

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

EFICIÊNCIA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
EM BOCA-DE-LOBO COM DEFLETORES

Carlos Henrique Aparecido Cardoso

Campinas
2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

EFICIÊNCIA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
EM BOCA-DE-LOBO COM DEFLETORES

Carlos Henrique Aparecido Cardoso

Co-Orientador: Prof. Dr. Abel Maia Genovez
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Inés Borri Genovez

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Campinas, SP

2003

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

C179e Cardoso, Carlos Henrique Aparecido
 Eficiência de captação de águas pluviais em boca-de-
 lobo com defletores / Carlos Henrique Aparecido
 Cardoso. --Campinas, SP: [s.n.], 2003.

 Orientadores: Abel Maia Genovez e Ana Inês Borri
 Genovez

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

 1. Drenagem. 2. Água Captação. 3. Águas Pluviais.
 4. Escoamento urbano. I. Genovez, Abel Maia. II.
 Genovez, Ana Inês Borri. III. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. IV. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS**

**EFICIÊNCIA DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS
EM BOCA-DE-LOBO COM DEFLETORES**

Carlos Henrique Aparecido Cardoso

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof^ª. Dr.^a Ana Inés Borri Genovez
Presidente e Orientadora – FEC - UNICAMP

Prof. Dr. Evaldo Miranda Coiado
FEC - UNICAMP

Prof. Dr. Rodrigo de Melo Porto
EESC - USP

Campinas, 29 de Agosto de 2003.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela imensa generosidade demonstrada durante todas as etapas de minha vida, ajudando-me a superar os desafios e a seguir em frente nos momentos difíceis;

À Prof^ª. Dr^ª. Ana Inês Borri Genovez, por sua orientação, pelos conhecimentos transmitidos e sugestões sempre valiosas e, principalmente pela amizade e confiança oferecidas desde o início de nossa convivência;

Ao Prof. Dr. Abel Maia Genovez, pela importante contribuição prestada por meio de valiosas sugestões;

À Faculdade de Engenharia Civil (FEC), por proporcionar as condições necessárias à realização deste projeto;

Aos professores do Departamento de Recursos Hídricos, fundamentais à minha formação;

Ao aluno Paulo M. O. Dalfré, bolsista de Iniciação Científica, pela contribuição na parte experimental;

Aos amigos Fernando Puell Neto e Rogério de Almeida, pelo apoio e estímulo prestados no início deste desafio;

Às novas amizades, construídas durante este período que, pela convivência e companheirismo, ajudaram a minimizar as adversidades;

Aos técnicos e estagiários do Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos, pela montagem dos equipamentos;

À CAPES, pelo auxílio financeiro com a concessão de bolsa de mestrado, que muito contribuiu para tornar possível este trabalho.

DEDICO

Aos meus pais e à minha irmã, pelo apoio e incentivo, que não me deixaram desanimar mesmo diante de maiores dificuldades.

SUMÁRIO

página

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	ix
RESUMO	xv
1 INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3 DRENAGEM URBANA E A CHUVA DE PROJETO	5
3.1 Introdução	5
3.2 Impactos da urbanização sobre o escoamento superficial	6
3.3 Equações de chuvas intensas	8
4 ESTRUTURAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA	17
4.1 Introdução	17
4.2 Pesquisas existentes	17
4.3 Considerações finais	57
5 BOCAS-DE-LOBO	59
5.1 Introdução	59
5.2 Exemplos de bocas-de-lobo	59

5.3 Classificações	62
5.4 Bocas-de-lobo padrão	65
5.5 Fotos ilustrativas	70
6 METODOLOGIA	77
6.1 Introdução	77
6.2 O banco de ensaio	77
6.3 Procedimentos experimentais	82
6.4 Definição da eficiência da boca-de-lobo	85
6.5 Resistência ao escoamento	87
6.6 Leis de semelhança e efeitos de escala	89
7 RESULTADOS E ANÁLISE.....	91
7.1 Introdução	91
7.2 Resultados dos ensaios	91
7.3 Análise dos resultados	99
7.3.1 Efeitos de escala na modelação	101
7.3.2 Análise de incertezas na avaliação do coeficiente de descarga	102
7.3.3 Curvas de descarga no protótipo	102
8 CONCLUSÕES	105
ANEXO Grelhas de ferro fundido para bocas-de-lobo	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ABSTRACT.....	115

LISTA DE FIGURAS

página

Figura 3.1	Efeito da urbanização sobre a vazão máxima	7
Figura 4.1	Grades com barras longitudinais	18
Figura 4.2	Boca-de-lobo com abertura na guia sem depressão	21
Figura 4.3	Boca-de-lobo com abertura na guia com depressão	21
Figura 4.4	Boca-de-lobo com defletores	25
Figura 4.5	Diagrama de Stanton	28
Figura 4.6	Nomograma de Izzard	30
Figura 4.7	Seção transversal da sarjeta	31
Figura 4.8	Fator de redução da vazão teórica	32
Figura 4.9	Boca-de-lobo sem depressão	33
Figura 4.10	Esquema da vazão captada pela grade	36
Figura 4.11	Boca-de-lobo com depressão (padrão da cidade de São Paulo/SP)	39
Figura 4.12	Boca-de-lobo sem depressão (padrão da cidade de São Paulo/SP)	40
Figura 4.13	Esquema de banco de ensaio	42
Figura 4.14	Dimensões da grade estudada	42
Figura 4.15	Gráficos representativos dos resultados obtidos	43
Figura 4.16	Vazão captada Q_i e eficiência E_f para declividade longitudinal $I_L=2\%$	44
Figura 4.17	Vazão captada Q_i para declividade longitudinal $I_L=2\%$	45
Figura 4.18	Esquema do espaçamento entre bocas-de-lobo para drenagem de ruas	48
Figura 4.19	Esquema para definição dos parâmetros do escoamento	49
Figura 4.20	Variação dos valores de β e λ	51

Figura 4.21	Esquema do dispositivo instalado na boca-de-lobo	57
Figura 5.1	Boca-de-lobo simples avançando sobre a sarjeta	61
Figura 5.2	Boca-de-lobo com grelha em trilhos.....	61
Figura 5.3	Boca-de-lobo com grelha quadriculada fixa	63
Figura 5.4	Boca-de-lobo padrão utilizada em Campinas/SP	65
Figura 5.5	Boca-de-lobo padrão utilizada em Araras/SP	66
Figura 5.6	Esquema da boca-de-lobo utilizada em Porto Alegre/RS	67
Figura 5.7	Perfil da boca-de-lobo utilizada em Porto Alegre/RS	68
Figura 5.8	Boca-de-lobo com grelha de ferro fundido utilizada em Curitiba/PR	68
Figura 5.9	Boca-de-lobo com grelha de concreto utilizada em Curitiba/PR	69
Figura 5.10	Boca-de-lobo do tipo combinada utilizada em Curitiba/PR	69
Figura 5.11	Boca-de-lobo simples com abertura na guia e grade. Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP	70
Figura 5.12	Boca-de-lobo múltipla com abertura na guia e grade. Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP	71
Figura 5.13	Boca-de-lobo simples e com grade. Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP	71
Figura 5.14	Boca-de-lobo múltipla e com grade. Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP	72
Figura 5.15	Boca-de-lobo simples com abertura na guia. Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP	72
Figura 5.16	Boca-de-lobo múltipla com abertura na guia. Estrutura localizada na cidade de Campinas/SP	73
Figura 5.17	Boca-de-lobo com grade totalmente obstruída. Estrutura localizada na cidade de Campinas/SP	73
Figura 5.18	Boca-de-lobo com grade sob ação do recapeamento. Estrutura localizada na cidade de Campinas/SP	74
Figura 5.19	Boca-de-lobo múltipla com abertura na guia e grade. Estrutura localizada na cidade de Limeira/SP	74
Figura 5.20	Boca-de-lobo com grade - Devido ao recapeamento. Estrutura localizada na cidade de Campinas/SP	75

Figura 5.21	Boca-de-lobo múltipla com grade. Estrutura localizada na cidade de Limeira/SP	75
Figura 5.22	Boca-de-lobo simples com grade. Estrutura localizada na cidade de Limeira/SP	76
Figura 6.1	Esquema do banco de ensaio (Dimensões sem escala)	79
Figura 6.2	Banco de ensaio com reservatório de estabilização a montante	79
Figura 6.3	Articulação necessária para auxiliar a mudança da declividade longitudinal	80
Figura 6.4	Suportes auxiliares para garantir a verticalidade da guia	80
Figura 6.5	Dobradiças necessárias às variações de declividade transversal	81
Figura 6.6	Canal de alvenaria com calha Parshall instalada	81
Figura 6.7	Captação do escoamento pela boca-de-lobo com defletores	81
Figura 6.8	Disposição dos defletores no modelo	83
Figura 6.9	Esquema dos defletores	84
Figura 6.10	Defletores instalados na boca-de-lobo	84
Figura 6.11	Seção típica de sarjeta	85
Figura 7.1	Curva Cota-Vazão para a calha Parshall	92
Figura 7.2	Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo s/ depressão ($\text{tg}\theta = 11,43$)	93
Figura 7.3	Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo com defletores ($c/b = 2$) e ($\text{tg}\theta = 5,67$)	94
Figura 7.4	Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo com defletores ($c/b = 2$) e ($\text{tg}\theta = 7,11$)	95
Figura 7.5	Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo com defletores ($c/b = 2$) e ($\text{tg}\theta = 11,43$)	95
Figura 7.6	Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo com defletores ($c/b = 2$) e ($\text{tg}\theta = 19,08$)	96
Figura 7.7	Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo com defletores ($c/b = 1,5$) e ($\text{tg}\theta = 5,67$)	96
Figura 7.8	Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo com defletores ($c/b = 1,5$) e ($\text{tg}\theta = 7,11$)	97

Figura 7.9 Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo com defletores ($c/b = 1,5$) e ($\text{tg}\theta = 11,43$)	97
Figura 7.10 Valores experimentais de $(Q/L)_x (y_0)$ - boca-de-lobo com defletores ($c/b = 1,5$) e ($\text{tg}\theta = 19,08$)	98

LISTA DE QUADROS

página

Quadro 3.1	Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações	7
Quadro 3.2	Equações de intensidade – duração – frequência para cidades do Estado de São Paulo	11
Quadro 3.3	Valores dos coeficientes da equação de chuvas intensas para cidades do Estado de São Paulo de Magni e Mero (1982)	12
Quadro 5.1	Classificação das bocas-de-lobo adotadas por diversos autores	64

LISTA DE TABELAS

página

Tabela 4.1	Capacidade de entrada das bocas-de-lobo – fator de redução da vazão	34
Tabela 4.2	Características geométricas das barras ensaiadas	37
Tabela 4.3	Vazão total captada em função do tipo de grade	37
Tabela 4.4	Valores dos coeficientes A, B, C, e D	51

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Coeficiente adimensional; área da seção transversal [L^2]
a	Prof. das fendas na linha da guia; prof. da depressão; larg. da abertura da grade [L]
a	Coeficiente adimensional IDF
B	Coeficiente adimensional; Largura do escoamento horizontal na sarjeta [L]
B_0	Largura do escoamento inclinado na sarjeta [L]
b	Largura dos defletores; espessura das barras [L]; coeficiente adimensional IDF
C	Coeficiente adimensional
C_d	Coeficiente de descarga [$L^{0,5}$][T]
C_Q	Coeficiente de descarga [$L^{0,5}$][T]
c	Espaçamento entre defletores [L]
D	Coeficiente adimensional
D_H	Diâmetro hidráulico [L]
d	Disposição das barras; espaçamento entre a guia e abertura da grade [L]
$E; E_f$	Eficiência da boca-de-lobo [%]
E_0	Razão entre vazão frontal e vazão lateral [%]
$F; F_0$	Número de Froude
f	Fator de atrito de Darcy
$1/\sqrt{f}$	Fator de atrito de Colebrook-White
g	Aceleração da gravidade [L][T ⁻²]
h	Altura d'água junto à guia [L]

i	Declividade longitudinal [L][L ⁻¹]; espaçamento entre as barras [L]; intensidade da precipitação [L]
I	Declividade longitudinal [L][L ⁻¹]
i_n	Intensidade da chuva [L]
$i_{t,tr}$	Intensidade média da chuva [L]
K	Constante adimensional; número do escoamento cinemático
$K(s); K(\theta)$	Coefficiente da lei de captação da sarjeta [L ^{0,5}][T ⁻¹]
kF_0	Critério de Morris e Woolhiser (1980)
L	Comprimento da boca-de-lobo[L]; largura da seção do escoamento [L]; comprimento da sarjeta à montante da boca-de-lobo[L]
$L; L'$	Comprimento da grade para captar todo o escoamento [L]
L_2	Comprimento de transição a jusante da boca [L]
L_0	Comprimento da superfície plana [L]
M	Constante adimensional
m	Constante (varia com n° de barras); coeficiente adimensional IDF
N	Número de fendas
$n; n_0$	Coefficiente da rugosidade de Manning [L ^{-1/3}][T ⁻¹]
n	Coefficiente adimensional IDF
P_t^{TP}	Duração da chuva para duração t [T]
Q	Vazão captada [L ³][T ⁻¹]
$Q_0; Q_a$	Vazão total na sarjeta [L ³][T ⁻¹]
q	Vazão passante pela boca-de-lobo[L ³][T ⁻¹]
q_1	Vazão direta sobre a grade; vazão entre a guia e a grade [L ³][T ⁻¹]
q_2	Vazão que contorna a grade[L ³][T ⁻¹]
$R; R_{ey}$	Número de Reynolds
R_f	Razão entre vazão frontal interceptada pela grade e vazão total [%]
$R; R_h$	Raio hidráulico [L]
R_s	Razão entre vazão lateral interceptada pela grade e a vazão total [%]
S	Declividade longitudinal [L][L ⁻¹]
S_x	Declividade transversal da sarjeta [L][L ⁻¹]
T	Largura total do escoamento [L]; período da onda [T]; tangente ângulo θ

T'	Propagação de água na rua [T^{-1}]
T_p	Período de retorno da série parcial [T]
T_r	Tempo de recorrência (período de retorno) [T]
t	Duração da precipitação [T]; tempo
$\bar{u}$	Velocidade média na seção do canal [L][T^{-1}]
u_c	Velocidade média do escoamento [L][T^{-1}]
V	Velocidade média do escoamento [L][T^{-1}]
V_0	Velocidade no início do ponto de espirramento [L][T^{-1}]
$v; v_0$	Velocidade média do fluxo na sarjeta [L][T^{-1}]
z	Tangente do ângulo: $z = \operatorname{tg} \theta$ [L]
z_0	Coordenada axial da distância [L]
$y; y_0$	Profundidade do escoamento junto à guia; altura da guia [L]
W	Largura da sarjeta [L]
α	Ângulo entre os defletores e a guia [°]
β	Coefficiente adimensional
ΔH	Perda de carga [L][L^{-1}]
ε	Rugosidade do material [L]
$\theta; \theta_0$	Ângulo entre a sarjeta e a vertical; declividade transversal do canal [°]
λ	Escala geométrica
λ_Q	Escala das vazões
λ_t	Escala dos tempos
λ_v	Escala das velocidades
ν	Viscosidade cinemática [L^2][T]
τ	Adimensional do período da onda - critério de Ponce <i>et al</i> (1978)
Φ_0	Declividade longitudinal do canal [°]

RESUMO

CARDOSO, Carlos Henrique Aparecido. **Eficiência de Captação de Águas Pluviais em Boca-de-Lobo com Defletores**. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2003, 116 p. Dissertação, Mestrado.

Um sistema de drenagem urbana de águas pluviais é um serviço público que visa o conforto da população, protegendo-a contra a ação das águas que escoam pela superfície do terreno. Um elemento essencial à boa eficiência do sistema é a boca-de-lobo, cuja função é captar a água que escoar pela sarjeta. A sua eficiência depende da capacidade de esgotamento, que é função de seu tipo, altura da água no trecho da sarjeta imediatamente à montante e dimensões. Portanto, para se conhecer a capacidade da boca-de-lobo é necessário se conhecer as características de escoamento em conduto livre na sarjeta através de sua seção transversal, declividade e rugosidade e das superfícies do pavimento sobre os quais a água escoar. O objetivo deste trabalho é o estabelecimento, através de modelo físico, da eficiência de captação da boca-de-lobo com defletores. Para o desenvolvimento do trabalho foi montado um banco de ensaios no Laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos da Faculdade de Engenharia Civil. O emprego de defletores mostrou que este tipo de arranjo é mais eficiente que a boca-de-lobo padrão. Este tipo de boca-de-lobo é uma opção de projeto, pois os defletores estão no mesmo nível da rua, não prejudicando os pedestres ou o tráfego, como as estruturas com depressão.

Palavras-chave: drenagem urbana; estruturas de captação; estudo experimental; defletores.

1 INTRODUÇÃO

O escoamento de águas pluviais em áreas urbanas, caracterizado pelos escoamentos superficiais e pelo acúmulo de água nas partes baixas, constitui um sério problema econômico e social, sobretudo nas grandes cidades, com prejuízos ao tráfego e às residências, além de risco de vida à população.

Um sistema de drenagem urbana de águas pluviais é um serviço público que visa o conforto da população, protegendo-a contra a ação das águas que escoam pela superfície do terreno, provocando a erosão dos solos, transporte de sedimentos e até mesmo o desabamento de construções. Além disso, sempre com as inundações vêm os agentes causadores de doenças, que põem em risco a saúde da população. Os efeitos do processo de urbanização fazem-se sentir sob todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos pluvial e cloacal. Assim Tucci (1997) destaca a importância em se considerar o planejamento das redes cloacal e pluvial e a ocupação das áreas de risco, quando se formulam os planos diretores de desenvolvimento urbano e o quanto o gerenciamento inadequado na implantação de obras públicas ou privadas interfere no ambiente urbano.

O escoamento das águas pluviais é feito por meio de um sistema de captação e esgotamento das ruas, compreendendo os pavimentos, guias, sarjetas e rede de galerias, bem como as bocas-de-lobo, as tubulações, os poços de visita e as estruturas acessórias, que são projetados com o objetivo de captar e conduzir as águas pluviais até o ponto de despejo convenientemente localizado, impedindo distúrbios à população por ocasião das chuvas.

O estudo dos problemas de captação e esgotamento das águas pluviais nas áreas urbanas deve ser feito buscando soluções hidrológicas e hidráulicas para garantir a eficiência do sistema de drenagem proposto e proteger a população, que na maioria das vezes sofre os efeitos danosos das enchentes.

O bom funcionamento deste sistema é obtido pela ação conjunta de todos os elementos que o compõem, sendo que para isso eles devem estar bem dimensionados, tendo máxima eficiência na captação da água a ser transportada. Para que esse sistema seja o mais eficiente possível na macro-drenagem (canais naturais ou artificiais, galerias de grandes dimensões, estruturas auxiliares e obras de proteção contra a erosão do solo – os dissipadores de energia), é necessário que os componentes à montante, na micro-drenagem (tubulações subterrâneas, coletores, bocas-de-lobo e sarjetas), também sejam eficientes. Para Mascarenhas (2000), o planejamento integrado feito por equipes multidisciplinares, abrangendo modelação física e matemática permite a simulação do fenômeno das enchentes e a verificação da eficácia das ações.

O elemento essencial à boa eficiência do sistema é a boca-de-lobo, cuja função é captar a água que escoar pela sarjeta. Sua eficiência depende da capacidade de esgotamento e é calculada pela relação entre a vazão à montante da boca-de-lobo e a vazão à jusante da captação. O termo comportamento hidráulico corresponde à eficiência da boca-de-lobo em função dos parâmetros hidráulicos e geométricos intervenientes no fenômeno, não importando as condições da bacia contribuinte ou qualquer obstáculo que venha a modificar o escoamento à montante. A capacidade de esgotamento de uma boca-de-lobo depende principalmente de seu tipo, dimensões e da altura da água no trecho da sarjeta imediatamente à montante. Portanto, para se conhecer a capacidade da estrutura é necessário se conhecer as características de escoamento em conduto livre na sarjeta por meio de sua seção transversal, declividade, rugosidade e das superfícies do pavimento sobre os quais a água escoar.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi estudar a eficiência de uma boca-de-lobo com ranhuras de captação (chamadas de defletores) na sarjeta e abertura na guia.

No estudo foi tomado como parâmetro uma boca-de-lobo sem depressão com dimensões padronizadas, utilizada na cidade de São Paulo, com a colocação de defletores e abertura na guia.

A instalação das ranhuras tem a seu favor o fato de não ser prejudicial ao tráfego de veículos, quando instaladas em ruas que utilizam a sarjeta eventualmente como parte da faixa de rolamento.

Para estudar esta boca-de-lobo, foi construído um modelo na escala 1:3 no laboratório de Hidráulica e Mecânica dos Fluidos, da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP. Os intervalos de variação da declividade transversal e da declividade longitudinal foram de $5 < \text{tg}\theta < 20$ e $0 < I_L < 20\%$, respectivamente.

3 DRENAGEM URBANA E A CHUVA DE PROJETO

3.1 Introdução

Durante muito tempo o objetivo principal da drenagem urbana foi remover as águas pluviais em excesso da forma mais eficiente possível, para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações, tendo suas ações concentradas na execução de projetos e obras e na análise econômica dos benefícios e custos dessas medidas, ditas estruturais. Experiências nacionais e internacionais mostram que tais medidas, além de onerosas, não representam por si mesmas soluções eficazes e sustentáveis para os problemas complexos da drenagem urbana. Segundo Tucci (1993) melhores soluções para esses problemas são alcançadas a partir de uma compreensão mais integrada do ambiente urbano e das relações entre os sistemas que o compõem, além de uma atuação mais abrangente por parte dos responsáveis pelo setor, com respeito aos aspectos legais, institucionais, tecnológicos e sociológicos. Para o autor o conceito do que se entende por drenagem urbana extravasou o campo restrito da engenharia para se tornar um problema gerencial, com componentes políticos e sociológicos. O termo drenagem urbana ganha agora sentido mais amplo como “o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável”. Uma solução eficaz para a drenagem urbana depende dos seguintes fatores:

- Existência de uma política para o setor que defina os objetivos a serem alcançados e os meios para atingi-los;

- Existência de uma política de ocupação do solo urbano, articulada com a política de drenagem urbana;
- Processo de planejamento com medidas de curto, médio e longo prazos, em toda a bacia;
- Existência de uma entidade que exerça a liderança do setor, com relação ao domínio das tecnologias necessárias, implantação de obras e medidas, promova a participação pública, estabeleça critérios, aplique leis e normas;
- Domínio da tecnologia necessária para o planejamento, projeto, construção e operação de obras;
- Organização de campanhas de educação e esclarecimentos da opinião pública.

3.2 Impactos da urbanização sobre o escoamento superficial

As conseqüências da urbanização que mais interferem na drenagem urbana são aquelas relacionadas com o aumento do escoamento superficial direto. De acordo com Leopold (1965), *apud* Tucci (1993) foi estabelecido uma relação entre o crescimento das vazões máximas de cheia com a área urbanizada da bacia, sendo que, nos casos extremos, o pico de cheia numa bacia urbanizada pode aumentar em até seis vezes com relação ao pico dessa bacia em condições naturais, como é demonstrado pela Figura 3.1. O Quadro 3.1 faz a correlação entre a causa e efeito sobre os diversos processos que ocorrem em uma área urbana.

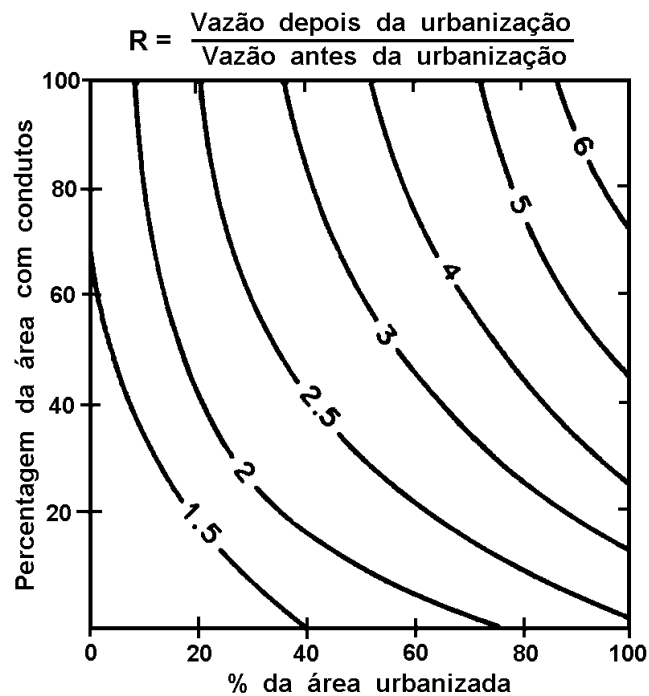


Figura 3.1. Efeito da urbanização sobre a vazão máxima.

Fonte: Tucci (1993)

Quadro 3.1. Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações.

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Maiores picos e vazões.
Redes de drenagem	Maiores picos a jusante.
Lixo	Degradação da qualidade da água; Entupimentos de bueiros e galerias.
Redes de esgotos deficientes	Degradação da qualidade da água; Moléstias de veiculação hídrica; Inundações: consequências mais sérias.
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volumes; Mais erosão; Assoreamento em canais e galerias.
Ocupação de várzeas	Maiores prejuízos; Maiores picos; Maiores custos de utilidades públicas.

Fonte: Tucci (1993)

Pelo exposto, verifica-se que os problemas resultantes desses processos referem-se principalmente ao aproveitamento dos recursos hídricos, controle de poluição e controle de inundações, sendo que soluções eficientes e sustentáveis que para esses problemas são aquelas que atuam sobre as causas e abrangem todas as relações entre os diversos processos.

A principal consequência do aumento da urbanização sobre o aparelhamento de drenagem está relacionada com a necessidade do aumento da capacidade dos condutos, com o aumento significativo nos custos de execução.

3.3 Equações de chuvas intensas

Tucci (1993) define hidrologia urbana como o “estudo dos processos hidrológicos em ambientes afetados pela urbanização”, definição que abrange de forma ampla todas as inter-relações esquematizadas na Figura 3.1. A determinação da chuva de projeto está localizada dentro do campo da hidrologia urbana. O procedimento padrão de um estudo de drenagem pode ser feito seguindo cinco passos:

1. Escolha do período de retorno;
2. Determinação da chuva de projeto;
3. Determinação do escoamento superficial direto;
4. Determinação das vazões de projeto e;
5. Dimensionamento das estruturas hidráulicas.

As técnicas utilizadas no estudo de drenagem urbana aplicam-se a bacias hidrográficas de pequeno ou médio porte. Tucci (1993) afirma que a distinção entre estas bacias será sempre

imprecisa e dependerá de certo grau de subjetividade, devido à variação dos parâmetros que influem no comportamento hidrológico. Os critérios mais comuns são os que classificam como pequenas aquelas bacias cuja área de drenagem seja inferior a $2,5 \text{ km}^2$ ou o tempo de concentração seja inferior a 01 hora. Para as bacias médias adotam-se os limites superiores de 1000 km^2 e 12 horas, respectivamente.

A principal consequência da definição do tamanho da bacia diz respeito à escolha do método para o cálculo das vazões de cheia e à forma de se determinar os parâmetros hidrológicos utilizados nesses métodos. Para bacias pequenas utiliza-se o método racional, enquanto que para as bacias médias devem ser utilizados os métodos que se baseiam no hidrograma unitário, os quais permitem considerar as variações de intensidade de chuva no tempo e o amortecimento na bacia.

Em diversos projetos hidráulicos, como os relacionados à drenagem urbana e rural, tais como galerias de águas pluviais, bueiros, reservatórios de retenção (piscinões), entre outros, há a necessidade de informações sobre as precipitações de determinadas durações e frequências, as quais consideram a intensidade de precipitação associada a períodos de retorno. Segundo Tucci (1993), a magnitude da precipitação, é um dos fatores responsáveis pelas variações nos valores do coeficiente de escoamento superficial, C e do coeficiente de escoamento superficial médio anual C_a . O coeficiente C_a representa a parcela total escoada pela bacia com relação à precipitação anual total. Existem diversos estudos que relacionam a Intensidade de Precipitação, a Duração e a Frequência (equações IDF ou equações de chuvas locais, equações de generalizadas), às relações entre chuvas intensas de diferentes durações e a mapas de isoietas.

São apresentados neste capítulo diversos trabalhos desenvolvidos sobre o assunto, onde também se faz uma análise comparativa entre os diferentes métodos, associada a uma dada duração de chuva e a um período de retorno, procurando-se ainda ressaltar a aplicabilidade de cada método, sendo de nosso especial interesse aquele que melhor se adapte às condições peculiares do Estado de São Paulo.

Um estudo completo sobre o assunto foi desenvolvido por Genovez e Zuffo (2000), buscando na literatura as principais metodologias aplicadas na determinação precisa das chuvas.

Um dos primeiros trabalhos sobre a intensidade da precipitação foi apresentado por Pfafstetter (1957), em que o autor obteve as curvas de intensidade de precipitação - duração - frequência (IDF), com base em dados obtidos pelo Ministério da Agricultura para 98 (noventa e oito) localidades do Brasil.

Setzer (1973), *apud* Genovez e Zuffo (2000) obteve as alturas de chuvas máximas para durações de 15, 30, 60, 120, e 240 minutos, com períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos, tendo apresentado também as curvas de intensidades de chuvas máximas para a cidade de São Paulo em função da duração, além dos mapas das isoietas de intensidades de chuvas para durações de 15, 30 e 60 minutos e períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos, respectivamente.

Foram obtidas, para algumas cidades do Estado de São Paulo, equações IDF com a forma apresentada pela equação (3.1).

$$i = \frac{a.T_r^m}{(t+b)^N} \quad (3.1)$$

em que: i é a intensidade máxima da precipitação (mm/h), t é a duração da precipitação (min), T_r é o tempo de recorrência (anos). Os valores dos coeficientes a, b, m e N para algumas localidades, bem como suas coordenadas, intervalos de aplicação e os autores que as obtiveram, são apresentados no Quadro 3.2.

Quadro 3.2. Equações de intensidade – duração – frequência para cidades do Estado de São Paulo.

Cidade	a	b	m	N	Latitude	Longitude	Aplicação	Período	Autores
São Paulo	1667,6	15	0,112	$0,86T_R^{-0,0144}$	23°39' S	46°38' W	$5\text{min} \leq t \leq 1\text{h}$	1928-64	Occhipinti e Marques (1965)
São Paulo	1232,7	0	0,15	0,82	23°39' S	46°38' W	$1\text{h} \leq t \leq 24\text{h}$	1928-64	Occhipinti e Marques (1965)
São Paulo	1747,9	15	0,181	0,89	23°31' S	46°41' W	$t \leq 2\text{h}$	1934-59	Wilken (1978)
Limeira	4653,8	25	0,1726	$1,087T_R^{0,0056}$	22°38' S	47°24' W	$t \leq 2\text{h}$	1953-76	Vieira e Medeiros (1986)
Campinas	2524,9	20	0,136	$0,948T_R^{-0,007}$	22°53' S	47°04' W	$t \leq 2\text{h}$	1945-77	Vieira (1981)
Presidente Prudente	834,4	15	0,168	0,7247	22°07' S	51°23' W		1972-79	Sudo et al (1981)
Ribeirão Preto	2421,3	40	0,085	$1,358T_R^{-0,0454}$	21°11' S	47°18' W		1957-80	Vieira e Souza (1983)
Botucatu	1648	12	0,141	0,866	22°55' S	48°17' W	$t \leq 2\text{h}$	1971-82	Leopoldo et al (1984)
Piracicaba	$3298,3 + 651,36\ln(T_R)$	24	0	1,034	22°42' S	47°38' W	$t \leq 2\text{h}$	1966-86	Vieira et al (1988)
Pindorama	2694	20	0,14	0,92	21°31' S	48°55' W	$t \leq 2\text{h}$	1970-88	Vieira et al (1994)
Mococa	2667	20	0	0,96	21°28' S	47°01' W	$t \leq 2\text{h}$	1970-90	Vieira et al (1988)

Fonte: Genovez e Zuffo (2000).

Magni e Mero (1982), *apud* Genovez e Zuffo (2000) apresentaram as relações intensidade de precipitação – duração – período de retorno, para as algumas localidades, entre as quais se encontra a cidade de São Paulo, de onde foram obtidas relações genéricas para o cálculo de chuva, que estão agrupadas na equação (3.2).

$$i_{t,T_r} = a.(t + b_j)^{c_j} + (t + d_j)^{e_k} \cdot \left[f_k + g_k \cdot \ln\left(\frac{T_r}{T_r - 1}\right) \right] + m_j.(t + p_j)^{q_j} \cdot \ln(T_r - 0,5) \quad (3.2)$$

sendo:

- $j = k = 1$ p/ $1 \leq t \leq 60$
- $j = k = 2$ p/ $60 \leq t \leq 180$
- $j = 2$ e $k = 3$ p/ $180 \leq t \leq 1440$

em que: i_{t,T_r} é a intensidade média (mm/min), t é a duração da chuva (min), T_r é o período de retorno em anos. Os coeficientes $a_j, b_j, c_j, d_j, e_j, f_k, g_k, m_j, p_j, q_j$, são apresentados no Quadro 3.3.

Quadro 3.3. Valores dos coeficientes da equação de chuvas intensas para cidades do Estado de São Paulo de Magni e Mero (1982).

	COEFICIENTES OBTIDOS PARA A ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA CIDADE DE:										
	Aparecida	Avaré	Barretos	Bauru	Lins	Piracicaba	Santos	São Paulo	São Simão	Tapiraí	Ubatuba
Lat. (S)	22°57'	23°06'	20°23'	22°19'	21°40'	22°43'	23°56'	23°39'	21°29'	23°58'	23°27'
Long. (W)	45°15'	48°34'	48°34'	49°04'	49°45'	47°38'	46°20'	46°38'	47°33'	47°30'	45°03'
a_1	46,38	100,00	19,18	15,79	32,19	43,20	18,85	37,05	33,54	70,01	10,38
b_1	30,00	30,00	20,00	15,00	15,00	20,00	20,00	20,00	20,00	30,00	15,00
c_1	-0,912	-1,109	-0,849	-0,719	-0,916	-0,988	-0,760	-0,914	-0,903	-1,060	-0,583
d_1	30,00	30,00		15,00	15,0		20,00	20,00	10,00		
e_1	-0,912	-0,792		-0,719	-0,916		-0,760	-0,914	-0,461		-0,236
f_1	-8,174	-4,00		-2,224	-4,951		-3,315	-5,966	-0,608		-0,33
g_1	-15,91	-7,70		-4,17	-9,82		-6,68	-10,88	-1,121		-0,62
m_1			5,37			11,67				28,00	
p_1			20,00			20,00				30,00	
q_1			-0,849			-0,988				-1,060	
a_2	39,91	43,29	17,78	28,40	15,12	20,44	10,44	19,24	26,26	28,90	15,73
b_2	10,00	15,00	20,00	15,00	5,00	10,00			20,00	20,00	15,00
c_2	-0,923	-0,965	-0,834	-0,86	-0,768	-0,841	-0,662	0,821	-0,851	-0,89	-0,682
d_2	10,00	15,00		15,00	5,00				10,00		
e_2	-0,923	-0,951		-0,86	-0,768		-0,662	-0,821	-0,781		-0,236
f_2	-7,034	-6,995		-3,999	-2,325		-1,836	-3,098	-2,745		-0,33
m_2			4,98			5,52				11,56	
g_2	-13,38	-13,47		-7,49	-4,61		-3,36	5,65	5,06		-0,62
p_2			20,00			10,00				20,00	
q_2			-0,834			-0,841		0		-0,89	
e_2	-0,923	-0,951		-0,86	-0,768		-0,662	-0,821	-0,781		-0,724
f_3	-7,034	-6,995		-3,999	-2,325		-1,836	-3,098	-2,745		-4,302
g_3	-13,28	-13,47		-7,49	-4,61		-3,36	-5,65	-5,06		-8,04

Fonte: Genovez e Zuffo (2000)

Diversas equações (IDF) generalizadas foram propostas por vários autores, sendo algumas delas apresentadas a seguir:

- Bell (1969), *apud* Genovez e Zuffo (2000), com dados dos EUA, obteve a relação apresentada na equação (3.3).

$$P_t^{T_p} = (0,21 \cdot \ln T_p + 0,52) \cdot (0,54 \cdot t^{0,25} - 0,5) \cdot P_1^{10} \quad (3.3)$$

para: $2 \leq T_p \leq 100$ (anos) e $5 \leq t \leq 120$ (min)

em que: $P_t^{T_p}$ é a altura da chuva (mm) para a duração t horas e com período de retorno da série parcial T_p ; t é a duração da chuva (minutos).

- Uehara et al (1980), utilizando-se da mesma metodologia usada por Bell (1969), citados por Genovez e Zuffo (2000), obtiveram para o Brasil a equação (3.4).

$$P_t^{T_p} = (0,58 + 0,1824 \cdot \ln T_p) \cdot (0,497 \cdot t^{0,27} + 0,5) \cdot P_1^{10} \quad (3.4)$$

para: $2 \leq T_p \leq 100$ (anos) e $5 \leq t \leq 120$ (min)

Os autores, ainda utilizando-se da mesma metodologia e com séries anuais, propuseram a equação (3.5) para determinação de alturas precipitadas generalizadas, baseando-se em dados de postos localizados em diversas localidades do Estado de São Paulo:

$$P_t^T = (0,22 \cdot \ln T + 0,50) \cdot (0,38 \cdot t^{0,31} - 0,39) \cdot P_1^{10} \quad (3.5)$$

em que os intervalos de aplicação foram assumidos os mesmos da equação (3.4).

- Chen (1983), segundo Genovez e Zuffo (2000), apresentou o equacionamento IDF definido pela equação (3.6).

$$i_t^T = \frac{a_1 \cdot i_1^{10} \cdot \log(10^{2-X} \cdot T p^{X-1})}{(t+b)^c} \quad (3.6)$$

para: $T_p \geq 1$ ano e, $5 \text{ min} \leq t \leq 24$ horas,

em que: a_1, b e c são parâmetros em função da relação P_1^T / P_{24}^T , obtidos graficamente, em que P_1^T é a precipitação de 01 hora e P_{24}^T a precipitação de 24 horas, ambas para o mesmo período T . O termo i_t^T é definido como a intensidade de uma chuva de duração t horas e período T . O coeficiente $X = P_1^{100} / P_1^{10}$ é a relação entre a precipitação de 01 hora com períodos de retorno de 100 e 10 anos, respectivamente.

Observa-se que a equação (3.6) também foi deduzida para o tempo de recorrência da série parcial T_p , como na equação (3.3). Para se obter a equação (3.6) com período de retorno da série anual T , Chen (1983), citado por Genovez e Zuffo (2000) propôs a equação (3.7):

$$i_t^T = \frac{a_1 \cdot i_1^{10} \cdot \log \left\{ 10^{2-X} \cdot \left[\ln \left(\frac{T_p}{T_p - 1} \right) \right]^{-(X-1)} \right\}}{(t+b)^c} \quad (3.7)$$

para: $T \geq 1$ ano e, $5 \text{ min} \leq t \leq 24$ horas,

- Hernandez (1991), de acordo com Genovez e Zuffo (2000), modificou as equações (3.6) e (3.7) com a substituição de $X = P_1^{100} / P_1^{10}$ por $W = P_{24}^{100} / P_{24}^{10}$, ou seja, pela relação entre a precipitação de 24 horas (01 dia) com períodos de retorno de 100 e 10 anos, respectivamente, utilizando os mesmos valores dos parâmetros propostos por Chen (1983). Essa modificação tornou esse método com maior valor prático para locais com pouca disponibilidade de dados, sendo utilizado em locais que apresentam maior quantidade de dados pluviométricos que dados pluviográficos.

- Genovez e Pegoraro (2001) estudaram as equações de chuvas intensas generalizadas propostas por Bell (1969) e Chen (1983), *apud* Genovez e Zuffo (2000). Os autores recalcularam os parâmetros a_1 , b e c da equação utilizada no método de Chen, a partir de dados obtidos para o Estado de São Paulo, os quais foram utilizados no próprio método e nas adaptações propostas por Uheara et al (1980) e Hernandez (1991), com a troca do parâmetro X por $W^* = P_{1d}^{100}/P_{1d}^{10}$, que é a relação entre as chuvas de 01 dia com períodos de retorno respectivamente de 100 e 10 anos, que apresenta uma maior facilidade em relação ao parâmetro W , que utiliza chuva de 24 horas.

Com relação às chuvas intensas de diferentes durações, Genovez e Zuffo (2000) apresentaram as proporções entre as chuvas de menor duração e as chuvas diárias, por meio de coeficientes empíricos obtidos em vários estudos anteriores. Foi feita uma análise destes coeficientes na qual buscou-se determinar a intensidade de chuva inferior a um dia a partir de alturas de chuvas diárias para o Estado de São Paulo. O estudo de chuvas intensas com duração de um dia ou superiores, embora não possam ser utilizados diretamente com o propósito de estimar chuvas intensas de durações inferiores a 24 horas, pode servir de base para a estimativa desses valores. Essa possibilidade origina-se em estudos realizados que mostraram a relação constante existente entre os totais precipitados em um dia e totais precipitados em períodos mais curtos. Por meio da construção de mapas de isozonas, Torrico (1974) *apud* Genovez e Zuffo (2000) buscou identificar zonas de igual relação entre as alturas de precipitação máxima anual de 01 hora com a máxima anual de 24 horas, para diferentes tempos de recorrência (5 a 10.000 anos). Para cada uma das 08 isozonas estabelecidas para o Brasil apresentou também outras relações entre altura de precipitação de 06 minutos e as de 24 horas para os tempos de recorrência entre 05 e 50 anos e para 100 anos, tendo utilizado para isso as mesmas estações de Pfafstetter (1957). Para a conversão da chuva de 01 dia P_{1d} , em chuva de 24 horas P_{24} , o autor propõe a multiplicação da chuva de 01 dia pelo fator 1,10 (1,095). Com a chuva de 24 horas conhecida e a isozona de interesse definida, com o auxílio de um papel de probabilidade, pode ser obtida a altura de chuva de 01 hora e de 06 minutos, para o tempo de recorrência escolhido.

Os autores destacaram também a obtenção empírica da proporção entre alturas pluviométricas máximas de 01 dia registradas pelo pluviômetro, P_{1d} e as alturas de 24 horas

obtidas pelo pluviógrafo, P_{24} . Observou-se que a proporção é praticamente constante e independe do período de retorno. Os valores obtidos foram os seguintes: 1,14, para a cidade de São Paulo, 1,095, para o Brasil, enquanto para o Estado de São Paulo chegaram ao valor médio de 1,11, proporções definidas, respectivamente por Occhipinti e Santos (1966), Torrico (1974) e Genovez e Pegoraro (1998), *apud* Genovez e Zuffo (2000).

Pela análise dos equacionamentos apresentados, para o Estado de São Paulo Genovez e Zuffo (2000) recomendam a utilização da equação (3.7) de Chen (1983), com novos coeficientes a_1 , b e c , definidos para o local, para os casos em que o tamanho da série de dados obtidos por pluviógrafos seja suficiente. Caso existam poucos dados, embora apresente uma menor precisão, a equação que apresenta a troca do parâmetro “ X ” por “ W^* ” deve ser preferida, com os novos parâmetros a_1 , b e c estimados.

Para o Brasil, Genovez e Falaguasta (2003), com dados dos Estados de São Paulo e Paraná, recomendam o método Chen Novo, que é a mesma equação de Chen (1983), *apud* Genovez e Zuffo (2000) com novos parâmetros a , b , c , obtidos com o reagrupamento dos valores iniciais e a obtenção de 16 novos valores desta relação.

4 ESTRUTURAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA

4.1 Introdução

Na seqüência serão apresentados diversos trabalhos desenvolvidos por pesquisadores que procuravam aumentar os conhecimentos sobre os fatores que interferem na drenagem urbana e na eficiência das estruturas de captação.

4.2 Pesquisas existentes

Eastwood (1946) publicou o mais antigo trabalho sobre as estruturas de drenagem urbana do qual se tem notícia, segundo Souza (1986). Nessa mesma época Li, Geyer e Benton (1951), apresentaram um trabalho sobre bocas-de-lobo com abertura na sarjeta, com grade e sem depressão, apresentada na Figura 4.1. Devido à natureza complexa do problema, sendo praticamente impossível obter uma solução puramente teórica para descrever o escoamento nesse tipo de boca-de-lobo, foi adotada uma aproximação experimental para que melhor pudesse ser descrito o fenômeno, que se baseou na obtenção de algumas fórmulas racionais relacionando a capacidade de esgotamento e o tamanho da boca-de-lobo com as características do escoamento na sarjeta. Nessa aproximação, algumas condições foram fixadas e algumas variáveis físicas desprezadas, para que se obtivesse um equacionamento mais simples. Foram obtidas fórmulas por meio de testes realizados nas ruas de Baltimore (EUA) e em estudo em modelos 1:3. Em

todas as situações testadas os resultados obtidos em modelos e protótipos tiveram um excelente ajuste, sendo o desvio médio da capacidade da boca-de-lobo inferior a 1%. Porém, como os efeitos de variáveis importantes são desprezados, os resultados podem ser aplicados com segurança somente em condições similares àquelas dos testes. De acordo com os autores, para o caso específico de bocas-de-lobo com entrada pela sarjeta e grades com barras longitudinais, a vazão que passa direto sobre a entrada pode seguir três caminhos diferentes:

- o escoamento passa direto pela entrada na grade, entre a guia e a primeira fenda, q_1 ;
- o escoamento passa ao lado da última fenda, q_2 ;
- escoamento transversalmente sobre as fendas da grade.

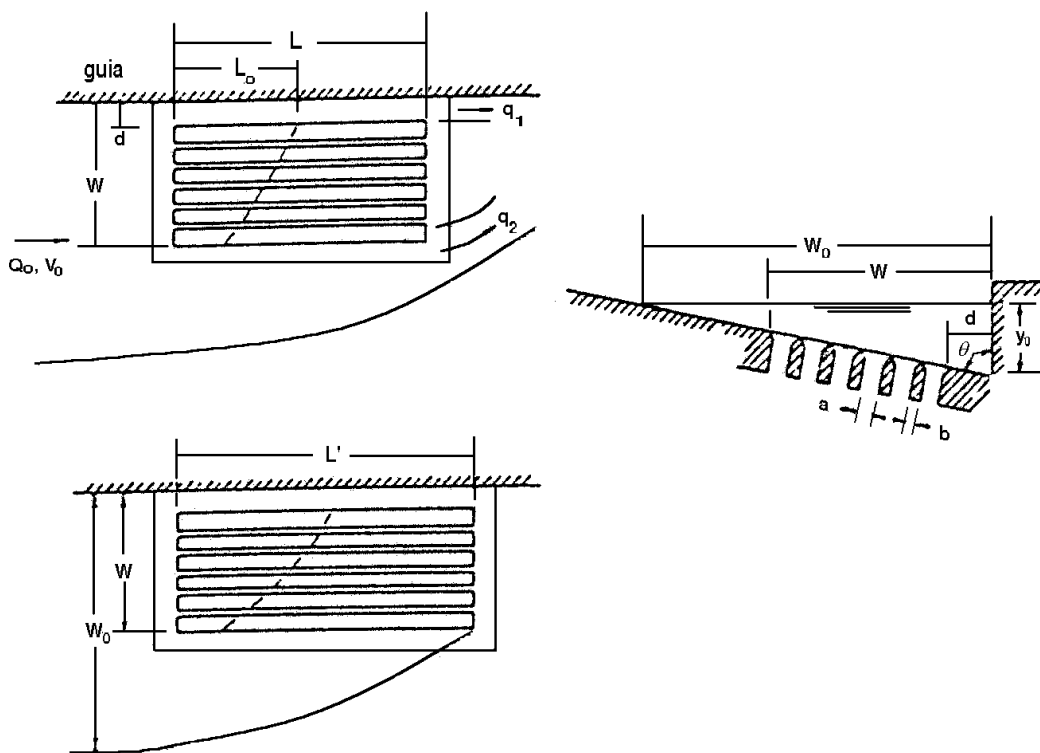


Figura 4.1. Grades com barras longitudinais.

Fonte: Li, Geyer e Benton (1951)

Com base em seus experimentos, os autores determinaram as relações necessárias para obter o comprimento mínimo para captar todo fluxo até a parte central da grade, a vazão que passa entre a guia e a primeira fenda da grade e o comprimento necessário para captar todo o escoamento pela própria grade, ou seja, para que o escoamento excedente (q_2), seja nulo. Verificou-se que a solução do problema depende das seguintes condições: da velocidade de aproximação do fluxo, v_0 ; da profundidade do escoamento do começo ao fim da primeira abertura, que é aproximadamente igual a y_0 ; da largura das aberturas, a ; da largura das barras, b ; e da aceleração gravitacional, g . As expressões correspondentes foram obtidas com as barras do modelo sendo arredondadas no topo e com a altura e largura equivalentes às dimensões de 3,00 in (7,60 cm), e 1,25 in (3,17 cm), respectivamente, no protótipo. Com os ensaios realizados, chegaram aos seguintes resultados:

- A relação adimensional que expressa o comprimento mínimo necessário (L_0) para captar a vazão total até o meio da grade, é a seguinte:

$$\frac{L_0}{v_0} \sqrt{\frac{g}{y_0}} = \phi \left(\frac{v_0}{\sqrt{gy_0}}, \frac{a}{b}, \frac{y_0}{a} \right)$$

em que: L_0 é o comprimento da grade requerido para captar todo o escoamento que passa sobre ela, (ft); v_0 é a velocidade média do fluxo na sarjeta (ft/s); g é a aceleração da gravidade (ft/s²); y_0 é a profundidade do escoamento pela sarjeta na guia (ft); a é distância entre as barras e b é a espessura das barras (ft).

Para as condições dos testes realizados, que apresentavam $v_0/\sqrt{gy_0}$ acima de 3, a/b igual a 1, 6/5, e 7/5 e y_0/a variando de 2/3 a 2, chegou-se à equação (4.1):

$$\frac{L_0}{v_0} \sqrt{\frac{g}{y_0}} = m \quad (4.1)$$

em que $m = 4$, podendo ainda ser adotado o valor $m = 8$, nos casos em que barras transversais forem utilizadas com funções estruturais das grades.

- A vazão que passa direto entre a guia e a primeira fenda foi determinada pela equação (4.2), porém, os autores consideraram seu valor desprezível, para o tipo de grade utilizada.

$$\frac{q_1}{v_0 y_0 d} = 6 \frac{v_0}{\sqrt{g y_0}} \left(\frac{d}{L} \right)^2 \quad (4.2)$$

em que: q_1 é a vazão entre a guia e a grade (cfs); d é a distância entre a guia e a primeira abertura na grade (ft) e L é o comprimento total da grade (ft).

- A definição do comprimento mínimo necessário para captar todo o escoamento existente pela grade, representada na equação (4.3), foi feita por meio do seguinte relacionamento:

$$\frac{L'}{y_0} = \phi \left(\frac{v_0}{\sqrt{g y_0}}, \frac{w}{y_0 \tan \theta_0}, \theta_0 \right)$$

em que: L' é o comprimento da grade para captar todo o escoamento existente (ft); v_0 é a velocidade média do escoamento na sarjeta (ft/s); y_0 é a profundidade do escoamento na guia (ft); w é a largura da grade (ft); θ_0 é o ângulo entre a seção transversal da rua e a vertical.

$$\frac{L'}{y_0} = 1,2 \frac{v_0}{\sqrt{g y_0}} \sqrt{1 - \frac{w}{y_0 \tan \theta_0} \tan \theta_0} \quad (4.3)$$

As equações (4.1), (4.2) e (4.3) definidas pelos autores, foram obtidas tendo a condição de que a seção transversal da rua fosse uniforme próximo à boca-de-lobo, sendo válidas para as condições restritas em que foram obtidas.

Um segundo artigo sobre o assunto foi publicado por Li, Sorteberg e Geyer (1951), trabalhando com bocas-de-lobo com abertura na guia, sem e com depressão na sarjeta, apresentadas nas Figuras 4.2 e 4.3.

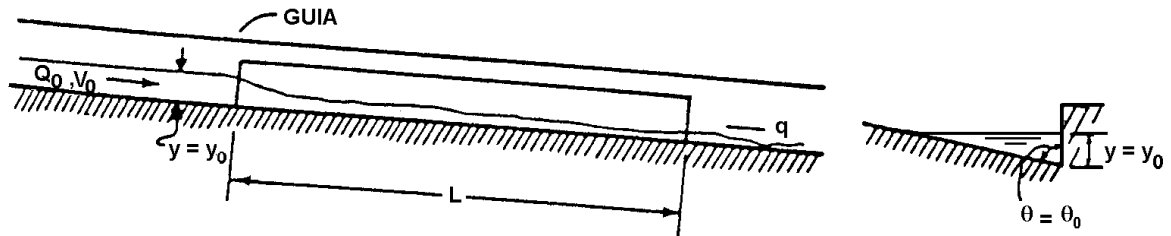


Figura 4.2. Boca-de-lobo com abertura na guia sem depressão.

Fonte: Li, Sorteberg e Geyer (1951)

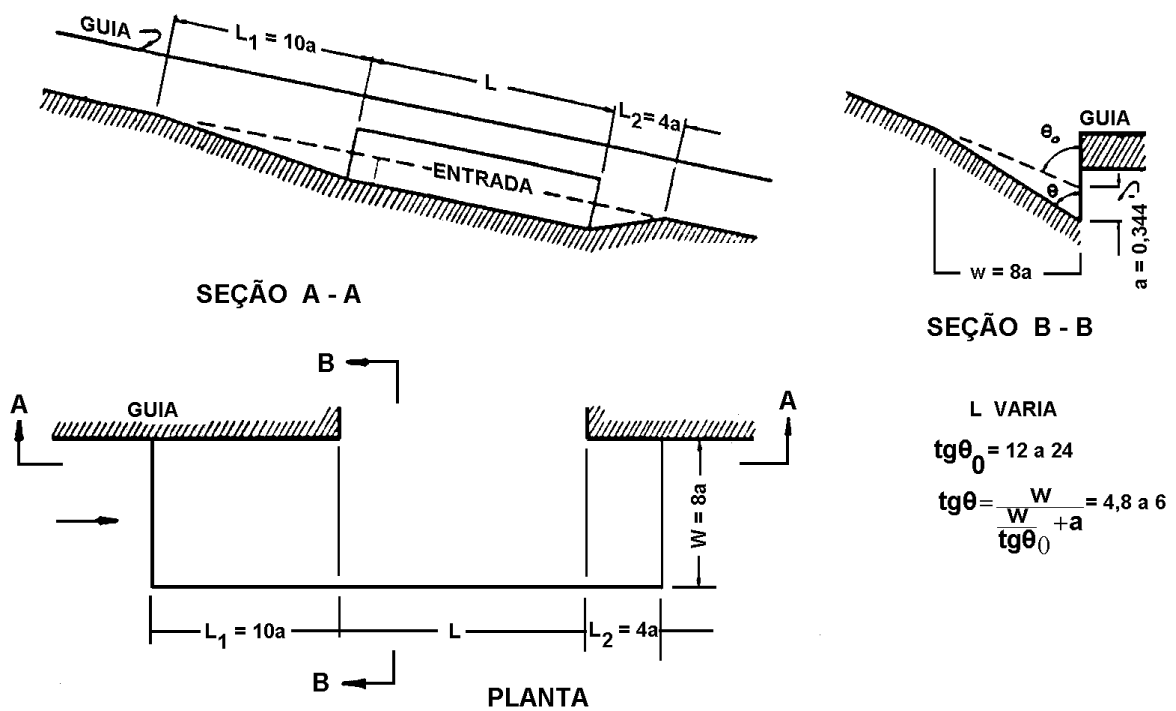


Figura 4.3. Boca-de-lobo com abertura na guia com depressão.

Fonte: Li, Sorteberg e Geyer (1951)

No caso sem depressão na sarjeta, esta possuía largura constante do início ao fim da abertura na guia (configuração da maioria dos casos adotados na prática). Foram realizados testes em bocas-de-lobo com vários arranjos, de diferentes comprimentos e sarjetas com variadas inclinações e seções transversais. Nos casos estudados a quantidade de fluxo que passa direto pela entrada na guia é cerca de 20% do total, para a sarjeta com depressão, e 40% do fluxo total para a sarjeta sem depressão. Os modelos utilizados também foram na escala 1:3. Com base em dados experimentais foram obtidos os relacionamentos entre as variáveis físicas para determinar a captação, apresentados a seguir:

$$\frac{Q}{Ly\sqrt{gy}} = \phi\left(\frac{v}{\sqrt{gy}}, \frac{q}{Q_0}, \theta\right)$$

em que: Q é a vazão captada pela boca (cfs); Q_0 é a vazão total na sarjeta (cfs); q vazão que passa direto pela entrada (cfs); $\theta = \theta_0$ é o ângulo entre a seção transversal da rua e a vertical; v é a velocidade média do escoamento na sarjeta (ft/sec); L é o comprimento da abertura na guia (ft); g é a aceleração da gravidade (ft/sec²); y é a profundidade do escoamento na sarjeta (ft).

Os testes foram realizados sob as seguintes condições: $v/\sqrt{gy}$ variando entre 1 e 3 e q/Q_0 variando entre 0 e 0,7 (neste caso $\theta = \theta_0$), $tg\theta_0 = 12, 24$ e 48 , sendo obtida para estas condições a equação (4.4) :

$$\frac{Q}{Ly\sqrt{gy}} = \frac{Q}{Ly_0\sqrt{gy_0}} = K \quad (4.4)$$

na qual K depende somente de θ . Assim, os autores chegaram aos seguintes valores: $tg\theta = tg\theta_0 = 12, 24$ e 48 , resultando em $K = 0,23, 0,20$ e $0,20$, respectivamente, tendo porém, sua aplicação efetuada com segurança, nos casos em que $\sqrt{s/n} < 22$ (s é a declividade longitudinal (ft/ft) e n o coeficiente de rugosidade de Manning). Após a definição dos valores de y_0 e v_0 , a equação (4.4) pôde ser reescrita conforme apresentada na equação (4.5):

$$\frac{Q}{L} = 8,7K \frac{(1 + \sec \theta_0)^{3/8}}{(tg \theta_0)^{15/16}} \left(\frac{Q_0}{\sqrt{s/n}} \right)^{9/16} \quad (4.5)$$

No caso da sarjeta apresentar depressão, (Figura 4.3), foram feitas modificações na equação (4.4), por diversas razões, entre as quais: a profundidade da sarjeta y é diferente da profundidade do trecho devido à depressão, y_0 , e o fato de ocorrer um ressalto hidráulico na parte de jusante da depressão, aumentando a vazão na boca-de-lobo. Um novo relacionamento foi obtido:

$$\frac{Q}{Ly\sqrt{gy}} = \phi \left(\frac{v^2}{gy}, \frac{L}{a}, \theta, \frac{L_2}{a}, \frac{q}{Q_0} \right)$$

em que novas variáveis foram agregadas: L_2 é o comprimento de transição à jusante da depressão (ft); a é a profundidade da depressão na guia (ft), sendo $L_2 = 4a$. A equação (4.4) foi alterada pela introdução de um termo adicional C para representar o acréscimo na vazão Q provocada pelo volume acumulado à jusante da entrada da guia, representado pela equação (4.6):

$$\frac{Q}{Ly\sqrt{gy}} = K + C \quad (4.6)$$

em que K depende do ângulo θ . Pelos testes realizados encontrou-se o valor $K = 23$, e o valor de C foi definido, pelas equações (4.7a), (4.7b) e (4.7c):

$$C = \frac{0,45}{1,12^M} \quad (4.7a)$$

$$M = \frac{LF}{atg \theta} \quad (4.7b)$$

$$F = \frac{v^2}{gy} \quad (\text{número de Froude}) \quad (4.7c)$$

De acordo com os autores, estas equações podem ser usadas com segurança somente para condições de projeto similares às dos testes onde foram obtidas.

Li, Goodell e Geyer (1954) estudaram o comportamento de uma boca-de-lobo empregando fendas diagonais na sarjeta em frente à entrada na guia, chamadas de defletores, para direcionar o fluxo, apresentada na Figura 4.4. Este arranjo tinha o propósito de melhorar a capacidade de captação, com relação ao tipo sem depressão na sarjeta, e eliminar os efeitos prejudiciais ao tráfego, apresentados pelo tipo com depressão, pois os defletores foram instalados no mesmo nível da sarjeta. Utilizou-se um modelo na escala 1:3, com entradas de diferentes dimensões e comprimento longitudinal da sarjeta com diferentes graus de inclinação. Em cada caso, a capacidade de entrada da boca-de-lobo foi medida para diferentes quantidades de escoamento sobre a sarjeta, que permitia 30% do fluxo passando direto por sobre os defletores. Chegaram à seguinte relação entre as variáveis:

$$\frac{Q}{Ly_0\sqrt{gy_0}} = \phi(\theta_0, \alpha, W/L, a/L, c/b, N, \sqrt{s}/n, Q/Q_0)$$

em que: a é a profundidade das fendas na linha da guia (ft); b é largura dos defletores (ft); c é o espaçamento entre os defletores (ft); g é a aceleração da gravidade (ft/sec²); L é o comprimento da abertura na guia (ft); $N = (L \sin \alpha - c)/(b + c)$ é o número de fendas; n é o coeficiente de rugosidade de Manning para a sarjeta; Q é a vazão captada pela boca-de-lobo (cfs); Q_0 é o escoamento na sarjeta (cfs); s é a declividade da rua (ft/ft); y_0 é a profundidade do escoamento na guia (ft); W é a largura da área dos defletores (ft); α é o ângulo entre os defletores e a guia; θ_0 é o ângulo entre a seção transversal da rua e a vertical.

Os testes foram realizados com defletores instalados com as seguintes configurações: W/L entre 1/3 e 1, a/L entre 1/25 e 1/50, $\sqrt{s}/n$ entre 12 e 22, Q/Q_0 entre 0,7 e 1 e c/b entre 2 e 5. Para valores de $\alpha = 45^\circ$ e $\tan \theta_0 = 18$, a vazão escoada pela boca-de-lobo foi obtida pela equação(4.8):

$$\frac{Q}{Ly_0\sqrt{gy_0}} = 0,058(c/b)^{1/20} \sqrt{s/n} \sqrt{W/L} \quad (4.8)$$

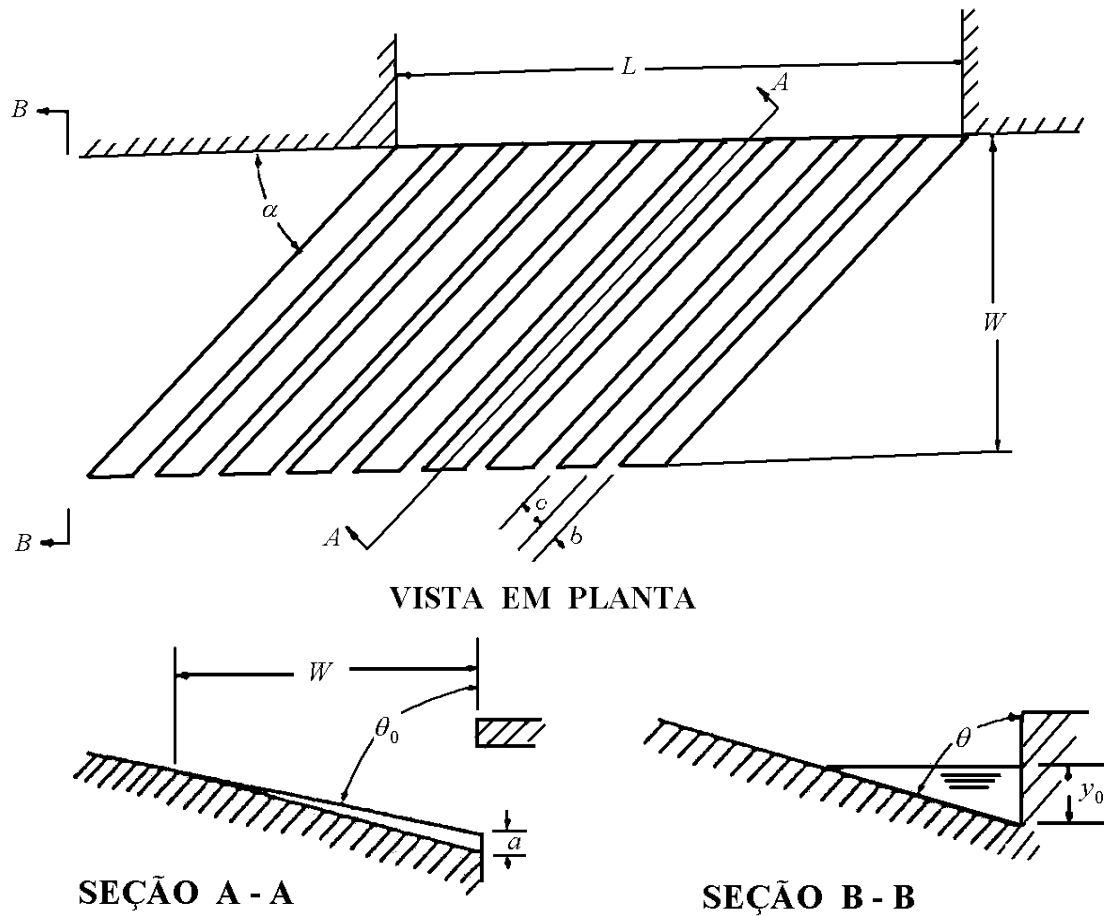


Figura 4.4. Boca-de-lobo com defletores.

Fonte: Li, Goodell e Geyer (1954)

Os ensaios realizados com a boca-de-lobo com defletores apresentaram eficiência comparada àquela da boca com abertura na guia e depressão na sarjeta. Da análise dos dados obtidos, os autores concluíram que o volume captado com a utilização de defletores aumenta com o grau de inclinação da rua, principalmente para $\sqrt{s/n} > 17$, e isto é devido à criação de uma

onda perpendicular no escoamento junto à entrada na guia, característica que é oposta às dos outros tipos de bocas-de-lobo com entrada pela guia.

Observou-se também que a capacidade de esgotamento aumentou muito pouco (cerca de 5%) quando foi mudada a relação c/b de 2 para 5.

Um relatório com resultados relativos a comportamentos hidráulicos de bocas-de-lobo com abertura na guia, com e sem depressão na sarjeta, além de outros tipos como: com grade na sarjeta e com abertura na guia, associada à grade na sarjeta, foi publicado pela Universidade Jonh Hopkins (EUA) em 1956, *apud* Souza (1986). O relatório apresentou também resultados obtidos em testes efetuados nas ruas de Baltimore e realizados em modelos hidráulicos. Para a boca-de-lobo com abertura na guia e sem depressão na sarjeta, foi proposta uma equação para a vazão captada, do tipo apresentado na equação (4.9):

$$Q/L = K(s) \left(n Q_0 / \sqrt{i} \right)^{9/6} \quad (4.9)$$

em que: i é a declividade longitudinal (m/m); $K(s)$ é o coeficiente da lei de captação da sarjeta ($m^{0.5}/s$); L é o comprimento da boca (m); Q é a vazão captada pela boca (m^3/s); Q_0 é a vazão à montante da boca de lobo (m^3/s);

A profundidade do fluxo, a distribuição e o perfil de velocidades transversais que ocorrem em um canal triangular, liso e raso, para condições de escoamento uniforme foram estudados por Wasley (1961), em modelo que variava sua declividade longitudinal e vazão. Paralelamente, foi feito um estudo analítico do fenômeno, em que os resultados obtidos no modelo foram comparados com as expressões teóricas obtidas por pesquisadores, como Larson (1940), citado por Wasley (1961), que descreve o perfil de velocidades para um canal triangular de forma similar à estudada neste trabalho, porém para superfície em concreto. Algumas considerações foram adotadas no desenvolvimento da investigação: a máxima distância na inclinação transversal, y , e a profundidade do escoamento na face da guia, z_0 , são dadas em função do escoamento padrão, Q . O coeficiente n da fórmula de Manning neste tipo de investigação, para um canal triangular no qual se considera a tensão de cisalhamento da guia, foi

obtido pela equação (4.10). A rugosidade do canal, obtida pelo fator de atrito de Darcy, f , foi definido pela equação (4.11), sendo R_{ey} obtido pela equação (4.12). Desta forma:

$$Q = \frac{0,56}{n} (\theta_0) . I(z_0)^{8/3} (\phi_0)^{1/2} \quad (4.10)$$

$$f = \frac{8gR_{ey}(\phi_0)^{1/2}}{\bar{u}^2} \quad (4.11)$$

$$R_{ey} = \frac{4\bar{u}R}{v} \quad (4.12)$$

em que: g é a aceleração da gravidade (ft/s^2); Q é a vazão média medida pelos equipamentos (cfs); R é o raio hidráulico do canal (ft); $\bar{u}$ é a velocidade média da seção do canal (ft/s); z_0 é a coordenada axial da distância (ft); ϕ_0 é a declividade longitudinal em porcentagem; v é a viscosidade cinemática da água (ft^2/s); θ_0 é a declividade transversal do canal.

O fenômeno da tensão superficial foi observado do início ao fim da investigação, no qual se verificou a consistência deste efeito sobre o escoamento por meio da comparação entre os resultados das medições da variável altura y no início dos testes, sendo que a superfície havia sido previamente seca antes da tomada dos valores. Logo após o escoamento ter se estabilizado, com a superfície completamente molhada, as alturas foram medidas e verificadas as diferenças com relação ao plano de inclinação transversal, que antes da estabilização do escoamento eram da ordem de 20%. Observou-se que as diferenças ficaram praticamente desprezíveis, com a gravidade exercendo uma forte influência. Já a variação longitudinal apresentou pequeno efeito sobre o fenômeno da tensão superficial. O valor de y teórico resultou em um valor ligeiramente superior ao valor experimental.

O perfil de velocidades e a distribuição de velocidades transversais foram medidos para uma grande variedade de declividades e escoamentos com velocidades supercríticas. A distribuição de velocidades foi determinada pela integração gráfica do perfil de velocidades e

representadas matematicamente pela utilização de outros resultados experimentais e pelo método baseado na Equação de Darcy. Conclui-se que existe uma relação claramente constante entre a taxa de escoamento medida e a taxa de escoamento semiteórica de Darcy, e que o fato do fator de atrito e o número de Reynolds poderem ser representados no diagrama de Stanton, Figura 4.5, mostrou que é possível a aplicação do método para superfícies rugosas.

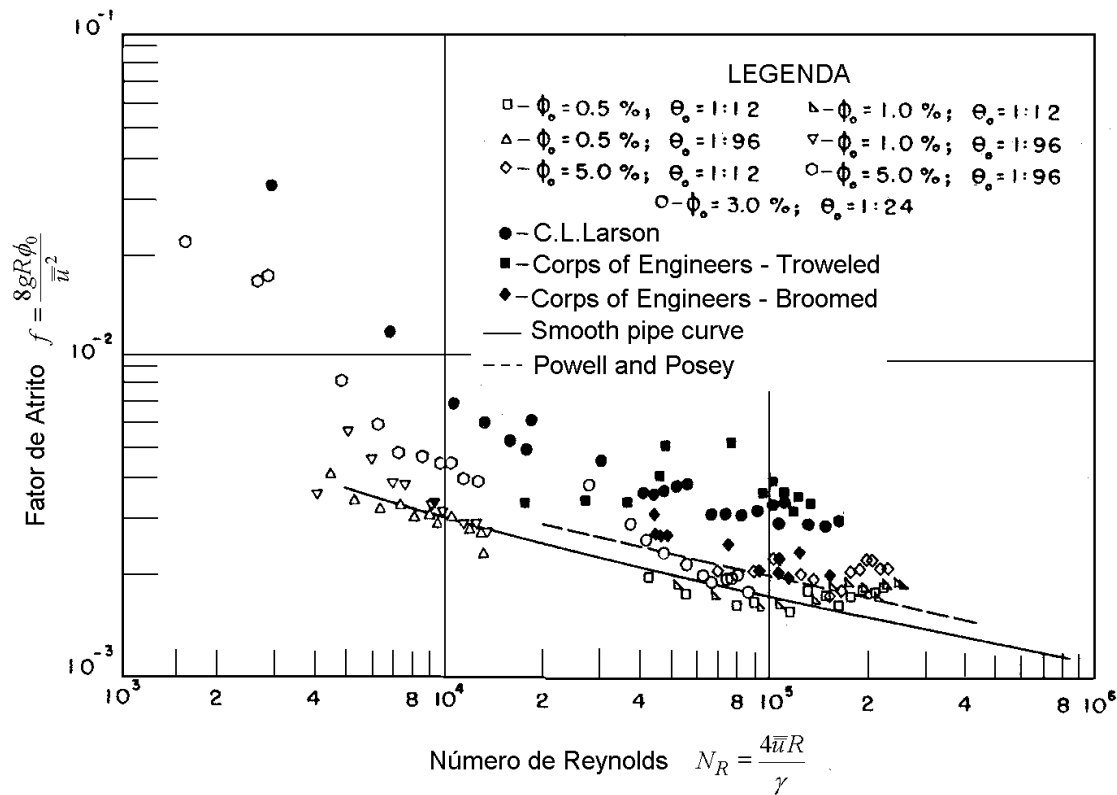


Figura 4.5. Diagrama de Stanton.

Fonte: Wasley (1961)

Wilken (1968) foi um dos mais importantes pesquisadores do país com relação ao estudo dos componentes de um sistema de drenagem urbana, que abrangia desde as equações de chuva, passando pela determinação dos coeficientes de escoamento superficial, até as estruturas hidráulicas de drenagem. Publicou o primeiro trabalho que tratou especificamente da determinação da vazão que escoar pela sarjeta e da capacidade de esgotamento das bocas-de-lobo mais utilizadas no Brasil. Nesse trabalho ele apresentou as pesquisas de laboratório realizadas

pelo Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade John's Hopkins, para dois tipos de boca-de-lobo (com abertura na guia sem depressão da sarjeta e com depressão desta e com grade). Com base nesse estudo, formulações matemáticas foram apresentadas e diagramas foram traçados, sendo, porém, empregados com segurança somente em casos práticos de projetos de bocas-de-lobo que estejam dentro dos limites das referidas experiências. Devido à complexidade dos métodos expostos, apresentou também um método simplificado para os projetos que admite como sendo uniforme a velocidade do escoamento na seção transversal da sarjeta e constante a relação entre a largura total da descarga conduzida pela sarjeta e a largura da descarga interceptada pela boca-de-lobo, o que determina geometricamente a porcentagem da captação. Concluiu que no caso da boca-de-lobo com grade, a vazão que a ultrapassa, pode seguir as diferentes trajetórias: entre a guia e a grade, fora da grade e sobre a própria grade, e que o dimensionamento do comprimento mínimo necessário para captar a água considera a velocidade do escoamento, a altura da linha d'água sobre a primeira abertura, a largura da abertura entre as barras, a espessura das barras, além da aceleração da gravidade.

O trabalho publicado por Wilken (1978) acerca de estruturas hidráulicas singulares, baseou-se nas comprovações dos pesquisadores Izzard (1946) e Tapley (1955), *apud* Wilken (1978), de que o principal fator a ser considerado na determinação da capacidade de esgotamento da boca-de-lobo seria a altura da água no trecho à montante, sendo que para os trechos nos quais a declividade da sarjeta fosse uniforme, essa altura dependeria das suas características de escoamento como conduto livre. Consideraram que os pontos baixos de sarjetas sujeitos a acumulação de água e as bocas-de-lobo aí localizadas poderiam operar como vertedores ou orifícios, dependendo da altura da lâmina d'água, sendo que cada configuração apresentava a vazão incidente calculada por equações diferentes. Concluíram que poderia ser empregado o nomograma de Izzard para um canal triangular, representado na Figura 4.6, para os pavimentos com declividade uniforme para a face da guia, em seções transversais com configurações como ilustrado na Figura 4.7. O cálculo da capacidade de vazão de uma sarjeta, desde que fosse desprezada a parte do perímetro molhado correspondente à face da guia, poderia ser feito adotando-se $Rh = y$, no qual determinava-se a altura d'água na sarjeta para uma vazão conhecida, ou vice-versa, por meio da equação (4.13) de Manning para condutos livres expressa por:

$$Q_0 = 0,375 y_0^{8/3} (z/n) I^{1/2} \quad (4.13)$$

em que: I é a declividade longitudinal da sarjeta (m/m); n é o coeficiente de rugosidade de Manning; Q_0 é a vazão captada pela boca-de-lobo (m³/s); y_0 é a altura da guia (m); $z = tg \theta_0$ (m).

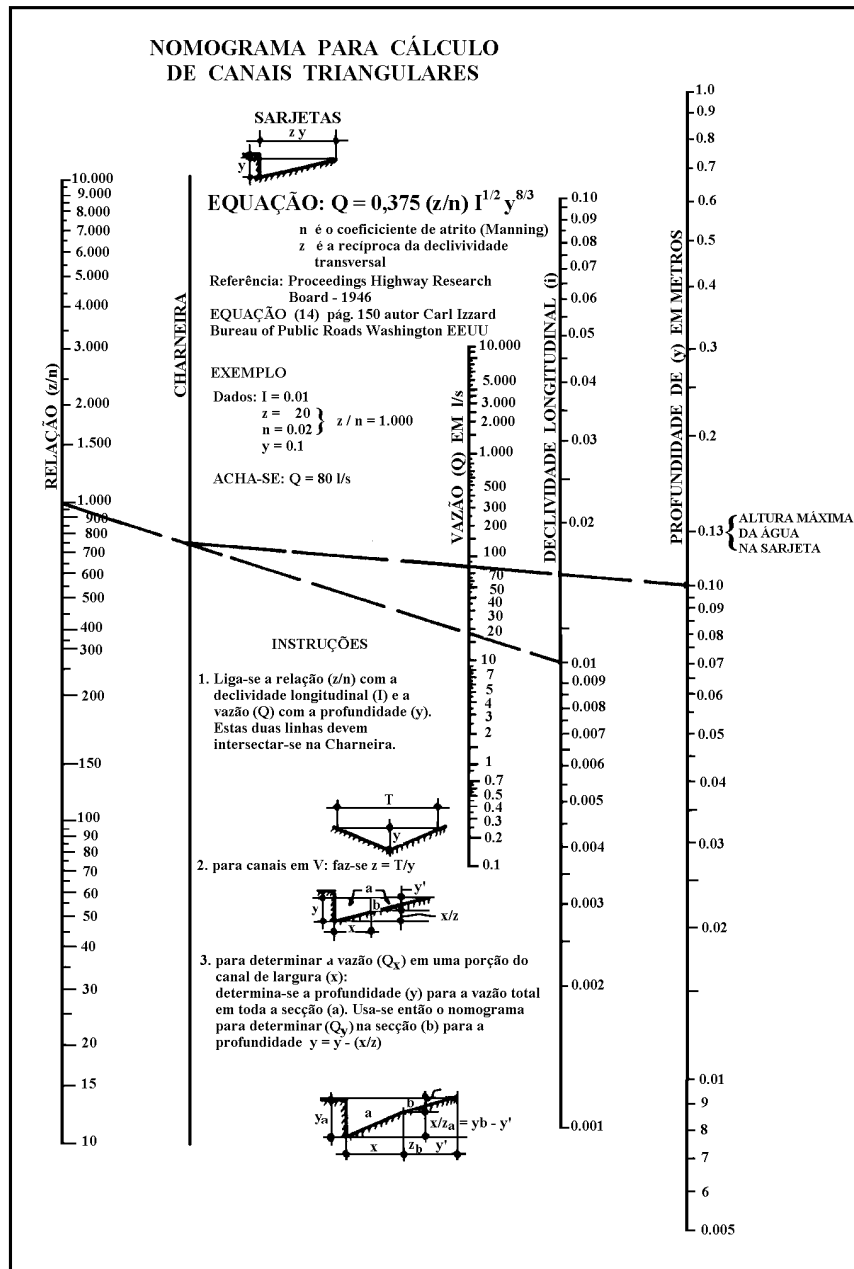


Figura 4.6. Nomograma de Izzard.

Fonte: Wilken (1978)

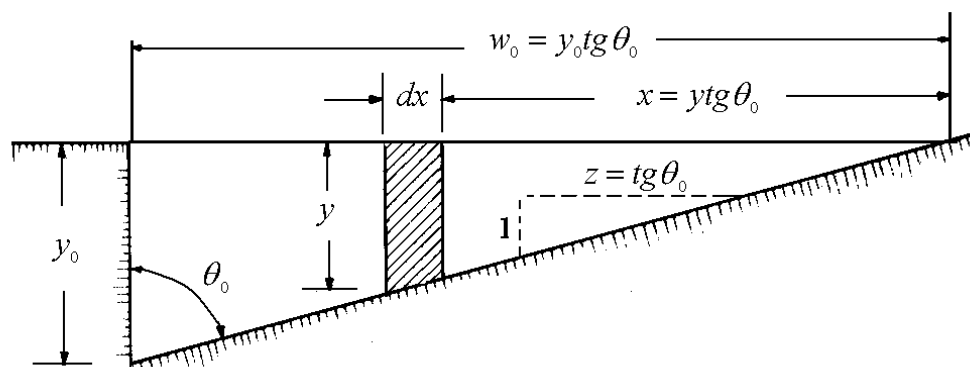


Figura 4.7. Seção transversal típica de sarjeta.

Fonte: Wilken (1978)

O valor calculado de Q por esta equação é a capacidade de escoamento teórica da rua, que depende dos valores de máxima inundação admissível para as condições de chuva máxima de projeto e o escoamento transversal admissível nas ruas. De acordo com esses valores, a capacidade admissível do escoamento será calculada multiplicando-se o valor da vazão teórica Q por um fator de redução F , que depende da declividade, o qual é determinado pelo gráfico, esboçado na Figura 4.8.

Com relação ao coeficiente de rugosidade, segundo Manning são muito difíceis de serem determinados corretamente, visto que o acabamento das superfícies de concreto varia muito em casos práticos, além do que a presença de sedimentos no escoamento pode modificar os valores dos coeficientes adotados para o conjunto asfalto-concreto (sarjeta e pavimento). Os valores adotados pelo autor em seus trabalhos foram os seguintes;

- Sarjeta de concreto em bom estado..... 0,012
- Pavimento asfáltico: textura lisa..... 0,013
- textura áspera..... 0,016

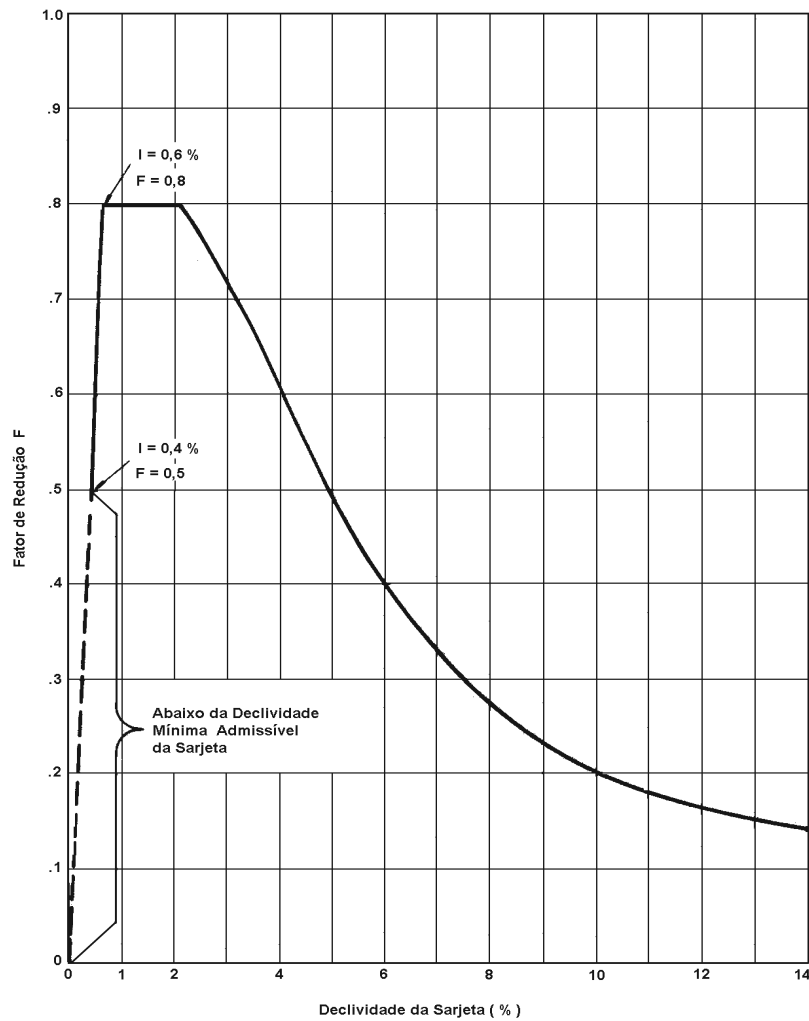


Figura 4.8. Fator de redução da vazão teórica.

Fonte: CETESB/ASCETESB (1986)

Esta altura d'água junto à guia será obtida com o escoamento uniforme, sendo essa condição de escoamento alcançada com o fluxo tendo percorrido uma distância da ordem de 15 metros sem interferências, à montante do ponto de medição. Como, invariavelmente, uma sarjeta vai acumulando água gradativamente, a vazão não é constante ao longo de seu comprimento. Quando a declividade variar constantemente e nos casos existir ponto baixo no local da boca-de-lobo o nomograma de Izzard poderá não dar a altura de água exata, não devendo ser empregado.

No caso particular da boca-de-lobo sem depressão e com abertura na guia, Figura 4.9, Izzard (1946) e Tapley (1955) chegaram à equação (4.15):

$$\frac{Q}{L} = 5,44K \frac{1}{(\operatorname{tg} \theta)^{9/16}} \left(\frac{Q_0}{\sqrt{I/n}} \right)^{9/16} \quad (4.15)$$

em que: Q é a vazão na boca-de-lobo (m^3/s); L é o comprimento da boca-de-lobo (m); θ é o ângulo entre a seção transversal da rua e a guia. A constante $K = (Q/Ly\sqrt{gy}) = (Q_0/Ly_0\sqrt{gy_0})$, foi definida por meio de ensaios, sendo 0,23, 0,20 e 0,20 para os valores de $\operatorname{tg} \theta = 12, 24, 48$, respectivamente.

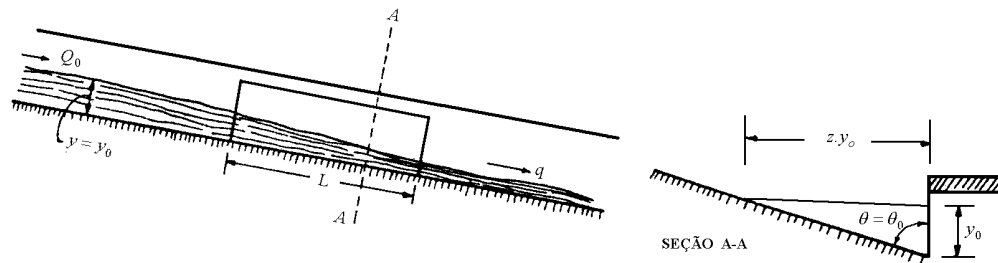


Figura 4.9. Boca-de-lobo sem depressão.

Fonte: CETESB/ASCETESB (1986)

De acordo com os mesmos autores, as bocas-de-lobo devem ser localizadas imediatamente à montante das curvas das guias nos cruzamentos, em pontos baixos ou em pontos intermediários, de acordo com a necessidade de captação do escoamento.

Linsley *et al.* (1978), afirmaram que ao se fazer projetos de drenagem urbana, deve-se quantificar a água a ser escoada. Para a determinação da boca-de-lobo a ser empregada, deve-se determinar a capacidade de vazão da sarjeta. Segundo os autores, os dois tipos principais de boca-de-lobo são: com abertura na guia, que funcionam como um extravasor de canal lateral e o tipo

com abertura na sarjeta, com grade. Para o projeto destinado a bairros residenciais, eles recomendam que se coloquem quatro bocas-de-lobo em cada cruzamento, de forma que cada escoamento percorra apenas um quarteirão pela sarjeta, antes de ser captado; porém essa solução não é muito econômica. Quanto à disposição das barras, concluíram que a disposição mais eficiente seria quando dispostas paralelas à guia.

As pesquisas realizadas por Aisse (1982), levaram-no à determinação da vazão captada pela boca-de-lobo por meio de um método simplificado, com a utilização de gráficos. Para o caso de uma boca-de-lobo com entrada pela guia, verificou que no caso da água se acumular sobre a entrada e gerar uma altura menor que a abertura da guia, essa configuração poderia ser considerada como se fosse escoamento por vertedor. Caso contrário, se a altura d'água fosse maior que o dobro da abertura na guia, seria considerado um orifício, o que alterava a vazão de entrada. Devido às diferenças entre os valores teóricos e os reais da vazão, por conta das obstruções causadas pelos detritos carreados pela água e irregularidades nos pavimentos, o autor apresenta na Tabela 4.1, os coeficientes de redução do escoamento para compensar os efeitos globais desses fatores:

Tabela 4.1. Capacidade de entrada das bocas-de-lobo - fator de redução da vazão.

Local na Sarjeta	Tipo de Boca-de-Lobo	% Sobre a Vazão Teórica
Ponto Baixo	abertura na guia	80
	com grade	50
	combinada	65
Ponto Intermediário	abertura na guia	80
	grade longitudinal	60
	grade transversal	50
	combinada	110*

* dos valores individuais para a grade correspondente.

Fonte: Aisse (1982)

Woo (1984) questionou a eficiência hidráulica das bocas-de-lobo (usadas nos EUA) e seus espaçamentos, demonstrando que o cálculo do coeficiente de escoamento superficial obtido pela utilização de hidrógrafas de dimensionamento era alterado pelo tipo de entrada, pelos meios empregados para determinar a eficiência hidráulica e pelo esquema ótimo de espaçamento entre essas bocas-de-lobo. Verificou que quase a totalidade dos modelos para captação de água consideraram que a boca-de-lobo intercepta toda a vazão calculada em função de sua área de contribuição, o que não era verdade. A vazão excedente passava direto pela entrada, juntando-se à vazão da boca-de-lobo seguinte, alterando assim a hidrógrafa dessa área, sendo esse erro de simulação mais crítico para grandes tempestades, pois a quantidade de água que passava direto provocava grandes alterações no escoamento das bocas-de-lobo à jusante. Dos resultados obtidos em seu trabalho, concluiu que o efeito de uma boca-de-lobo sobre a hidrógrafa da entrada d'água era apenas ilustrativo, devendo ser considerado somente na modelação com a ocorrência de tempestades.

Eskenazi (1984), por meio de modelos físicos, desenvolveu um método experimental para determinação do exato escoamento que é captado pela grade de uma boca-de-lobo com abertura na sarjeta e a disposição e espaçamentos entre as barras mais eficientes, visando uma padronização dos projetos. O autor partiu do princípio de que a quantidade de escoamento interceptado depende das características geométricas da grade:

- a disposição das barras (d);
- o intervalo entre elas (i);
- a forma de sua seção (s);
- a velocidade do escoamento (v);
- a altura d'água junto à entrada (h).

O esquema do escoamento é representado na Figura 4.10. O estudo desenvolvido permitiu comparar de maneira sistemática, grades com características totalmente diferentes. Os testes foram realizados com grades de barras circulares de 40mm de diâmetro e abertura de 750 x 400 mm² e três disposições (transversal, longitudinal e a 45° de inclinação), com diferentes aberturas entre as barras, conforme a Tabela 4.2. O autor mostrou a influência de dois fatores

essenciais: a disposição e as seções das grades. A Tabela 4.3 apresenta um resumo dos dados coletados para os diferentes espaçamentos e disposições de grades com relação a várias eficiências de captação requeridas. Dos resultados obtidos, conclui-se que a disposição das barras é o parâmetro mais importante: quanto maior o espaçamento entre elas, melhor será a eficiência da captação (porém este deve ser limitado por razões de segurança). A disposição longitudinal dá um melhor resultado hidráulico, porém apresenta um maior risco de acidentes (pedestres enroscando os pés entre as barras, por exemplo), e a maior distância entre os suportes requer uma grande seção transversal para a mesma resistência contra o arqueamento das barras. Para melhorar a drenagem foi sugerido que se tente manter a vantagem da disposição longitudinal suprimindo o perigo para ciclistas e pedestres (sendo aceitável um comprimento de 91,60 mm e um intervalo de 22,8 mm) e que se procure melhorar a captação obtida com a disposição transversal da grade por meio da modificação na forma das barras, sendo que a grade perfilada, de acordo com as linhas de escoamento, apresenta melhores resultados.

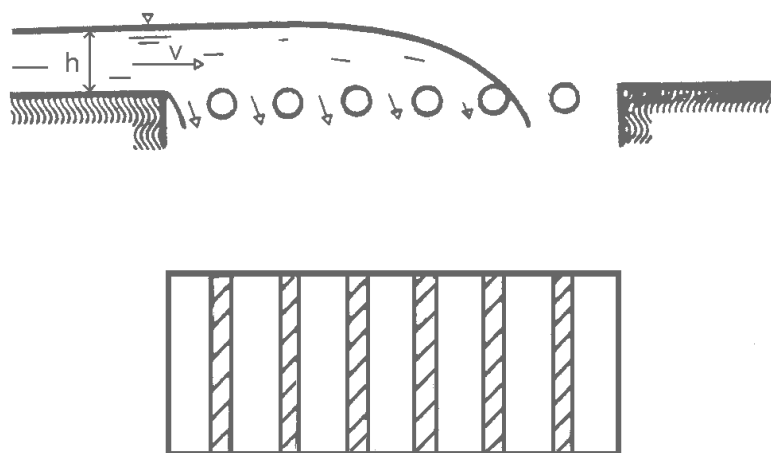


Figura 4.10. Esquema da vazão captada por meio de grades.

Fonte: Eskenazi (1984)

Tabela 4.2. Características geométricas das barras ensaiadas.

Disposição (<i>d</i>)	Número	Intervalo (<i>i</i>) (mm)
Transversal	1	25,8
	2	31,8
	3	39,0
	4	47,8
Longitudinal	5	22,8
	6	33,3
	7	48,8
45° graus	8	17,5
	9	31,8
	10	55,8

Fonte: EskenaziI (1984)

Tabela 4.3. Vazão total captada em função do tipo de grade.

Grade n°	Vazão Total (l/s/m)					
	10%	20%	30%	40%	60%	90%
1	9,2	12,0	26,3	27,3	49,8	66,1
2	8,0	9,6	22,1	24,5	50,9	58,9
3	4,7	9,1	18,1	21,0	43,6	61,5
4	3,8	17,3	22,0	29,1	40,8	43,3
5	5,1	9,3	10,3	14,0	20,6	25,2
6	5,3	8,7	9,6	14,8	18,8	22,3
7	4,5	7,6	9,5	14,2	18,1	21,5
8	6,7	8,8	12,9	15,6	27,5	30,3
9	5,3	8,2	10,4	14,2	27,5	28,0
10	5,6	9,2	10,9	13,3	23,8	26,6

Fonte: Eskenazi (1984)

De acordo com o Manual de Projeto da CETESB/ASCETESB (1986), considera-se que os critérios utilizados para coleta e condução das águas pluviais em vias públicas são baseados em condições pré-determinadas de interferência com o tráfego. Isto significa que, dependendo da classe da rua (secundária, principal, avenida e vias expressas), admite-se que certa faixa de tráfego possa ser inundada uma vez durante o intervalo de tempo correspondente ao período de retorno da chuva de projeto, adotado (entre 2 e 10 anos). No entanto, durante esse período poderão ocorrer chuvas menos intensas mas que provocam descargas que podem inundar a mesma faixa de tráfego em menor extensão. Um bom projeto de drenagem é aquele que proporciona benefícios diretos ao tráfego e menores custos de manutenção das ruas. Neste manual as bocas-de-lobo são classificadas em quatro tipos (simples, com grelha, combinada e múltipla) e de acordo com sua localização (pontos intermediários e baixos das sarjetas). Os cálculos de eficiência dessas bocas-de-lobo são obtidos de adaptações baseados em resultados obtidos pelo “*Bureau of Public Roads*”, e adaptadas de “*Hydraulic Design of Depressed Curb-Opening Inlets*”, além das experiências da Universidade John’s Hopkins. Dos estudos realizados concluíram que, quanto maior a declividade transversal da rua, melhor será a condição de esgotamento obtida pela boca-de-lobo e que os espaçamentos devem ser projetados de modo que, entre 90 a 95% da vazão pela sarjeta, seja interceptada. Para ruas com declividades longitudinais menores que 5%, o manual recomenda a utilização de bocas-de-lobo simples (abertura na guia), com e sem depressão, dependendo da vazão a ser captada.

Souza (1986) realizou um estudo experimental para a determinação da eficiência de uma boca-de-lobo com abertura na guia da sarjeta, com e sem depressão, com intervalo de declividades longitudinais entre $0,05 < i < 0,14$ (m/m), seção transversal da sarjeta no intervalo $5 < tg\theta < 20$, e vazões com eficiência de captação entre 50 e 100%, com o escoamento no regime permanente.

O estudo foi realizado sobre as bocas-de-lobo padrões da cidade de São Paulo (SP), apresentadas nas Figuras 4.11 e 4.12, nas escalas 1:3 e 1:1 e baseado no critério de semelhança de Froude ($F_m = F_p$), considerando-se a boca-de-lobo como um vertedor lateral, e o escoamento classificado como raso ($tg\theta = 12$ e $B/y_0 > 10$). Feitas essas considerações, obteve-se a equação (4.16) simplificada, para ao cálculo da vazão:

$$Q = C_Q L y_0 (g y_0)^{1/2} \Leftrightarrow Q/L = k(\theta) y_0^{3/2} \quad (4.16)$$

em que: C_Q é o coeficiente de descarga; g é a aceleração da gravidade (m/s^2); $k(\theta)$ é o coeficiente da lei de captação ($\text{m}^{0.5}/\text{s}$); L é o comprimento da boca (m); Q é a vazão captada pela boca-de-lobo (m^3/s); y_0 é a profundidade do fluxo (m); θ é o ângulo da sarjeta. Os valores de $k(\theta)$ foram obtidos em relação à declividade.

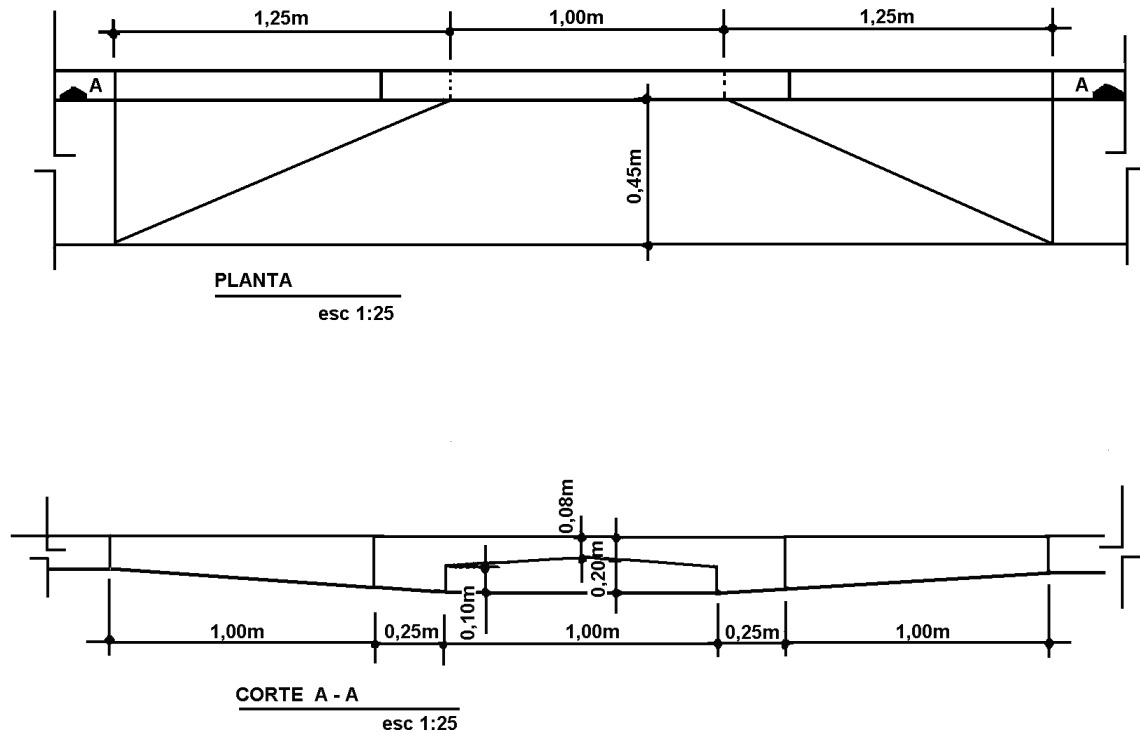


Figura 4.11. Boca-de-lobo com depressão (padrão da Prefeitura de São Paulo/SP).

Fonte: Souza (1986)

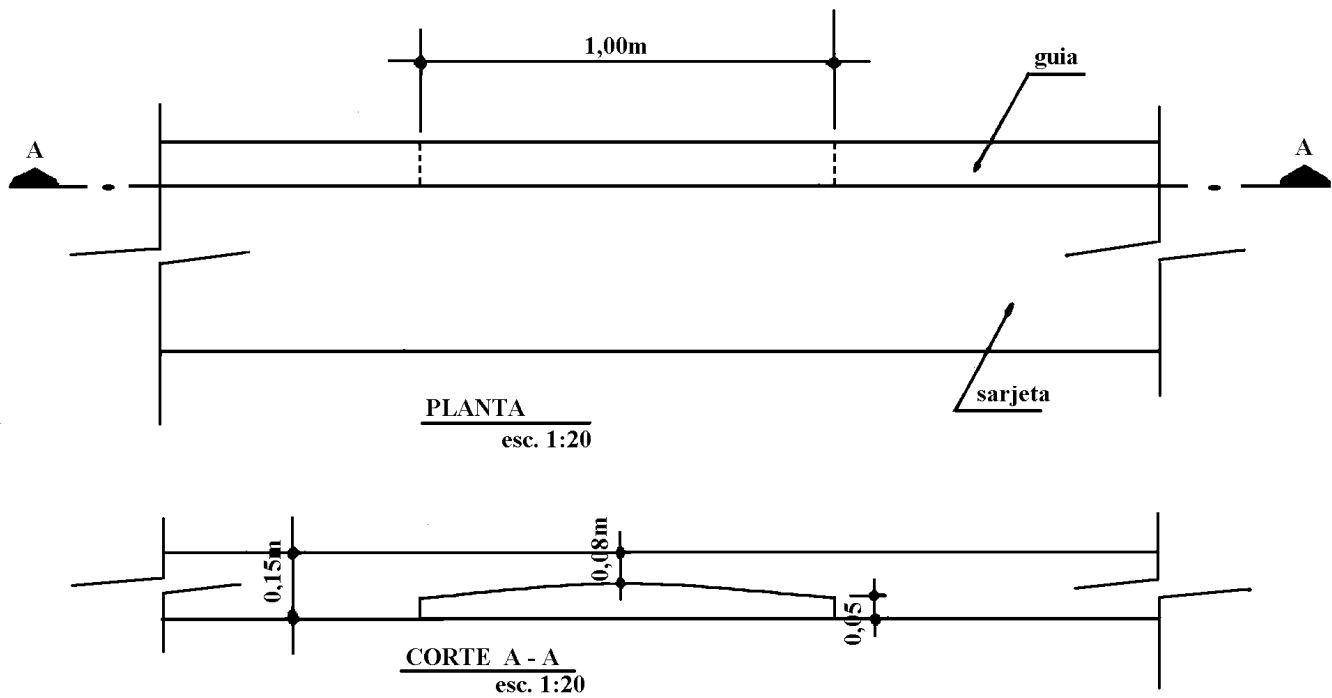


Figura 4.12. Boca-de-lobo sem depressão (padrão da Prefeitura de São Paulo).

Fonte: Souza (1986)

Como o objetivo era apenas calcular a eficiência hidráulica da boca-de-lobo instalada numa sarjeta-padrão ($tg\theta = 12$), o autor propôs as leis de captação apresentadas nas equações (4.17a) e (4.17b):

$$Q/L = 0,75y_0^{3/2} \text{ (sem depressão)} \quad (4.17a)$$

$$Q/L = 1,02y_0^{3/2} \text{ (com depressão)} \quad (4.17b)$$

Considerando-se as mesmas condições de escoamento permanente, velocidade média e sarjeta-padrão, obteve-se uma expressão geral que representa a vazão de aproximação à montante da boca-de-lobo, esboçada na equação (4.18a). Uma simplificação para o caso particular em estudo é apresentada na equação (4.18b) a seguir:

$$Q_0 = (y_0^2 / 2T \cos^2 \theta) (8g/2(1+T) \cos \theta)^{1/2} (y_0)^{1/2} (i/f)^{1/2} \quad (4.18a)$$

$$Q_0 = 36,424 y_0^{5/2} (i/f)^{1/2} \quad (4.18b)$$

em que: Q_0 é a vazão à montante da boca-de-lobo (m^3/s); $T = tg \theta$; i é a declividade longitudinal da sarjeta (m/m); f é o fator de atrito.

Das relações obtidas chegou-se às equações (4.19a) e (4.19b), que são as leis sugeridas pelo autor para o projeto e verificação da eficiência:

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,247 \frac{L}{y_0 tg \theta} / \sqrt{i/f} \quad (\text{sem depressão}) \quad (4.19a)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,336 \frac{L}{y_0 tg \theta} / \sqrt{i/f} \quad (\text{com depressão}) \quad (4.19b)$$

Os resultados do estudo proporcionaram as seguintes conclusões: a boca-de-lobo com depressão apresentou melhor eficiência que aquela sem depressão (quando instaladas na mesma sarjeta). Para uma determinada vazão, os dois tipos perdem eficiência com o aumento da declividade (para ruas com $i > 0,07$ m/m, a boca-de-lobo com depressão apresentou-se a mais indicada); no caso de ruas planas deve-se utilizar a boca-de-lobo com alimentação simétrica. A largura máxima do escoamento adotado não deve prejudicar o conforto dos pedestres, sendo indispensável um projeto criterioso e constante manutenção preventiva e corretiva para um bom desempenho do sistema. Verificou-se também que o estudo em modelo é afetado pelo efeito de escala devido à tensão superficial, que causou neste caso uma diferença no valor de y_0 medido no modelo em escala 1:3.

Djordjević, Ivetić, Maksimović, *et al* (1987) calcularam a vazão em boca-de-lobo com grade, simulando uma rua com a capacidade de drenagem abaixo da necessária. Para tanto, foi montado um banco de ensaio conforme ilustrado pela Figura 4.13, cuja grade apresentava as dimensões mostradas na Figura 4.14.

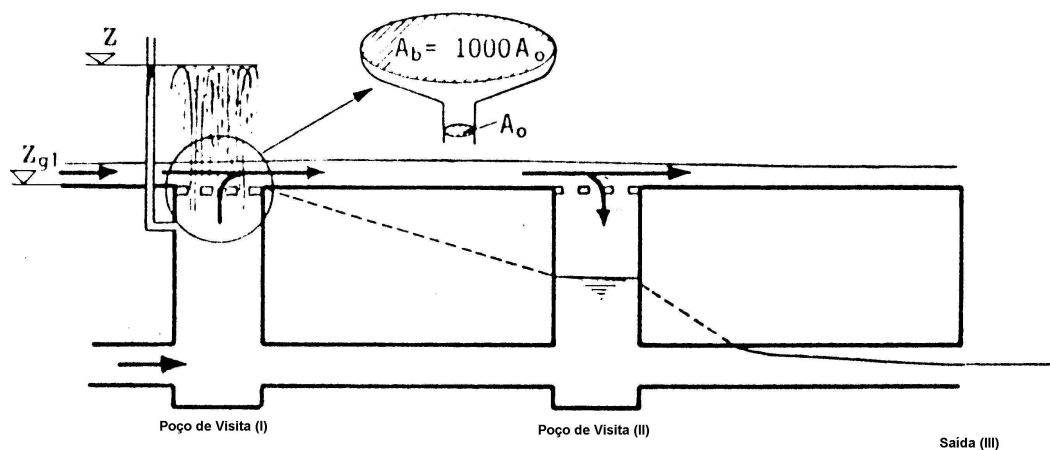


Figura 4.13. Esquema do banco de ensaio.

Fonte: Djordjević, Ivetić, Maksimović, *et al* (1987).

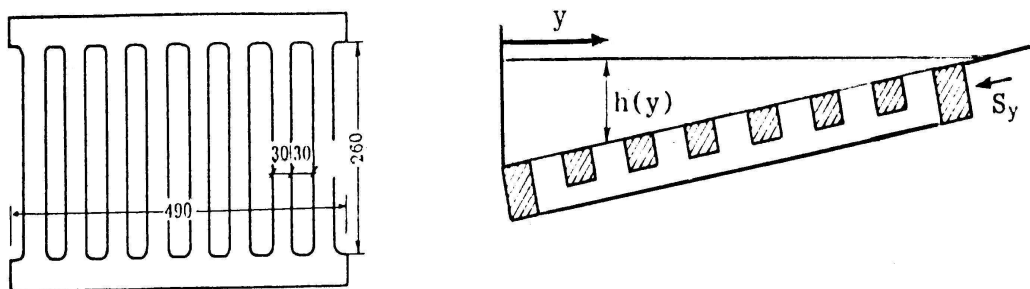


Figura 4.14. Dimensões da grade estudada.

Fonte : Djordjević, Ivetić, Maksimović, *et al* (1987).

Foram criados dois modelos numéricos: um com auxílio do programa BEMUS - Belgrade Model of Sewers - Radjkovica e Maksimovie (1984), *apud* Djordjević, Ivetić, Maksimović, *et al* (1987) - desenvolvido na Universidade de Belgrado, e outro com o programa MOUSE - Lindberg e Jorgensen (1986), *apud* Djordjević, Ivetić, Maksimović, *et al* (1987). Os resultados obtidos são apresentados nos gráficos da Figura 4.15.

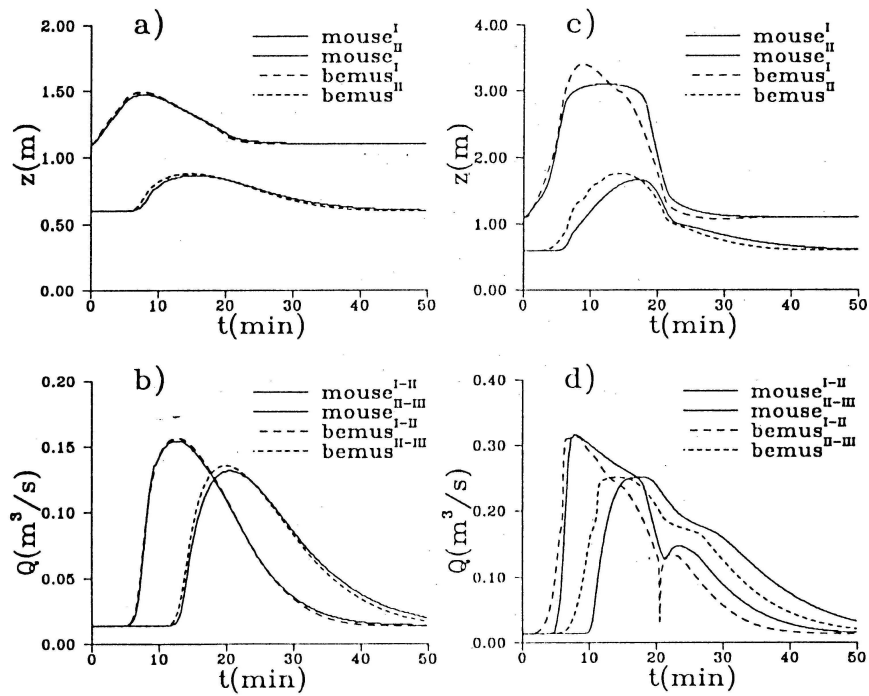


Figura 4.15. Gráficos representativos dos resultados obtidos.

Fonte: Djordjević, Ivetić, Maksimović, *et al* (1987).

Da análise dos resultados obtidos concluiu-se que estes podem ser consideravelmente afetados pela continuidade do escoamento após a boca-de-lobo, ou por sua entrada total no elemento drenante. Foi verificado que, para períodos relativamente longos de chuvas intensas, o coeficiente de escoamento superficial (antes de entrar no sistema de captação) e o extravasamento nas vias (a partir do sistema de captação) devem ser modelados simultaneamente, o que requer algumas modificações no sistema.

Despotovic (1987) também pesquisou o comportamento do escoamento em bocas-de-lobo por meio de um modelo físico. O objetivo do estudo era desenvolver um relacionamento entre a capacidade de entrada (eficiência) e os parâmetros que a afetam, principalmente nos projetos práticos. Foi estudada a boca-de-lobo combinada (abertura na guia e grade na sarjeta). A eficiência E_f foi determinada para uma declividade longitudinal I_L de 2 % e um fluxo Q_a , aproximado de 100 l/s. A declividade transversal variou entre $0 < I_t < 5\%$. Dos resultados obtidos

concluiu-se que a capacidade da boca-de-lobo aumenta, enquanto a eficiência diminui significativamente com o aumento da inclinação transversal ou da taxa de escoamento. A capacidade de esgotamento tende a alcançar um valor limite, o que significa que a eficiência diminui enquanto a vazão aumenta, ou seja, enquanto a taxa de escoamento aumenta, uma grande porção do fluxo passa direto pela entrada. Observou-se também que a capacidade de esgotamento que foi atribuída à abertura na guia (somada com a entrada pela grade da sarjeta), é altamente dependente dos comprimentos (das aberturas da guia e da grade) e da inclinação da seção transversal. A taxa de escoamento também influencia a capacidade da boca-de-lobo combinada, porém em menor grau. Quando a inclinação transversal da sarjeta é nula ou próxima de zero, o fluxo que entra pela abertura na guia é desprezível, não se justificando a construção de uma boca-de-lobo combinada (maior custo). Nessas condições, deve-se optar por uma boca com grade na sarjeta. Os resultados foram sintetizados nos gráficos das Figuras 4.16 e 4.17.

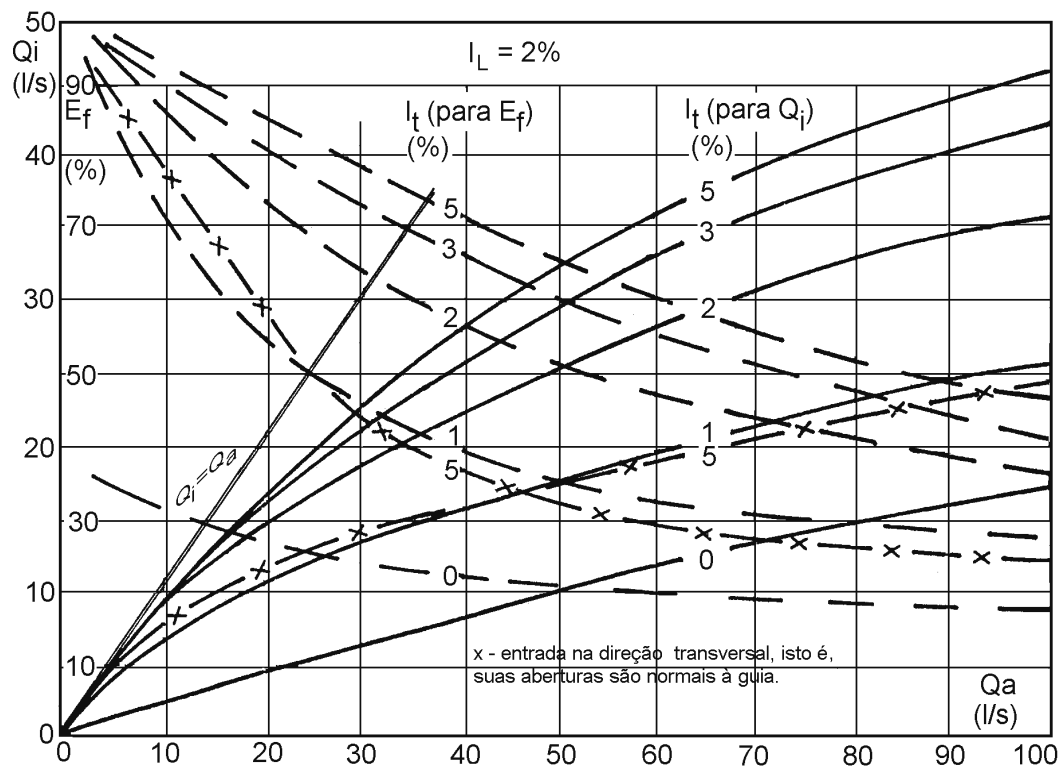


Figura 4.16. Vazão captada Q_i e eficiência E_f para declividade longitudinal $I_L = 2\%$.

Fonte: Despotovic (1987)

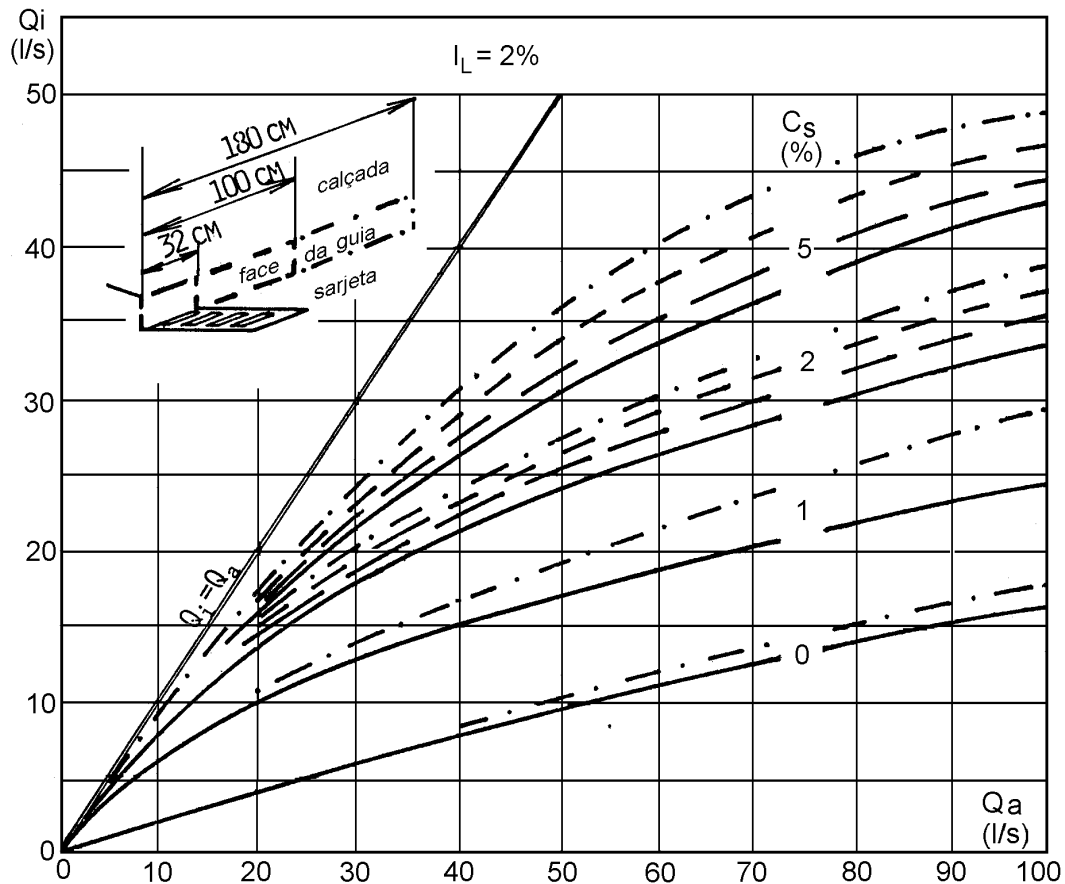


Figura 4.17. Vazão captada Q_i para declividade longitudinal $I_L = 2\%$.

Fonte: Despotovic (1987)

Novas metodologias vêm sendo empregadas para se obter maior precisão na determinação do volume captado pela boca-de-lobo e uma delas é a utilização de modelos baseados na teoria da onda cinemática. Segundo Tucci (1993), o escoamento de uma onda em um canal produz atenuação e deslocamento devido ao armazenamento e ao atrito, em que as equações básicas utilizadas por este tipo de modelo são: a Equação da Continuidade de Massa Distribuída, que considera o amortecimento devido à variação da capacidade de armazenamento do sistema e a Expressão Simplificada da Quantidade de Movimento, que representa a gravidade, o atrito, a pressão e a inércia do fluxo. Sua aplicabilidade é analisada considerando-se que a declividade do fundo (S_0) seja igual à declividade da linha de atrito (S_f), na equação da

Quantidade de Movimento, na qual adota-se para o escoamento, entre outras, as seguintes simplificações:

- as forças de atrito e da gravidade são preponderantes sobre os termos da equação dinâmica;
- o fenômeno simula somente efeitos de montante;
- o amortecimento da onda simulada é devido ao armazenamento, não ocorrendo em razão dos efeitos dinâmicos.

A aplicabilidade desse modelo requer ainda da utilização de outros critérios, que são:

- a. comparação das celeridades: a celeridade da onda dinâmica do escoamento deve ser maior que a da onda cinemática, ou seja, $F < 1,5$ (F é o número de Froude);
- b. $K > 20$ – Liggett e Woolhiser (1967), *apud* Tucci (1993) – deve ser observado, sendo definido pela equação (4.20);

$$K = \frac{S_0 L_0}{F_0^2 y_0} \quad (4.20)$$

em que S_0 é a declividade do fundo; L_0 é o comprimento longitudinal do escoamento; y_0 é a profundidade F_0 é o número de Froude.

- c. para que ocorra 95% de precisão nos resultados apurados, é necessária também a verificação da equação (4.21).

$$\frac{TS_0 v_0}{y_0} \geq 171 \quad (4.21)$$

no qual T é o período da onda.

O autor ressalta a complexidade de aplicação dessa metodologia, devido aos critérios e gradientes envolvidos em sua formulação.

Seguindo esta linha de pesquisa, Wong (1994) desenvolveu um trabalho baseado na teoria da onda cinemática para a determinação do espaçamento entre bocas-de-lobo para drenagem das ruas da cidade de Cingapura. Foi utilizada a boca combinada (entrada pela guia e pela sarjeta, com grade, sem depressão), com declividade transversal e longitudinal da rua variando entre $1,7 < i < 4,2 \%$ e $5,0 < i < 10\%$, respectivamente. Segundo vários pesquisadores, a aplicabilidade dessa teoria para área alagada e canais abertos apresenta grande exatidão, quando comparadas às soluções obtidas por meio das equações de Saint-Venant. Para os escoamentos que ultrapassam a largura da sarjeta (alagados), a teoria será ou não aplicável, de acordo com o critério de Morris e Woolhiser (1980), citado por Wong (1994), que relaciona o parâmetro kF_0 com as características físicas de uma superfície plana e a intensidade da precipitação, como mostrado na equação (4.22):

$$kF_0 \geq 5$$

$$kF_0 = 1440 \left(S_0^{1,3} L_0^{0,4} \right) / \left(n_0^{0,6} i_n^{0,2} \right) \quad (4.22)$$

em que: F_0 é o número de Froude no final do plano de equilíbrio; i_n é a intensidade da chuva (mm/h); k é o número do escoamento cinemático; L_0 é o comprimento da superfície plana (m); n_0 é o coeficiente de Manning da rugosidade na superfície plana; S_0 é a declividade da superfície plana (m/m).

Os dados requeridos para o estudo foram: a largura máxima do escoamento, as características do leito da rua, a relação entre a máxima vazão e o escoamento interceptado e a curva duração-intensidade da chuva, representados na Figura 4.18.

Para escoamentos em canais abertos, a aplicabilidade da teoria pode ser definida pelo critério de Ponce *et al* (1978), citado por Wong (1994), que estabelece um limite para o período da onda τ , fornecido pela expressão dada pela equação (4.23).

$$\tau = (TS_c u_c) / y_c \geq 83 \quad (4.23)$$

em que: S_c é a declividade de fundo da sarjeta (m/m); T é o período da onda (duas vezes o tempo de subida do fluxo) (s); u_c é a velocidade média do escoamento (m/s); y_c é a profundidade do escoamento na sarjeta (m); τ é o adimensional do período da onda. O escoamento deverá estar uniformemente estável. Concluiu-se que os espaçamentos entre bocas-de-lobo sob estas condições, em Cingapura, variam com a seção transversal e a declividade longitudinal da rua e que estes são maiores para ruas com declividades mais elevadas.

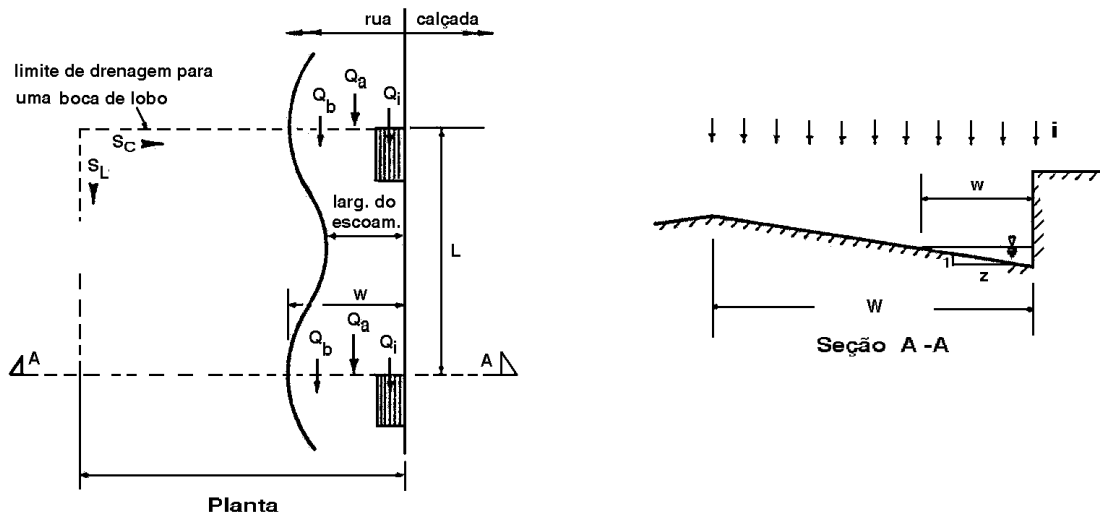


Figura 4.18. Esquema do espaçamento entre bocas-de-lobo para drenagem das ruas.

Fonte: Wong (1994).

Outro tratamento aplicado aos problemas de dimensionamento de bocas-de-lobo é por meio de programas computacionais. Guo (1990), calculou a capacidade de escoamento para alguns tipos de bocas-de-lobo, utilizando-se do programa UDINLET, que também determina a

capacidade hidráulica permissível, o máximo coeficiente de escoamento superficial (runoff) e seleciona a boca associada à grade e seu comprimento.

O modelo de uma boca-de-lobo com entrada pela guia, onde se variavam as declividades longitudinal e transversal da rua e a declividade transversal da sarjeta foi estudado por Uyumaz (1992) em modelo 1:4. A declividade longitudinal do canal S_0 variava entre 0 e 0,06 e a transversal S_{x1} entre 0,02 e 0,06. A inclinação transversal da sarjeta S_{x2} variava entre 0,04 e 0,06. Observou-se que para ruas com escoamentos supercríticos ($F > 1$), onde F é o número de Froude no início da abertura da guia, a elevação da superfície da água junto à abertura da guia diminui na direção do escoamento, ocorrendo o contrário em escoamento no regime subcrítico ($F < 1$). Um esquema do escoamento é apresentado na Figura 4.19.

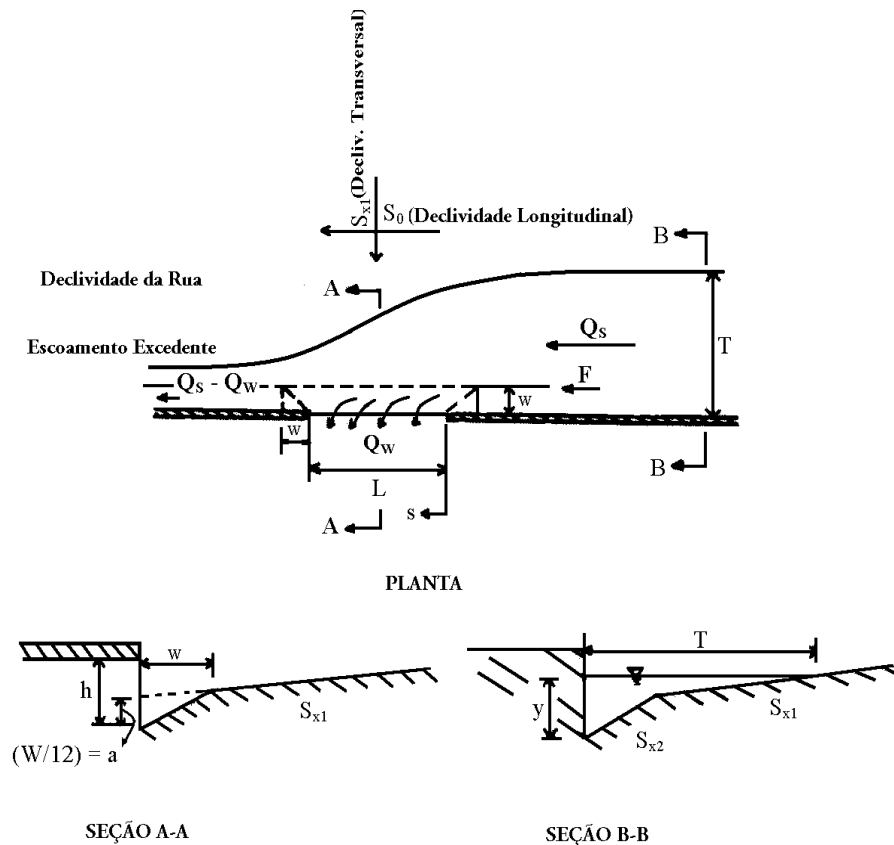


Figura 4.19. Esquema para definição dos parâmetros do escoamento.
Fonte: Uyumaz (1992)

Pela análise dimensional, foi determinada a seguinte relação:

$$Q_w = f\left(\frac{L}{h}, \beta = \frac{Q_w}{Q_s}, \lambda = \frac{L}{FT'}\right)$$

em que: Q_w é a vazão da boca-de-lobo (m^3/s); h é a abertura vertical (m); Q_s é a vazão na rua (m^3/s); T é a propagação de água na rua; e β e λ são coeficientes adimensionais. A razão de β depende do valor de λ para $(L/h) = 20$ e $S_0 = 0,04$, como mostra a Figura 4.20. O valor de β varia linearmente com λ se $\beta \leq 0,60$. Para $\beta \geq 0,60$ a função fica nivelada. A taxa de escoamento para $\beta \leq 0,60$ é dada pela equação (4.24a) e para $\beta \geq 0,60$ pela equação (4.24b):

$$\beta = A\lambda \quad (4.24a)$$

$$\beta = B\lambda^2 + C\lambda + D \quad (4.24b)$$

Os coeficientes A, B, C e D, foram tabelados para várias declividades e são apresentados na Tabela 4.4. O autor constatou que a capacidade de captação varia com a declividade da rua e da sarjeta, sendo que a vazão captada pela boca-de-lobo com abertura na guia diminui com o aumento da declividade longitudinal da rua, enquanto o oposto ocorre com a declividade transversal da rua e da sarjeta. Expressões produzidas para vazões em bocas de lobo com entrada pela guia (em regime subcrítico), foram comparadas com resultados experimentais e apresentaram erros menores que 10%.

Tabela 4.4. Valores dos coeficientes A, B, C e D.

L/h (1)	S_0 (2)	S_{x1} (3)	S_{x2} (4)	$\beta = A\lambda$ $\beta = B\lambda^2 + C\lambda + D$			
				A (5)	B (6)	C (7)	D (8)
20	0,04	0,02	0,02	1,184	-0,357	1,455	-0,041
20	0,04	0,02	0,06	1,090	-0,257	1,297	-0,034
20	0,04	0,02	0,08	1,008	-0,293	1,348	-0,098
20	0,04	0,04	0,06	0,955	-0,247	1,253	-0,090
20	0,04	0,04	0,08	0,902	-0,198	1,144	-0,073
20	0,04	0,06	0,08	0,853	-0,160	1,040	-0,054

Fonte: Uyumaz (1992).

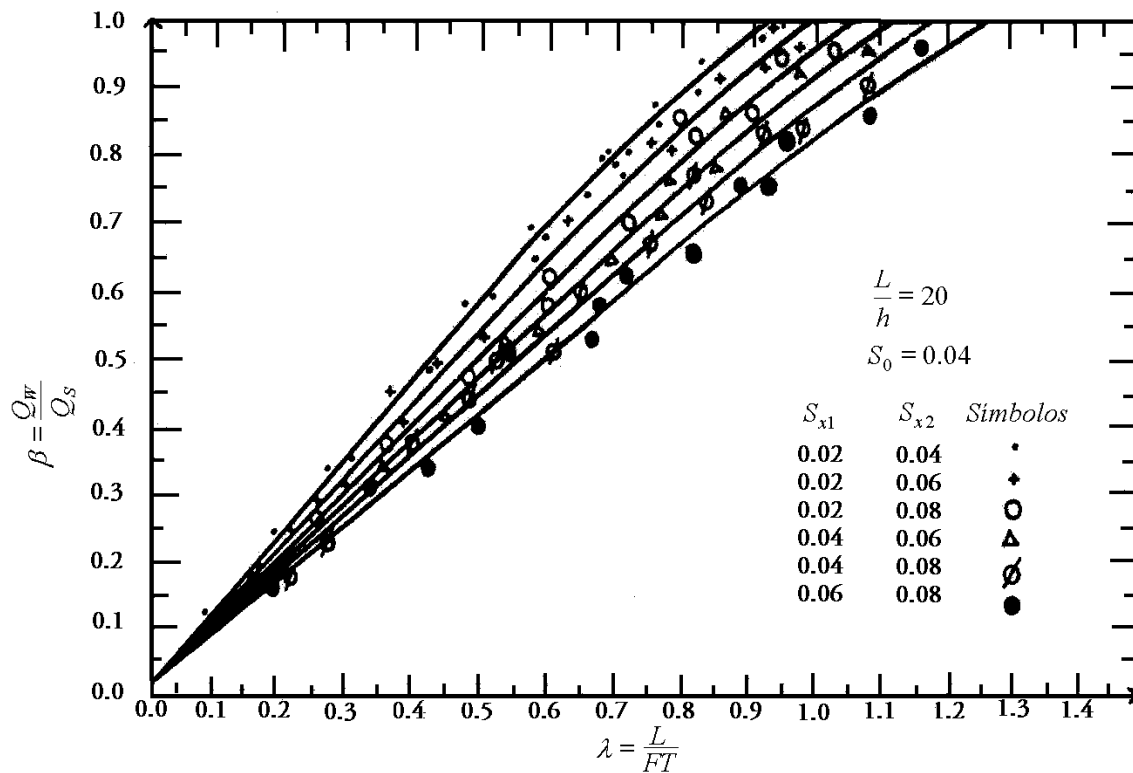


Figura 4.20. Variação dos valores de β e λ .

Fonte: Uyumaz (1992)

Outro enfoque semelhante ao de Guo (1990) foi dado por Pompêo e Savietto (1997), com o desenvolvimento de um programa computacional, para uso didático no ensino de graduação e com ajuda em hipertexto, para o projeto de bocas-de-lobo com abertura na guia e com grade. O roteiro poderia ser adaptado para outros tipos (mistas, com depressão na sarjeta, bocas que recebem o escoamento de uma única direção ou para as localizadas em pontos baixos sujeitos ao acúmulo de água). O Sistema BDL (aplicativo para o cálculo de boca-de-lobo) tinha por objetivo eliminar a necessidade de cálculos manuais repetitivos e possibilitar a análise de diferentes alternativas de dimensionamento e verificação da capacidade de captação. Além disso, o programa poderia incorporar também um banco de equações de chuvas intensas para o cálculo da vazão escoada pela sarjeta pelo Método Racional. A versão mais atual já incorpora outras considerações que melhoraram seu potencial de uso, como por exemplo, a estimativa da vazão escoada no próprio aplicativo. O trabalho partiu do princípio que o dimensionamento da boca-de-lobo com abertura na guia consiste na determinação do comprimento da abertura necessário para captar uma parcela especificada da vazão total Q_0 , à montante da boca-de-lobo. Aonde são conhecidas as características do escoamento na sarjeta, os autores adotaram algumas considerações no desenvolvimento do programa de cálculo. Admitiram que o comprimento da abertura na guia para captar uma certa vazão Q , seria obtido por meio da equação (4.25):

$$L_T = 0,82Q^{0,42}S^{0,3}\left(\frac{1}{nS_x}\right)^{0,6} \quad (4.25)$$

em que S é a declividade longitudinal(m/m), S_x é a declividade transversal (m/m) e n é o coeficiente de Manning, de acordo com Johnson e Chang (1984), citado por Pompêo e Savietto (1997). Quanto à eficiência E de uma boca-de-lobo com grade, considerou-se que ela é igual à eficiência da grade multiplicada pelo fluxo total da sarjeta, calculada pelas equações (4.26a), (4.26b), (4.26c) e (4.26d):

$$E = RfE_0 + Rs(1 - E_0) \quad (4.26a)$$

em que o primeiro termo da equação é a eficiência da interceptação da vazão frontal (%)e o segundo termo é a eficiência de interceptação do fluxo lateral em relação ao total da vazão lateral

da sarjeta (%). O termo R_f expressa a relação entre a vazão interceptada frontalmente pela grade e a vazão total na sarjeta:

$$R_f = 1 - 0,29(V - V_0) \quad (4.26b)$$

em que V é a velocidade do escoamento na sarjeta (m/s) e V_0 é a velocidade na qual começa a ocorrer espirramento do escoamento ao passar pela grade (m/s), que é obtido experimentalmente. A razão entre a vazão interceptada lateralmente pela grade e a vazão total R_s , é expressa por meio da equação (3.26c):

$$R_s = \frac{1}{1 + \frac{0,15V^{1,8}}{S_x L^{2,3}}} \quad (4.26c)$$

em que L é o comprimento da grade (m).

Já a razão entre a vazão frontal e a vazão lateral (E_0) escoada na sarjeta foi obtida por meio da equação (4.26d):

$$E_0 = 1 - (1 - W/T)^{2,67} \quad (4.26d)$$

em que W é a largura da sarjeta (m) e T é a largura total do escoamento (m).

Outra hipótese considerada por Pompêo e Savietto (1997) foi de que as bocas-de-lobo localizadas em pontos baixos de sarjeta e sujeitas à acumulação de água, podem operar como vertedores ou orifícios, *apud* Wilken (1978), dependendo da altura d'água y na guia e da abertura da boca-de-lobo h . A vazão Q é expressa pelas equações (4.27a) e (4.27b), sendo que L é o comprimento da abertura na guia.

- se $y/h \leq 1$, opera como vertedor, sendo:

$$Q = 1,703Ly^{3/2} \quad (4.27a)$$

- se $y/h > 2$, opera como orifício e,

$$Q = 3,101Lh^{3/2}\sqrt{y/h - 1/2} \quad (4.27b)$$

- no caso em que $1 < y/h < 2$, a boca-de-lobo apresentará operação indefinida, ora agindo como vertedor, ora como orifício.

Os autores, também de acordo com Wilken (1978), consideraram o fato de que para alturas até 12 cm, a operação do sistema seria como um vertedor, em que a taxa de captação por unidade de perímetro molhado de abertura da grade obedecia à equação (4.28). O perímetro da abertura da grade não considerava as barras e os lados sobre os quais a água não entra. Para um sistema com cargas iguais ou superiores a 42 cm, a operação da boca se dava como um orifício. Neste caso a taxa de captação por unidade de área de abertura da grade foi obtida pela equação (4.29). Já para cargas entre $12 < y < 42$ cm a operação ficou indefinida, não obedecendo à formulação matemática, em que eles aconselham a se adotar o resultado mais desfavorável.

$$\frac{Q}{P} = 1,655y^{3/2} \quad (4.28)$$

$$\frac{Q}{A} = 2,91y^{1/2} \quad (4.29)$$

em que: P é o perímetro da abertura da grade (m) e A é a área de abertura da grade (m^2).

Os resultados obtidos demonstraram a eficiência do programa no dimensionamento de bocas-de-lobo que, partindo das equações teóricas, foi desenvolvido o sistema BDL, a princípio para versões em sistema DOS, que possuía duas alternativas de cálculo: o dimensionamento e a verificação de operação. Devido à facilidade de operação, sua versão em ambiente Windows passou a incorporar outras sugestões, entre elas a estimativa da vazão escoada no próprio aplicativo. O programa está sendo muito utilizado e, sem dúvidas, futuras alterações podem aumentar seu potencial e transformá-lo numa verdadeira ferramenta de projeto.

Ramos (1999) analisou a eficiência de três tipos de bocas-de-lobo muito utilizadas nas cidades brasileiras. O estudo foi realizado na cidade de Santa Bárbara D'Oeste/SP e por meio de comparações entre medidas de campo e fórmulas empíricas, chegou-se às seguintes conclusões: para a boca-de-lobo com abertura na guia, a vazão medida experimentalmente se aproxima da vazão calculada pela equação de Geyer, Benton e Li (1956). Já para a boca-de-lobo com abertura na sarjeta, com grade e sem depressão, a vazão obtida pela equação desenvolvida por Geyer, Benton e Li (1956), era duas vezes menor que a vazão obtida em campo. Para a boca-de-lobo combinada (abertura na guia e abertura na sarjeta com grade sem depressão, colocadas lado a lado), a vazão mais próxima daquela medida em campo foi obtida através do gráfico da CETESB/ASCETESB (1986). Os três tipos estudados apresentaram boa capacidade de escoamento, com desempenho considerado satisfatório; as vazões medidas em campo foram maiores que as obtidas através das equações empregadas. Essas diferenças entre as vazões medidas em cada tipo de boca-de-lobo em relação aos métodos e equações citados na literatura, são em função dos inúmeros fatores que influenciaram diretamente os resultados, principalmente o fato dos métodos terem sido desenvolvidos em laboratório, onde as características e situações raramente se repetem em campo e também o fato do coeficiente de rugosidade de Manning não ser possível se determinar corretamente, pois para cada trecho de sarjeta considerado existia uma rugosidade diferente, o que influenciou diretamente a vazão medida.

Mascarenhas (2000) destaca a adoção de medidas estruturais, entre outras, para controle de enchentes urbanas e cita as estruturas chamadas de soleiras de admitância e ranhuras de captação. Estas nada mais seriam do que guias condutoras das águas para as bocas-de-lobo, consistindo em pequenas estruturas do tipo canal, que são ensaiadas em laboratório e destinadas a

forçar o fluxo do excesso de águas nas ruas para seus locais de destino. O seu posicionamento deverá ser criteriosamente estudado com o propósito de não prejudicar a passagem de transeuntes para que os resíduos sólidos não obstruam o caminho natural das águas, sendo que para isso são instaladas grelhas de captação de resíduos antes das ranhuras. Ressalta-se que o citado autor só sugere o uso dessas estruturas, não apresentando nenhum esquema das mesmas nem dimensões que permitam a sua execução.

Secchi e Mazzón (2000) procurando melhorar o desempenho das bocas-de-lobo utilizadas atualmente nas cidades argentinas de Rosário e Santa Fé, apresentaram um modelo com uma nova configuração, que visava melhorar a capacidade de captação e aperfeiçoar o armazenamento dos resíduos urbanos (papéis, folhas, etc), que afetam o funcionamento normal destes dispositivos durante as precipitações de grandes magnitudes. As curvas de captação foram obtidas em laboratório através de modelos em concreto na escala 1:1, onde também se mediram os parâmetros hidráulicos que intervêm no fenômeno. Além disso, foram instalados protótipos nas ruas das cidades acima citadas com a finalidade de testar seu desempenho durante eventos reais. O dispositivo consistia basicamente de uma estrutura de ferro instalada dentro da boca-de-lobo, apresentada na Figura 4.21, onde foram observadas as seguintes vantagens em sua utilização: a boca-de-lobo foi projetada de acordo com uma estrutura de ferro articulada, que possibilitava sua retirada e a fácil limpeza; eliminação das diferenças entre as velocidades de entrada vertical do fluxo, devido à retenção dos resíduos; grande capacidade de descarga, mesmo contendo resíduos em seu interior; as grades de ferro horizontais externas, por possuírem ângulo transversal com o sentido do fluxo, facilitavam a aproximação e captação do escoamento.

As estruturas apresentadas pelos autores são uma boa alternativa para melhorar a eficiência do sistema e evitar o entupimento da tubulação.

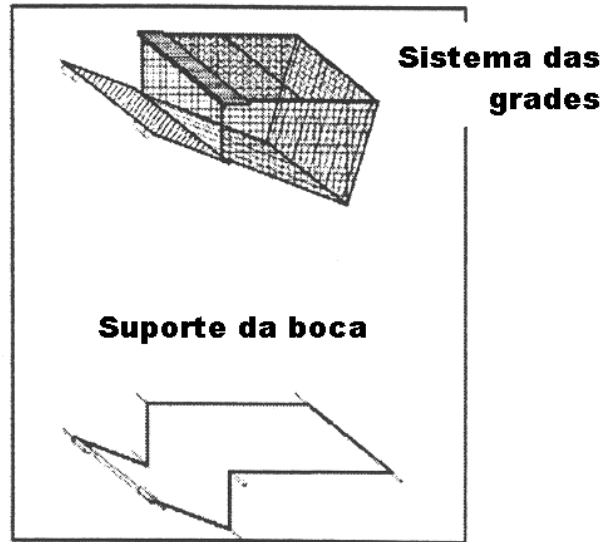
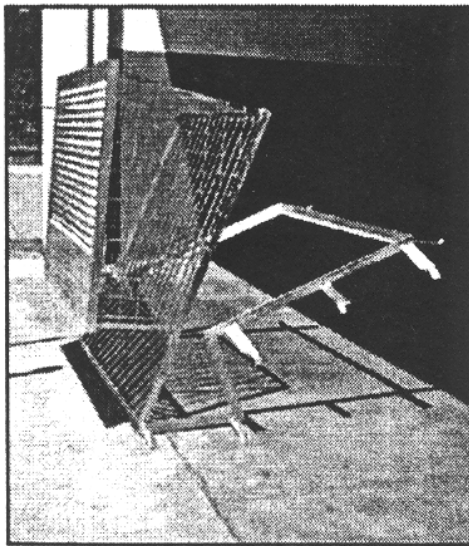


Figura 4.21. Esquema do dispositivo instalado na boca-de-lobo.

Fonte: Secchi e Mazzón (2000)

4.2 Considerações finais

Pela constatação de inúmeras pesquisas efetuadas por diversos autores, nota-se que é antiga a preocupação com a eficiência das estruturas de captação das águas pluviais.

Os estudos em modelos demonstraram que a boca-de-lobo com abertura na guia e sem depressão tem sua eficiência prejudicada com o aumento da declividade longitudinal e da declividade transversal da sarjeta.

A depressão na sarjeta aumenta significativamente a eficiência de captação, opção que deve ser adotada quando as condições da via e de tráfego permitirem, sendo este o fator restritivo de sua utilização.

Quanto às barras de ferro na sarjeta, a conclusão obtida por alguns autores sugere que aquelas instaladas longitudinalmente à guia são as mais eficientes, mas dependendo da porcentagem da vazão total que se deseja captar, (ver Tabela 4.3) e da vazão máxima de projeto, pode ser utilizada a disposição que melhor satisfaça as condições requeridas. Esta disposição favorável do ponto de vista hidráulico, porém pode não ser desejável para locais com fluxo habitual de pedestres.

Outra constatação é a de que os métodos computacionais vêm a agilizar os cálculos necessários para determinação da escolha mais adequada, visto à facilidade de agregação das variáveis envolvidas no fenômeno, mas que ainda são pouco utilizados.

Verifica-se também que as fórmulas empíricas desenvolvidas a partir de testes com modelos devem ser utilizadas com reservas, visto que as condições de campo consideram variáveis que não são consideradas em laboratório (materiais carregados, por exemplo).

Pelo exposto, o problema de definição da melhor estrutura de captação envolve muitas variáveis.

5 TIPOS DE BOCAS-DE-LOBO

5.1 Introdução

Neste capítulo, serão apresentados os principais tipos de bocas-de-lobo empregados nos projetos de drenagem urbana. Algumas grelhas de ferro-fundido padronizadas utilizadas em bocas-de-lobo com grade na sarjeta encontradas no mercado são apresentadas em Anexo.

5.2 Exemplos de bocas-de-lobo

Com relação ao planejamento de um sistema de micro-drenagem urbana os componentes mais afetados por problemas a eles relacionados são as bocas-de-lobo, sendo estes devidos principalmente à falta de normatização das estruturas e a questão do conflito com os pedestres. Esta falta de normatização pode ser verificada pelas diferentes definições encontradas na literatura sobre estes equipamentos de drenagem.

De acordo com a ABNT 2.10.11-012 – “Anteprojeto de Normas para Drenagem Urbana”, citado por Vaz Fº (2000), bocas-de-lobo são dispositivos localizados em pontos convenientes das sarjetas para captação das águas pluviais.

Segundo a CETESB (1979), citado por Vaz F° (2000), bocas-de-lobo vêm a ser aqueles dispositivos especiais para drenagem cuja finalidade é a captação das águas pluviais que escoam pelas sarjetas e, em seguida, conduzi-las às galerias ou tubulações subterrâneas, pertencentes ao sistema para drenagem inicial ou sistema de micro- drenagem urbana.

Como pode ser notado, em nenhuma das definições anteriores houve alguma especificação em relação à tipologia dessas estruturas. Tal carência de normatização acarreta problemas, que vão desde a utilização sem critério dos diferentes tipos de bocas-de-lobo, passando pela dificuldade em conseguir-se a produção de material científico de modo continuado, até a construção de estruturas inadequadas e ineficientes.

Segundo Vaz F° (2000a), outro aspecto que deve ser levado em consideração no planejamento diz respeito ao conflito existente entre bocas-de-lobo e a circulação de pedestres e ciclistas, que pode ser ocasionado tanto pelo posicionamento inadequado das estruturas de captação quanto pela utilização de grades e aberturas inadequadas, principalmente quando instaladas nos cruzamentos das vias públicas. A manutenção incorreta do sistema pode ocasionar também problemas de segurança e hidráulicos. Com relação à segurança destaca-se a má conservação e ausência de tampões e grades na boca-de-lobo. Quanto aos problemas hidráulicos, estes dizem respeito à capacidade de engolimento que, via de regra, é menor que a calculada, em razão de fatores como o entupimento causado pelos detritos lançados pela população, detritos carregados pelo escoamento e ausência ou falha no serviço de limpeza dos logradouros e bocas-de-lobo. Os principais inconvenientes causados por estas estruturas. Como exemplos de estruturas mal projetadas podem ser citadas: a presença da laje avançando sobre a sarjeta, bocas-de-lobo com grelhas em trilhos muito espaçados e mal localizados, as quais prejudicam principalmente o tráfego de ciclistas e até motociclistas e quanto à utilização de grelhas fixas, que dificultam a limpeza, provocando o acúmulo de água na via. Estruturas com estas características ao apresentadas nas Figuras 5.1 a 5.3.

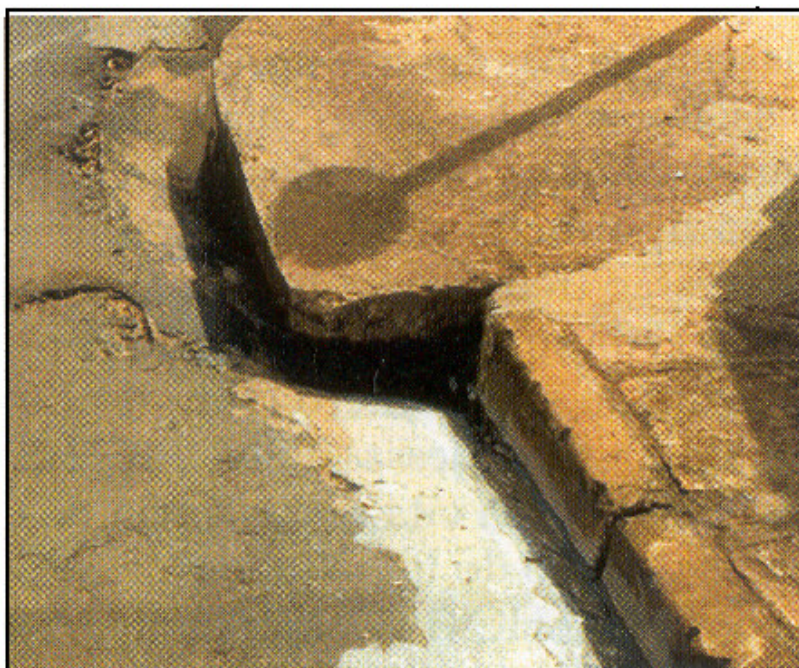


Figura 5.1. Boca-de-lobo simples avançando sobre a sarjeta.

Fonte: Vaz F^o (2000a)



Figura 5.2. Boca-de-lobo com grelha em trilhos.

Fonte: Vaz F^o (2000a)



Figura 5.3. Boca-de-lobo com grelha quadriculada fixa.

Fonte: Vaz F^o (2000a)

5.3 Classificações

Outro problema proveniente da falta de padronização é a divergência de classificações sugeridas por diversos autores. Na literatura, podem ser encontradas diferentes denominações para a mesma boca-de-lobo.

Fendrich (1988) e Tucci (1995) *apud* Vaz F^o (2000), dividem as bocas-de-lobo em três grupos, sendo eles: Bocas ou Ralos de Guia, Ralos de Sarjeta e Ralos Combinados. Todos estes podendo ser rebaixados (em relação à superfície do leito carroçável) e múltiplos (existindo mais de uma estrutura).

Botelho (1985), citado por Vaz F^o (2000), divide em quatro tipos as estruturas que captam a água: boca-de-lobo, boca-de-leão, caixa com grelha e boca contínua de captação.

Segundo Chow (1964), CETESB (1979) e FHWA (1984), *apud* por Vaz F° (2000), as bocas-de-lobo podem ser com grelha, simples ou combinada. Tais classificações são as mais encontradas na bibliografia e que melhor enquadram as estruturas mais comumente encontradas nas ruas da região de Campinas. Dessa forma, tem-se:

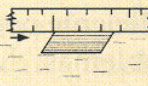
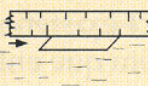
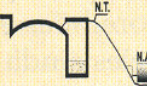
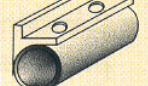
- Boca-de-lobo simples: apresenta abertura vertical na guia e possui uma caixa localizada abaixo da calçada, cuja tampa se encontra no nível da mesma.
- Boca-de-lobo com grelha: possui barras longitudinais ou transversais em sua abertura e caixa localizada sob a faixa da sarjeta.
- Boca-de-lobo combinada: é composta pela combinação das bocas-de-lobo simples e com grelha numa mesma estrutura. Sua grelha é comumente situada defronte da abertura.

A classificação adotada por Wilken (1978) é similar à anterior. O autor apresenta bocas-de-lobo com abertura na guia ou com grade, podendo haver depressão ou seção uniforme, em ambos os casos:

- Boca-de-lobo com abertura na guia: “a caixa fica situada sob o passeio. A sarjeta adjacente à boca-de-lobo pode ser normal (contínua) ou com depressão. Pode ficar localizada em trecho de sarjeta de declividade uniforme ou em ponto baixo do “*grade*” da rua”.
- Boca-de-lobo com grade: “caixa fica situada sob a faixa da sarjeta. Se estiver localizada em pontos baixos do “*grade*” da rua é mais eficiente que o tipo com abertura na guia”.

A seguir é apresentado o Quadro 5.1, que apresenta classificações sugeridas por diferentes autores, de acordo com Vaz F° (2000a).

Quadro 5.1. Classificações das bocas-de-lobo adotadas por diversos autores.

AUTOR	CLASSIFICAÇÃO					
						
TUCCI et al (1995b)	Boca ou Ralo de Guia	Ralo de Sarjeta	Ralo Combinado	Boca-de-Lobo com Fenda Horizontal Longitudinal	-----	-----
FENDRICH et al (1988)	Boca ou Ralo de Guia	Ralo de Sarjeta	Ralo Combinado	Boca-de-Lobo com Fenda Horizontal Longitudinal	-----	Boca-de-Lobo tipo TUBOG
CETESB (1979), CHOW (1964), FHWA (1984) e WILKEN (1978)	Boca-de-Lobo com Abertura na Guia ou Simples	Boca-de-Lobo com Grelha	Boca-de-Lobo Combinada	-----	-----	-----
BOTELHO (1985)	Boca-de-Lobo	Boca-de-Leão	-----	Caixa com Grelha ou Ralo	Boca Contínua de Captação	-----

Fonte: Vaz F° (2000a)

O autor ainda destaca a classificação das bocas-de-lobo de acordo com as suas localizações, podendo estas ser as de pontos intermediários ou de pontos baixos de sarjetas. As bocas-de-lobo de pontos intermediários de sarjetas são aquelas que se localizam em pontos de declividade de mesmo sentido, tanto à montante, como à jusante. Dessa forma, a entrada de água se dá apenas por uma das extremidades da estrutura.

As bocas-de-lobo de pontos baixos de sarjetas são aquelas localizadas em pontos de declividade de sentidos contrários, à montante e à jusante. Logicamente, tais declividades são positivas, de modo que a estrutura esteja localizada num ponto baixo, havendo entrada de água em ambas as extremidades.

5.4 Bocas-de-lobo padrão

Vicentini (1993) apresentou as especificações para a execução de bocas-de-lobo adotadas pela Prefeitura Municipal de Campinas, há mais de vinte anos. A boca-de-lobo padrão possui guia vazada com grade, como mostra a Figura 5.4.

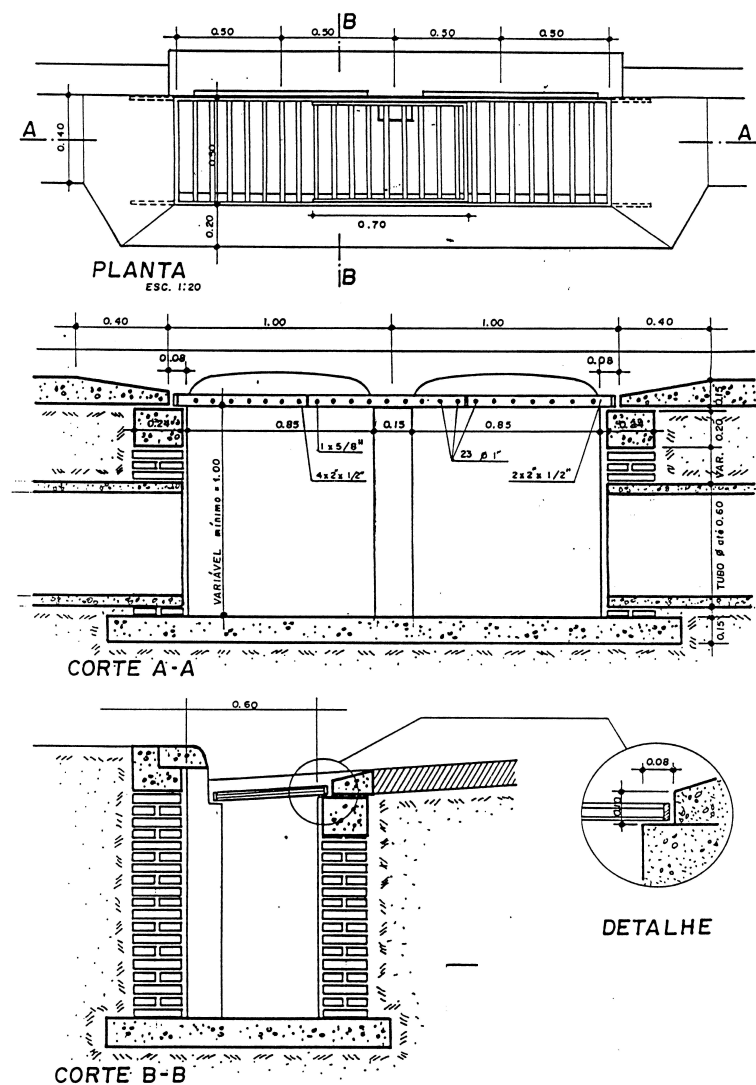


Figura 5.4. Boca-de-lobo padrão utilizada em Campinas/SP.

Fonte: Vicentini (1993)

O padrão de bocas-de-boca da cidade de Araras (SP), também é similar ao de Campinas. É uma estrutura com dupla grade e dupla abertura, como mostrado na Figura 5.5. Tais estruturas apresentam dimensões relativamente grandes, o que facilita a limpeza e manutenção. Elas

também dispensam maiores cuidados na execução, pois não há necessidade de se fazer uma depressão.

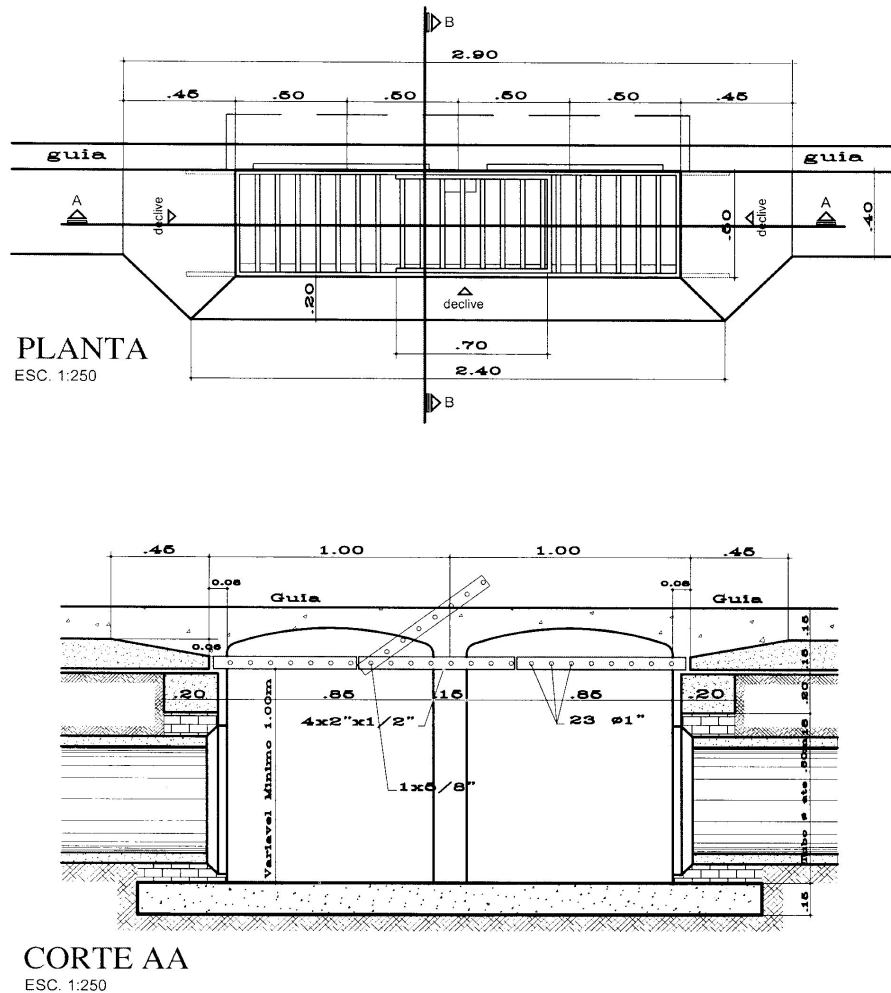


Figura 5.5. Boca-de-lobo padrão utilizada em Araras/SP.

Fonte: Vicentini (1993)

Nos últimos anos, foi notada a tendência das prefeituras de diferentes cidades da região de Campinas a utilizarem um padrão similar ao definido pela Figura 5.4.

Vaz F° (2000) destaca a situação da cidade de Porto Alegre, que devido a sua localização – cerca de apenas três metros acima do nível do mar, ou seja, praticamente no mesmo

nível dos rios Gravataí e Guaíba – apresentou graves problemas com a drenagem urbana ao longo de sua história. Tal fato talvez explique o cuidado com que o tema é tratado na capital gaúcha, o que levou a administração a criar diversos órgãos com a finalidade de melhorar a drenagem da cidade.

Em 1973, foi criado o DEP (Departamento de Esgotos Pluviais), que ficou responsável pelas bocas-de-lobo existentes na cidade. Um dos cuidados que o órgão tem na execução das estruturas drenantes é a colocação de bocas-de-lobo com grelha somente defronte às residências o que facilita a limpeza e manutenção das estruturas. As Figuras 5.6 e 5.7 apresentam um esquema das bocas-de-lobo utilizadas pelo DEP na cidade de Porto Alegre.

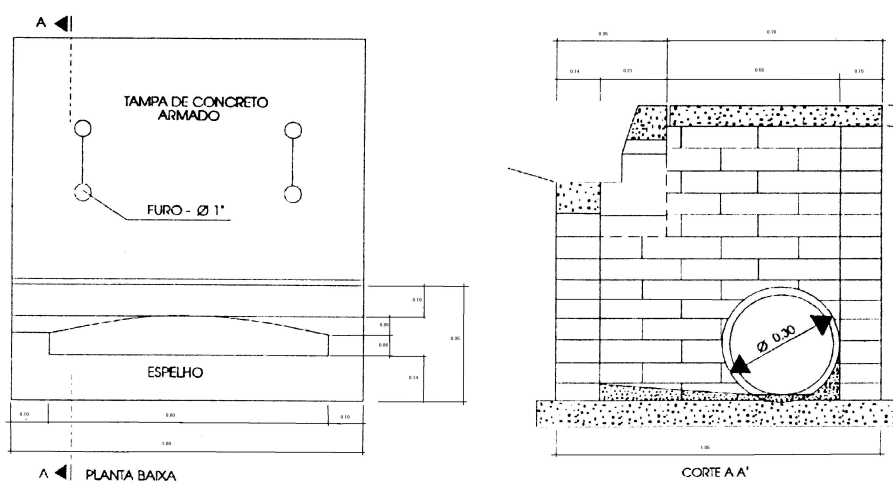
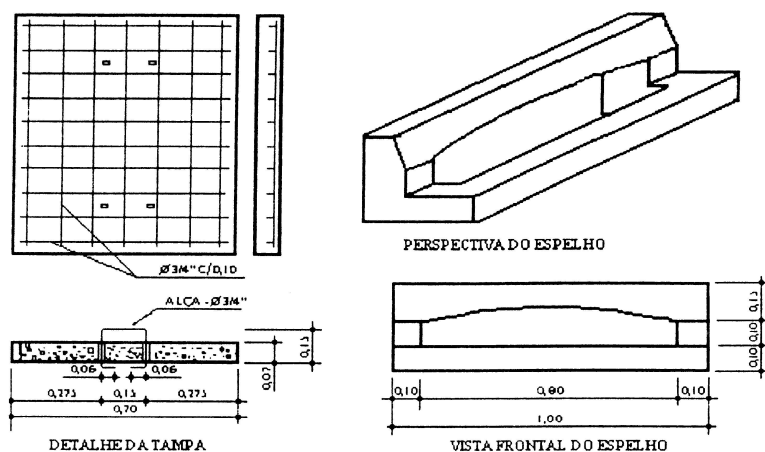


Figura 5.6. Esquema de boca-de-lobo utilizada em Porto Alegre/RS.

Fonte: Vaz (2000).



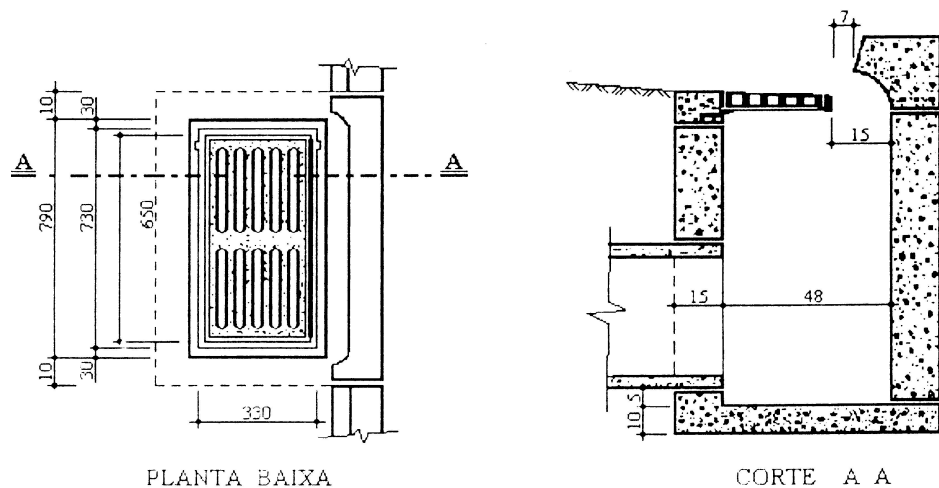
OBS. : medidas em metros

SEM ESCALA

Figura 5.7. Perfil de boca-de-lobo utilizada em Porto Alegre/RS.

Fonte: Vaz F^o (2000).

A cidade de Curitiba/PR apresentou problemas com relação a furtos das grades das bocas-de-lobo utilizadas na periferia da cidade. Por essa razão, a prefeitura da capital paranaense possui dois padrões de bocas-de-lobo, uma com grelha de ferro fundido, representada na Figura 5.8, que é utilizado no centro, e outra com grelha de concreto, Figura 5.9, que são utilizadas na periferia da cidade.



OBS. : medidas em centímetros

SEM ESCALA

Figura 5.8. Esquema de boca-de-lobo com grelhas de ferro fundido utilizada em Curitiba/PR.

Fonte: Vaz F^o (2000)

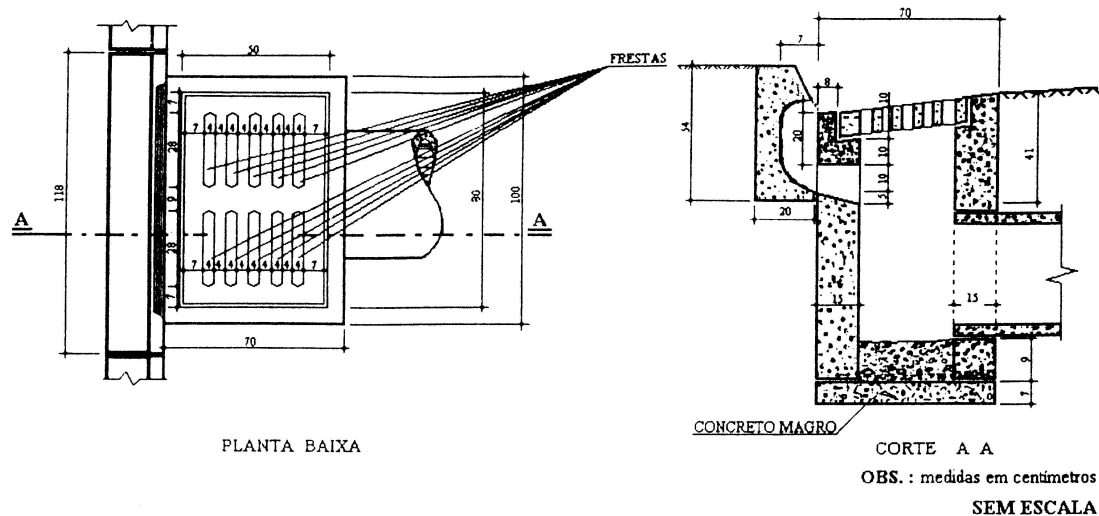


Figura 5.9. Esquema de boca-de-lobo com grelhas de concreto utilizada em Curitiba/PR.

Fonte: Vaz F^o (2000)

Outro tipo de boca-de-lobo comumente utilizada é a combinada, representada pela Figura 5.10.

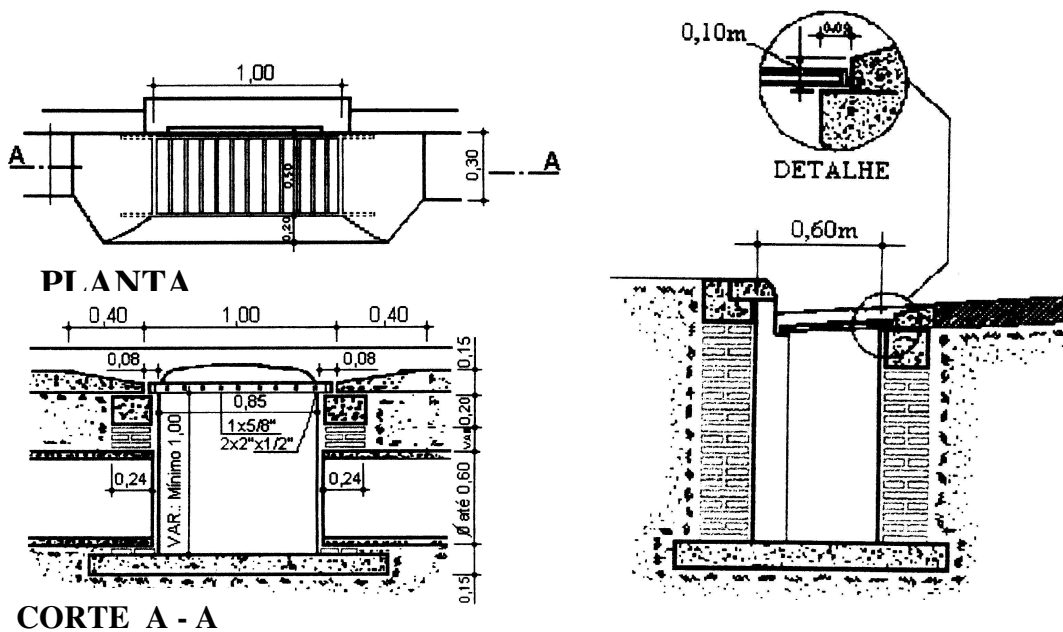


Figura 5.10. Boca-de-lobo do tipo combinada utilizada em Curitiba/PR.

Fonte: Vaz F^o (2000).

5.5 Fotos ilustrativas

Nas Figuras 5.11 a 5.22 se apresenta uma série de fotos de bocas-de-lobo existentes em algumas cidades da região de Campinas. Estes são alguns exemplos da falta de padronização na construção de bocas-de-lobo.

Por meio das ilustrações, nota-se que os tipos de bocas-de-lobo predominantes são aquelas com abertura na guia, com grade, combinadas (abertura e grade), podendo estas estruturas ser simples ou múltiplas.

Também podem ser salientados alguns problemas apresentados por estas estruturas de drenagem. Falta de manutenção, de limpeza e recapeamento das vias, são os exemplos mais comuns.



Figura 5.11. Boca-de-lobo simples, com abertura na guia e grade.

Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP.



Figura 5.12. Boca-de-lobo múltipla com abertura na guia e grade.
Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP.



Figura 5.13. Boca-de-lobo simples e com grade.
Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP.



Figura 5.14. Boca-de-lobo múltipla e com grade.

Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP.



Figura 5.15. Boca-de-lobo simples e com abertura na guia.

Estrutura localizada no campus da UNICAMP/Campinas/SP.



Figura 5.16. Boca-de-lobo múltipla e com abertura na guia com depressão.
Estrutura localizada na cidade de Campinas/SP.



Figura 5.17. Boca-de-lobo com grade totalmente entupida.
Estrutura localizada na cidade de Campinas/SP.



Figura 5.18. Boca-de-lobo com grade que apresenta problema devido ao recapeamento.
Estrutura localizada na cidade de Campinas/SP.



Figura 5.19. Boca-de-lobo múltipla com abertura na guia e com grade.
Estrutura localizada na cidade de Limeira/SP.



Figura 5.20. Boca-de-lobo múltipla com grade – Devido ao recapeamento.
Estrutura localizada na cidade de Campinas/SP.



Figura 5.21. Boca-de-lobo múltipla com grade.
Estrutura localizada na cidade de Limeira/SP.



Figura 5.22. Boca-de-lobo simples com grade.
Estrutura localizada na cidade de Limeira/SP.

Segundo CETESB (1979), citado por Vaz (2000), o recapeamento asfáltico eleva a declividade da transversal das vias públicas, diminuindo a seção transversal para o escoamento d'água e causando desconforto aos usuários quando estacionam seus veículos. Esta situação, bem como o acúmulo de resíduos nas bocas-de-lobo, deve ser evitada, pois diminuem consideravelmente a eficiência das estruturas.

6. METODOLOGIA

6.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados a descrição do banco de ensaio e os procedimentos metodológicos utilizados na obtenção dos resultados.

6.2 O banco de ensaio

Para o desenvolvimento deste trabalho foi montado um banco de ensaio que representa o protótipo na escala 1:3.

Um canal metálico de 4,0m de comprimento e 0,75m de largura foi construído no laboratório de Hidráulica da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP. Um esquema da instalação do banco de ensaio é apresentado na Figura 6.1.

O canal foi montado sobre apoios móveis que permitiam variar a declividade longitudinal entre $0 < I_L < 20\%$ e construído em módulos para permitir a troca da boca-de-lobo. A abertura da boca-de-lobo foi instalada a 2,50m da extremidade de montante. O ângulo entre a guia e sarjeta foi fixado em 90° . A declividade transversal variava com auxílio de dobradiças,

formando um ângulo com a vertical entre $5 < \text{tg}\theta < 20$.

O canal foi pintado com tinta esmalte sintético para proporcionar uma superfície lisa e uniforme.

A vazão utilizada era recalcada do reservatório de alimentação do laboratório e conduzida à instalação por uma tubulação de 0,150m de diâmetro. A partir de uma derivação com uma válvula de controle, o fluxo seguia por uma tubulação de PVC com 0,075m de diâmetro até a caixa de tranquilização, instalada à montante do banco de ensaio. A caixa de tranquilização consistia de uma caixa de amianto com capacidade de 500 litros, e foi utilizada para estabilizar o fluxo de entrada ao modelo. Nesta tubulação, foi instalado o medidor de vazão tipo *ultrassom*. O aparelho utilizado foi o “Modelo System 990 Uniflow com leitura digital”, que media o escoamento na linha de alimentação ao banco de ensaio.

A profundidade do fluxo, tanto à montante, quanto à jusante da captação, foi determinada por meio de escalas limnimétricas fixadas na lateral da guia. Para escoamentos com profundidades muito baixas, a determinação foi feita indiretamente com o auxílio de uma régua, que media a largura horizontal B do escoamento na sarjeta e das relações geométricas obtidas da Figura 6.11.

A vazão captada pela boca-de-lobo foi conduzida até um canal auxiliar no qual estava instalada uma calha Parshall. A calha Parshall, previamente calibrada, possuía 0,05m de garganta. As vazões muito baixas foram medidas volumetricamente. Determinava-se o volume captado pela boca-de-lobo em um intervalo de tempo. Para isso foram utilizados um recipiente (com capacidade de 4 litros e precisão de 0,25 litros) e uma proveta graduada (1000ml). O tempo era determinado com um cronômetro digital.

As Figuras 6.1 a 6.6 mostram detalhes do banco de ensaio. A captação do escoamento pela boca-de-lobo com defletores é mostrada na Figura 6.7.

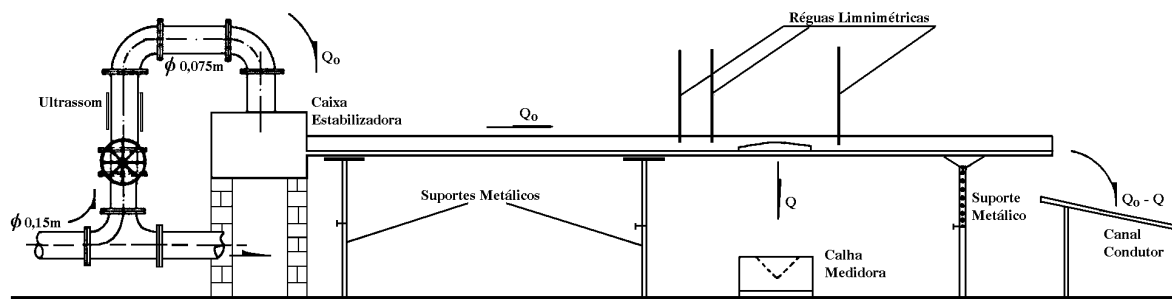


Figura 6.1. Esquema do banco de ensaio.
(Dimensões sem escala)



Figura 6.2. Banco de ensaio com o reservatório de estabilização a montante.



Figura 6.3. Articulação necessária para auxiliar a mudança da declividade longitudinal.



Figura 6.4. Suportes auxiliares para garantir a verticalidade da guia.

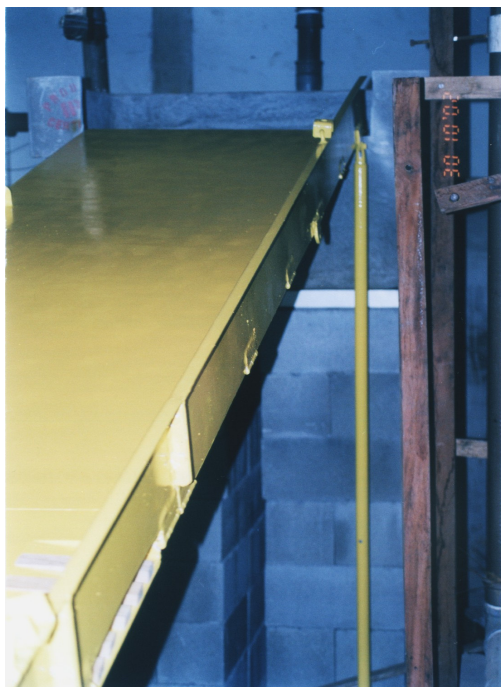


Figura 6.5. Dobradiças necessárias às variações de declividade transversal.



Figura 6.6. Canal de alvenaria com calha Parshall instalada.



Figura 6.7. Captação do escoamento pela boca-de-lobo com defletores.
(modelo 1:3)

6.3 Procedimentos experimentais

Os defletores foram instalados em uma boca-de-lobo padrão, conforme a utilizada na cidade de São Paulo, com abertura na guia sem depressão na sarjeta, mostrada na Figura 4.12.

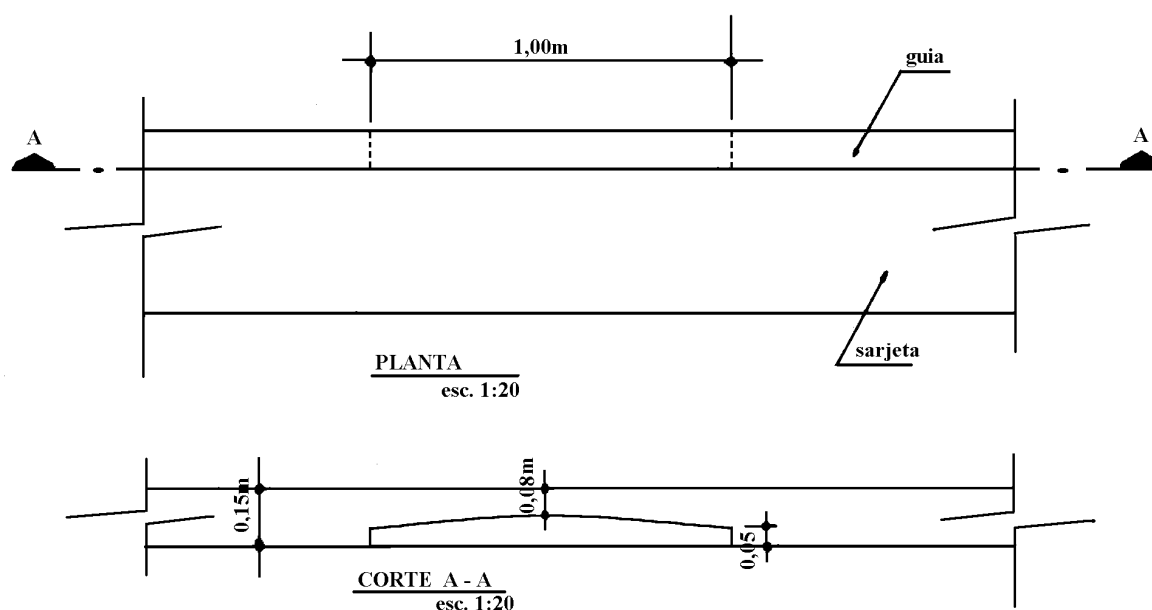


Figura 4.12. Boca-de-lobo sem depressão (padrão da Prefeitura de São Paulo).

Fonte: Souza (1986)

- **Defletores**

Os defletores consistiam de cunhas de madeira instalados à frente da abertura da guia e dispostos a 90° com as linhas de fluxo. Suas dimensões foram definidas com base nas dimensões da boca-de-lobo tomada como base do estudo. Portanto, a altura dos defletores corresponde à profundidade da depressão na sarjeta de uma boca-de-lobo padrão com depressão (Figura 4.11). A largura e profundidade dos defletores e a largura das fendas foram definidas de modo que não

causem desconforto nem perigo aos pedestres com sua instalação. Em ensaios realizados por Li, Goodell e Geyer (1954) em modelos na escala 1:1 para determinar os efeitos da instalação de defletores sobre a movimentação do tráfego, foi demonstrado que defletores com largura das fendas c de até 10cm, aproximadamente, não causam nenhuma vibração aos ocupantes de veículos, quando estes utilizam a sarjeta como faixa de rolamento. Por outro lado, larguras dos defletores superiores a 10cm podem provocar acidentes com pedestres, em razão da disposição adotada, principalmente no caso em estudo (perpendiculares à linha de fluxo na sarjeta), como o enroscamento dos pés no defletor, por exemplo. As Figuras 6.8 a 6.10 apresentam a disposição de instalação dos defletores no modelo e as dimensões dos defletores ensaiados. O comprimento d dos defletores é o mesmo da largura da sarjeta padrão ($d = 15$ cm).

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram utilizadas duas configurações de defletores para a mesma boca-de-lobo, que consistia basicamente na mudança da relação $c/b = 2$ para $c/b = 1,5$, em que c corresponde à largura dos defletores e b ao espaçamento entre eles.

Os ensaios foram realizados com duas configurações de defletores:

- Configuração 1: $a = 1,7$ cm; $b = 1,7$ cm e $c = 3,3$ cm (relação $c/b \approx 2,0$).
- Configuração 2: $a = 1,7$ cm, $b = 2,6$ cm e $c = 3,3$ cm (relação $c/b \approx 1,5$).

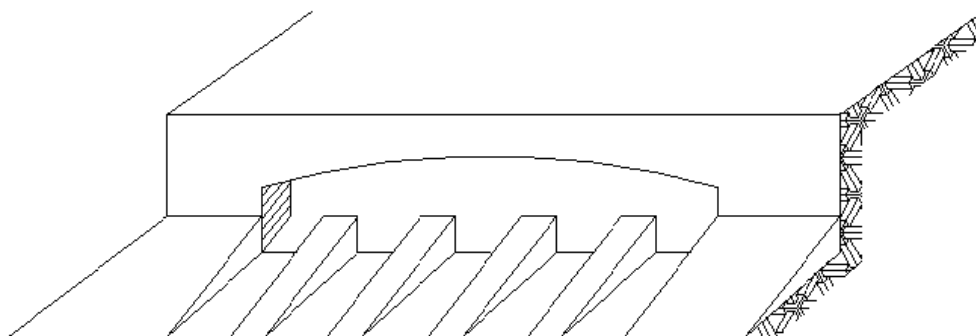


Figura 6.8. Disposição dos defletores no modelo.

(Modelo 1:3)

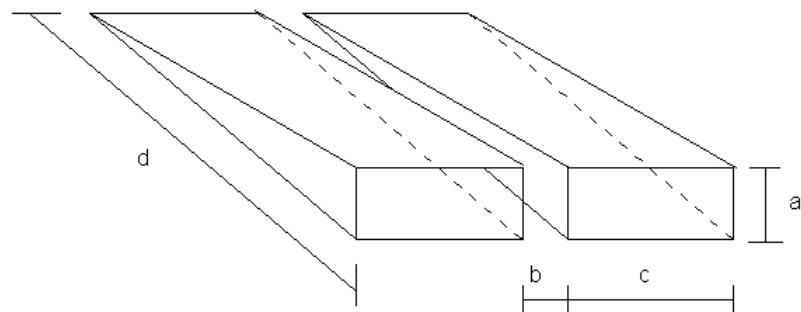


Figura 6.9. Esquema dos defletores.

(Modelo 1:3)



Figura 6.10. Defletores instalados na boca-de-lobo.

Foram realizadas quatro variações na declividade transversal sendo que para cada uma foram realizadas variações na declividade longitudinal, iniciando-se com 0,01m/m. Efetuaram-se

também medições da vazão média à montante da boca-de-lobo, da altura do fluxo pela guia e da vazão captada.

O procedimento dos ensaios era o seguinte. Definida a configuração dos defletores, estes eram instalados na boca-de-lobo. Em seguida adotava-se uma declividade longitudinal (1 a 20%) e fixava-se o ângulo entre a guia e a sarjeta para valores de 80, 82, 85 e 87° ($5,67 < \text{tg}\theta < 19,08$), alternadamente. A bomba era ligada e a água conduzida até o banco de ensaio. Esperava-se até a estabilização do escoamento e então se procedia à leitura da vazão de entrada Q , com o auxílio do medidor ultrassom. A vazão captada na boca-de-lobo era medida na calha ou volumetricamente. Faziam-se as leituras da altura d'água na entrada da calha.

6.4 Definição da eficiência da boca-de-lobo

Para a determinação da eficiência Q/Q_0 de uma boca-de-lobo, faz-se necessário medir a vazão captada Q e a vazão da sarjeta à montante da entrada Q_0 . A vazão captada depende principalmente do comprimento L da boca-de-lobo e da profundidade máxima y_0 associada ao escoamento. A seção típica de sarjeta é apresentada na Figura 6.11.

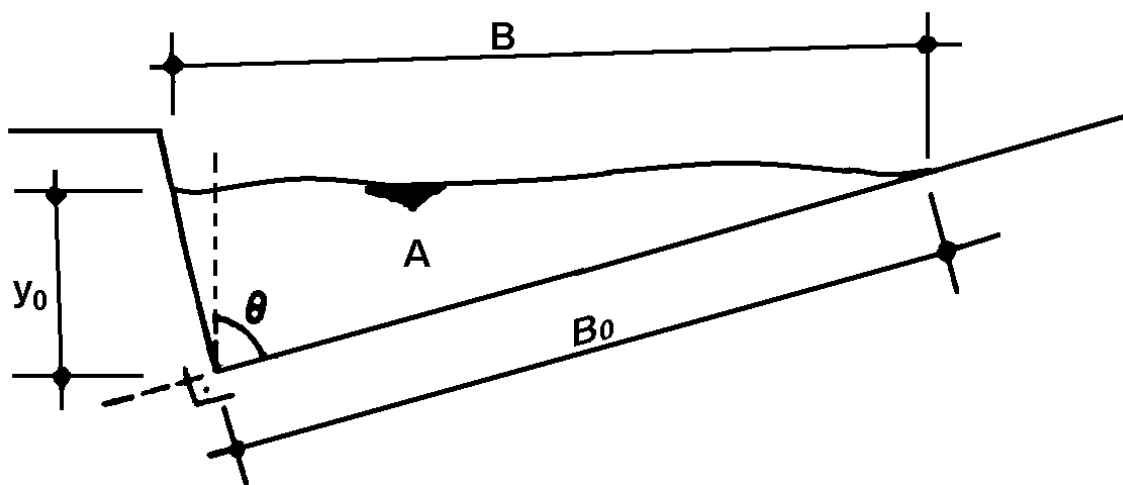


Figura 6.11. Seção típica de sarjeta.

Fonte: Souza (1986)

A partir da Figura 6.11 podem ser definidas as seguintes relações:

$$y_o = B_o \cos \theta$$

$$B = B_o / \sin \theta$$

$$T = \tan \theta$$

$$A = B_o^2 / (2T)$$

$$P = B_o (1 + 1/T)$$

$$R_H = B_o / (2(1 + T))$$

A vazão e a profundidade são relacionadas por meio de uma lei de resistência ao escoamento na sarjeta, quando o escoamento é suposto permanente e uniforme. Tanto o escoamento em condutos livres quanto em condutos forçados são influenciados pela rugosidade relativa e pelo número de Reynolds. A equação (6.1) apresenta a relação funcional que define a eficiência de captação.

$$\frac{Q}{Q_o} = \varphi \left(\frac{L}{y_o \tan \theta}, \sqrt{i/f}, G \right) \quad (6.1)$$

onde G é um parâmetro adimensional que corresponde às características geométricas da sarjeta próxima da seção de captação (por exemplo, uma depressão na sarjeta).

Para um caso particular, a equação (6.1) pode ser reescrita como apresentado na equação (6.2). O segundo termo do equacionamento será definido por ajustes aos dados experimentais, para cada geometria de boca-de-lobo e de sarjeta ensaiados.

$$\frac{Q}{Q_o} = \varphi \left(\frac{L}{y_o \tan \theta}, \sqrt{i/f} \right) \quad (6.2)$$

6.5. Resistência ao escoamento

A grande dificuldade no estabelecimento de uma lei de eficiência hidráulica para uma boca-de-lobo está relacionada com a determinação da lei de resistência ao escoamento na sarjeta.

De acordo com o trabalho de Kazemipour e Apelt *apud* Souza (1986), sobre o efeito de forma na lei de resistência a um escoamento uniforme em canal, a ocorrência mais freqüente é o escoamento do tipo turbulento de transição. Para escoamentos classificados como raso, ou seja, $B/y_0 > 10$ (no qual B é a largura da sarjeta, medida na horizontal e y_0 é a profundidade do fluxo) e nos casos de sarjetas com seção típica, como apresentada na Figura 6.1, pode ser utilizada a fórmula universal da perda de carga. A equação (6.3) apresenta a fórmula universal de perda de carga usada para se modelar a lei de resistência ao escoamento uniforme em canal.

$$\Delta H = f \frac{L}{D_H} \frac{V^2}{2g} \quad (6.3)$$

em que ΔH é a perda de carga (m/m); f é o fator de atrito; D_H é o diâmetro hidráulico da seção (m); L é o comprimento da boca-de-lobo (m); V é a velocidade média do escoamento (m/s) e g a força gravitacional (m/s^2).

O fator de atrito f será calculado pela fórmula de Colebrook-White, apresentada na equação (6.3a), sendo o número de Reynolds R obtido pela equação (6.3b).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,71 D_H} + \frac{2,51}{R \sqrt{f}} \right) \quad (6.3a)$$

$$R = \frac{V D_H}{\nu} = \frac{4 V R_H}{\nu} \quad (6.3b)$$

em que ε é a rugosidade do canal (m); R_H é o raio hidráulico da seção (m) e ν é a viscosidade cinemática do fluido (m^2/s).

Partindo do pressuposto de que no escoamento uniforme em canal a perda de carga é expressa por $\Delta H/L = i$, a fórmula universal da perda de carga apresentada na equação (6.3) pode ser reescrita pela combinação de suas variáveis. Obtém-se daí uma nova relação, demonstrada pela equação (6.4). Deve ser observado o fato de que o critério de semelhança dinâmica para escoamento à superfície livre é, em geral, baseado na igualdade do número de Froude entre modelo e protótipo ($F_m = F_p$), que é obtido pela equação (6.5).

$$V = \sqrt{8gR_H} \sqrt{i/f} \quad (6.4)$$

$$F = \frac{V}{\sqrt{gy_0}} \quad (6.5)$$

sendo definido que $D_H = 4R_H$

Utilizando-se os relacionamentos obtidos da Figura 6.11, a equação (6.4), pode ser reescrita como apresentada na equação (6.6):

$$V = \sqrt{\frac{8g}{2(1+T)\cos\theta}} \sqrt{y_0} \sqrt{i/f} \quad (6.6)$$

que é a velocidade média do escoamento à montante da boca-de-lobo.

A partir da relação obtida da Figura 6.11 em que $A = B_0^2 / (2T)$, e da equação (6.6), chega-se à equação (6.7), que expressa a vazão de aproximação à montante da boca-de-lobo.

$$Q_0 = \frac{y_0^2}{2T \cos^2 \theta} \sqrt{\frac{8g}{2(1+T)\cos\theta}} \sqrt{y_0} \sqrt{\frac{i}{f}} \quad (6.7)$$

6.6 Leis de semelhança e efeitos de escala

A escala fundamental para qualquer tipo de modelo hidráulico é a escala geométrica, ou seja, a relação entre uma medida no modelo e uma medida no protótipo. A escolha dessa escala depende do sistema a ser estudado e do espaço físico disponível no laboratório. Em seguida, a semelhança dinâmica deve ser empregada para se definir as outras escalas necessárias para que as medidas efetuadas no modelo possam ser usadas para determinar os valores no protótipo.

As leis de semelhança mais apropriadas para os modelos hidráulicos são aquelas que consideram as forças gravitacionais e viscosas, sendo que as escalas definidas para a velocidade, comprimentos, tempos, etc, são requisitos particulares da semelhança dinâmica, tanto para a semelhança de Froude quanto para a semelhança de Reynolds.

Um sistema fluido está sujeito a um sistema complexo de forças, que em muitas vezes não é possível satisfazer simultaneamente todos os critérios de semelhança, como é o caso de um modelo e um protótipo utilizando o mesmo fluido. Portanto, considerando-se o fato que é praticamente impossível construir um modelo que seja fisicamente similar ao protótipo em todos os aspectos, deve-se construir um modelo baseado na escolha de escalas apropriadas em função da força dominante no evento, deixando-se outras forças menos importantes fora de escala. Esse fato provoca erros nos resultados obtidos denominados de “efeitos de escala”.

No caso de um escoamento turbulento em canais, a força dominante é a força gravitacional. O efeito da turbulência diminui o efeito das forças viscosas, bem como as forças de tensão superficial, que podem ser consideradas desprezíveis. Nesse caso, o escoamento pode ser modelado com base na semelhança de Froude.

As escalas necessárias à condição de semelhança de Froude são as seguintes:

$$\lambda = y_{0m}/y_{0p} \quad (\text{escala geométrica})$$

$$\lambda_v = v_m/v_p = \lambda^{1/2} \quad (\text{escala de velocidades}),$$

$$\lambda_Q = Q_m/Q_p = \lambda^{5/2} \quad (\text{escala de vazões}),$$

$$\lambda_t = t_m/t_p = \lambda^{1/2} \quad (\text{escala dos tempos})$$

A partir da escala geométrica de semelhança entre modelo e protótipo, obtém-se as equações (6.8) e (6.9):

$$\frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{y_{0m}}{y_{0p}}} = \sqrt{\lambda} \quad (6.8)$$

$$\frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{y_{0m}}{y_{0p}}} \sqrt{\frac{i_m}{f_m}} \sqrt{\frac{f_p}{i_p}} \quad (6.9)$$

O escoamento será afetado por “efeitos de escala” devidos à viscosidade e à rugosidade, caso esta não possa ser reproduzida com semelhança. Para minimizar os problemas causados pelo efeito de escala devido à rugosidade e para que o critério de Froude seja cumprido, faz-se necessária uma distorção na escala, obtida pela comparação das equações (6.8) e (6.9). A relação obtida é mostrada na equação (6.10) e indica que, no caso de a rugosidade (fator de atrito) no modelo ser maior que no protótipo, $f_m > f_p$, é necessário para a distorção que a declividade do modelo também seja maior que do protótipo, ou seja, $i_m > i_p$.

$$\sqrt{\frac{i_m}{f_m}} = \sqrt{\frac{i_p}{f_p}} \quad (6.10)$$

7 RESULTADOS E ANÁLISE

7.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios realizados e a análise dos mesmos.

7.2 Resultados dos ensaios

Primeiramente fez-se a calibração da calha *Parshall* com o uso do medidor *ultrassom*. A curva Cota – Vazão obtida é mostrada na Figura 7.1

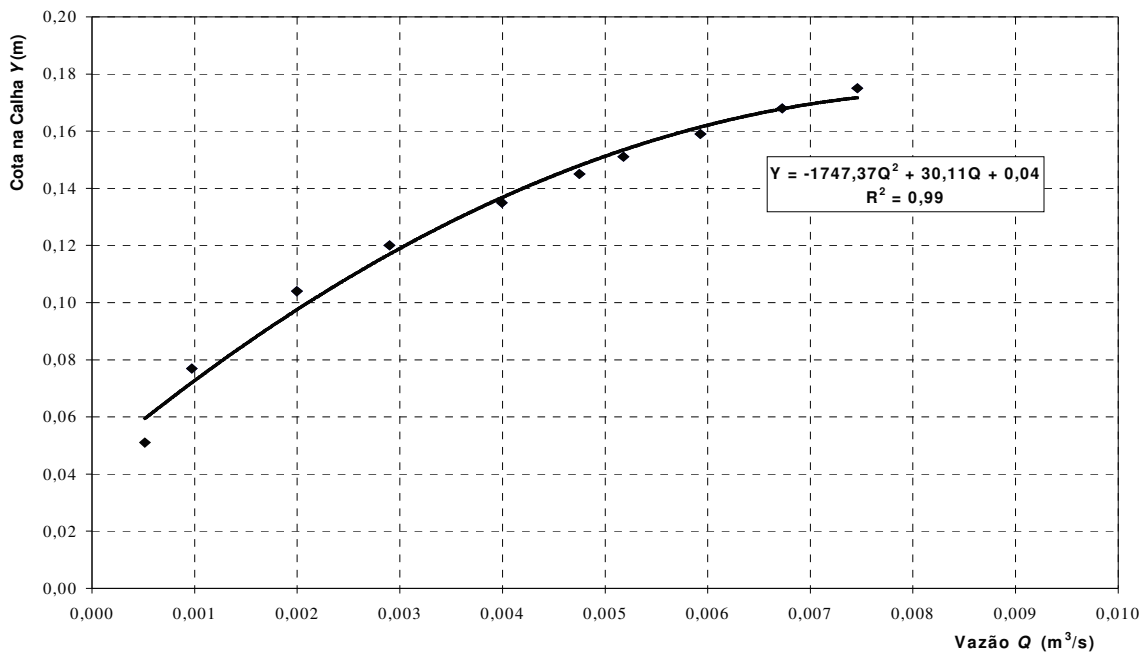


Figura 7.1. Curva Cota – Vazão para a calha Parshall.

Na primeira fase dos testes, o modelo foi ensaiado com uma boca-de-lobo padrão sem defletores com entrada pela guia e sem depressão na sarjeta com $\theta = 85^\circ$ ($\text{tg } \theta = 11,43$). A Figura 7.2 apresenta o comportamento hidráulico alcançado, para uma taxa de captação entre $0,5 < Q/Q_0 < 1,0$. A lei de captação definida pelos pares de valores $(Q_0 / L) \times y_0$ obtidos no ensaio é compatível com a equação (4.17a), definida por Souza (1986) e, portanto este banco de ensaio representa adequadamente o escoamento da boca-de-lobo padrão na escala 1:3, (apresentada na Figura 4.12). Sendo assim, o banco de ensaio se mostra adequado para que sejam realizados estudos referentes ao modelo de uma boca-de-lobo sem depressão com o emprego de defletores em frente à entrada na guia.

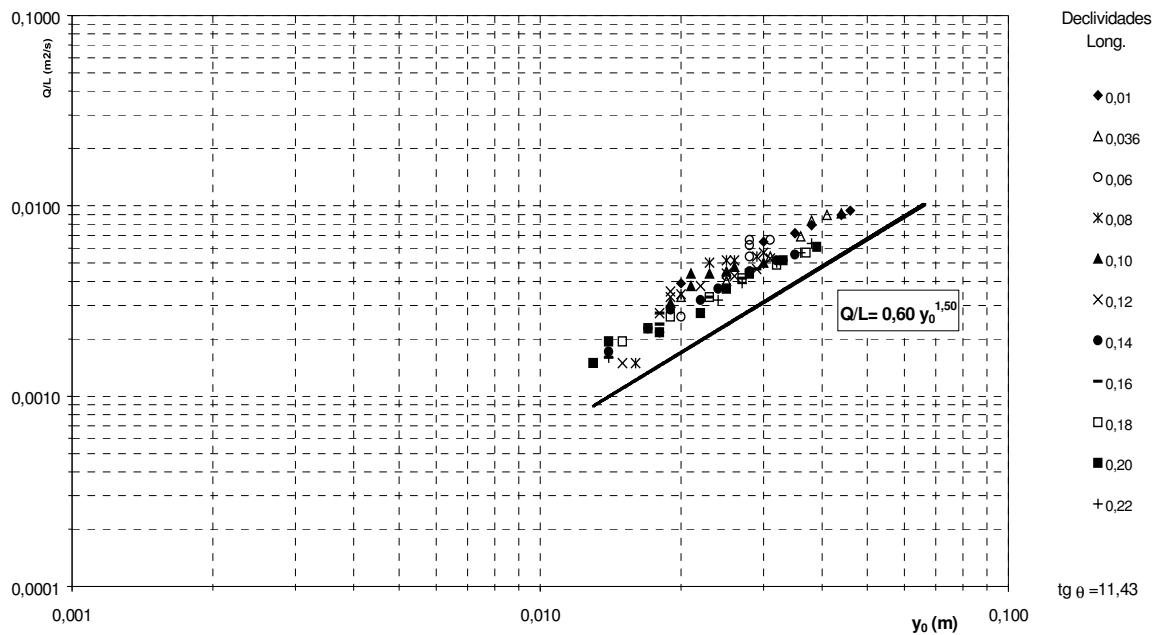


Figura 7.2. Valores experimentais de $(Q_0 / L) \times (y_0)$.
- boca-de-lobo sem depressão e sem defletores ($\text{tg} \theta = 11,43$).-

Na segunda fase, seguindo a metodologia descrita no Capítulo 6, foram realizados os testes para as duas configurações de defletores adotadas.

Nos gráficos das Figuras 7.3 a 7.6 são apresentados os valores da captação Q/L em função da altura d'água y_0 , para a relação $c/b = 2,0$.

Os gráficos das Figuras 7.7 a 7.11 mostram os valores da captação com a configuração dos defletores em que $c/b = 1,5$.

Nesta fase, também em ambas as configurações os valores apresentados são aqueles que correspondem a uma eficiência de captação entre $0,5 < Q/Q_0 < 1,0$.

Os gráficos contêm os resultados experimentais relacionando a vazão captada por unidade de comprimento da abertura na guia Q/L , pela profundidade y_0 do escoamento a uma distância correspondente a $1/3L$ (L é comprimento da boca-de-lobo) à montante da captação. Os

resultados apresentam os valores para as duas configurações ensaiadas ($c/b = 2$ e $c/b = 1,5$). Pelo tipo de lei esperado para o relacionamento entre Q/L e y_0 apresentado na equação (7.2), em que a potência da variável y_0 é $3/2$ (captação por um vertedor lateral, ver equação (7.3)), foram impostas sobre as nuvens de pontos obtidas curvas correspondentes à potência 1,5 (que são retas com declividades $3/2$ em escalas logarítmicas).

As curvas foram posicionadas sobre a nuvem de pontos coletados empregando a teoria dos mínimos quadrados. Além disso, com relação à posição correta da curva, foi adotado um coeficiente de segurança em que esta ficou defasada em 10% com relação ao maior valor da vazão experimental obtida, de modo que para as maiores vazões obtidas e maiores profundidades de montante da boca-de-lobo, a reta traçada forneça, para uma fixada profundidade y_0 , uma vazão menor ou igual à vazão experimental. Esse procedimento se faz necessário para garantir que a lei de captação sugerida para projeto e verificação de uma boca-de-lobo esteja a favor da segurança do ponto de vista hidráulico.

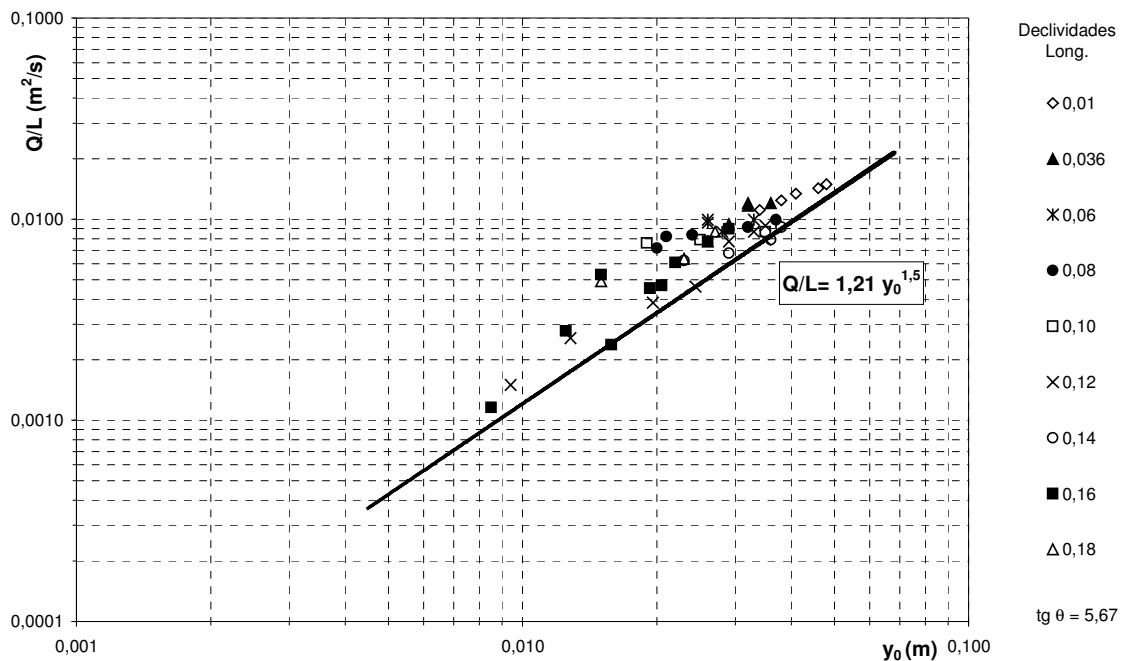


Figura 7.3. Valores experimentais de $(Q_0/L) \times (y_0)$.

- boca-de-lobo com defletores ($c/b = 2$) e $\text{tg } \theta = 5,67$.-

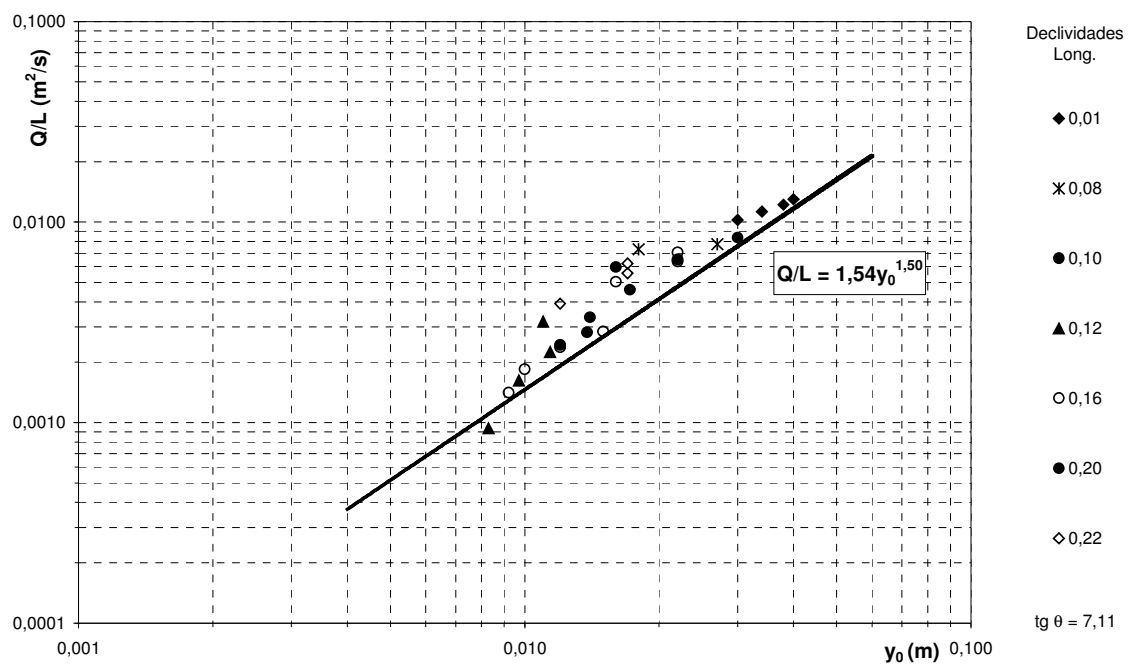


Figura 7.4. Valores experimentais de $(Q_0 / L)_x (y_0)$.
- boca-de-lobo com defletores ($c/b = 2$) e $tg\theta = 7,11$.-

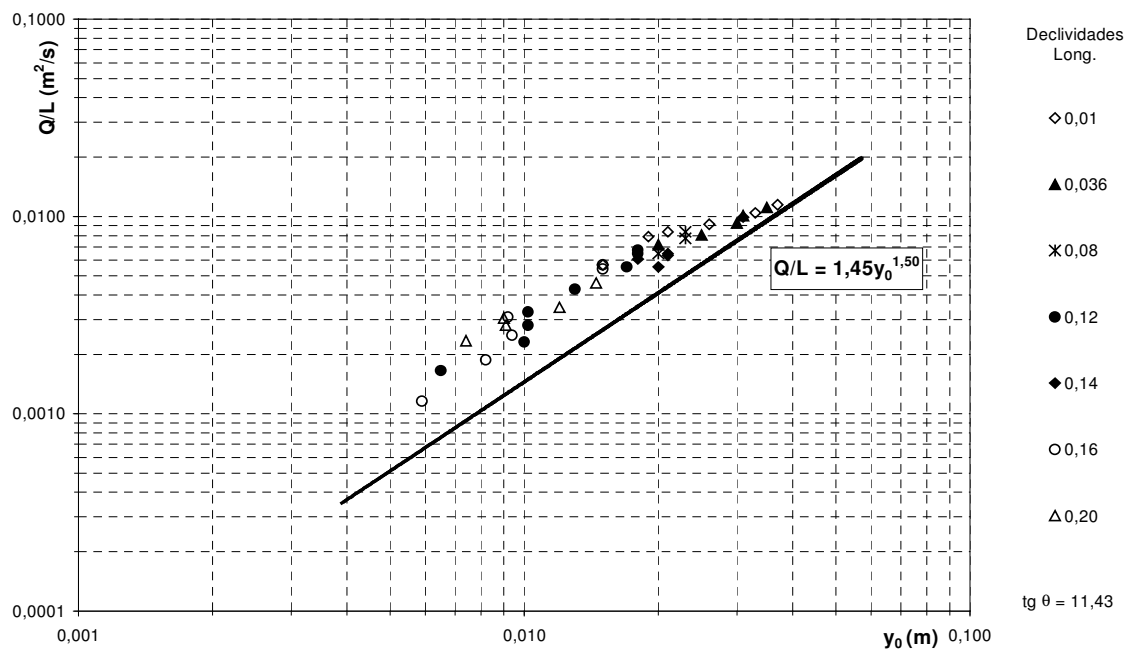


Figura 7.5. Valores experimentais de $(Q_0 / L)_x (y_0)$.
- boca-de-lobo com defletores ($c/b = 2$) e $tg\theta = 11,43$.-

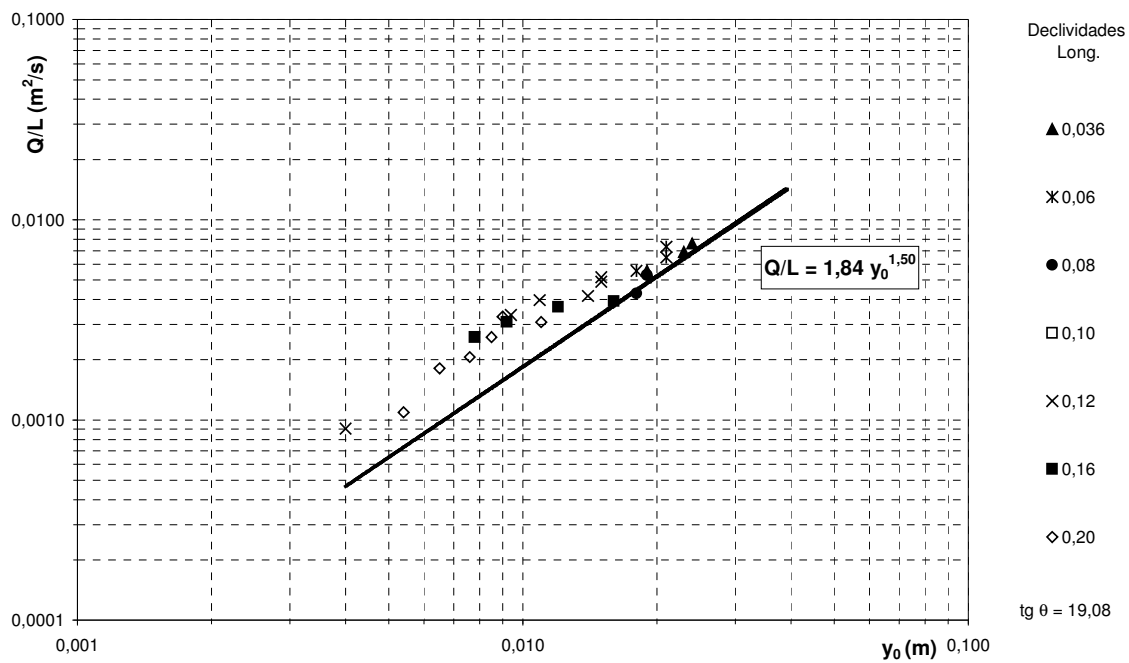


Figura 7.6. Valores experimentais de $(Q_0 / L) \times (y_0)$.

-boca-de-lobo com defletores ($c/b = 2$) e $\text{tg}\theta = 19,08$.-

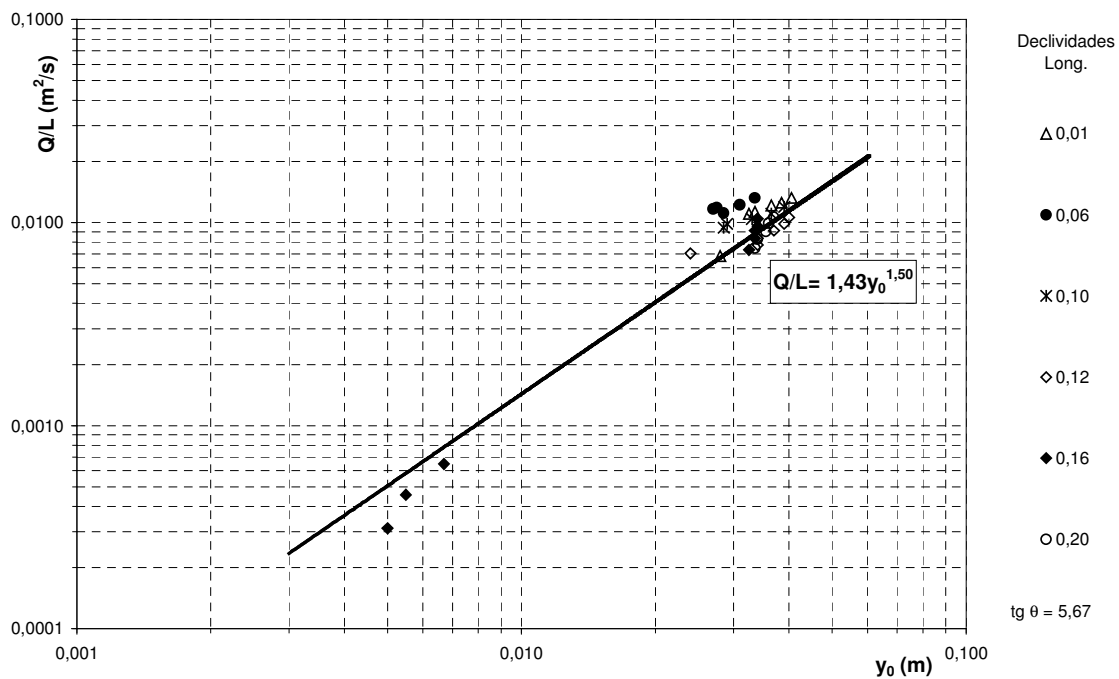


Figura 7.7. Valores experimentais de $(Q_0 / L) \times (y_0)$.

- boca-de-lobo com defletores ($c/b = 1,5$) e $\text{tg}\theta = 5,67$.-

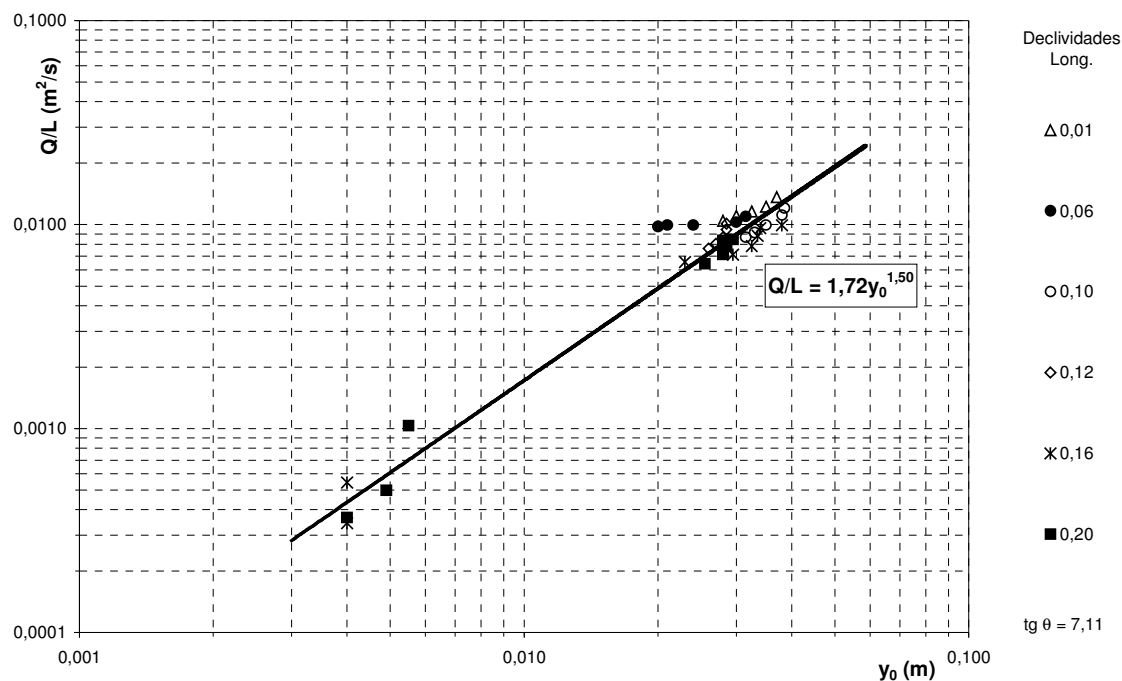


Figura 7.8. Valores experimentais de $(Q_0/L) \times (y_0)$.
- boca-de-lobo com defletores ($c/b = 1,5$) e $\text{tg } \theta = 7,11$.-

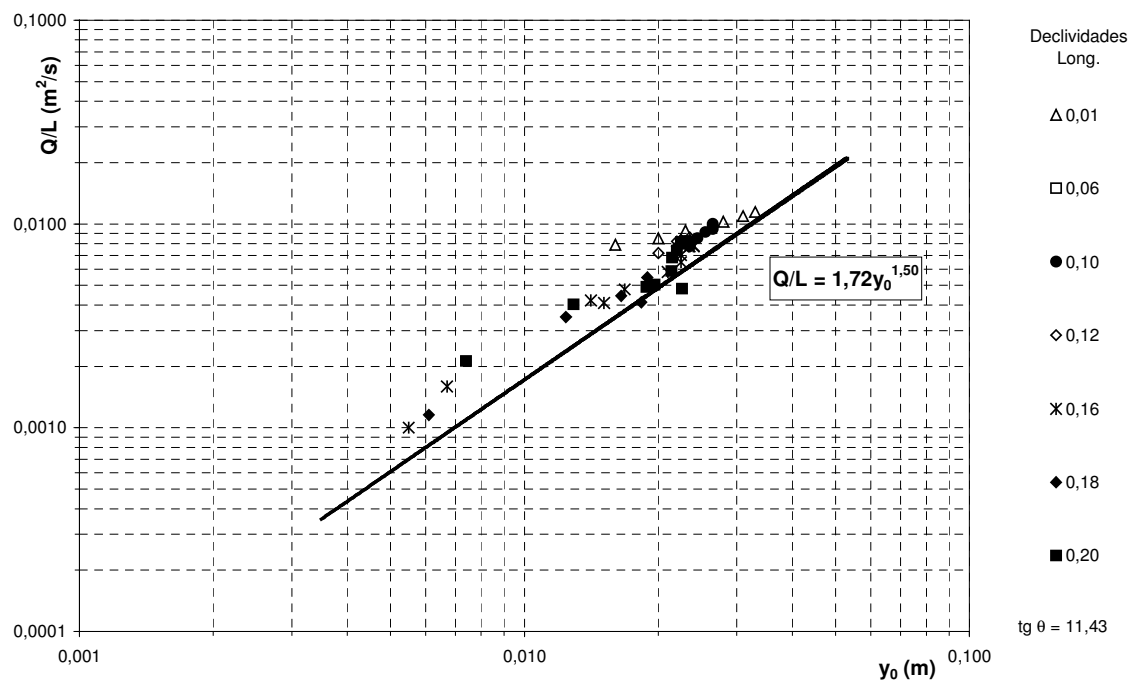


Figura 7.9. Valores experimentais de $(Q_0/L) \times (y_0)$.
- boca-de-lobo com defletores ($c/b = 1,5$) e $\text{tg } \theta = 11,43$.-

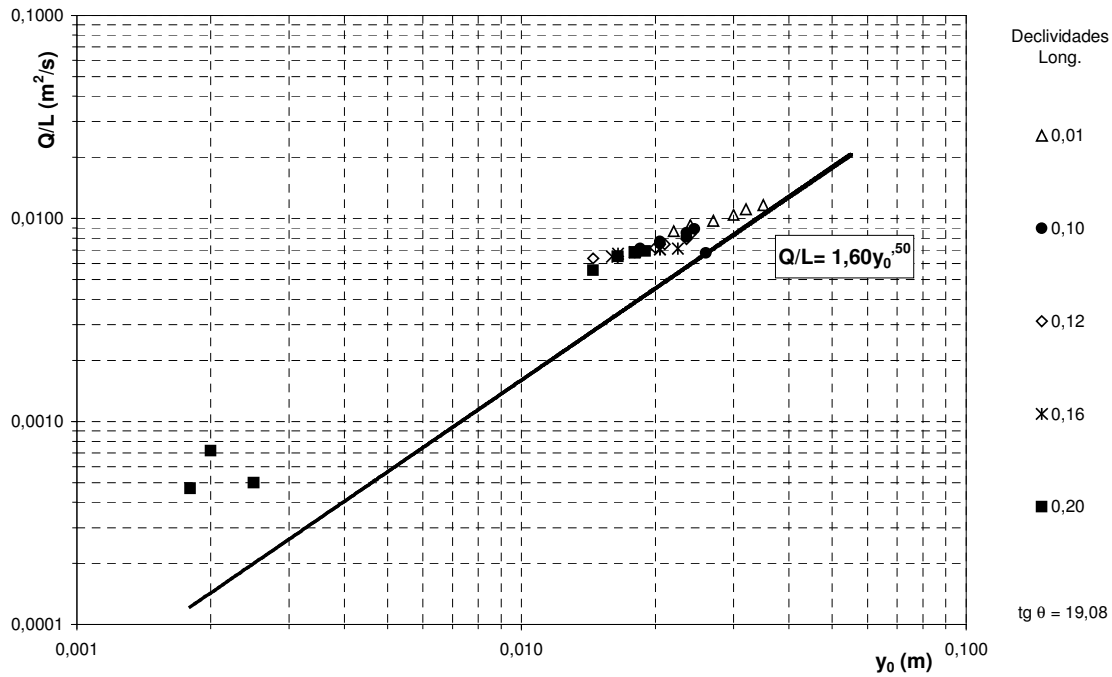


Figura 7.10. Valores experimentais de $(Q_0 / L) \times (y_0)$.
- boca-de-lobo com defletores ($c/b = 1,5$) e $\text{tg} \theta = 19,08$.-

Como a boca-de-lobo utilizada em São Paulo apresenta inclinação transversal em que $\text{tg} \theta = 12$, analisaremos aqui a configuração que mais se aproxima do padrão.

A lei de captação da boca-de-lobo padrão com inclinação transversal de 85° ($\text{tg} \theta = 11,43$) (que corresponde à boca-de-lobo padrão), obtida para cada uma das configurações ensaiadas, é apresentada por meio das equações (7.1) e (7.2).

$$\frac{Q}{L} = 1,45 y_0^{3/2} \quad (\text{relação } c/b = 2,0) \quad (7.1)$$

$$\frac{Q}{L} = 1,72 y_0^{3/2} \quad (\text{relação } c/b = 1,5) \quad (7.2)$$

7.3 Análise dos resultados

De acordo com a metodologia empregada por Souza (1986), foi considerado que a boca-de-lobo com entrada pela guia, age como um vertedor lateral. Em vista disso, com base na equação da energia de Bernoulli e adotando-se algumas hipóteses simplificadoras, obtém-se uma lei para a vazão captada como apresentada na equação (7.3):

$$Q = C_Q L y_0 \sqrt{g y_0} \quad (7.3)$$

em que C_Q é o coeficiente de descarga.

A equação (7.3) pode ser expressa de uma maneira simplificada, como mostrado na equação (7.4):

$$\frac{Q}{L} = K(\theta) y_0^{3/2} \quad (7.4)$$

em que $K(\theta)$ engloba o coeficiente de descarga C_Q e a constante gravitacional g . O termo $K(\theta)$ quer dizer que ter-se-á diferentes valores de K para diferentes inclinações transversais θ da sarjeta.

A descarga pela boca-de-lobo pode ser colocada na forma de descarga em um vertedor retangular, definida pela equação (7.5):

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L h^{3/2} \quad (7.5)$$

em que C_d é o coeficiente de descarga ($m^{0.5}/s$); L é a largura do vertedor (m); h é a carga à montante do vertedor (m).

No caso em estudo, para as duas configurações de defletores empregadas, obteve-se respectivamente valores de 0,49 e 0,58 para os coeficientes de descarga dos modelos.

Para escoamentos rasos na boca-de-lobo, o escoamento se comporta como o que ocorre em um vertedor, desde que os efeitos da viscosidade e da tensão superficial sejam desprezíveis. Neste caso o escoamento é perpendicular ao eixo de descarga. No entanto, a medida em que o escoamento aumenta, elevando a altura da lâmina de água vertente, o escoamento a montante da entrada se comporta como tridimensional, no qual as linhas de escoamento na entrada são perpendiculares ao eixo vertente, enquanto as linhas de escoamento superficiais estão direcionadas para jusante.

Utilizando a análise dimensional, Borghei (1999) citado por Falvey (2003), propõe a equação (7.6) para o cálculo do coeficiente de descarga em um vertedor lateral.

$$C_d = 0,7 - 0,48F - 0,3\frac{P}{H} + 0,06\frac{L}{W_c} \quad (7.6)$$

em que F é o número de Froude a montante da entrada; P é a altura do vertedor (m), H é a carga a montante do vertedor (m); L é a largura do vertedor (m); e W_c é a largura do canal de aproximação (m).

Rehbock (1929), citado por Falvey (2003) propôs a expressão para o cálculo do coeficiente de descarga em vertedores retilíneos utilizando a equação (7.7):

$$C_d = 0,605 + 0,08\frac{h}{P} + \frac{1}{hx1000} \quad (7.7)$$

Tullis, Nosratollah e Waldron (1995), citados por Falvey (2003) concluíram que o menor valor do coeficiente de descarga num vertedor retangular, com perfil arredondado, retilíneo, com zero de altura é de 0,58.

7.3.1 Efeitos de escala na modelação

O principal efeito de escala é causado pela tensão superficial, descrito pelo número de Weber do escoamento, We , que é a relação entre as forças de inércia e as forças de tensão superficial, definido pela equação (7.8):

$$We = \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho h}}} = \frac{\frac{2}{3}\sqrt{2g} h C_d}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}} \quad (7.8)$$

aonde σ é a tensão interfacial (0,072N/m).

O efeito de escala no coeficiente de descarga é definido por Rehbock (1929) *apud* Falvey (2003), por meio da equação obtida para vertedor retangular. O último termo da equação (7.7) corresponde ao fator de correção desta incerteza de medição.

Para pequenas cargas e vertedores baixos, as forças de tensão superficial superam as de inércia. Como os efeitos da tensão superficial são grandes, as linhas de escoamento se aderem ao paramento de jusante vertente. Este efeito provoca uma região de baixa pressão que, artificialmente, aumenta a capacidade do vertedor. Este fenômeno se observa em pequenos modelos e representa um efeito de escala que não acontece nos escoamentos em protótipos. A descarga no protótipo será, portanto, maior devido ao efeito da tensão superficial. Falvey (2003) apresenta dados que permitem corrigir esta situação. Deste modo, para pequenas alturas de vertedor e pequenas cargas, o erro provável é da ordem de 8,1% (para alturas de 0,1 m e relações h/P de 0,2) e são maiores que as incertezas na avaliação da descarga no protótipo.

Como conclusão, os modelos menores superestimam a descarga do protótipo e deverá ser feita a correção.

7.3.2 Análise de incertezas na avaliação do coeficiente de descarga

Aplicando logaritmos nos dois lados da equação (7.5) que define a descarga pela boca-de-lobo e diferenciando, resulta a equação (7.9):

$$\frac{dC_d}{C_d} = \frac{dQ}{Q} + \frac{dL}{L} + \frac{3}{2} \frac{dh}{h} \quad (7.9)$$

A propagação de incertezas no resultado final, para determinação do coeficiente de descarga, é igual à raiz quadrada das somas dos quadrados das incertezas parciais. Nota-se que a incerteza na determinação da carga é 1,5 vezes maior que as incertezas das outras quantidades. Assim, a soma das incertezas conduz à equação (7.10):

$$\frac{dC_d}{C_d} = \left[\left(\frac{dQ}{Q} \right)^2 + \left(\frac{dL}{L} \right)^2 + \left(\frac{3}{2} \frac{dh}{h} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7.10)$$

Para os cálculos, considerou-se uma incerteza de $\pm 0,5 \times 10^{-2} \text{m}$ na medição da carga, 2% na medição da vazão e 0,5 % na determinação da largura da boca-de-lobo, respectivamente. A incerteza na determinação da descarga e do comprimento é constante, variando somente a incerteza na avaliação da carga. Aplicando essa expressão ao conjunto de dados, obteve-se uma incerteza da ordem de $\pm 3,2 \%$ e de $\pm 10,9\%$ no valor do coeficiente de descarga.

7.3.3 Curvas de descarga no protótipo

Para o protótipo, utilizando a equação (7.5) e com o auxílio das escalas necessárias à condição de semelhança de Froude, obteve-se as equações (7.11) e (7.12).

$$\frac{Q}{L} = 2,51 y_0^{3/2} \quad (\text{relação } c/b = 2,0) \quad (7.11)$$

$$\frac{Q}{L} = 2,63 y_0^{3/2} \quad (\text{relação } c/b = 1,5) \quad (7.12)$$

Aplicando os fatores de correções para o coeficiente de descarga, sugeridos por Falvey (2003), ou seja, reduções de 8,1% e 10,9%, as expressões que representam a captação, para as duas configurações ensaiadas, são dadas pelas equações (7.13) e (7.14).

$$\frac{Q}{L} = 2,05 y_0^{3/2} \quad (\text{relação } c/b = 2,0) \quad (7.13)$$

$$\frac{Q}{L} = 2,15 y_0^{3/2} \quad (\text{relação } c/b = 1,5) \quad (7.14)$$

Os resultados obtidos para os coeficientes de descarga C_d são iguais a 0,69 e 0,73, respectivamente.

A expressão obtida por Li, Sorteberg e Geyer (1951), equação (4.4), para uma boca-de-lobo sem depressão (modelo 1:3), tem desempenho bem abaixo da obtida em nos ensaios, fato que confirma o aumento da captação com a colocação dos defletores.

As equações definidas para a captação com defletores apresentam resultados menores do que o determinado por, Li, Goodell e Geyer (1954), equação (4.8), para $\sqrt{s}/n = 17$ e $(c/b = 2)$, em modelo (1:1). Deve ser considerado o fato de terem sido utilizados nos ensaios defletores instalados a 45° com a entrada na guia.

Com relação ao valor obtido por Pompêo e Savietto (1997) para uma boca-de-lobo com grade e entrada pela guia (1:1), esta se mostra mais eficiente que as equações obtidas nos ensaios, devido à captação ocorrer pela guia e pela grade.

Os ensaios também mostraram que o modelo ensaiado tem eficiência de captação bem superior à obtida por Souza (1986) para bocas-de-lobo com e sem depressão na sarjeta.

Para o caso da sarjeta padrão, a vazão de aproximação apresentada na equação (6.7) é dada pela equação (7.15) para o modelo 1:3.

$$Q_0 = 36,295 \cdot y_0^{5/2} \sqrt{\frac{i}{f}} \quad (7.15)$$

Dividindo-se as equações (7.1) e (7.2) pela equação (7.15) e, rearranjando-se os termos, obtêm-se as equações (7.16) e (7.17), que definem a eficiência de captação para as duas configurações de defletores adotadas.

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,68 \frac{L}{y_0 \operatorname{tg} \theta \sqrt{i/f}} \quad (\text{relação } c/b = 2,0) \quad (7.16)$$

$$\frac{Q}{Q_0} = 0,71 \frac{L}{y_0 \operatorname{tg} \theta \sqrt{i/f}} \quad (\text{relação } c/b = 1,5) \quad (7.17)$$

Os valores dos coeficientes de descarga apresentam uma diferença muito pequena entre as duas configurações estudadas, da ordem de 5%. Portanto, não se justifica utilizar a configuração com larguras dos defletores maiores, pois podem provocar transtornos aos pedestres. A equação (7.16) deve ser preferida para projeto.

8 CONCLUSÕES

A boca-de-lobo com defletores é mais eficiente que a boca-de-lobo sem depressão, quando instaladas sob as mesmas condições na sarjeta.

Sua eficiência aumenta com o aumento da declividade transversal da sarjeta. Em ruas planas, que apresentam a sarjeta com pouca inclinação transversal, a eficiência é praticamente a mesma da boca-de-lobo sem depressão, portanto a utilização de defletores não se justifica.

Com o aumento na declividade longitudinal e a utilização de defletores, a eficiência de captação aumenta quando a inclinação longitudinal da sarjeta também aumenta.

A disposição dos defletores mais eficiente é $c/b = 1,5$, porém devido ao problemas causados aos pedestres, a utilização dos defletores com disposição $c/b = 2,0$ deve ser preferida.

O desempenho um pouco superior da relação $c/b = 1,5$ indica que o aumento na largura dos defletores faz com ela se assemelhe a uma boca-de-lobo com depressão na sarjeta.

Como os defletores foram instalados a 90° com a guia, deve ser estudada a melhor relação c/b para os defletores, considerando que ela deve satisfazer ao mesmo tempo o conforto dos pedestres e dos ocupantes de veículos que utilizem a sarjeta. Deveriam ser testadas outras configurações de defletores. A posição dos defletores com ângulo diferente de 90° poderia tornar a captação mais eficiente, uma vez que a entrada é direcionada para a entrada da boca-de-lobo.

Devido aos efeitos da tensão superficial e as incertezas de medição, os modelos deveriam ser conduzidos com maiores alturas de lâmina vertente. O erro na avaliação do coeficiente de descarga determinado com o modelo é maior para pequenas alturas e vazões baixas.

Os resultados obtidos nos modelos devem ser tomados com precaução. Para cargas baixas, o modelo superestima a descarga no protótipo em mais que 8% (sendo o erro na avaliação da descarga no protótipo de 5%), aproximadamente, e as incertezas são da ordem de 10,9%.

ANEXO Grelhas de ferro-fundido para bocas-de-lobo

Algumas grelhas de ferro-fundido encontradas no mercado seguem os padrões da ABNT. Segundo o catálogo do fabricante AFER, obedecem as NBR 10158, NBR 10159 e NBR 101160. O material utilizado em suas grelhas é ferro fundido cinzento ou dúctil, também conhecido como nodular. Tais características do material diminuem o peso das peças, o que facilita o transporte e manutenção. Em relação à resistência, são divididas em três grupos: Classe 50, que suporta até 50 kN; Classe 125, que suporta até 125 kN e Classe 300, que suporta até 300 kN. Seus padrões podem ser vistos nas Figuras 1 e 2.

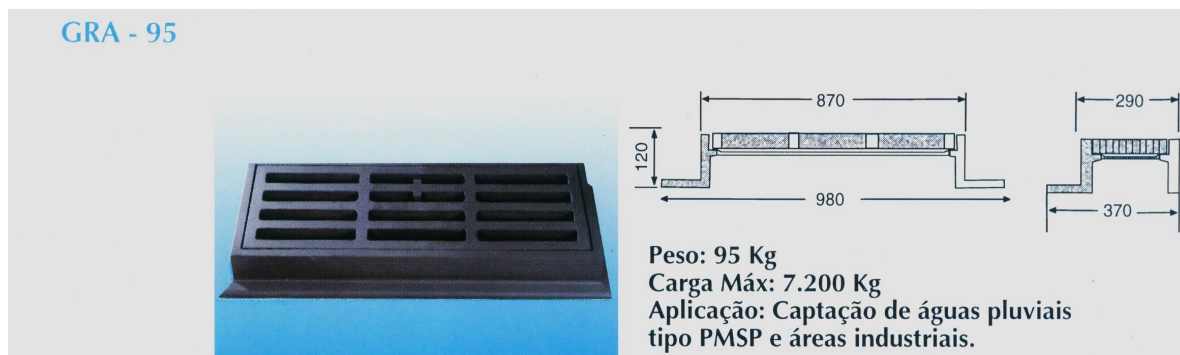


Figura 1. Grelha de ferro-fundido, do tipo GRA – 95.

Fonte: Catálogo AFER.

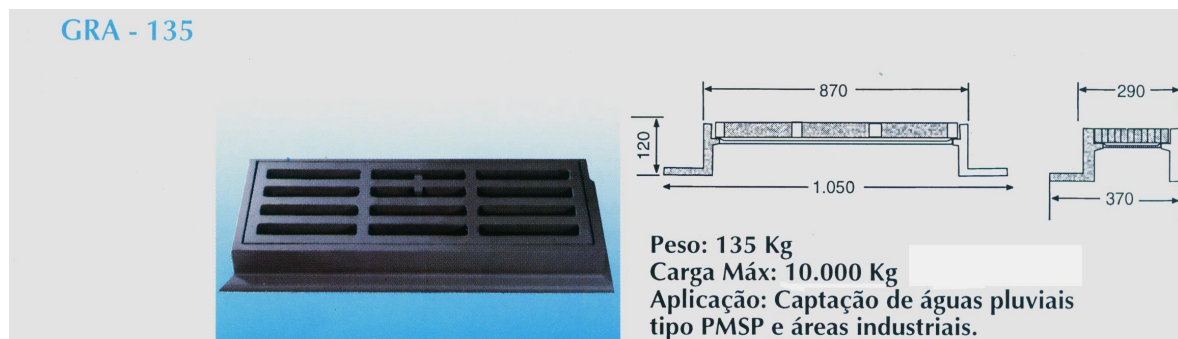


Figura 2. Grelha de ferro-fundido, do tipo GRA – 135.

Fonte: Catálogo AFER.

Outro fabricante, a FUMINAS, também segue esses padrões de tamanho, sendo diferente na resistência de suas peças. Os detalhes de suas grelhas são apresentados nas Figuras 3 e 4.

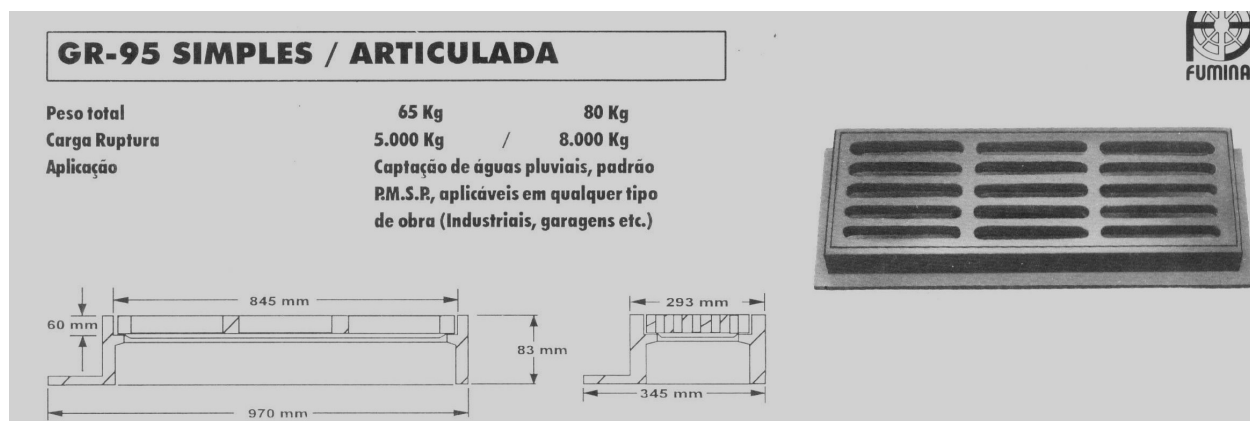


Figura 3. Grelha de ferro fundido do tipo GRA –95.

Fonte: Catálogo FUMINAS.

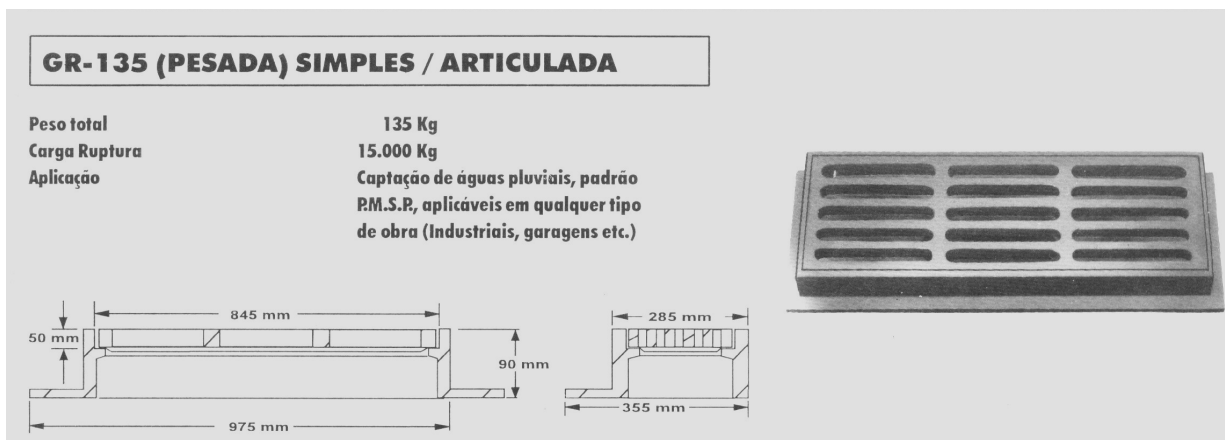


Figura 4. Grelha de ferro fundido do tipo GRA – 95.

Fonte: Catálogo FUMINAS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M. M. (1982), Drenagem Urbana. **Curso Sobre Controle da Erosão Urbana**. Campo Grande, UFMS, Set. 13-17, 41p.

CETESB/ASCETESB. (1986). **Drenagem Urbana. Manual de Projeto**. Editora CETESB 3^a edição, São Paulo, 464 p.

DESPOTOVIC, J. (1987), Laboratory Investigation of Urban Drainage Inlet Capacity. Proc. of IV Int. Conference in Urban Storm Drainage, Technical Session D, **XXII Congress Int. Association IAHR**, Lausanne, p. 94-7.

ESKENAZI, I. R. (1984), Laboratory Investigation of Urban Drainage Inlet Capacity. **Proc. of the XXII Congress Int. Association for Hydraulic Research**, Lausanne, p. 94-99.

FALVEY, H. T. (2003), Hydraulic Design of Labyrinth Weirs. **ASCE**, EUA, 162p.

GENOVEZ, A. M.; FALAGUASTA, L. N. (2003) Equações de Chuvas Intensas Generalizadas para os Estados de São Paulo e Paraná **RBRH** (Aceito para Publicação).

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. (2000), Chuvas Intensas no Estado de São Paulo: Estudos Existentes e Análise Comparativa, **RBRH**, vol. 5, n.3, p.45-57, jul./set.

GENOVEZ, A. M.; PEGORARO, R. C. F. (2001) Análisis y Evaluación de las Ecuaciones de Lluvias Intensas Genaralizadas. **Ingeniería Hidráulica en México**, vol. XVI, n. 3, pp. 15-23, jul/sep.

GUO, J. C. Y. (1990), Street Hydraulics and Inlet Sizing, Using the Computer Model UDINLET. **Water Resources Publications**, LLC, Highlands Ranch, Colorado, 103 p.

LI, W. H.; GEYER, J. C.; BENTON, G. S. (1951), Flow Into Gutter Inlets in a Straight Gutter without Depression, reimpresso de **Sewage and Industrial Wastes**, vol 23, n. 1, January, publicado em “The Design of Storm-Water Inlets”. The Johns Hopkins University, Department of Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore, Maryland, June.

LI, W. H.; SORTEBERG, K. K.; GEYER, J. C. (1951), Flow Into Curb-Opening Inlets, reimpresso de **Sewage and Industrial Wastes**, vol. 23, n. 6 June, e publicado em The Design of Storm-Water inlets. The Johns Hopkins University, Department of Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore, Maryland, June.

LI, W. H.; GOODELL, B. C.; GEYER, J. C. (1954), Flow Into Deflector Inlets, reimpresso de **Sewage and Industrial Wastes**, vol. 26, n. 7, July, e publicado em The Design of Storm-Water inlets. The Johns Hopkins University, Department of Sanitary Engineering and Water Resources, Baltimore, Maryland, June.

LINSLEY, C. K.; FRANZINI, J. B. (1978) **Engenharia de Recursos Hídricos**. Trad. Prof. Eng. Luis A. Pastorino, EDUSP, São Paulo, cap. 17 – Drenagem, p. 587-605.

MASCARENHAS, F. C. B. (2000), O Problema das Enchentes Urbanas: uma abordagem sistêmica. **ABRH Notícias**, n. 2, julho.

PFAFSTETTER, O. (1957), **Chuvas Intensas no Brasil** Departamento Nacional de Obras de Saneamento – DNOS, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 419 p.

POMPÊO, C. A. e SAVIETTO, H. (1997), Drenagem de Pavimentos: Sistema BDL. Drenagem Urbana – Gerenciamento, Simulação e Controle. **ABRH**, n.3, p. 91-100.

RAMOS, A. D. (1999), **Estudo de Três Tipos de Bocas de Lobo**. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.

SOUZA, P. A. (1986), **Eficiência Hidráulica da Boca de lobo**. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p.

SECCHI, A. e MAZZÓN, M. R. (2000), Nuevas Tecnologías para Contribuir a la Solución de las Inundaciones en Grandes Ciudades. Instituto Nacional Del Agua y Del Ambiente –INA. **XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica**, Cordoba, p. 209-217.

TUCCI, C. E. M. (1993), **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH:EDUSP. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v:4.

TUCCI, C. E. M. (1997), Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **RBRH**, Vol 2, jul./dez.

UYUMAZ, A. (1992), Discharge Capacity for Curb-Opening Inlets, **Journal of Hydraulic Engineering – ASCE**, vol. 118, n. 7, p.1048-51.

VAZ FILHO, P. (2000), **Sistemas de Microdrenagem Urbana: Análise de Aspectos de Funcionamento para Elaboração de Plano Geral**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, UFSCAR.

VAZ FILHO, P. (2000a), Gerenciamento de Sistemas de Drenagem Urbana **Revista Engenharia** - Instituto de Engenharia, São Paulo, n° 541, ano 58, p. 63-67, set/out.

VICENTINI, T. A. (1993), **Fase Básica do Plano Diretor de Drenagem para a Cidade de Campinas**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP.

WASLEY, R. J. (1961), Uniform Flow in Shallow, Triangular Open Channel. Proc. of the American Society of Civil Engineers. **Journal of the Hydraulic Division – ASCE**, Vol. 87, n. HY5, p.149-170, Sept.

WILKEN, P. S. (1968), **Águas Pluviais**. Tese apresentada à Comissão de Concurso para Professor Catedrático de Hidráulica e Saneamento - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, USP.

WILKEN, P. S. (1978), **Engenharia de Drenagem Superficial**. CETESB, Cap. 4: Estruturas Hidráulicas Singulares, p. 337-380.

WONG, T. S. W. (1994), Kinematic Wave Method for Determination of Road Drainage Inlet Spacing. **Advances in Water Resources. Elsevier** 17, pp. 329-336.

WOO, D. C. (1984), Inlets in Stormwater Modeling. **Proc. 3rd. Int. Conf. On Urban Storm Drainage**, Eds P.Balmer, P.A.Malmqvist & A.Sjoberg, Goteborg, Sweden, June 4-8, p. 67-76.

ABSTRACT

CARDOSO, Carlos Henrique Aparecido. **Catchment efficiency in storm water inlet with deflectors**. Campinas, College of Civil Engineering. University of Campinas, 2003, 116 pages. Dissertação. Mestrado.

A storm drainage system is a public service that aims the comfort of the population, protecting it against the action of the water surface flows. An essential element to the good efficiency of the system is the storm water inlet, whose function is to catch the water flows off the gutter. Its efficiency depends on the exhaustion capacity, that is function of its type, the depth of gutter flow at the curb and its dimensions. Therefore, to know the capacity of the storm water inlet it is necessary to know the characteristics of draining in free conduit in the gutter through its transversal section, the declivity and roughness coefficient for the gutter. The main objective of this work is to estimate the capacity of a deflector inlet, through physical model. A study was conducted at the Hydraulics and Fluid Mechanics Laboratory of the Civil Engineering College. The use of this kind of arrangement using deflector inlets showed to be more efficient than the standard ones. Deflectors are a practical choice as they are level with pavement, not annoying to traffic than depressed ones.

Key words: urban drainage; catchment structural; experimental study; deflector inlet.

