ÂNGULO RETO

DIÂMETROS 152 cm 274 cm 457 cm

Figura 14.8



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

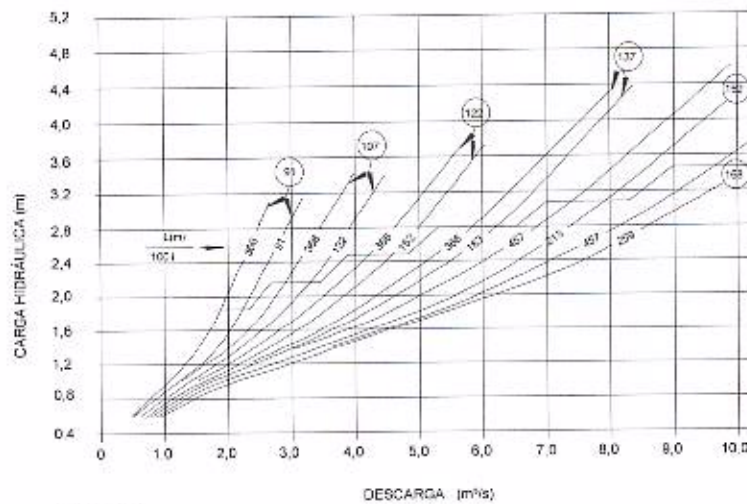
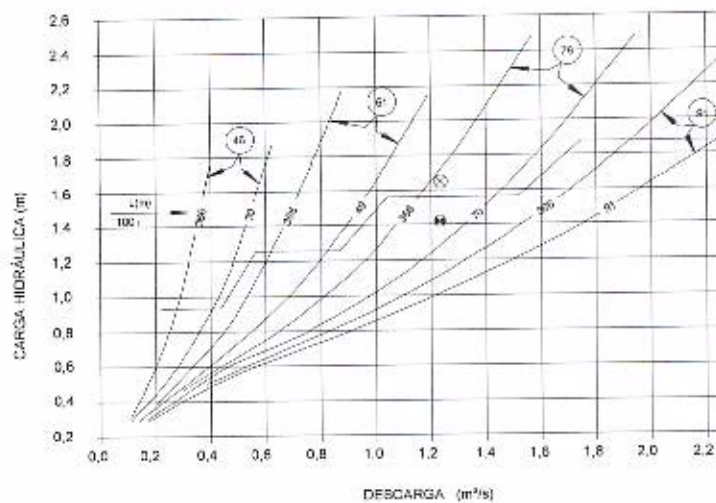
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

⊙ DADO
 $Q = 1,22 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_w = 1,65 \text{ m}$
 $L = 37 \text{ m}$ $\epsilon = 0,002$

CAPACIDADE DE BUEIRO
 TUBO CIRCULAR DE CONCRETO
 ENTRADA COM BORDA RANHURADA

DIÂMETROS $\begin{matrix} 46 \\ \text{cm} \end{matrix} * \begin{matrix} 166 \\ \text{cm} \end{matrix}$

⊕ SELECIONADO
 $H_w = 1,43 \text{ m}$
 $D = \begin{matrix} 76 \end{matrix}$

Figura 14.9



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

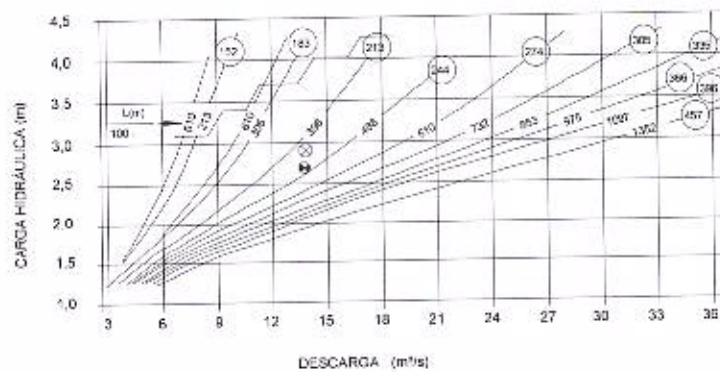
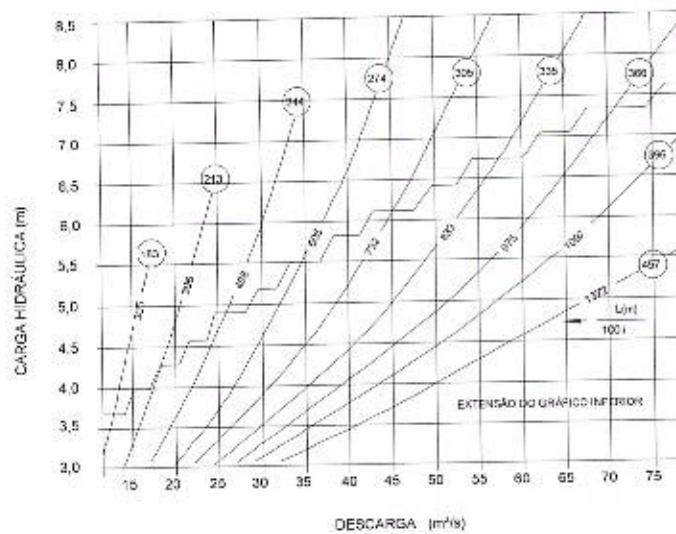
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



EXEMPLO

33 DADO
 $Q = 13.6 \text{ m}^3/\text{s}$ $H_w = 2.63 \text{ m}$
 $L = 18 \text{ m}$ $i = 0.003$

CAPACIDADE DE BUEIRO
 TUBO CIRCULAR DE CONCRETO
 ENTRADA COM BORDA RANHURADA

DIÂMETROS $\text{Ø} 152 \text{ cm}$ e $\text{Ø} 457 \text{ cm}$

34 SELECIONADO
 $H_w = 2.60 \text{ m}$
 $D = \text{Ø} 226$

Figura 14.10



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS		EMITENTE
		SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS
REFERÊNCIA	ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM	DATA
DP-H11	Diretrizes de Projeto para Bueiros	30/06/99

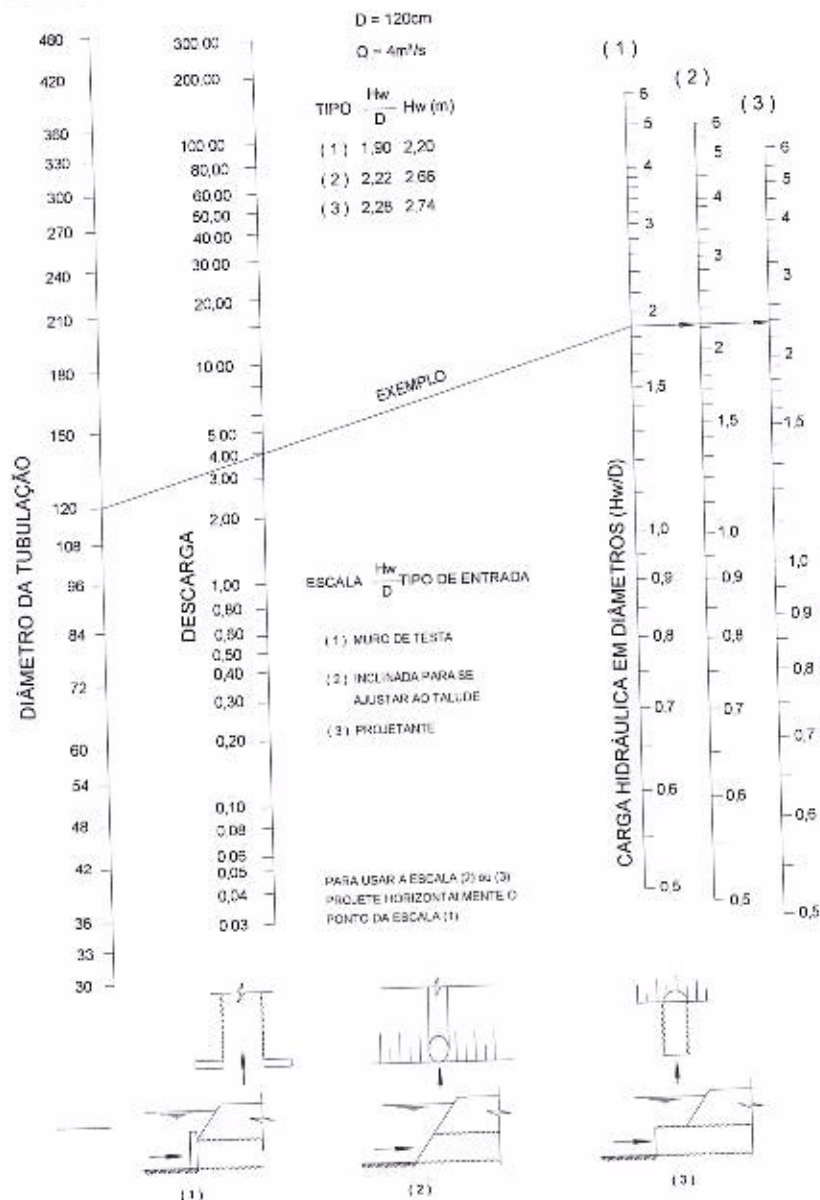


Figura 14.11

Carga hidráulica a montante para tubos de metal corrugado com controle na entrada



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM
 DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

DATA
 30/06/99

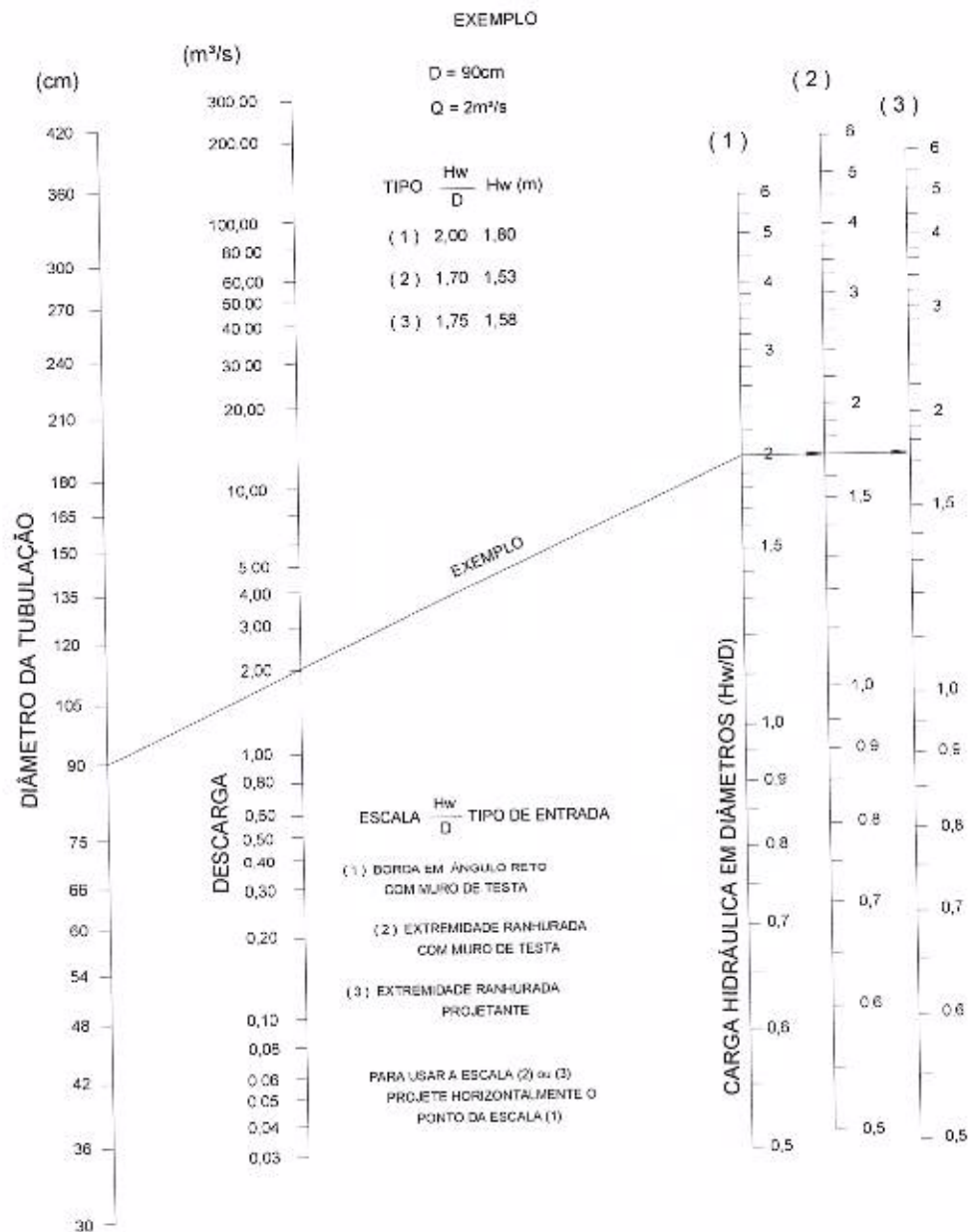


Figura 14.12

Carga hidráulica a montante para tubos de concreto com controle na entrada



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99

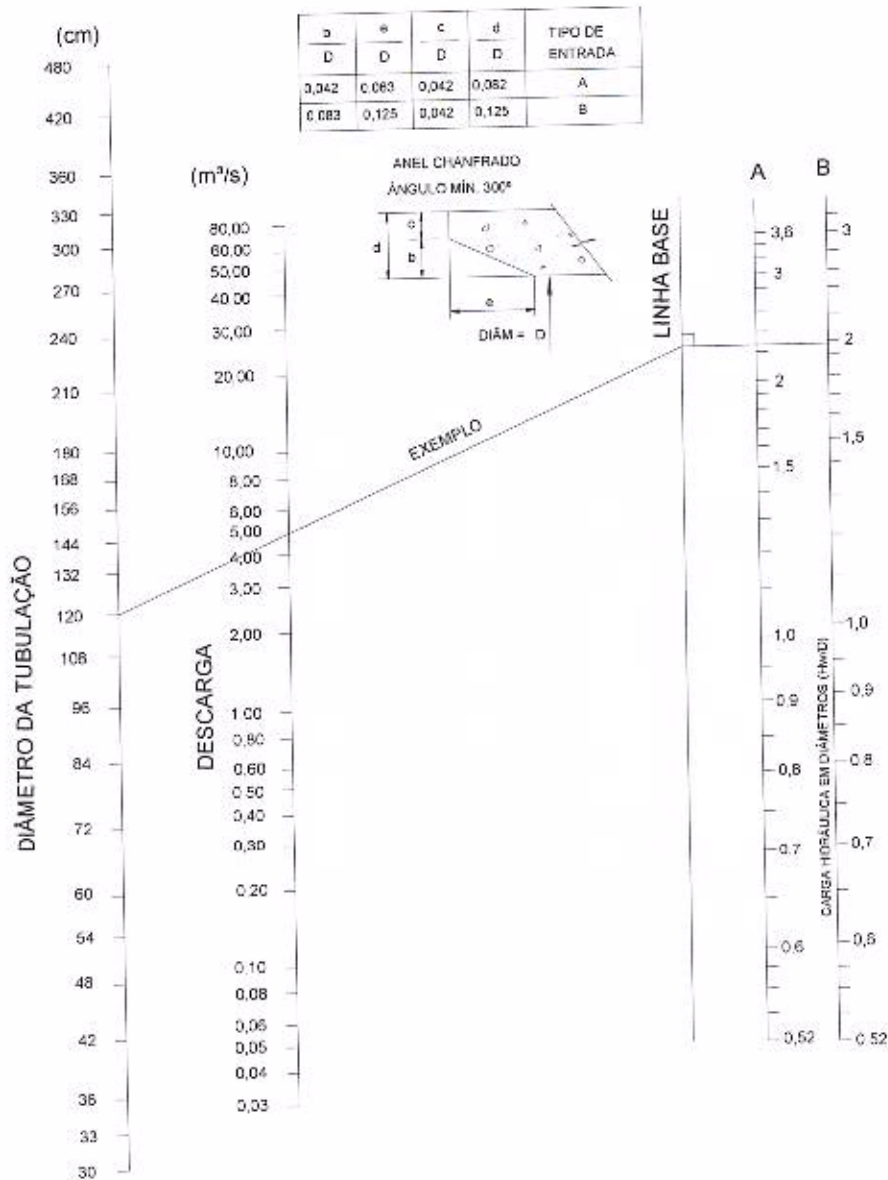


Figura 14.13

Carga hidráulica para tubos circulares com anel chanfrado com controle na entrada



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



SEÇÃO PLENA, SAÍDA AFOGADA
 $H_w = H + h_o - L_i$

PARA SAÍDA NÃO AFOGADA, CALCULE H_w
PELOS MÉTODOS DESCRITOS NO
PROCEDIMENTO DE PROJETO.

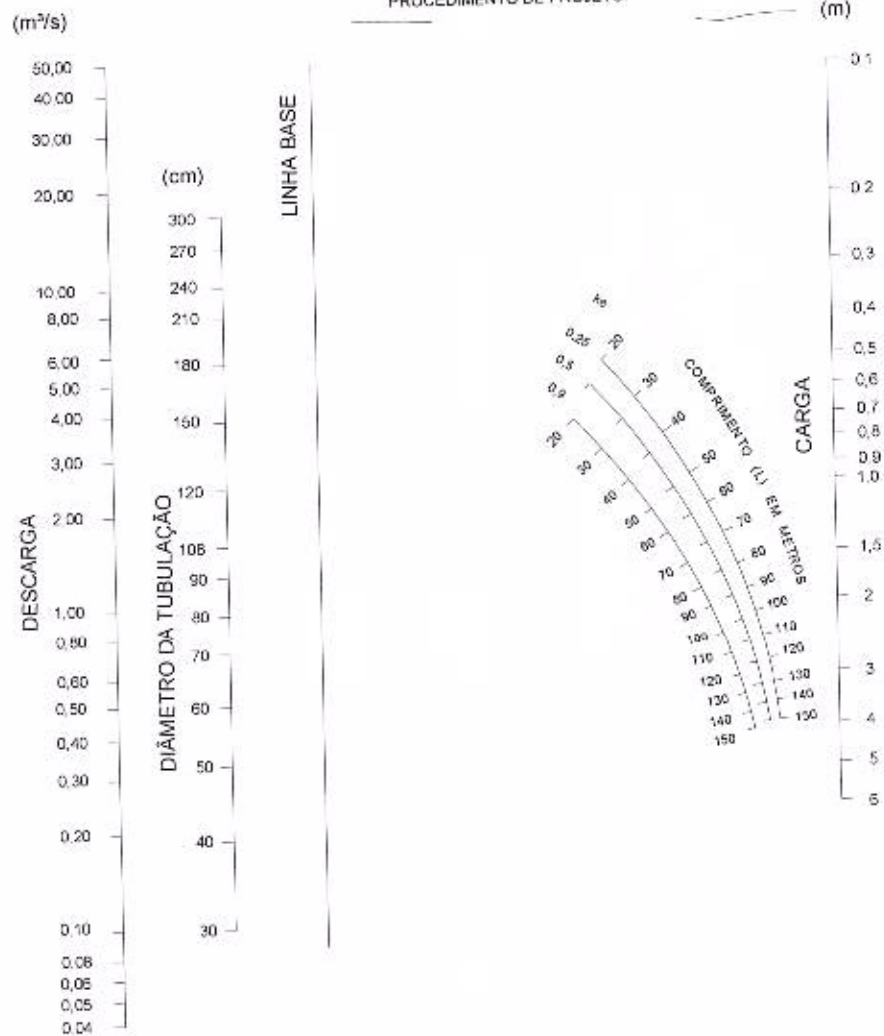


Figura 14.14

Carga hidráulica para bueiro de metal corrugado, escoando à seção plena $n=0,024$



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

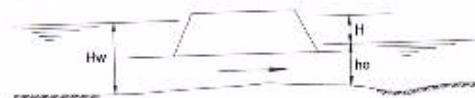
SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM

DATA

DP-H11 Diretrizes de Projeto para Bueiros

30/06/99



SEÇÃO PLENA, SAÍDA AFOGADA
 $H_w = H + h_o - L$

PARA SAÍDA NÃO AFOGADA, CALCULE H_w
PELOS MÉTODOS DESCRITOS NO
PROCEDIMENTO DE PROJETO

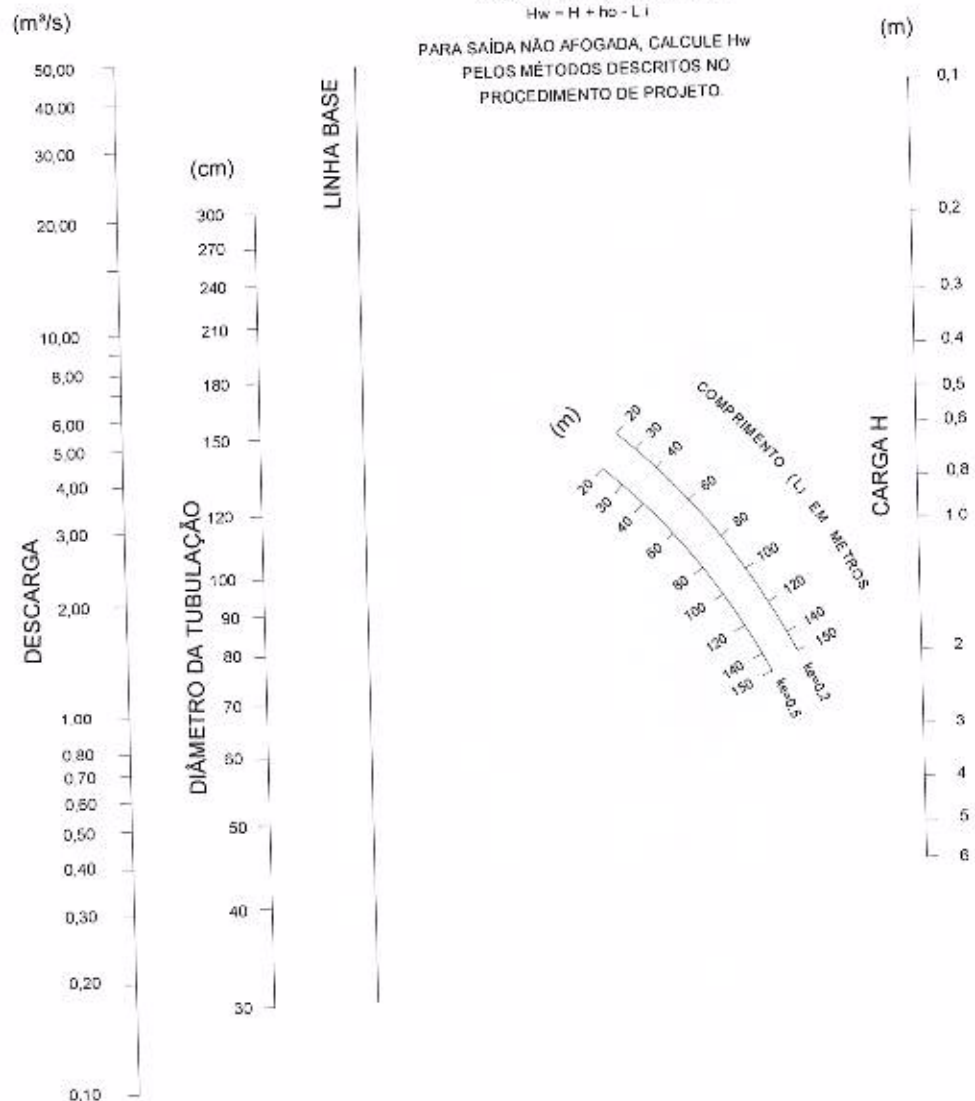


Figura 14.15

Carga hidráulica para bueiros de concreto, escoando à seção plena $n=0,012$