



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

DP-H15

**DIRETRIZES DE PROJETO PARA DISSIPACÃO
DE ENERGIA**



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

ÍNDICE

PÁG.

1.	OBJETIVO	339
2.	DISSIPADORES DE ENERGIA.....	339
3.	DEGRAUS.....	339
4.	RAMPAS DENTADAS.....	346
5.	BLOCO DE IMPACTO	348



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

1. OBJETIVO

Esta diretriz tem por objetivo fornecer parâmetros de projeto de estruturas de dissipação de energia em sistemas de drenagem urbana para projetos da SVP/PMSP.

2. DISSIPADORES DE ENERGIA

A dissipação de energia visa a diminuição da velocidade do escoamento nas estruturas hidráulicas e nas saídas de galerias de águas pluviais, principalmente nas situações de chuvas intensas e enchentes, para que seja minimizada a ocorrência de desgaste ou erosão dos canais.

Diversas estruturas hidráulicas foram desenvolvidas para o controle do fluxo d'água. Serão apresentados neste documento os tipos de maior aplicabilidade para drenagem urbana. São eles:

- Degraus;
- Rampas dentadas;
- Blocos de impacto.

O texto apresentado está baseado no documento "Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo" da FCTH-USP, 1995.

3. DEGRAUS

Este tipo de estrutura para dissipação de energia está vinculado à existência de um ressalto hidráulico a jusante, de modo a torná-la mais eficiente. Como a perda de carga total é a soma



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

da ocorrida na estrutura e no ressalto, convém fazer inicialmente algumas considerações a respeito de algumas características deste último.

O ressalto hidráulico é decorrente de uma desaceleração brusca do escoamento supercrítico para o subcrítico. Desde que projetado adequadamente, pode-se tornar um elemento importante para a dissipação de energia. Os elementos de cálculo mais significativos, para o caso de canal retangular, sem declividade e com perdas por atrito com as paredes desprezíveis, são os seguintes:

Equações:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \dots\dots\dots (3.1)$$

$$\Delta E = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4 \cdot y_1 \cdot y_2} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} \dots\dots\dots (3.3)$$

Onde:

y_1 = profundidade a montante do ressalto;

y_2 = profundidade a jusante do ressalto;

Pode-se dizer que a relação y_2 / y_1 e F_1 são medidas da eficiência do ressalto, ou seja, quanto maior for a primeira relação, maior será o ressalto, o mesmo acontece com o número de Froude (F), uma vez que este indica o estado do escoamento a montante. O expoente três



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

da Equação 3.2 mostra que a perda de energia aumenta muito rapidamente com o aumento da eficiência do ressalto.

Quando $F_1 < 1$ a diferença de energia entre os níveis de montante e jusante, dada pela Equação 3.1, é pequena. Desta forma, não ocorrem quebras de onda, havendo a formação de ondas estacionárias. Este tipo de ressalto recebe o nome de ressalto ondulado, e como já foi mencionado, a dissipação de energia é pequena.

Para que haja uma dissipação de energia adequada é necessário que o número de Froude a montante esteja compreendido entre 4,5 e 9, tentando evitar sempre valores superiores a 13, pois isto acarretaria problemas de instabilidade da linha d'água a jusante, entre outros inconvenientes.

Pesquisas desenvolvidas por Straub e Silvester em 1965 (apud French, 1986) e posteriormente confirmadas através de ensaios de laboratório permitem definir relações para outros tipos de seção transversal comuns, em canais de fundo horizontal, conforme Tabela 3.1.

O comprimento do ressalto, L_j , pode ser estimado pela relação proposta por Silvester (apud French 1986)

$$\frac{L_j}{y_1} = 9,75.(F_1 - 1)^r \quad (3.4)$$

onde:

r = admitido igual a 1,01 para canais retangulares de fundo horizontal, 0,695 para canais triangulares e varia entre 0,83 e 0,90 para canais trapezoidais.



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

Para resolver a parte relativa à queda, pode-se utilizar o desenho de uma estrutura típica muito utilizada em projeto de canais, como a indicada na Figura 3.1. Este tipo de estrutura de maneira geral é adotada quando é necessário vencer desníveis com dissipação de energia para evitar problemas de erosão a jusante. Para este tipo de estrutura, Moore (1943) desenvolveu estudos experimentais em que verificou que existe uma considerável perda de energia devido à circulação induzida pelo jato no colchão d'água que forma a bacia. A função deste colchão é dissipar o impulso que surge, dada a mudança na direção do escoamento. A equação que o autor encontrou após a conclusão dos estudos é a seguinte:

$$\frac{y_1}{y_c} = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{\Delta Z_0}{y_c} + \frac{3}{2}}} \dots\dots\dots(3.5)$$

Com isto, chega-se ao valor da energia específica na seção que pode ser determinada por:

$$\frac{E_1}{y_c} = \frac{y_1}{y_c} + \frac{y_c^2}{2 \cdot y_1^2} \dots\dots\dots(3.6)$$

Estas equações indicam claramente que a perda de energia na base da queda pode ser da ordem de 50% ou mais da energia inicial, tomando como referência o nível da base da bacia. Se, como na Figura 3.1, existe um ressalto hidráulico a jusante da seção 1 dissipando mais energia, a perda total dentro da estrutura de queda pode ser substancial. Outra observação importante refere-se ao fato de que a razão E_2 / y não varia muito com $\Delta Z_0 / y_c$, ficando de maneira geral em torno de 2,5, valor este que pode ser tomado como uma aproximação satisfatória para um projeto preliminar.



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-H15 Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia

30/06/99

SEÇÃO TIPO	Fr_1	Y_2/Y_1
	$\frac{Q^2 b}{g A^3}$	$\left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)^2 = 1 + 2 F r_1^2 \cdot \left(1 - \frac{Y_1}{Y_2}\right)$
	$\frac{Q^2 B}{g A^3}$	$\left(\frac{k + \frac{Y_2}{Y_1}}{k + 1}\right) \left(\frac{Y_2}{Y_1}\right) = 1 + 4 \cdot \left(\frac{K+2}{2k+2}\right) \cdot Fr_1^2 \cdot \left(\frac{K+1}{k+2}\right) \cdot \left(1 - \left(\frac{K+1}{k+1} \cdot \frac{Y_2}{Y_1}\right) \frac{Y_1}{Y_2}\right)$ <p>$k = b/m \cdot y$</p>
	$\frac{Q^2 B}{g A^3}$	$\left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)^2 = 1 + 2 F r_1^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)^2\right)$
	$\left(\frac{Y_c}{Y_1}\right)^{1.93}$	$Y_2 = \frac{Y_c^2}{Y_1} \quad \text{---} \quad Fr_1 < 1.7$ $Y_2 = \frac{Y_c^{1.8}}{Y_1^{0.73}} \quad \text{---} \quad Fr_1 > 1.7$

Tabela 3.1
Profundidades do ressalto hidráulico

FONTE: DRENAGEM URBANA, ABRH, 1995



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

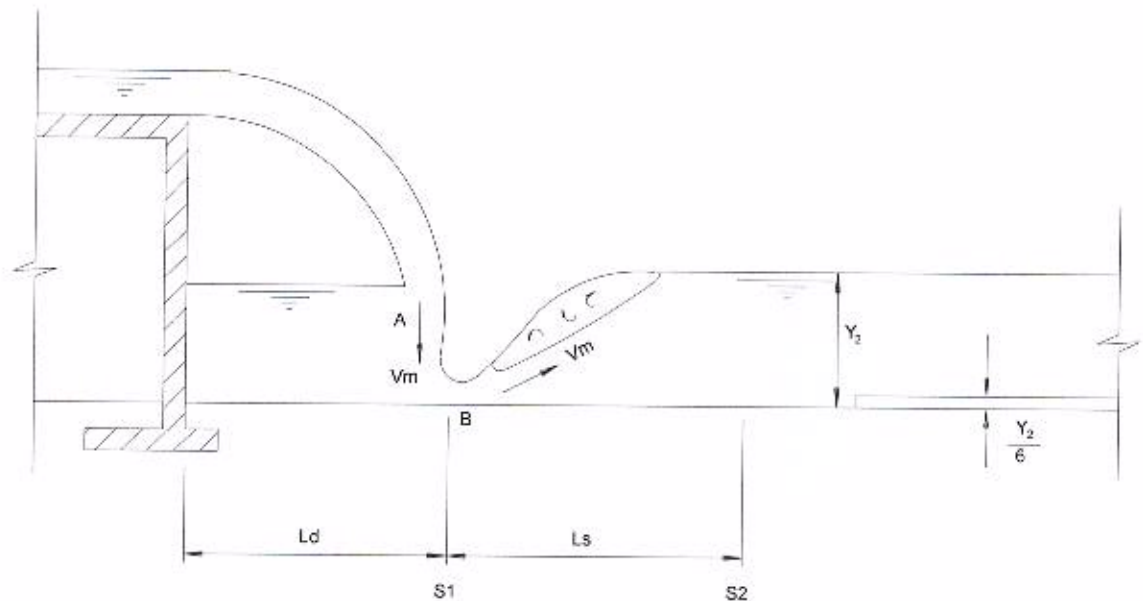


Figura 3.1

Representação de um degrau associado a um ressalto hidráulico



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-H15 Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia

30/06/99

Com a finalidade de um pré-dimensionamento, Rand (apud Henderson, 1966) agrupou seus resultados a outros feitos por Moore, chegando às seguintes equações exponenciais, cujo erro de ajuste dos dados é de 5% ou menos:

$$\frac{y_1}{\Delta Z_0} = 0,54 \left[\frac{y_c}{\Delta Z_0} \right]^{1,275} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\frac{y_1}{y_c} = 0,54 \left[\frac{y_c}{\Delta Z_0} \right]^{0,275} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\frac{y_2}{\Delta Z_0} = 1,66 \left[\frac{y_c}{\Delta Z_0} \right]^{0,81} \dots\dots\dots (3.9)$$

$$\frac{L_{d1}}{\Delta Z_0} = 4,30 \left[\frac{y_c}{\Delta Z_0} \right]^{0,09} \dots\dots\dots (3.10)$$

$$L_j = 6,9.(y_2 - y_1) \dots\dots\dots (3.11)$$

onde:

L_d = distância horizontal associada ao comprimento do ressalto;

L_j = distância horizontal associada ao jato do ressalto, como mostrado na Figura 3.1.

Além disto, a elevação $y_2 / 6$ no final da estrutura é um procedimento padrão para projetos, onde o ressalto se localiza imediatamente após a queda.



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

4. RAMPAS DENTADAS

O conceito hidráulico dessa solução consiste em colocar repetidas obstruções (blocos dissipadores), que são de uma altura nominal equivalente à profundidade crítica. Além da dissipação de energia proveniente da turbulência devida a estes blocos, outra parcela é dissipada através da rampa pela perda do momento associada à reorientação do escoamento.

Os blocos dissipadores evitam a aceleração excessiva do escoamento durante a passagem para o nível inferior da calha. Se as velocidades de escoamento na entrada do canal a jusante forem reduzidas, não haverá necessidade de bacia de dissipação. A calha, com declividade 1:2 ou menos, pode ser projetada para descargas de 5,0 m³/s por metro de largura, e a queda pode ser tão alta quanto for exequível estruturalmente. A parte inferior da calha deverá ser projetada para permanecer abaixo do nível do leito do curso d'água. Em projetos de drenagem urbana, a extremidade inferior deverá ser protegida contra ações erosivas indesejáveis.

Os blocos dissipadores podem ser projetados para qualquer descarga, porém deve-se respeitar o limite de 5,0 m³/s. Para descargas unitárias em torno de 3,0 m³/s, as condições de escoamento na base da calha serão menos severas, tornando mais amenas para descargas inferiores a 2,0 m³/s.

Deve-se ressaltar que a velocidade de entrada V_1 deve ser bastante baixa. As condições ideais correspondem a:

$$V_1 = \sqrt[3]{g \cdot q} - 1,6 \dots\dots\dots (4.1)$$



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

Em nenhuma hipótese deve-se ter:

$$v_1 = \sqrt[3]{g \cdot q} \dots\dots\dots (4.2)$$

Deve-se colocar a primeira fileira de blocos dissipadores próxima ao topo da calha, conforme indicado na Figura 4.1.

A altura do bloco dissipador "a" deverá ser de aproximadamente $0,8 \cdot hc$. A profundidade crítica na calha retangular é dada pela equação 4.3 abaixo e corresponde a:

$$hc_1 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \dots\dots\dots (4.3)$$

As larguras e espaçamentos dos blocos dissipadores deverão ser de preferência iguais, e em torno de $3/2a$. Blocos parciais de larguras variando de $1/3$ a $2/3$ de a poderão ser colocados contra os muros guias nas Fileiras 1, 3, 5, 7 etc., alternando com espaços de mesma largura nas fileiras 2, 4, 6, etc.

A distância medida sobre a superfície da calha entre as fileiras de blocos dissipadores deverá ser de duas vezes a altura a . Quando a altura do bloco for menor que 90 cm, o espaçamento da fileira poderá ser maior que $2a$, mas não deverá exceder a 1,80 m. Para declividades inferiores a 1:2, o espaçamento das fileiras poderá ser aumentado, para que o desnível entre elas seja o mesmo que para a declividade de 1:2.



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

Normalmente, os blocos dissipadores são construídos com suas faces de montante normais ao fundo da calha; todavia, poderão ser utilizados blocos com faces verticais. Serão necessárias pelo menos quatro fileiras de blocos, para estabelecer um controle completo do escoamento, porém, menor número de fileiras tem funcionado satisfatoriamente. Fileiras adicionais, além da quarta, permitem um melhor controle a jusante; é recomendável criar uma última fileira de blocos mantida reaterrada conforme mostra a Figura 4.1.

Os muros guias deverão ter altura igual a três vezes a altura dos blocos dissipadores, para conter o fluxo de água que é bastante turbulento. Os muros guias deverão ser protegidos lateralmente com enrocamento de pedra de 15 a 30 cm de diâmetro, especialmente na parte de jusante, onde as possibilidades de erosão são bastante grandes.

5. BLOCO DE IMPACTO

Nas saídas de tubulações que apresentam escoamentos velozes, a forma mais eficiente de dissipação de energia é com o uso de bacias de dissipação com enrocamento, ou de blocos de impacto. Embora o uso de bacia com enrocamento represente uma possibilidade atraente de solução, em situações de escoamento muito veloz apresenta limitações de dimensionamento. Para estes casos é recomendável o uso dos blocos de impacto. Além da versatilidade, em muitos casos, são mais econômicos do que as bacias de enrocamento, proporcionando também uma solução que dispensa maiores cuidados com manutenção.

A padronização dos projetos para este tipo de blocos foi estabelecida pelo Burec, recebendo a denominação de Bacia tipo "VI". Este tipo de obra também é conhecida como "dissipador de impacto" ou "bacia de dissipação para saída de condutos". Este tipo de bacia é relativamente pequena, o que produz uma alta eficiência de dissipação de energia.



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-H15 Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia

30/06/99

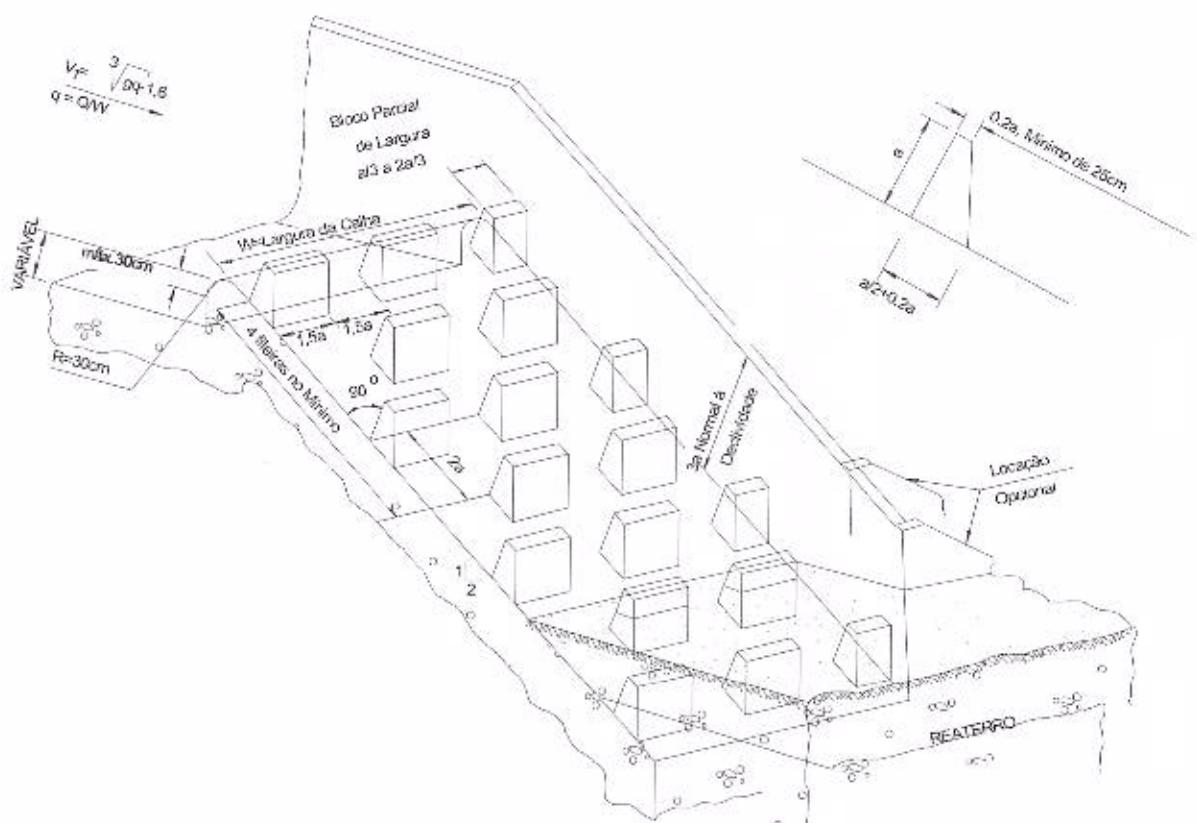


Figura 4.1

Proporções básicas de uma rampa dentada



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-H15	Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia	30/06/99

A estrutura é projetada para operar continuamente sob escoamento. As condições máximas de entrada são velocidade de 15 m/s e número de Froude próximo a 9 (nove). Em drenagem urbana, não é comum ter condições que as excedam, o que significa que o uso desta bacia é limitado somente por considerações econômicas e estruturais.

A configuração geral de um projeto é mostrada na Figura 5.1, consistindo basicamente numa caixa de concreto ligada diretamente à saída do conduto. A largura W é determinada de acordo com a Figura 5.2 em função da descarga. As paredes laterais devem ser altas suficientes para conter eventuais fugas durante as vazões mais elevadas. A saída da tubulação é verticalmente alinhada com uma projeção do bloco e não deve ser mais baixa que o fundo do mesmo. Isto se deve ao fato do bloco ter forma de L e não encostar no fundo. A altura da soleira final deve ser igual à altura da fresta sob o bloco, para permitir a formação do remanso. A transição final alternativa com alas a 45° é recomendada nos canais de leito natural para reduzir o potencial de erosão a jusante da soleira.

O padrão Burec deverá sofrer algumas modificações para aplicações urbanas, a fim de permitir a drenagem do fundo nos períodos mais secos. Estes tipos de blocos de impacto também poderão ser adaptados em projetos com múltiplos dissipadores. Como as modificações poderão afetar o desempenho hidráulico das estruturas, deverá ser feita uma pesquisa para avaliar estes impactos.



PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

DOCUMENTAÇÃO TÉCNICA

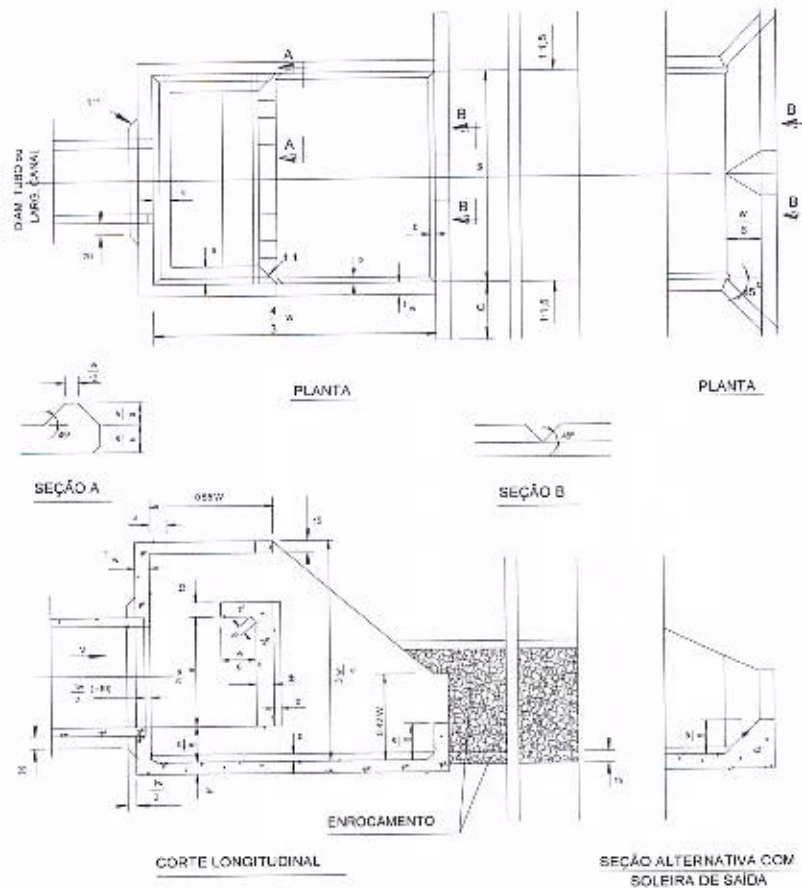
SECRETARIA DE VIAS PÚBLICAS

EMITENTE

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS

REFERÊNCIA ASSUNTO: DIRETRIZES DE PROJETO DE HIDRÁULICA E DRENAGEM
 DP-H15 Diretrizes de Projeto para Dissipação de Energia

DATA
 30/06/99



DIMENSÕES RECOMENDADAS PARA CONCRETO							
D	a	b	c	t _w	t ₁	t ₂	t ₃
(m)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
3,0	25	8	100	20	20	25	20
6,0	30	10	100	25	30	25	20
9,0	35	15	100	30	30	30	20
12,0	40	15	100	30	35	30	20

Obs: RECOMENDAÇÃO PARA ESPESSURA MÍNIMA DO CONCRETO = 10cm

CORTE LONGITUDINAL

Figura 5.1