

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Lucas de Andrade Montez

Estudo da capacidade de absorção de fluxo de drenagem
superficial

Trabalho de Graduação
2015

CIVIL

Lucas de Andrade Montez

Estudo de capacidade de absorção de fluxo para drenagem superficial

Orientadora
Profa. Dra. Nadiane Smaha Kruk (ITA)

Divisão de Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**Divisão de Informação e Documentação**

Montez, Lucas de Andrade

Estudo de capacidade de absorção de fluxo para drenagem superficial / Lucas de Andrade Montez.
São José dos Campos, 2015. 69f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil –
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2015.
Orientadora: Profa. Dra. Nadiane Smaha Kruk.

1. Sistema de drenagem. 2. Microdrenagem. 3. Boca-de-lobo.
I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MONTEZ, Lucas de Andrade; **Estudo da capacidade de absorção de fluxo de drenagem superficial**. 2015. 69f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Lucas de Andrade Montez

Estudo de capacidade de absorção de fluxo para drenagem superficial

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2015

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

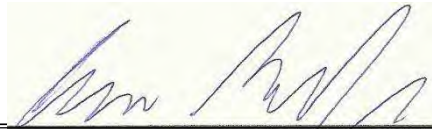
Lucas de Andrade Montez

Rua Scylla Bicudo, 140 – Urbanova

CEP: 12244-485 – São José dos Campos – SP – Brasil

ESTUDO DE CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE FLUXO PARA DRENAGEM SUPERFICIAL

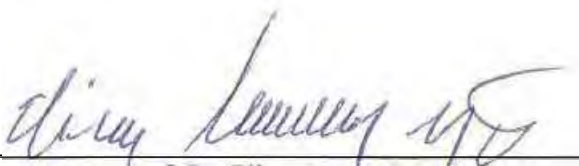
Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Lucas de Andrade Montez
Autor



Profa. Dra. Nadiane Smaha Kruk
Orientadora



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Agradecimentos

Agradeço inicialmente aos meus pais, Flávio e Cláudia, por serem, ao mesmo tempo, meu porto seguro e meu maior espelho. Tudo que conquistei e que ainda conquistarei é graça a força de vocês dois. Muito obrigado por acreditarem sempre em mim, até nos momentos em que eu mais tinha dúvidas, e me mostrarem sempre o caminho correto.

Aos meus irmãos, Eduardo e Ana Clara, por sempre me inspirarem e me fazerem querer conquistar algo a mais, ser uma pessoa melhor. Cada um do seu jeito, vocês são os grandes orgulhos que tenho na vida.

À minha família, avós, primos e tios, por todo amor e carinho que recebo todos os dias. Seja um almoço em um dia corrido, um bandeirão para a turma, ou um corte de cabelo no domingo à noite, nunca me esquecerei dos pequenos momentos que me fizeram chegar até aqui.

À professora Nadiane, não apenas pela dedicação e empenho neste trabalho, mas por ser uma verdadeira professora. Muito obrigado pela paciência, pela confiança, pela amizade, e por ser o maior exemplo de professor que queremos ver no ITA.

A toda equipe da empresa ACO, no Brasil e na Alemanha, por todas as portas abertas, e conhecimento transmitido. Vocês me possibilitaram experiência únicas e uma oportunidade de autoconhecimento inigualável. Obrigado pela confiança e por tudo que aprendi neste estágio.

Aos amigos e amigas de todas as iniciativas que fizeram eu me apaixonar por algo nestes últimos anos. Agradeço em especial a todos os amigos que fiz a partir da Atlética. Vocês não foram fundamentais para mim apenas profissionalmente, mas para toda minha vida. Obrigado por me mostrar como trabalhar pode ser prazeroso, mesmo não aguentando mais ficar de pé em alguns momentos.

À Civil-15, à Turma 15.1 e aos meus amigos do Ruma por tornar cada um dos meus dias na faculdade um pouco melhor, e por fazer com que eu nunca estivesse sozinho, não importando o tamanho da dificuldade que enfrentasse. Obrigado por me lembrar sempre que a zoeira não tem limites, mas principalmente por todo companheirismo.

A toda Turma 15, por simplesmente ser a melhor turma da história do ITA. Afinal, ganhar 4 vezes a OI não é para qualquer um. Muito obrigado por tornar os últimos 5 anos os melhores da minha vida.

Resumo

O sistema de drenagem superficial, subsistema do ambiente urbano, tem como objetivo fundamental garantir a segurança e conforto da população, protegendo-a contra a ação de águas pluviais. Neste sentido, deve considerar medidas estruturais e não-estruturais para garantir sua eficácia e eficiência, passando por quesitos de macrodrenagem e microdrenagem. As bocas de lobo, como parte do sistema de microdrenagem, são estruturas hidráulicas fundamentais. Elas são responsáveis pela captação das águas que escoam nas sarjetas, sendo o ele entre essas e a rede de galerias subterrâneas. No Brasil, para o dimensionamento da capacidade de engolimento de bocas-de-lobo, usa-se principalmente nomogramas e diagramas. Por trás destas, existem metodologias distintas, o que torna possível, por inconsistências, que se atribua valores de capacidade de engolimento incompatíveis com a realidade. O presente trabalho tem como objetivo comparar a metodologia clássica (reforçada pelas observações do Manual de Drenagem de Rodovias da DNIT) com a metodologia proposta pela FHA (Federal Highway Administration dos EUA) através do Urban Drainage Design Manual (acrescida de recomendações do Aspen Urban Runoff Management Plan) para a determinação da capacidade de engolimento de fluxo lateral em sistemas de drenagem superficial. Os métodos foram aplicados para aparelhos que funcionam como boca-de-lobo, em especial a abertura na guia e a grelha, nos casos de posicionamento em ponto baixo (mínimo local) e greide contínuo. Os resultados mostraram as diferenças dos modelos de vertedor e orifício no dimensionamento de bocas-de-lobo em ponto baixo, e como decidir qual utilizar nos casos próximos da transição. Além disso, verificou-se a dificuldade em decidir para um caso genérico qual entre a metodologia clássica e da FHA está mais a favor da segurança, sendo recomendável, portanto, analisar cada caso. No caso de greide contínua e abertura na guia, a metodologia da FHA se mostra mais a favor da segurança para valores baixos de altura da lâmina d'água, enquanto a metodologia clássica é recomendável para valores altos de altura da lâmina. Já para os casos de grelha em greide contínuo, a metodologia clássica se mostra mais a favor da segurança.

Abstract

The surface drainage system, a subsystem of the urban environment, is fundamentally objectified to ensure safety and comfort to the population, protecting everyone against the action of rainwater. Therefore, it should consider structural and non-structural measures to ensure its effectiveness and efficiency, passing through questions of macrodrainage and microdrainage. The drainage inlets, as part of the microdrainage system, are crucial hydraulic structures. They are responsible for collecting the water flow from the gutters, and to be the bond between these and the public underground pipes system. In Brazil, to determine the inlet capacity of those hydraulic devices, it is commonly used diagrams and nomograms. Behind them, there are several methods, which make possible that incompatible inlet capacity values get assigned because of the existence of inconsistencies. The present work aims to compare the classical methodology (reinforced by observations of the Manual de Drenagem de Rodovias by DNIT) to the methodology proposed by the FHA (Federal Administration Highway) through the Urban Drainage Design Manual (including recommendations from the Aspen Urban Runoff Management Plan) about the determination of the interception capacity of lateral flow for inlet units in surface drainage systems. The methods were applied to grate inlets and curb-opening inlets, both positioned in sag locations and on grade. The results showed important differences between considering the inlets in sag locations working as weir or an orifice, and how to determine where the transition is. In addition, it was verified that it's not easy to decide in a generic case between the classical and the FHA methodology which one is more in favor of security, therefore it's recommended to analyze each case. For curb-opening inlets on grade, the FHA methodology is more recommended for lower values of water depth, while the classical methodology is recommended for high values of water depth. On the other hand, for grate inlets on grade, the classical methodology is more recommended.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
3. REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1. TIPOS CLÁSSICOS DE BOCAS-DE-LOBO	16
3.2. MODELOS MATEMÁTICOS CLÁSSICOS	17
3.2.1. CAPACIDADE HIDRÁULICA	21
3.2.1.1. BOCAS-DE-LOBO EM PONTO BAIXO DE SARJETA (COM ABERTURA NA GUIA).....	21
3.2.1.2. BOCAS-DE-LOBO EM PONTO BAIXO DA SARJETA (COM GRELHA)	22
3.2.1.3. BOCAS-DE-LOBO EM PONTOS DE GREIDE CONTÍNUO	22
3.2.2. ESCOAMENTO NA SARJETA.....	28
3.2.3. INFLUÊNCIA DOS DETRITOS SÓLIDOS	29
3.2.4. MANUAL DE DRENAGEM DE RODOVIAS – DNIT	30
3.2.4.1. BOCAS-DE-LOBO EM PONTO BAIXO DE SARJETA (COM ABERTURA NA GUIA).....	30
3.2.4.2. BOCAS-DE-LOBO EM PONTO BAIXO DA SARJETA (COM GRELHA)	31
3.2.4.3. BOCAS-DE-LOBO EM PONTOS DE GREIDE CONTÍNUO	33
3.3. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2009)	35
3.3.1. DETRITOS NAS BOCAS-DE-LOBO	37
3.3.2. VAZÃO DE PROJETO.....	38
3.3.3. BOCAS-DE-LOBO COM GRELHAS.....	38

3.3.3.1.	GREIDE CONTÍNUO	38
3.3.3.2.	PONTO BAIXO.....	40
3.3.4.	BOCAS-DE-LOBO COM ABERTURA NA GUIA	41
3.3.4.1.	GREIDE CONTÍNUO	41
3.3.4.2.	PONTO BAIXO.....	42
3.3.5.	DRENAGEM LINEAR	43
3.3.6.	BOCA-DE-LOBO COMBINADA.....	44
3.4.	POSICIONAMENTO DAS BOCAS-DE-LOBO	45
4.	METODOLOGIA	46
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1.	PONTO BAIXO DE SARJETA COM ABERTURA NA GUIA.....	49
5.2.	PONTO BAIXO COM GRADE.....	51
5.3.	PONTO MÉDIO DE SARJETA COM ABERTURA NA GUIA.....	56
5.4.	PONTO MÉDIO DE SARJETA COM GRELHA	60
6.	CONCLUSÕES	62
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

Índice de Tabelas

TABELA 1 – ASPECTOS DA ÁGUA NO MEIO URBANO (SILVEIRA, 2002)	13
TABELA 2 – VALORES DE M' SEGUNDO A CETESB (1986)	24
TABELA 3 – VALORES DE K	26
TABELA 4 – FATOR DE REDUÇÃO CAPACIDADE DAS BOCAS-DE-LOBO SEGUNDO A CETESB (1986), CITADO POR LIMA (2007)	30
TABELA 5 – VALORES DE COEFICIENTE DE ENTUPIMENTO SEGUNDO O MANUAL DA FHA.....	37
TABELA 6 – RESUMO DAS METODOLOGIAS DE DIMENSIONAMENTO	48
TABELA 7 – EXEMPLOS DE VALORES DO COEFICIENTE DE DESCARGA DE ORIFÍCIO (HAMILTON SMITH)	49
TABELA 8 – VALORES MÁXIMOS DECLIVIDADE LONGITUDINAL PARA RODOVIAS SEGUNDO A DNIT (2006).....	57
TABELA 9 – VALORES DE DECLIVIDADE PARA OS MODELOS ESCOLHIDOS	57

Índice de Figuras

FIGURA 1 – BOCAS-DE-LOBO MAIS COMUNS NO BRASIL. DA ESQUERDA PARA A DIREITA: BOCA-DE-LOBO SIMPLES, BOCA-DE-LOBO COM GRELHA E BOCA-DE-LOBO COMBINADA. ADAPTADO DE LIMA (2007)	16
FIGURA 2 – BOCAS-DE-LOBO COM CANTONEIRA PADRÃO SEGUNDO LIMA (2007), ADAPTADO DE SUDECAP (1985)	17
FIGURA 3 – BOCA-DE-LOBO COM DEPRESSÃO NA SARJETA, RETIRADO DE DALFRÉ (2004)	17
FIGURA 4– BOCA-DE-LOBO COM DEFLETORES NA SARJETA, RETIRADO DE CARDOSO (2002), CITADO POR LIMA (2007)	19
FIGURA 5 – BOCA-DE-LOBO COMBINADA, RETIRADA DE COELHO (2011)	19
FIGURA 6 – CÁLCULO HIDRÁULICO PARA A BOCA-DE-LOBO COM GRELHA, RETIRADO DE DNIT 23	
FIGURA 7 – PARÂMETROS DE CÁLCULO PARA A BOCA-DE-LOBO COM ABERTURA NA GUIA, ADAPTADO DE LIMA (2007)	25
FIGURA 8 – PARÂMETROS DE CÁLCULO PARA A BOCA-DE-LOBO COM ABERTURA NA GUIA E DEPRESSÃO, ADAPTADO DE LIMA (2007)	27
FIGURA 9 – NOMOGRAMA DE DIMENSIONAMENTO PARA BOCA-DE-LOBO COM ABERTURA NA GUIA SEGUNDO ADAPTADO DO DNIT (2006)	31
FIGURA 10 – DIAGRAMA DE DIMENSIONAMENTO PARA BOCA-DE-LOBO COM GRELHA SEGUNDO O DNIT (2006)	32
FIGURA 11 – DIAGRAMA DE DIMENSIONAMENTO ALTERNATIVO PARA BOCA-DE-LOBO COM GRELHA SEGUNDO O DNIT (2006)	33
FIGURA 12 – SEÇÃO NA ENTRADA DA BOCA-DE-LOBO SEGUNDO O DNIT (2006)	34
FIGURA 13 – DIAGRAMA DE DIMENSIONAMENTO PARA BOCA-DE-LOBO COM ABERTURA NA GUIA EM GREIDE CONTÍNUO SEGUNDO O DNIT (2006)	34
FIGURA 14 – TIPOS DE BOCA-DE-LOBO NA CIDADE DE ASPEN (EUA). DA ESQUERDA PARA A DIREITA: GRELHA, ABERTURA NA GUIA E ENTRADA LINEAR. RETIRADO DO CITY OF ASPEN URBAN RUNOFF MANAGEMENT PLAN (2011)	35
FIGURA 15 – COMPARATIVO DA CAPACIDADE DE ENGOLIMENTO VARIANDO A DECLIVIDADE ...	36
FIGURA 16 – ESQUEMA DA GRELHA TIPO P-50 TRADUZIDO DO URBAN DRAINAGE DESIGN MANUAL (2009)	40
FIGURA 17 – ABERTURA NA GUIA COM DEPRESSÃO, RETIRADO DA FHA (2009)	42
FIGURA 18 – EXEMPLO DE BOCA-DE-LOBO COM ABERTURA NA GUIA E DEPRESSÃO TRADUZIDO DO URBAN RUNOFF MANAGEMENT PLAN (2009)	42
FIGURA 19 – ESQUEMA DE CASO DE DRENAGEM LINEAR RETIRADO CITY OF ASPEN URBAN RUNOFF MANAGEMENT PLAN (2011)	43
FIGURA 20 – EXEMPLO DE CASO DE DRENAGEM LINEAR RETIRADO DO CITY OF ASPEN URBAN RUNOFF MANAGEMENT PLAN (2011)	44
FIGURA 21 – HIPÓTESES PARA O CASO DO APARELHO COMBINADO TRADUZIDO DA FHA (2009)	44
FIGURA 22 – EXEMPLO PARA O CASO DO APARELHO COMBINADO	45
FIGURA 23 – GRÁFICO DE DIMENSIONAMENTO EM PONTO BAIXO COM ABERTURA NA GUIA	50
FIGURA 24 – GRELHA PADRÃO SEGUNDO A SUDECAP (COELHO)	52
FIGURA 25 – DIMENSIONAMENTO EM PONTO BAIXO COM GRELHA – DIMENSÕES USUAIS	53

FIGURA 26 – GRÁFICO DE DIMENSIONAMENTO EM PONTO BAIXO COM GRELHA PARA DIMENSÕES MÍNIMAS.....	54
FIGURA 27 – GRÁFICO DE DIMENSIONAMENTO EM PONTO BAIXO COM GRELHA PARA DIMENSÕES MÁXIMAS	55
FIGURA 28 – GRÁFICO DE DIMENSIONAMENTO EM PONTO BAIXO COM GRELHA PARA DIMENSÕES MÍNIMAS COM $Cd = 0,57$	55
FIGURA 29 – GRÁFICO DE DIMENSIONAMENTO EM PONTO BAIXO COM GRELHA PARA DIMENSÕES MÁXIMAS COM $Cd = 0,7$	56
FIGURA 30 — COMPORTAMENTO DO MODELO FHA COM A VARIAÇÃO DAS DECLIVIDADES PARA BAIXAS ALTURAS DE LÂMINA	58
FIGURA 31 — COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA CLÁSSICA E PELA FHA – ENCONTRO DAS CURVAS EM CASO USUAL	58
FIGURA 32 — COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA CLÁSSICA E PELA FHA PARA GRANDES LÂMINAS D'ÁGUA.....	59
FIGURA 33 — COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA CLÁSSICA E PELA FHA PARA AS CONDIÇÕES DO MODELO 3	59
FIGURA 34 — COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA CLÁSSICA E PELA FHA PARA AS CONDIÇÕES DO MODELO 2	60
FIGURA 35 — COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA CLÁSSICA E PELA FHA PARA PARA GRELHA EM PONTO MÉDIO NO MODELO 2	61
FIGURA 36 — COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA CLÁSSICA E PELA FHA PARA PARA GRELHA EM PONTO MÉDIO NO MODELO 3	62
FIGURA 36 — COMPARATIVO DO DIMENSIONAMENTO PELA METODOLOGIA CLÁSSICA E PELA FHA PARA PARA GRELHA EM PONTO MÉDIO NO MODELO 2 E $W=0,3m$	62

1. Introdução

Apesar de civilizações antigas possuírem sistemas de drenagem desenvolvidos, os incas por exemplo possuíam métodos de dimensionamento razoáveis e implementação excelentes (WRIGHT, 1999), drenar o fluxo de água do escoamento superficial em cidades é uma preocupação relativamente recente da sociedade ocidental. Por muitos séculos, as modificações no ambiente natural causadas principalmente pela urbanização foram realizadas de maneira inconsequente, criando muitas vezes problemas como frequentes inundações.

Sabe-se que o ciclo hidrológico é fortemente influenciado em áreas urbanas sobretudo devido à canalização do escoamento, à alteração da superfície de cobertura, à poluição decorrente de contaminação do ar, das superfícies urbanas e do material disposto pela população, o lixo produzido (BAPTISTA, 2003). Esse processo impacta ainda mais gravemente países em desenvolvimento, onde a urbanização ocorre de maneira muito pouco planejada, o crescimento é insustentável e as obras de drenagem são realizadas de forma ultrapassada, obsoleta e insuficiente, muitas vezes com métodos abandonados por países desenvolvidos já há décadas.

No caso específico do Brasil, o grande desenvolvimento urbano ocorreu no final dos anos 1960 até o final dos anos 1990, com um crescimento de 55 % de população urbana para 76% (TUCCI, 2002). O grande alvo dessa concentração populacional foram as grandes metrópoles, com aumento da poluição e da frequência das inundações em função da impermeabilização e da canalização. Após essa primeira fase, o aumento da população urbana vem ocorrendo principalmente na periferia das metrópoles, ocupando áreas de mananciais e de risco de inundação e de escorregamento. A Tabela 1 traz a comparação entre o estado dos sistemas de infra-estrutura urbana no Brasil e em países desenvolvidos. A falta de infraestrutura e capacidade limitada do poder público de cobrar a legislação faz com que este processo descontrolado atue diretamente sobre as inundações (TUCCI, 2002).

Tabela 1 – Aspectos da água no meio urbano (SILVEIRA, 2002)

Infra-estrutura urbana	Países desenvolvidos	Brasil
Abastecimento de água	Resolvido, cobertura total	Grande parte atendida, tendência de redução da disponibilidade devido a contaminação, grande quantidade de perdas na rede
Saneamento	Cobertura quase total	Falta de rede e estações de tratamento; as que existem não conseguem coletar e tratar o esgoto como projetado

Continuação da Tabela 1 (SILVEIRA, 2002)

Infra-estrutura urbana	Países desenvolvidos	Brasil
Drenagem Urbana	Controlados os aspectos quantitativos; Desenvolvimento de investimentos para de controle de aspectos de qualidade da água	Grandes inundações; Controle que agrava as inundações através de canalização; Aspectos de qualidade da água nem mesmo foram identificados
Inundações Ribeirinhas	Medidas de controle não-estruturais como seguro e zoneamento de inundação	Grandes prejuízos por falta de política de controle

Essa visão obsoleta sobre os sistemas de drenagem urbana tinha como seu principal objetivo esgotar rapidamente o excesso de águas de chuva, mitigar os danos decorrentes da presença de água nas vias. Em outras palavras, se baseia no conceito de escoar a água precipitada o mais rápido possível. Com este foco, toma-se como ações básicas para a solução destes problemas a execução de projetos de engenharia e os estudos de viabilidade econômica que retratavam a relação custo - benefício do sistema de drenagem concebido. Em geral as soluções se limitam a um conjunto de intervenções físicas, chamadas de medidas estruturais, tidas como solução definitiva para o problema. Isto tem, como consequência imediata, o aumento das inundações a jusante devido à canalização.

Com a canalização, enquanto a precipitação ocorre, não há infiltração alguma e o volume de água escoando pelos condutos aumenta demasiadamente, da ordem de seis vezes (TUCCI, 1995). Como consequência, faz-se necessário, para ter capacidade mínima de transportar todo esse ampliado volume, que seja aumentada a área de condutos e canais ao longo de todo o percurso dentro da cidade até um ponto em que não haja efeitos diretos na população. Evidentemente, isso aumenta muito o custo do projeto, tornando-o muitas vezes inviável.

Sabe-se hoje que este conceito de drenagem urbana não se sustenta como solução absoluta: a visão moderna de planejamento organiza o ambiente urbano em diversos subsistemas. A concepção, implementação e gestão destes deve ser feita de maneira articulada e em harmonia com a realidade econômica, cultural e social da cidade, tendo como objetivo principal a segurança e o bem estar dos cidadãos. Considera-se, por exemplo, como subsistemas: transporte público, viário, gestão de resíduos sólidos. abastecimento de água, drenagem urbana.

Neste panorama, como um subsistema do ambiente urbano, a drenagem superficial, além de interagir com os demais subsistemas, deve, em sua concepção, considerar medidas não estruturais como forma de torná-la consistente e eficaz. Tem-se como exemplos de medidas a formulação de um plano diretor de drenagem urbana, as leis de uso e ocupação do solo, a

realização de campanhas educacionais e, investimentos em pesquisas sobre novos métodos e tecnologias que aprimorem as atuais soluções adotadas, seja em uma esfera técnica, econômica, ambiental ou social.

Classifica-se as medidas de controle de acordo com o componente de drenagem em questão (TUCCI, 1995):

- na fonte: que envolve o controle em nível de lote ou qualquer área primária de desenvolvimento;
- na microdrenagem: medidas adotadas em nível de loteamento
- na macrodrenagem: soluções de controle nos principais rios urbanos.

Adota-se tais medidas de acordo com o estágio de desenvolvimento da área em estudo. Alguns exemplos na fonte são a detenção de lote (pequeno reservatório), o uso de áreas de infiltração para receber a água de áreas impermeáveis e recuperar a capacidade de infiltração da bacia, pavimentos permeáveis. Já para micro e macrodrenagem tem-se basicamente as detenções e retenções.

A microdrenagem basicamente constitui-se por leito das ruas, sarjetas, bocas-de-lobo e rede de galerias. A macrodrenagem constitui-se das intervenções em fundos de vale que coletam águas pluviais dos sistemas de microdrenagem (PORTO, 2002). Apesar da divisão teórica, o sistema trabalha em harmonia como um só, de maneira que o devido escoamento das águas da chuva depende do adequado funcionamento de todas as partes do sistema. Neste panorama, as bocas-de-lobo desempenham papel de captar as águas que escoam das sarjetas, sendo o ele entre esses dispositivos de drenagem superficial à rede de galerias subterrâneas.

As bocas-de-lobo, apesar de imprescindíveis na eficácia do sistema de drenagem urbana, são dimensionadas pela literatura clássica de distintas maneira, utilizando alguns padrões que podem não ser adotados na maioria das cidades brasileiras. É possível, pela inconsistência na metodologia, que se atribua valores de capacidade de engolimento inconsistentes com a realidade. Torna-se fundamental, então, o conhecimento das características de eficiência hidráulica reais deste dispositivo, assim como os diferentes meios de dimensioná-lo.

2. Objetivos

Considerando sempre os diversos aspectos citados, este trabalho tem como objetivo analisar e comparar diversos métodos de determinação da capacidade de engolimento de fluxo em sistemas de drenagem superficial pontual e linear. Bocas de lobo e grelhas são componentes muitos utilizados tanto em drenagem urbana, quanto aeroportuárias, e a disparidade entre metodologias para determinação de capacidade de engolimento acarreta em incertezas em relação ao dimensionamento desses sistemas . Serão analisadas metodologias encontradas na literatura nacional e internacional e verificadas suas aplicabilidades ao caso brasileiro. Será analisado o impacto das diferentes metodologias no dimensionamento de bocas de lobo e grelhas.

3. Referencial teórico

3.1. Tipos clássicos de bocas-de-lobo

Tem-se a seguir, um levantamento dos tipos de bocas-de-lobo mais empregados nos sistemas de drenagem urbana de algumas cidades brasileiras. A Figura 1 apresenta a classificação dos mais comuns tipos bocas-de-lobo utilizadas em diversas regiões brasileiras denominandos, respectivamente, boca-de-lobo simples, boca-de-lobo com grelha e boca-de-lobo combinada.

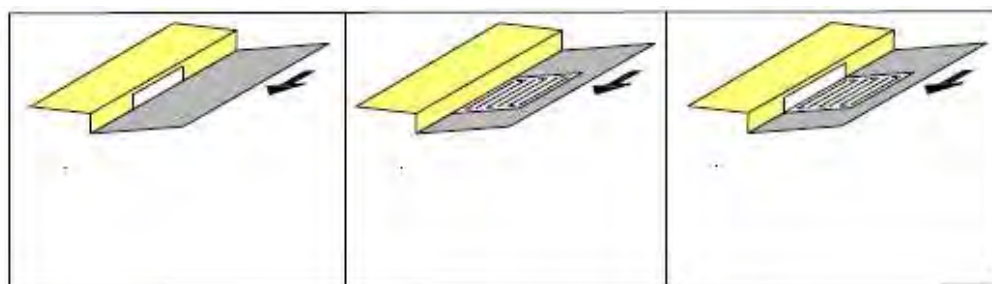


Figura 1 – Bocas-de-lobo mais comuns no Brasil. Da esquerda para a direita: boca-de-lobo simples, boca-de-lobo com grelha e boca-de-lobo combinada. Adaptado de LIMA (2007)

Como características tem-se:

- Boca-de-lobo simples, com uma abertura vertical na guia, onde se capta toda a água da sarjeta. Destaca-se a pequena obstrução por detritos, mas eles se encaminham diretamente para o curso d'água. A SUDECAP (1985) classifica este tipo de boca-de-lobo como “boca-de-lobo com cantoneira”, com padrão apresentado na Figura 2.

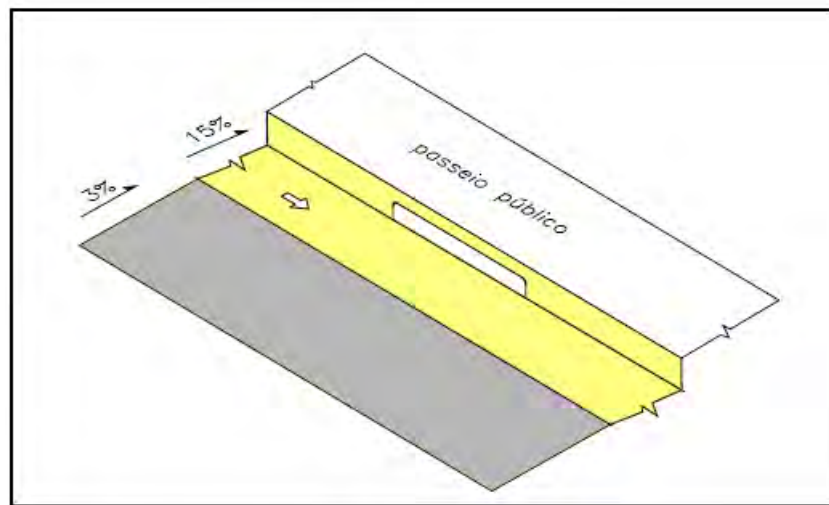


Figura 2 – Bocas-de-lobo com cantoneira padrão segundo LIMA (2007), adaptado de SUDECAP (1985)

- Boca-de-lobo com grelha, formada por uma abertura na sarjeta, revestida por grelha de metal ou concreto. Retém na grade grande parte dos detritos, obstruindo parcialmente sua área útil mas protegendo melhor o curso d'água.

- Boca-de-lobo combinada ou mista é a associação da boca-de-lobo simples com a de grelha. Naturalmente, além de de combinar, pode-se ter o caso em que a boca-de-lobo seja múltipla, ou seja, várias em série.

É muito comum no Brasil a utilização de um artifício para aumentar a capacidade de engolimento: a depressão na sarjeta, como verifica-se na Figura 3.

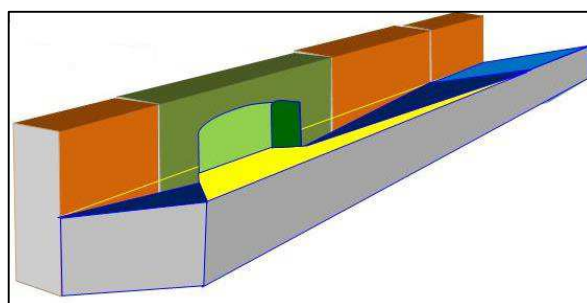


Figura 3 – Boca-de-lobo com depressão na sarjeta, retirado de DALFRÉ (2004)

3.2. Modelos matemáticos clássicos

Os estudos e pesquisas realizados sobre o tema, ainda não contemplam todas as situações de operação das bocas-de-lobo, apesar de sua inegável importância. Segundo levantamento feito por Lima (2007), um grupo de pesquisadores da Universidade Johns Hopkins desenvolveu uma série de pesquisas para investigar os problemas decorrentes da drenagem de águas pluviais urbanas, com foco na questão das bocas-de-lobo.

- Li, Geyer e Benton (1951), desenvolveram uma pesquisa em modelo reduzido de bocas-de-lobo com grelha na sarjeta sem depressão, utilizando um modelo de 6,10 m de comprimento por 0,91 m de largura suspenso por correntes presas a uma viga metálica com o objetivo de facilitar a variação das declividades longitudinal e transversal da rua. Conectou-se a extremidade de montante a um tanque do qual se bombeava a água de abastecimento. Utilizou-se modelos de boca-de-lobo em escala 1:2 com as barras longitudinais arredondadas no topo e com dimensões equivalentes no protótipo a 7,6 centímetros de altura e 3,2 centímetros de largura. A declividade longitudinal variou entre 0,5% e 6% , enquanto que a transversal variou de 8 a 50% e cada par de declividades longitudinal e transversal foi testado com diferentes valores de vazão e de comprimento da boca-de-lobo. A partir daí concebeu-se um modelo matemático para o cálculo desse tipo de aparelho.

- Li, Sorteberg e Geyer (1951) pesquisaram também sobre bocas-de-lobo com abertura na guia, com e sem depressão na sarjeta. Com o mesmo modelo de sarjeta construído para a pesquisa descrita acima e os modelos de boca-de-lobo em escala 1:3. Analogamente, na metodologia desta experiência foram medidas a vazão de entrada na sarjeta e a parcela desta que passa pela boca-de-lobo sendo a parcela da vazão captada pela boca-de-lobo obtida da subtração das duas primeiras. Estudou-se diferentes comprimentos de bocas-de-lobo, com diversos arranjos de declividades longitudinais e transversais. Para os testes com boca-de-lobo sem depressão na sarjeta, a faixa de declividade longitudinal da rua variou entre 0,5 e 4% e para boca-de-lobo com depressão na sarjeta foram feitos testes na faixa de declividade longitudinal entre 0,5 e 8%. Na maioria dos casos observados verificou-se que o fluxo que passa direto pela boca-de-lobo é cerca de 20% do total para a sarjeta com depressão e 40% do fluxo total para as sarjetas sem depressão.

- Li, Goodell e Geyer (1954) pesquisaram em modelo reduzido de escala 1:3 bocas-de-lobo com abertura na guia e defletores diagonais na sarjeta defronte a abertura na guia, como

esquemático na Figura 4. Em outras palavras, um conjunto de ranhuras na sarjeta dispostas regularmente ao longo da abertura na guia, de maneira a aumentar a capacidade da boca-de-lobo através de uma onda estacionária criada defronte a abertura na guia.

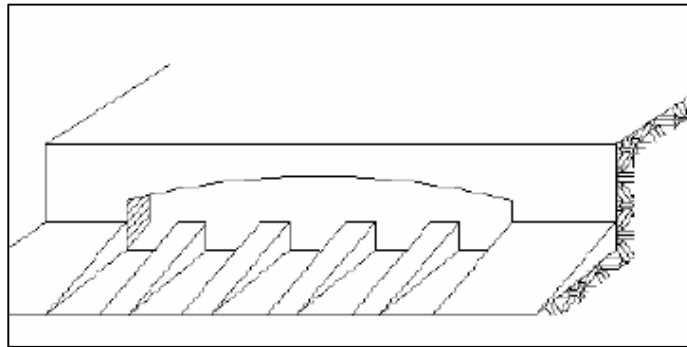


Figura 4– Boca-de-lobo com defletores na sarjeta, retirado de CARDOSO (2002), citado por LIMA (2007)

• Li, Goodell e Geyer (1954) estudaram também em modelo reduzido de escala 1:3 bocas-de-lobo combinadas (grelha mais abertura na guia) e com depressão na sarjeta, como esquematizado na Figura 5. Como resultado, foi desenvolvido um método para cálculo da capacidade hidráulica deste tipo de boca-de-lobo. Este método foi baseado nos modelos matemáticos desenvolvidos nas duas pesquisas citadas anteriormente que tratam respectivamente das bocas-de-lobo com grelha e sem depressão na sarjeta e bocas-de-lobo com abertura na guia com e sem depressão na sarjeta.

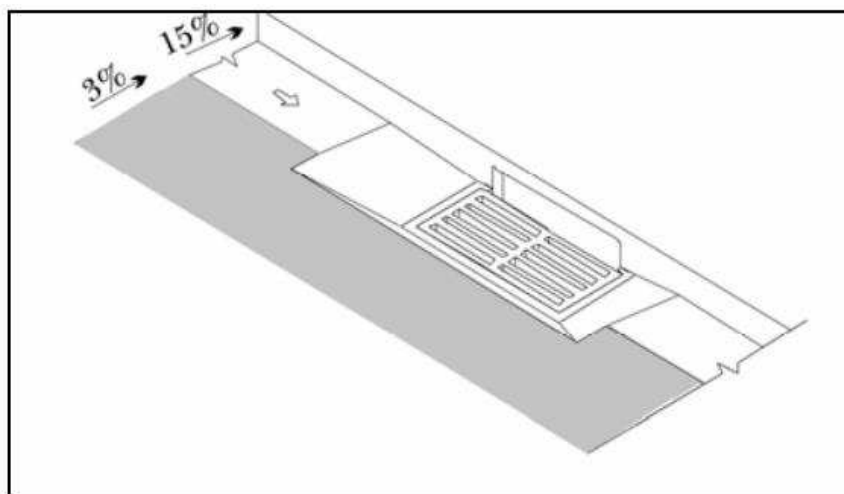


Figura 5 – Boca-de-lobo combinada, retirada de COELHO (2011)

Ao final destas 4 pesquisas, Li (1954) elaborou um trabalho com considerações teóricas comparando-se o desempenho dos diversos tipos de boca-de-lobo pesquisados:

- A boca-de-lobo combinada e com depressão é a mais eficiente, observando que a grelha deve ter apenas barras longitudinais;
- Não sendo permitidas depressões na sarjeta, bocas-de-lobo com grelhas ou combinadas são preferíveis para ruas com declividades longitudinais menores que 5%.
- Sendo a declividade longitudinal superior a 5%, aberturas no meio fio com defletores diagonais na sarjeta são mais eficientes. Defletores são autolimpantes e não oferecem incomodos ao tráfego.

Alguns outros estudos experimentais foram feitos desde então com diferentes considerações, como Yong (1965), Zwamborn (1966), Russam (1969), Forbes (1976), todos citados por Souza (1986), que realizou um estudo experimental para a determinação da eficiência de uma boca-de-lobo com abertura na guia (com e sem depressão), usando dois modelos físicos, sendo um na escala 1:3 e o outro na escala 1:1, variando as declividades longitudinais estiveram entre 5 e 14% e as vazões dos testes situadas na faixa de eficiência entre 50 e 100%. Neste estudo concluiu-se que, para o modelo estudado, a boca de lobo com depressão na sarjeta é em torno de 36% mais eficiente do que a boca-de-lobo sem depressão.

A partir dos dados experimentais foi proposto um modelo matemático para os tipos de boca-de-lobo estudados, expresso pela equação:

$$\frac{Q}{L} = k(\theta)y_0^{\frac{3}{2}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Q é a vazão captada na boca-de-lobo em m^3/s ;

L , o comprimento da abertura na guia em m ;

y_0 , a profundidade imediatamente a montante da boca-de-lobo em m ;

θ , a inclinação transversal da sarjeta;

k , o fator que depende do coeficiente de descarga, da aceleração da gravidade e do ângulo θ ;

Dalfré e Genovez (2004) testaram um modelo de boca-de-lobo com abertura e um rasgo adicional na guia, obtendo um considerável acréscimo na eficiência hidráulica. Kriguer e

Contreras (2004) verificaram a eficiência hidráulica de uma boca-de-lobo com grelha metálica na sarjeta, padrão utilizado em algumas cidades do Chile, observando:

- A altura da lâmina d'água aumenta ao diminuir a declividade longitudinal e ao aumentar a declividade transversal, dada uma vazão;
- Ao aumentar a vazão, diminui a eficiência da boca-de-lobo;
- Ao aumentar a declividade transversal, aumenta a eficiência da boca-de-lobo;
- A eficiência de captação é aproximadamente igual para as declividades longitudinais de 0,5 e 1,0%;
- Para a declividade transversal de 3% a eficiência da boca-de-lobo sofre poucas alterações com a variação da declividade longitudinal.

3.2.1. Capacidade Hidráulica

Há basicamente dois casos distintos de disposição das bocas-de-lobo, o que influencia diretamente em seu dimensionamento. Há casos em que o aparelho se encontra em um ponto baixo (mínimo local do sistema), o que significa que ele deverá absorver todo fluxo d'água de ambos os lados. Nos demais casos, o aparelho está posicionado em um ponto médio (em greide contínuo), o que significa que deverá absorver uma parte do fluxo, e parte poderá seguir pela sarjeta. Dimensiona-se de maneira diferente cada um dos casos.

3.2.1.1. Bocas-de-lobo em ponto baixo de sarjeta (com abertura na guia)

Essas bocas-de-lobo têm os seguintes comportamentos (LIMA, 2007):

- Para alturas de água menores que a altura da abertura na guia ($y / h \leq 1$) a boca-de-lobo funciona como um vertedouro e a capacidade de captação é definida, portanto, pela expressão:

$$\frac{Q}{L} = 1,703 * y^{\frac{3}{2}} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

Q é a vazão captada na boca-de-lobo em m^3/s ;

L, o comprimento da abertura na guia em m ;

y, a altura da lâmina d'água em m ;

- Para alturas de água em um valor entre uma e duas vezes a altura da abertura na guia ($1 < y / h < 2$) o funcionamento da boca-de-lobo é indefinido podendo, ora se comportar como vertedouro e ora como orifício;
- Para alturas de água maiores ou iguais a pelo menos duas vezes a altura da abertura ($y / h \geq 2$) a boca-de-lobo funciona como um orifício.

3.2.1.2. Bocas-de-lobo em ponto baixo da sarjeta (com grelha)

Essas bocas-de-lobo têm os seguintes comportamentos (LIMA, 2007):

- Para alturas da lâmina d'água sobre a grelha com até 12 cm a boca-de-lobo funciona como vertedouro e sua capacidade de captação é dada pela expressão:

$$\frac{Q}{P} = 1,655 * y^{\frac{3}{2}} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

Q é a vazão captada na boca-de-lobo em m^3/s ;

P, o perímetro da abertura da grelha, desconsiderando as barras internas, em m ;

y, a altura da lâmina d'água em m ;

- Para alturas entre 12 e 42cm o tipo de funcionamento é indefinido, podendo se comportar como um vertedor ou um orifício;
- Para alturas de água superiores a 42 cm esta passa a ter um comportamento de orifício.

3.2.1.3. Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo

Como levantado por Lima (2007), os critérios de Wilken (1978) e CETESB (1986) foram extraídos das pesquisas realizadas na Universidade Johns Hopkins e definem os seguintes critérios.

1. Com grelha, sem depressão

Em uma boca-de-lobo com grelha na sarjeta sem depressão, a parcela do fluxo que ultrapassa a boca-de-lobo, q , pode passar por três caminhos: entre a primeira abertura da grelha e a guia, q_1 , na parte externa da grelha, q_2 , podendo ainda ocorrer uma vazão excedente que resulta da parte do fluxo que escoar sobre as barras da grelha e a ultrapassa, q_3 .

Observou-se que a parcela da vazão q_1 é desprezível. Deve-se ter um comprimento L da grelha superior a um determinado valor L' para que todo o fluxo externo à faixa W seja captado, caso contrário, haverá vazão excedente q_2 . Para que todo fluxo sobre a faixa W seja integralmente captado, necessita-se de um comprimento $L \geq L_0$, condição sempre recomendada em projetos, mas caso não atendida, resulta em uma parcela excedente denominada q_3 . A Figura 6 mostra um esquema dos parâmetros necessários pro cálculo hidráulico.

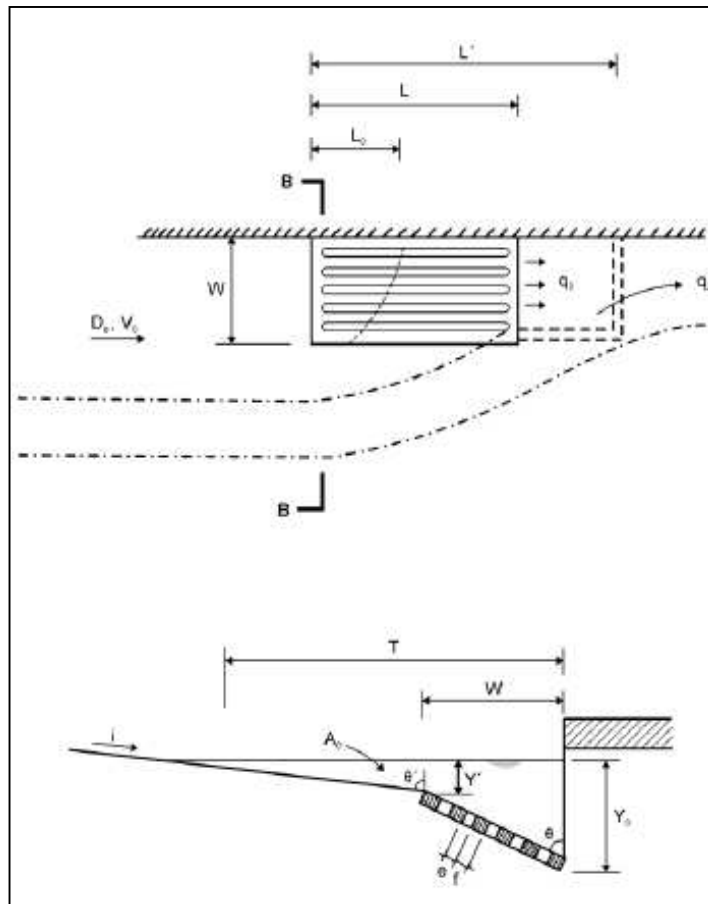


Figura 6 – Cálculo hidráulico para a boca-de-lobo com grelha, retirado de DNIT

Desta maneira, tem-se que $q = q_2 + q_3$ e calcula-se os comprimentos L' e L_0 por:

$$L_0 = m' * \frac{Q_0}{A_0} * \left(\frac{y_0}{g}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Onde:

L_0 é o comprimento mínimo da grelha para captar toda a vazão da faixa W em m ;

Q_0 , a vazão que escoar pela sarjeta, em m^3/s ;

A_0 , a seção molhada do escoamento pela sarjeta, em m^2 ;

y_0 , a altura da lâmina d'água na guia imediatamente a montante do aparelho em m ;

g , a aceleração da gravidade, em m/s^2 ;

m' , o fator que depende da configuração da grelha (número de barras, espessura e espaçamento), cujos valores se dão na Tabela 2.

Tabela 2 – valores de m' segundo a CETESB (1986)

Boca-de-lobo combinada		m
Grelhas com algumas barras transversais	$t \leq e$	3,3
Grelhas com diversas barras transversais	$t \leq e$	6,6
Boca-de-lobo com grelha		m
Grelhas com algumas barras transversais	$t \leq e$	4,0
Grelhas com diversas barras transversais	$t \leq e$	8,0

Havendo q_3 , nos casos em que $L < L_0$, seu valor é dado por:

$$q_3 = Q_0 \left(1 - \frac{L^2}{L_0^2}\right)^2 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

q_3 é a parcela do escoamento de largura W que ultrapassa a grelha em m^3/s ;

L , o comprimento da grelha, em m ;

Já o comprimento L' necessário para que todo escoamento externo à grelha seja captado é calculado por:

$$L' = 1,2 * tg(\theta_0) * \frac{U_0}{\sqrt{g y'}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

θ_0 é o ângulo entre o plano da sarjeta e a vertical;

U_0 , a velocidade do fluxo de largura W , em m/s ;

y' , a profundidade da lâmina d'água junto à borda externa da grelha, em m .

Tem-se então a parcela q_2 da vazão, a parte externa à grelha não captada:

$$q_2 = 0,25 * (L' - L) * y'_0 * \sqrt{g * y'_0}$$

Tem-se desta maneira que a capacidade desta boca-de-lobo é dada por:

$$Q = Q_0 - q = Q_0 - q_2 - q_3$$

2. Com abertura na guia, sem depressão

A capacidade de uma boca-de-lobo com abertura na guia e sem depressão na sarjeta depende basicamente de L , o comprimento da abertura na guia, U_0 , y_0 e θ , as características de aproximação do escoamento, g , a aceleração da gravidade, e q , a vazão excedente, como esquematizado na Figura 7.

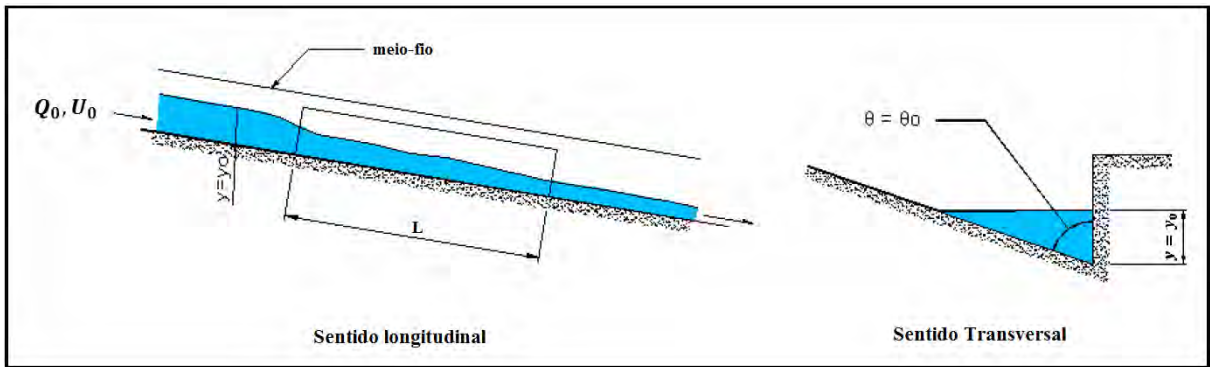


Figura 7 – Parâmetros de cálculo para a boca-de-lobo com abertura na guia, adaptado de LIMA (2007)

Tem-se a seguinte relação funcional:

$$\frac{Q}{L * y * \sqrt{g * y_0}} = \phi \left(\frac{U_0}{\sqrt{g * y_0}}, \frac{q}{Q}, \theta \right)$$

Variando-se os valores dos adimensionais $\frac{U_0}{\sqrt{g \cdot y_0}}$ e θ em diversos testes, chega-se à seguinte equação:

$$\frac{Q}{L \cdot y_0 \cdot \sqrt{g \cdot y_0}} = K \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

Q é a vazão captada, em m^3/s ;

L , o comprimento da abertura na guia, em m ;

y_0 , a altura da lâmina d'água a montante da abertura da guia, em m ;

K , uma constante que depende apenas do ângulo θ .

Verifica-se experimentalmente alguns valores de K , mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – valores de K

$tg(\theta)$	12	24	48
K	0,23	0,20	0,20

3. Com abertura na guia, com depressão

O dimensionamento muda para o caso de haver depressão principalmente por dois motivos:

- A profundidade y na extremidade montante da abertura na guia é diferente da profundidade do fluxo na sarjeta, y_0 .
- Parte do fluxo é retida próxima a extremidade de jusante da abertura, aumentando a parcela da vazão captada pela boca-de-lobo.

O valor de y é obtido na relação entre as energias das seções referentes ao início e ao final da transição, pois considera-se condição de escoamento uniforme na faixa de transição L_1 , como esquematizado na Figura 8.

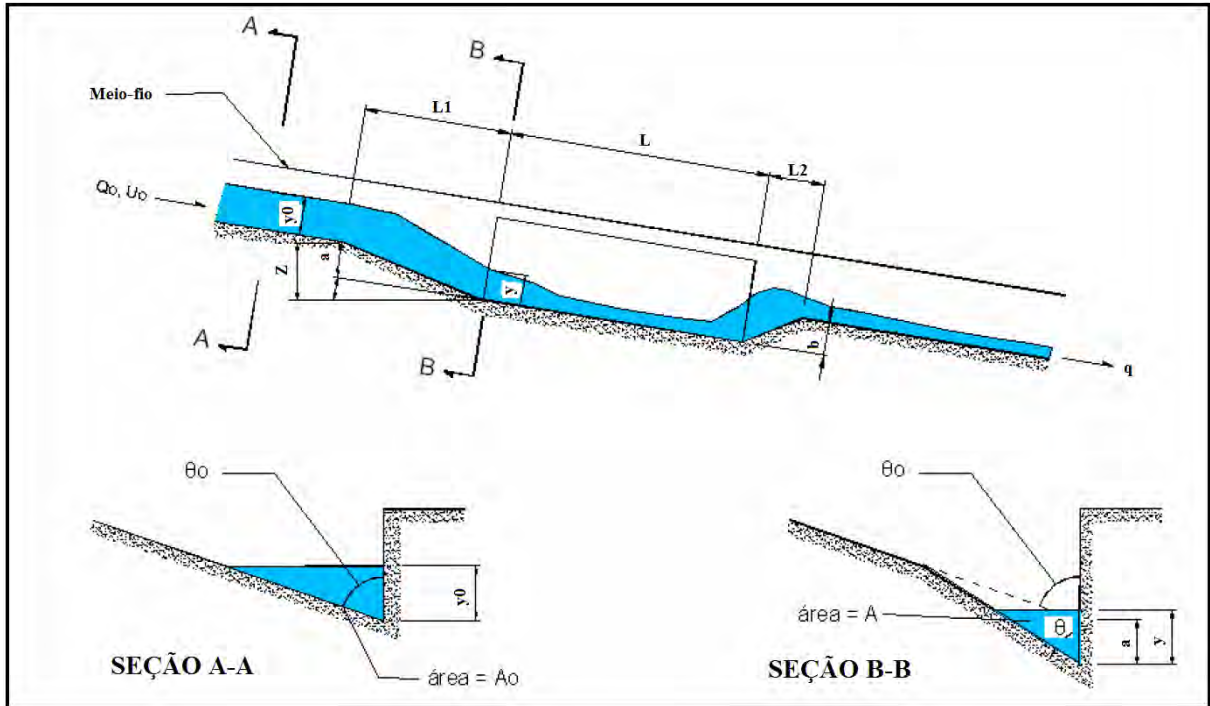


Figura 8 – Parâmetros de cálculo para a boca-de-lobo com abertura na guia e depressão, adaptado de LIMA (2007)

Tem-se portanto, em função do valor a da depressão:

$$\frac{Q_0}{2 * g * A^2} + y = \frac{Q_0}{2 * g * A_0^2} + y_0 + a$$

Conhecendo-se então o valor de y , a lei geral de captação para esse tipo de boca-de-lobo se torna:

$$\frac{Q}{L * y * \sqrt{g * y}} = K + C \quad \text{Equação 8}$$

Sendo C o incremento na capacidade de captação da boca-de-lobo devido à retenção de parte do fluxo na transição de jusante da depressão.

4. Com grelha e abertura na guia

O modelo matemático de Li, Goodell e Geyer (1954), apontado por Lima (2007), para determinar a capacidade de engolimento desse tipo de boca-de-lobo segue algumas etapas. Em primeiro lugar. Determina-se a altura da lâmina d'água y na extremidade de montante da grelha

e também na abertura da guia, considerando que ambas estejam alinhadas transversalmente na rua. Para isso, considera-se escoamento uniforme e se aplica a lei da conservação de energia entre as seções inicial e final.

Repete-se então o modelo para determinar a capacidade das bocas-de-lobo com grelha sem depressão na sarjeta. Sendo assim, o fluxo que ultrapassa a boca-de-lobo o faz por tres caminhos: entre a guia e a primeira abertura da grelha, q_1 ; sobre a própria grelha, q_3 e externamente à grelha, q_2 . De maneira análoga, considera-se q_1 desprezível. Experimentalmente, o modelo foi testado apenas para o caso em que a boca-de-lobo é capaz de captar todo o fluxo que escoar sobre grelha, de maneira que a vazão total que ultrapassa a grelha seja q_2 . A influência da abertura na guia na capacidade de engolimento é refletida na redução do valor da constante m (dada pelas características físicas da grelha). Na prática, isto significa um ganho de eficiência da boca-de-lobo devido aos menores valores exigidos para o comprimento L_0 .

Tem-se ainda pelo modelo que, devido ao acúmulo de água que ocorre no lado de jusante da depressão, parte da vazão que ultrapassa a boca-de-lobo retorna e é captada pela boca-de-lobo. Desta maneira, uma vazão adicional $q_2 - q$ é captada pela boca-de-lobo em decorrência da existência da depressão.

Tem-se disto um método matemático e gráfico para a determinação do valor da vazão adicional $q_2 - q$ sendo os resultados para declividades longitudinais abaixo de 5% mensuráveis. Comumente, porém desconsidera-se esse valor incremental, principalmente na literatura brasileira, por se tratar de uma implementação complexa e de valores práticos praticamente desprezíveis.

3.2.2. Escoamento na sarjeta

Os métodos de determinação da capacidade de engolimento dos diferentes tipos de boca-de-lobo, dependem de parâmetros relativos ao escoamento na sarjeta, tais como altura da lâmina d'água no meio fio, y_0 , velocidade e vazão, U_0 e Q_0 . Calcula-se essa vazão nas sarjetas pela adaptação da equação Manning para emprego em canais de seção transversal triangular:

$$Q_0 = 0,375 * \left(\frac{Z}{n}\right) * y_0^{\frac{8}{3}} * I^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

Q_0 é a vazão na sarjeta, em m^3/s ;

z , o inverso da declividade transversal;

n o coeficiente de rugosidade de Manning;

y_0 , a altura da lâmina d'água na guia, em m ;

I , a declividade longitudinal da rua.

Para a situação em que a largura da lâmina d'água T forma uma sarjeta com declividade transversal composta, o procedimento para a determinação da capacidade da mesma é a decomposição em sarjetas com declividades transversais únicas seguida do cálculo da capacidade individual destas. Desta maneira, a capacidade total é a soma das capacidades das decompostas.

3.2.3. Influência dos detritos sólidos

A presença dos resíduos sólidos nas vias urbanas e áreas adjacentes é um grande problema para todos os subsistemas do espaço urbano, sendo ameaçadora sanitária e ambientalmente (BARROS, 1998). Para o sistema de drenagem, eles podem afetar diretamente com a obstrução das grelhas das bocas-de-lobo, com a consequente redução da eficiência hidráulica deste dispositivo. Podem ainda atingir e poluir os receptores naturais como córregos, lagos ou rios. É improvável acreditar que este problema será erradicado nas cidades brasileiras a curto ou médio prazo, uma vez que envolve problemas sócio-culturais. Devem ser adotadas, portanto, medidas estruturais que levem em consideração o peso dos detritos no sistema.

Como medida não-estrutural, por outro lado, podem ser feitas anualmente, a dois meses de cada período chuvoso, desobstruções das bocas-de-lobo como forma de garantir o funcionamento normal da drenagem nos períodos chuvosos. Esta medida pode significar a diferença fundamental entre funcionamento ou não de todo o sistema da cidade.

É recomendada a aplicação de um fator de redução sobre a capacidade teórica das bocas-de-lobo como forma de se prever os efeitos de detritos. Os valores deste fator segundo recomendação da CETESB (1986) são dados na Tabela 4.

Tabela 4 – fator de redução capacidade das bocas-de-lobo segundo a CETESB (1986), citado por LIMA (2007)

Boca-de-lobo	Posicionamento	Fator de redução
Abertura na guia	Ponto baixo	80%
	Ponto médio	80%
Grelha	Ponto baixo	50%
	Ponto médio (grelha transversal)	60%
	Ponto médio (grelha longitudinal)	50%
Combinada	Ponto baixo	65%
	Ponto médio	110% dos valores da grelha correspondente

A SUDECAP (2006) recomenda que se aplique um fator de redução de 35% sobre a capacidade teórica das bocas-de-lobo em pontos baixos.

3.2.4. Manual de Drenagem de Rodovias – DNIT

O Departamento Nacional de infra-estrutura de transportes (DNIT), vinculado ao Ministério dos transportes, possui publicação original de 1990 (com segunda edição em 2006) do Manual de Drenagem de Rodovias, que apresenta critérios usualmente adotados pelos projetistas de drenagem rodoviária, buscando-se a simplificação de procedimentos e a facilidade de sua aplicação.

Este documento aborda vários temas, como drenagem na transposição de talvegues, drenagem de pavimento, drenagem subterrânea, drenagem de travessia urbana, geotêxteis, e considerações também sobre drenagem superficial, incluindo bocas-de-lobo. As recomendações de projeto feitas estão, de maneira geral, contidas nas descritas como metodologia clássica de dimensionamento, com algumas considerações relevantes.

3.2.4.1. Bocas-de-lobo em ponto baixo de sarjeta (com abertura na guia)

Essas bocas-de-lobo são dimensionadas de mesma maneira que pela metodologia clássica, dividindo em três casos: escoamento com superfície livre, escoamento afogado, e o caso de transição:

- $y/h \leq 1$ sendo dimensionado pelo modelo de vertedouro;
- $y/h \geq 2$ sendo dimensionado pelo modelo de orifício e considerando o coeficiente de descarga $C_d = 0,7$;
- Caso intermediário tido como indefinido.

Para ajuar o dimensionamento de maneira prática, tem-se um nomograma resumindo este dimensionamento, mostrado na Figura 9. Ele fornece uma relação entre a abertura h no meio-fio, a relação entre a abertura do meio-fio e a altura da lâmina da água y/h e a capacidade da boca-de-lobo pelo seu comprimento.

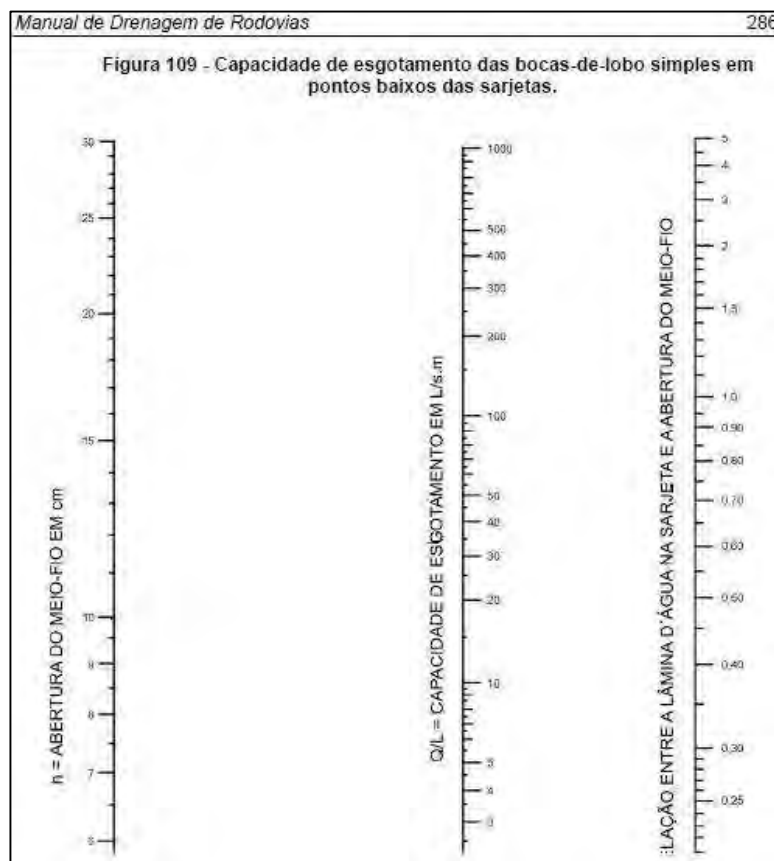


Figura 9 – Nomograma de dimensionamento para boca-de-lobo com abertura na guia segundo adaptado do DNIT (2006)

3.2.4.2. Bocas-de-lobo em ponto baixo da sarjeta (com grelha)

Essas bocas-de-lobo também são dimensionadas de mesma maneira que pela metodologia clássica, dividindo em três casos: escoamento com superfície livre, escoamento afogado, e o caso de transição:

- $y \leq 12 \text{ cm}$ sendo dimensionado pelo modelo de vertedouro;
- $y \geq 42 \text{ cm}$ sendo dimensionado pelo modelo de orifício;
- Caso intermediário tido como indefinido e decidido pelo projetista;

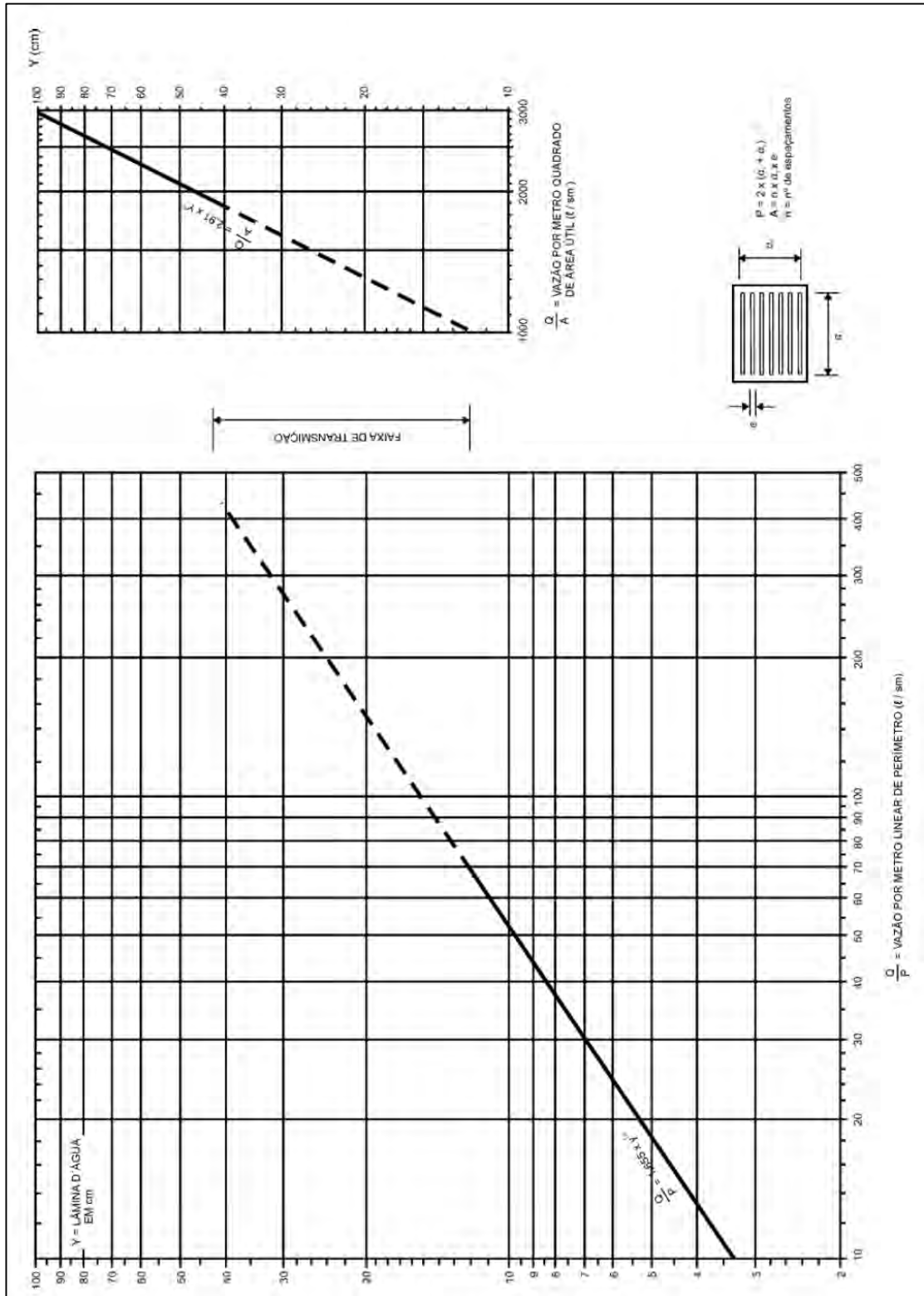


Figura 10 – Diagrama de dimensionamento para boca-de-lobo com grelha segundo o DNIT (2006)

O manual fornece, também, uma alternativa a esse diagrama para o dimensionamento, que considera o funcionamento pelo modelo de orifício a partir de 7,5 cm, de maneira a gerar um diagrama diferente para o dimensionamento. Essa diferença é dita decorrer da diferenças de critério na escolha de valor do coeficiente de descarga, e a escolha da metodologia de dimensionamento fica a cargo do projetista. Tem-se na Figura 10 o diagrama para dimensionamento e na Figura 11 o diagrama alternativo para o dimensionamento.

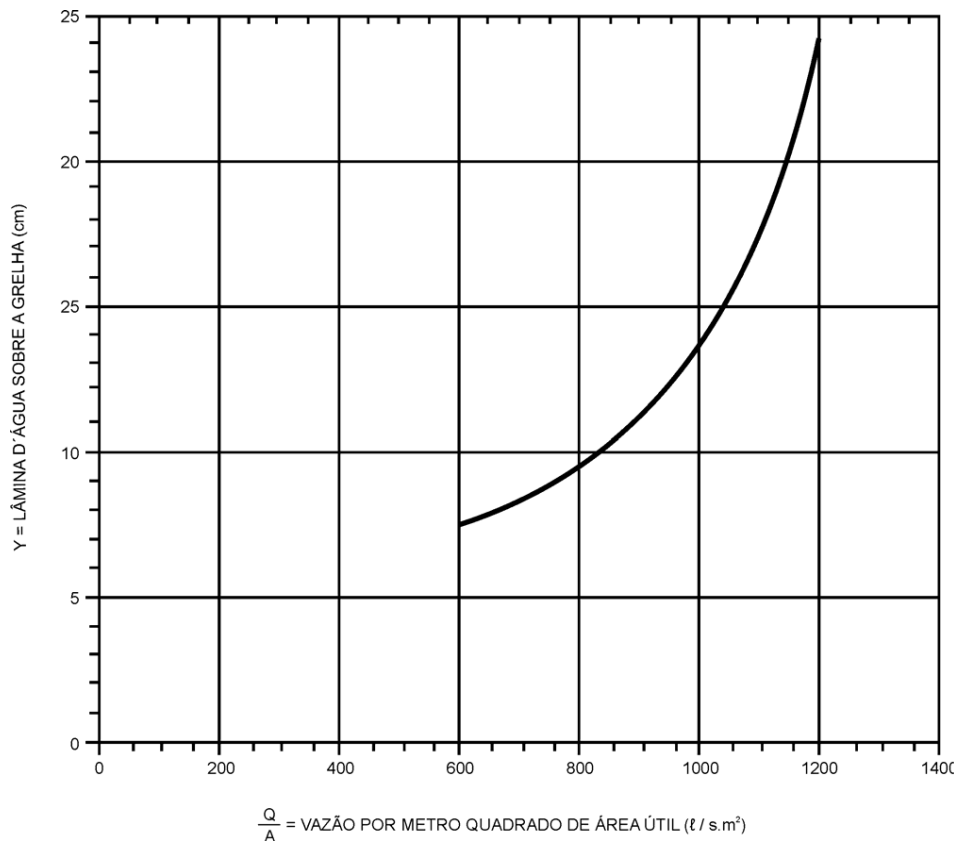


Figura 11 – Diagrama de dimensionamento alternativo para boca-de-lobo com grelha segundo o DNIT (2006)

3.2.4.3. Bocas-de-lobo em pontos de greide contínuo

Dimensionamento também análogo ao apresentado, na metodologia clássica, com acréscimo de diagramas. Para o caso o caso de abertura na guia, o dimensionamento é dado por:

$$\frac{Q}{L} = K * y_0 * \sqrt{g * y_0}$$

A Figura 12 fornece esquema da seção da boca-de-lobo. E a Figura 13 mostra o diagrama de dimensionamento.

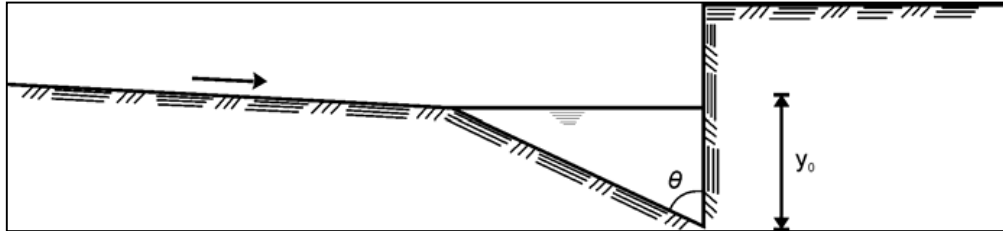


Figura 12 – Seção na entrada da boca-de-lobo segundo o DNIT (2006)

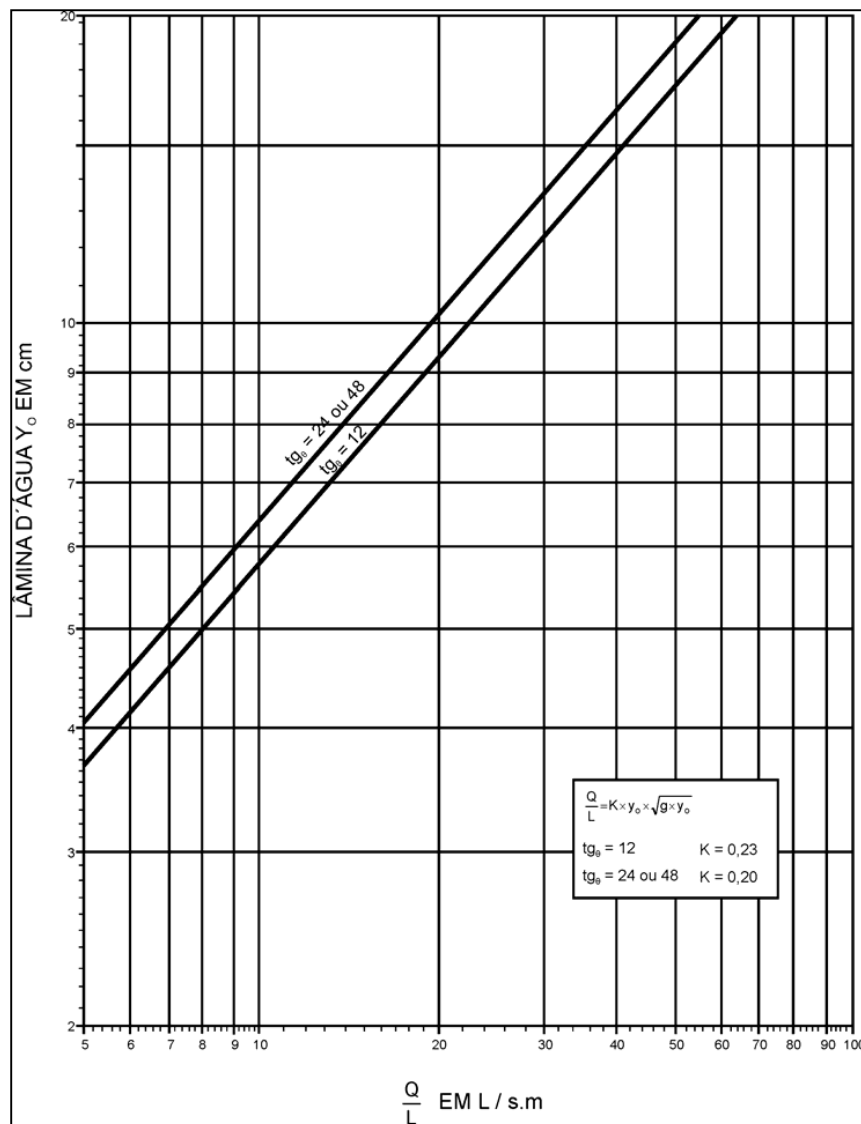


Figura 13 – Diagrama de dimensionamento para boca-de-lobo com abertura na guia em greide contínuo segundo o DNIT (2006)

Para o caso o caso de grelha, o dimensionamento é dado pelas fórmulas já descritas e o manual da DNIT não apresenta nenhuma diferença na metodologia, nem diagramas.

3.3. Federal Highway Administration (2009)

O Departamento de Transporte nos Estados Unidos, representado pela Federal Highway Administration (FHA), tem em sua autoria o Urban Drainage Design Manual (2009), referenciado à Hidraulic Engineering Circulation 22. Neste manual se baseam diversos outros de diversas partes dos Estados Unidos, como por exemplo o manual de drenagem da cidade de Aspen.

O manual divide as bocas-de-lobo em três categorias: com grelha, abertura na guia e entrada linear, mostrados na Figura 14.



Figura 14 – Tipos de boca-de-lobo na cidade de Aspen (EUA). Da esquerda para a direita: grelha, abertura na guia e entrada linear. Retirado do City of Aspen Urban Runoff Management Plan (2011)

Segundo tal manual, para se comparar a capacidade de engolimento e eficiência hidráulica de diferentes tipos de boca-de-lobo é necessário fixar duas variáveis e investigar os efeitos de se variar as demais. Tem-se por exemplo uma comparação entre abertura na guia, grades e drenagem linear para um determinado valor de vazão na sarjeta (no caso em $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$), declividade (3%) fixos e variando-se a declividade longitudinal.

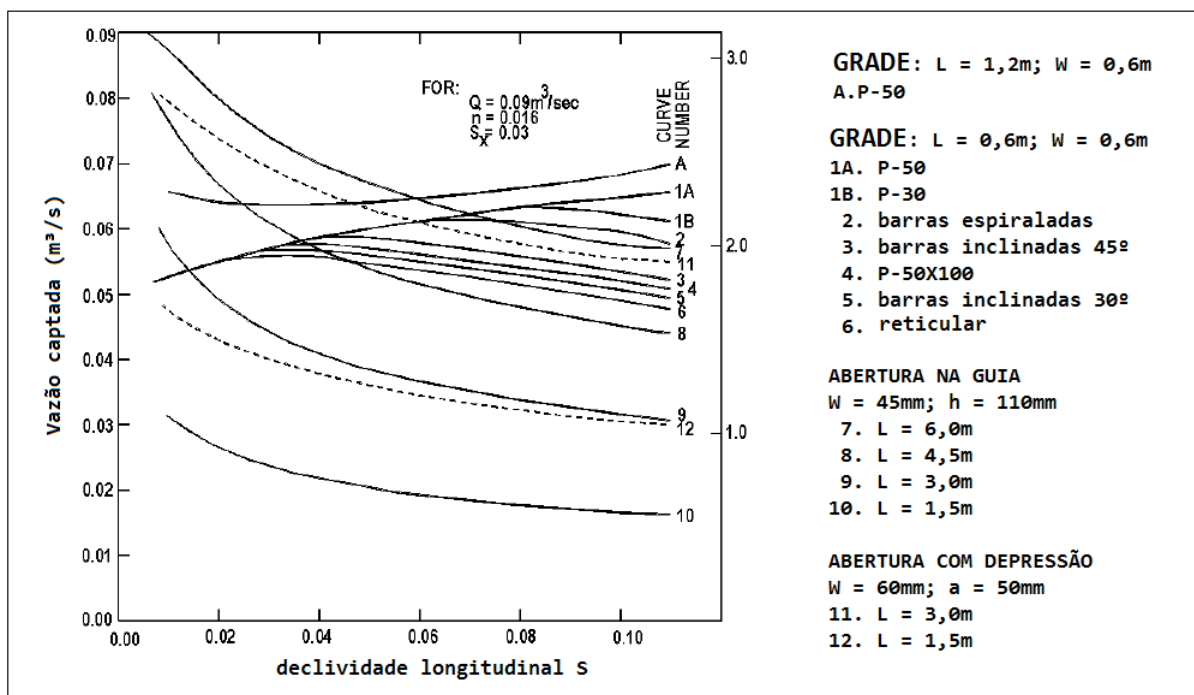


Figura 15 – Comparativo da capacidade de engolimento variando a declividade. Traduzido de Urban Drainage Design Manual (2009)

A Figura 15 traz o comparativo de capacidade de engolimento variando a declividade para vários aparelhos (bocas-de-lobo). Todos os aparelhos (com exceção das grelhas) perdem capacidade de engolimento e eficiência hidráulica com o aumento da declividade longitudinal porque a dispersão no pavimento e guia diminuem com um aumento de velocidade. Dessa maneira, pode-se também concluir que a capacidade de engolimento e a eficiência aumentariam com menores declividades longitudinais, assim como a capacidade de engolimento aumentaria e a eficiência diminuiria com taxas de vazão maiores.

Diretrizes Gerais Projeto

As seguintes diretrizes devem ser utilizados na concepção entradas ao longo de um trecho drenagem segundo o City of Aspen Urban Runoff Management Plan (2011). Ressalta-se que tratam-se de recomendações para território estadunidense, de maneira que algumas destas (como observações para bancos de neve) não se aplicam diretamente ao caso brasileiro.

1. O modelo e localização das bocas-de-lobo devem levar em consideração o tráfego de pedestres e bicicletas. Todas as grelhas devem ser seguras para ciclistas.

2. Manutenção das bocas-de-lobo deve ser considerados para determinar os locais de entrada. A inclinação da rua, o potencial de detritos e acumulações de gelo, a distância entre as

das bocas-de-lobo e / ou bueiros etc., devem ser considerados. Acessos de manutenção devem ser fornecidas para todas as bocas-de-lobo.

3. A segurança dos pedestres nos meses de inverno, quando os bancos de neve começarem a derreter, precisa ser considerada.

4. Para evitar potenciais danos de grandes veículos passando sobre o meio-fio, bocas-de-lobo não serão colocadas no alcance do raio definido por dois meio-fios que de ruas transversais que se encontram em uma esquina, ou seja, o raio desta curva.

5. A seleção da grelha adequada deve basear-se em diversos fatores, incluindo, mas não se limitando a, o uso de terras adjacentes e potencial para pedestres ou tráfego de bicicletas, o potencial para acumulação de detritos, a visibilidade, a carga esperada de veículos, e capacidade hidráulica.

3.3.1. Detritos nas bocas-de-lobo

Deve ser considerado um fator de entupimento em todas os aparelhos hidráulicos utilizados de maneira que o comprimento efetivo L_e :

$$L_e = (1 - C_g) * L \quad \text{Equação 10}$$

Onde C_g é um fator de detritos que representa o grau de entupimento no aparelho estudado e diminui, desta maneira, a capacidade da boca-de-lobo. Os valores deste coeficiente segundo a FHA são dados na Tabela 5. Ressalta-se que o valor de C_g é consideravelmente mais alto para grelhas do que para aberturas na guia, o que mostra o quanto grelhas são mais sensíveis que aberturas a detritos.

Tabela 5 – valores de coeficiente de entupimento segundo o manual da FHA

Número de unidades	C_g para aberturas na guia	C_g para grelhas
1	0,12	0,50
2	0,08	0,38
3	0,05	0,29
>4	0,04	0,23

O cálculo da área efetiva se dá de maneira análoga ao comprimento, também dependendo do coeficiente de detritos C_g :

$$A_e = (1 - C_g) * A$$

3.3.2. Vazão de projeto

Geralmente as bocas-de-lobo em greide continuo são concebidas para capturar de 70 a 90% do da vazão da rua. A vazão restante será levada até a próxima boca-de-lobo a jusante. A vazão de projeto Q_s de determinada boca-de-lobo local é a soma das vazões Q_p , referente à área local e Q_{co} , restante da boca-de-lobo imediatamente a montante.

$$Q_s = Q_p + Q_{co}$$

3.3.3. Bocas-de-lobo com grelhas

3.3.3.1. Greide contínuo

As águas pluviais carregadas incluem a vazão na sarjeta, que é carregada por toda sua largura e a vazão lateral que se espalha pelas faixas de tráfego. Em termos gerais, considera-se que o fluxo decorrente da sarjeta pode ser totalmente absorvido pela boca-de-lobo. Segundo o Urban Drainage Design Manual (2009) da FHA, fração E_0 da vazão frontal comparada com a total da sarjeta para uma inclinação transversal uniforme é dada por:

$$E_0 = \frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2,67} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

Q é a vazão na sarjeta, em m^3/s ;

Q_w é a vazão na largura W , em m^3/s ;

W é a largura da depressão;

T , a altura da lâmina d'água na guia, em m ;

A fração Q_s (vazão lateral) em comparação ao total da sarjeta é dada por:

$$\frac{Q_s}{Q} = 1 - \left(\frac{Q_w}{Q}\right)^{2,67}$$

A fração de interceptação R_f da vazão frontal é estimado como:

$$R_f = 1 - K_u(V - V_0) \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

$K_u = 0,295$ (0,09 no sistema de unidades inglês);

V é a velocidade do fluxo, em m/s ;

Nota-se R_f não pode superar 1,0.

A porcentagem de interceptação R_s da vazão lateral pode ser obtida pela seguinte equação:

$$R_s = \frac{1}{\left(1 + \frac{K_u V^{1,8}}{SL^{2,3}}\right)} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$K_u = 0,0828$ (0,15 no sistema inglês de unidades);

S é a declividade transversal;

L é o comprimento da grelha;

Desta maneira que tem-se a capacidade de interceptação total é dada pela soma das frações interceptadas frontal e lateralmente:

$$Q_i = Q_w R_f + R_s Q_s$$

A vazão excedente Q_{CO} é então dada por:

$$Q_{CO} = Q_s - Q_i$$

A Figura 16 mostra um exemplo esquemático de grelha (tipo P-50) descrita no manual da FHA.

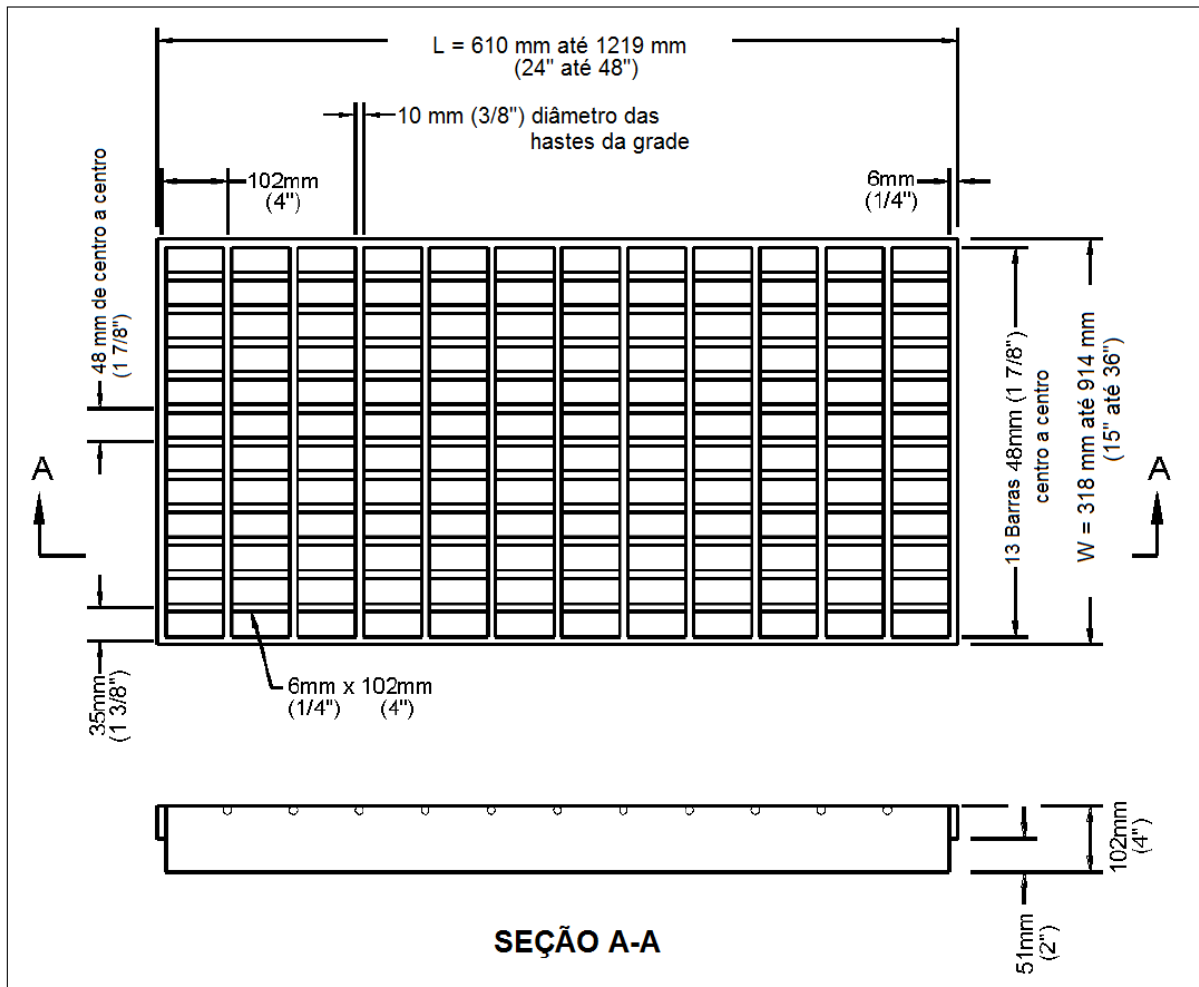


Figura 16 – Esquema da grelha tipo P-50 traduzido do Urban Drainage Design Manual (2009)

3.3.3.2. Ponto baixo

Uma boca-de-lobo com grelha em ponto baixo deve operar como um vertedor (em profundidades rasas de água) tendo sua capacidade dada por:

$$Q_w = C_w P_e y_s^{1.5}$$

Onde:

Q_w é a vazão no vertedor, em m^3/s ;

C_w , o coeficiente do vertedor;

P_e , o perímetro efetivo, em m ;

y_s , a altura da lâmina d'água na guia, em m ;

Já quando submersa, a boca-de-lobo deverá se comportar como um orifício, seguindo a equação:

$$Q_0 = C_0 A_e \sqrt{2g y_s}$$

$$A_e = (1 - C_g) m W_0 L_0$$

Onde:

C_0 é o coeficiente de orifício;

W_0 , a largura da grelha;

L_0 , o comprimento da grelha;

m , a taxa de abertura na grelha;

Teoricamente, a mudança na performance hidráulica se dá no ponto em que as curvas para vertedor e orifício se interceptam, mas na prática se verifica que o valor de vazão será o menor entre Q_w e Q_0 .

3.3.4. Bocas-de-lobo com abertura na guia

3.3.4.1. Greide contínuo

Para se instalar uma boca-de-lobo em abertura na guia com greide contínuo, o comprimento da abertura L_t requerido para absorção completa (100%) das águas pluviais de vazão Q_s é dado por:

$$L_t = K_u Q^{0,42} S_0^{0,3} \left(\frac{1}{n S_e} \right)^{0,6} \quad \text{Equação 14}$$

$$S_e = S_x + S_w \frac{Q_w}{Q_s}$$

Onde $K_u = 0,817$ (0,6 no sistema inglês de unidades) e S_0 é a declividade longitudinal na rua. A Figura 17 mostra um esquema da abertura na guia e a Figura 18 traz um exemplo de aparelho com dimensões reais. A abertura na guia deve ter um comprimento menor, porém próximo a L_t . A capacidade de engolimento da boca-de-lobo é calculada por:

$$Q_i = Q \left(1 - \left(1 - \frac{L_e}{L_t} \right)^{1,80} \right)$$

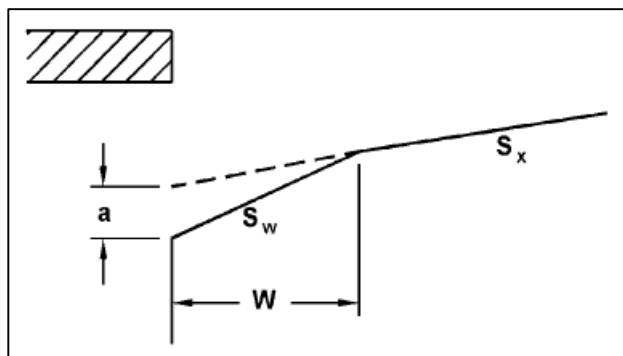


Figura 17 – Abertura na guia com depressão, retirado da FHA (2009)

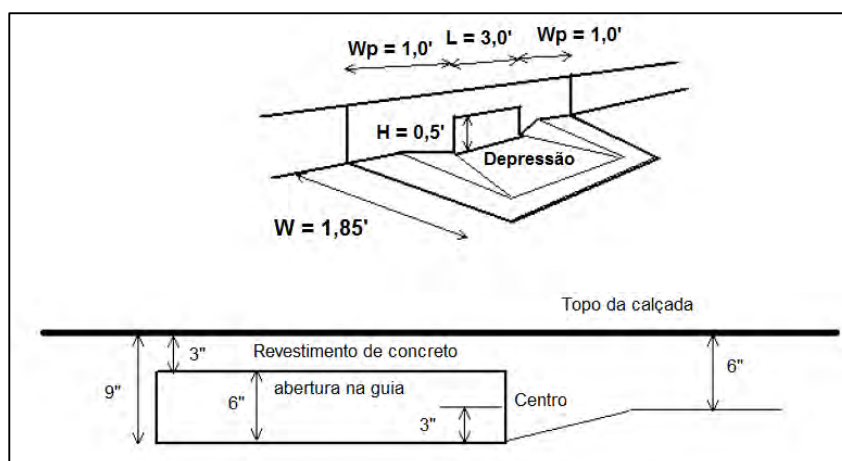


Figura 18 – Exemplo de boca-de-lobo com abertura na guia e depressão traduzido do Urban Runoff Management Plan (2009)

3.3.4.2. Ponto baixo

Uma boca-de-lobo com grelha em ponto baixo deve operar como um vertedor (em profundidades rasas de água) tendo sua capacidade dada por:

$$Q_w = C_w P_e y_s^{1,5}$$

$$P_e = (1 - C_g)(L + k W_p) + 2W$$

Onde:

W_p é largura da depressão;

$k = 1,8$;

P_e , o perímetro efetivo, em m ;

y_s , a altura da lâmina d'água na guia, em m ;

Já quando a profundidade da lâmina d'água aumenta, a boca-de-lobo deverá se comportar como um orifício, seguindo a equação:

$$Q_0 = C_0 A_e \sqrt{2g(y_s - y_c)}$$

$$A_e = (1 - C_g)HL$$

Onde:

y_s é a altura da lâmina d'água;

y_c , centro da área de abertura acima do chão;

H , a altura da área de abertura;

L , a largura da área de abertura;

3.3.5. Drenagem linear

Esse tipo de aparelho é muito similar hidraulicamente à boca-de-lobo com abertura na guia. Como resultado, as fórmulas de dimensionamento aplicadas para a abertura na guia também podem ser utilizadas aqui. A Figura 19 traz um esquema do aparelho de drenagem linear, e a Figura 20 traz um exemplo de sua aplicação.

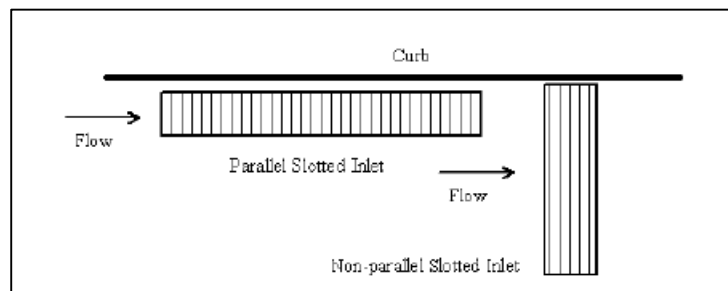


Figura 19 – Esquema de caso de drenagem linear retirado City of Aspen Urban Runoff Management Plan (2011)

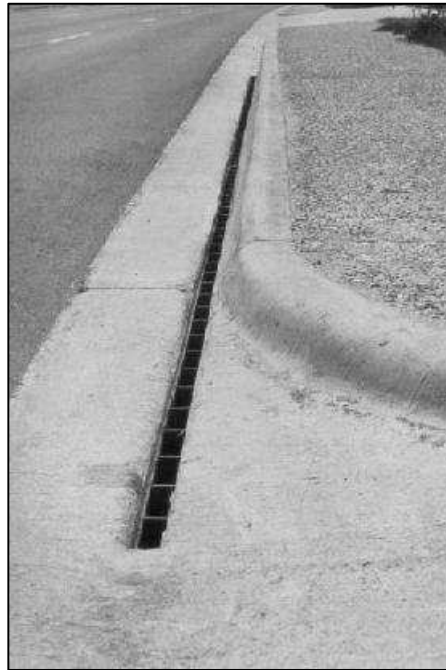


Figura 20 – Exemplo de caso de drenagem linear retirado do City of Aspen Urban Runoff Management Plan (2011)

3.3.6. Boca-de-lobo combinada

Considera-se para o dimensionamento que ambas as partes da boca-de-lobo combinada (grelha e abertura na guia) funcionam independentemente. Essa hipótese significaria, teoricamente, que a abertura na guia estaria posicionada imediatamente após à grelha, de maneira a captar toda a vazão excedente da grelha. No caso em que a grelha capta 100% da vazão, por exemplo, a abertura na guia não captaria nada. Em teoria, a capacidade do aparelho combinado deve ser menor que a soma das capacidades de ambos aparelhos separadamente, de maneira que pode se assumir, para ser conservador, que a capacidade da combinação é o mais alto valor entre grade e abertura quando a lâmina de água for baixa. A ideia de que elas funcionam independentemente só é realmente justificada quando a altura da lâmina d'água é maior que a da abertura na guia.

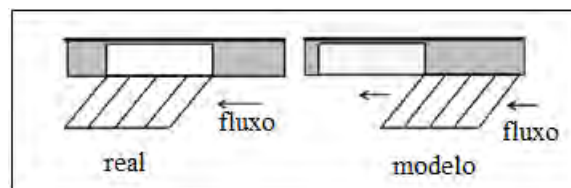


Figura 21 – Hipóteses para o caso do aparelho combinado traduzido da FHA (2009)



Figura 22 – Exemplo para o caso do aparelho combinado retirado do City of Aspen Urban Runoff Management Plan (2011)

3.4. Posicionamento das bocas-de-lobo

É relevante notar que para o dimensionamento do sistema de drenagem superficial como um todo é relevante não apenas a capacidade de engolimento de cada boca-de-lobo, como também sua disposição ao longo das sarjetas de determinada área de interesse. Isso depende principalmente de duas coisas: a localização da primeira boca-de-lobo e o critério para espaçamento entre elas.

Adota-se como princípio que as águas pluviais tenham um trajeto superficial o mais extenso possível (WILKEN, 1978). Desta maneira, conclui-se que o posicionamento da primeira boca-de-lobo do sistema de drenagem superficial deve se dar de maneira que, no ponto escolhido, o escoamento pluvial atinja o limite da capacidade de vazão da sarjeta, em outras palavras, para o valor da altura de água máxima na sarjeta. Ressalta-se a altura máximo de água na sarjeta não deve ser igual à altura da sarjeta para evitar transbordamentos. Costumeiramente adota-se como altura máximo o valor de 85% da altura da sarjeta (WILKEN, 1978).

Com relação às demais bocas-de-lobo, elas são comumente localizadas imediatamente a montante das curvas das guias nos cruzamentos, em pontos baixos do perfil e em pontos intermediários segundo a necessidade de captação de água. (WILKEN, 1978). Nas ruas pavimentadas com concreto ou asfalto a altura de água junto à guia é menor e a largura do

caudal maior do que nas ruas de seção transversal parabólica (comumente pavimentadas com paralelepípedos). Bocas-de-lobo com abertura na guia ou grade costumam ser satisfatórias em ruas de seção parabólica, mas podem ser deficientes na capacidade de interceptar água em ruas de seção transversal pouco inclinada para a sarjeta. A metodologia sugerida para se limitar o espaçamento entre bocas-de-lobo parte dos seguintes princípios:

- Define-se um par de bocas-de-lobo captando água de uma área A e distando L_b metros entre si.
- Toma-se $L_b = 20 \text{ metros}$ e cada trecho desses recebe o nome de uma “estação”.
- Calcula-se a contribuição de cada estação Q_c a partir do coeficiente de escoamento superficial, da intensidade de chuva de projeto, da largura entre divisores de água, do comprimento L_b .
- A partir da vazão da sarjeta Q_0 , tem-se:

$$N_1 = \frac{Q_0}{Q_c} = \text{número de estações}$$

- Toma-se a capacidade de absorção de um modelo padrão de boca-de-lobo nesta situação como sendo Q .

$$N_2 = \frac{Q}{Q_c} = \text{número de estações por boca de lobo}$$

- O número de bocas-de-lobo num trecho de L metros:

$$L = L_b * N_1$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \text{número de pares de bocas de lobo no trecho} = n$$

$$L_b = \frac{L}{n} = \text{espaçamento entre pares de bocas de lobo}$$

4. Metodologia

Tem-se como objetivo analisar metodologias de cálculo da capacidade de engolimento de sistemas de captação em bocas-de-lobo, buscando pontos pouco claros e comparando-os em casos de condições físicas pré-estabelecidas. Em outras palavras, o foco é dado em uma comparação interna (a metodologia contra ela mesmo) e externa (um método contra o outro).

Destaca-se o foco deste trabalho em quatro aparelhos diferentes no sistema de captação:

1. Boca-de-lobo em ponto baixo com abertura na guia;
2. Boca-de-lobo em ponto baixo com grelha;
3. Boca-de-lobo em ponto médio;

No primeiro caso (ponto baixo com abertura na guia), tem-se que as metodologias consideradas se mostram parecidas em estrutura, ambas consideram o dimensionamento feito por modelos de vertedor e orifício, mas diferem na escolha dos limites e na análise da transição.

Para que seja realizada a comparação de resultados, portanto, toma-se como premissa de que, na divergência de resultados, o método mais a favor da segurança é o mais recomendado. Desta maneira, busca-se variando os parâmetros relevantes, o dimensionamento mais adequado. A abertura da guia h mostra-se a variável de controle neste caso, sendo seus valores determinados entre uma faixa de $8cm$ e $18cm$ (valores recomendados pelo DNIT, não havendo recomendações de limitações práticas nas outras metodologias analisadas) para não correr o risco de que a abertura permita a passagem de uma criança e nem entupa desnecessariamente.

O segundo caso (ponto baixo com grelha), também possui as metodologias consideradas parecidos em estrutura, ambas consideram o dimensionamento feito por modelos de vertedor e orifício, mas diferem na escolha dos limites e na análise da transição.

Para realizar a comparação neste caso, há mais parâmetros relevantes e variáveis de controle que no ponto anterior. São determinantes as dimensões da grelha (comprimento e largura) chamadas de a_1 e a_2 , além da taxa de abertura da grelha m , parâmetro obtido pela razão entre área da grelha descontada da área das barras e área total da grelha.

A análise foi feita variando esses parâmetros entre valores limitados por questões práticas e de segurança, baseados em produtos reais vendidos no mercado brasileiro, estando o comprimento entre $80cm$ e $110cm$, a largura entre $30cm$ e $60cm$, e a taxa de abertura entre 20% e 50%.

O terceiro caso (ponto médio com abertura na guia), possui orientação divergentes para o dimensionamento segundo a metodologia clássica e a da FHA. Enquanto a primeira traz uma expressão relacionando a vazão por comprimento com a altura da lâmina d'água a montante, a

segunda traz o cálculo do comprimento necessário para absorver toda vazão e um cálculo de eficiência a partir deste valor.

Desta maneira, determina-se os parâmetros físicos relevantes (declividades transversal e longitudinal, coeficiente de manning) e, variando-os, compara-se os resultados obtidos por cada uma das metodologias para a vazão absorvida. Tem-se como premissa que o método mais a favor da segurança é o mais recomendado.

A análise é feita variando esses parâmetros entre valores limitados baseados nos valores considerados nos estudos da Universidade John Hopkins. A declividade transversal pode variar entre 8% e 50% e a declividade longitudinal pode variar entre 0,5% 6%. A Tabela 6 dá um resumo dos casos e as equações mais relevantes para o seu dimensionamento.

Tabela 6 – resumo das metodologias de dimensionamento

Caso	Clássica	Obs	FHA	Obs
Abertura em ponto baixo	$\frac{Q}{L} = 1,703 * y^{\frac{3}{2}}$	$y/h \leq 1$	$Q_w = C_w P_e y_s^{1,5}$	Lâmina baixa
Abertura em ponto baixo	$Q = C_d * A * (2gy)^{0,5}$	$y/h \geq 2$	$Q_0 = C_0 A_e \sqrt{2g(y_s - y_c)}$	Lâmina alta
Grelha em ponto baixo	$\frac{Q}{P} = 1,655 * y^{\frac{3}{2}}$	$y \leq 12 \text{ cm}$	$Q_w = C_w P_e y_s^{1,5}$	Profundidade baixa
Grelha em ponto baixo	$Q = C_d mA * (2gy)^{0,5}$	$y \geq 42 \text{ cm}$	$Q_0 = C_0 A_e \sqrt{2gy_s}$	Submersa
Abertura em ponto médio	$\frac{Q}{L * y * \sqrt{g * y}} = K + C$	-	$Q_i = Q \left(1 - \left(1 - \frac{L_e}{L_t} \right)^{1,80} \right)$	-
Grelha em ponto médio	$Q = Q_0 - q_2 - q_3$	-	$Q_i = Q_w R_f + R_s Q_s$	-

5. Resultados e discussões

Buscou-se observar dois aspectos nas metodologias levantadas: análise de pontos pouco claros e comparação em casos de condições físicas pré-estabelecidas. Começando pelo primeiro

caso, destaca-se imediatamente a dualidade de comportamento entre orifício e vertedouro no dimensionamento da capacidade de engolimento em alguns casos.

5.1. Ponto baixo de sarjeta com abertura na guia

As metodologias convergem no dimensionamento para este caso (como resumido na Tabela 6), divergindo na escolha do momento de virada entre modelo de vertedor e orifício. Tem-se a seguir as equações para ambos os modelos:

$$\frac{Q}{L} = 1,703 * y^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = C_d * A * (2gy)^{0,5}$$

O coeficiente de descarga para orifícios depende de fatores como as dimensões do orifício (boca-de-lobo) em questão e disposições físicas do problema, mas tem-se os valores limitantes para o coeficiente segundo FALVEY (2003), levantados por GENOVEZ (2004):

$$0,57 \leq C_d \leq 0,70$$

Tabela 7 – exemplos de valores do coeficiente de descarga de orifício (HAMILTON SMITH)

Carga	Dimensões do Orifício				
	Circular d = 0,015m	Quadrado 0,015m	Circular 0,03m	Quadrado 0,03m	Retangular 0,015X0,03
0,15m	0,615	0,619	0,603	0,608	0,623
0,30	0,610	0,614	0,602	0,606	0,622
0,45	0,607	0,612	0,600	0,605	0,621
0,60	0,605	0,610	0,599	0,604	0,620
0,75	0,603	0,608	0,598	0,604	0,619
0,90	0,602	0,607	0,598	0,604	0,618
1,20	0,601	0,606	0,598	0,604	-

Tem-se na Tabela 7 alguns valores observados para o coeficiente de descarga C_d para orifícios. Nota-se que ele aumenta para orifícios maiores e reduz para orifícios menores. Toma-se como exemplo, portanto, como a boca-de-lobo é um orifício grande, o valor limite (e a favor da segurança) de $C_d = 0,57$ para efeitos comparativos em um primeiro momento.

$$\frac{Q}{L} = 2,52 * h * y^{0,5}$$

Já para o caso de $C_d = 0,70$ tem-se:

$$\frac{Q}{L} = 3,10 * h * y^{0,5}$$

A metodologia segundo a FHA é muito parecida para este dimensionamento, apenas não especificando em que ponto exatamente se dá a transição do modelo de vertedor para o modelo de orifício.

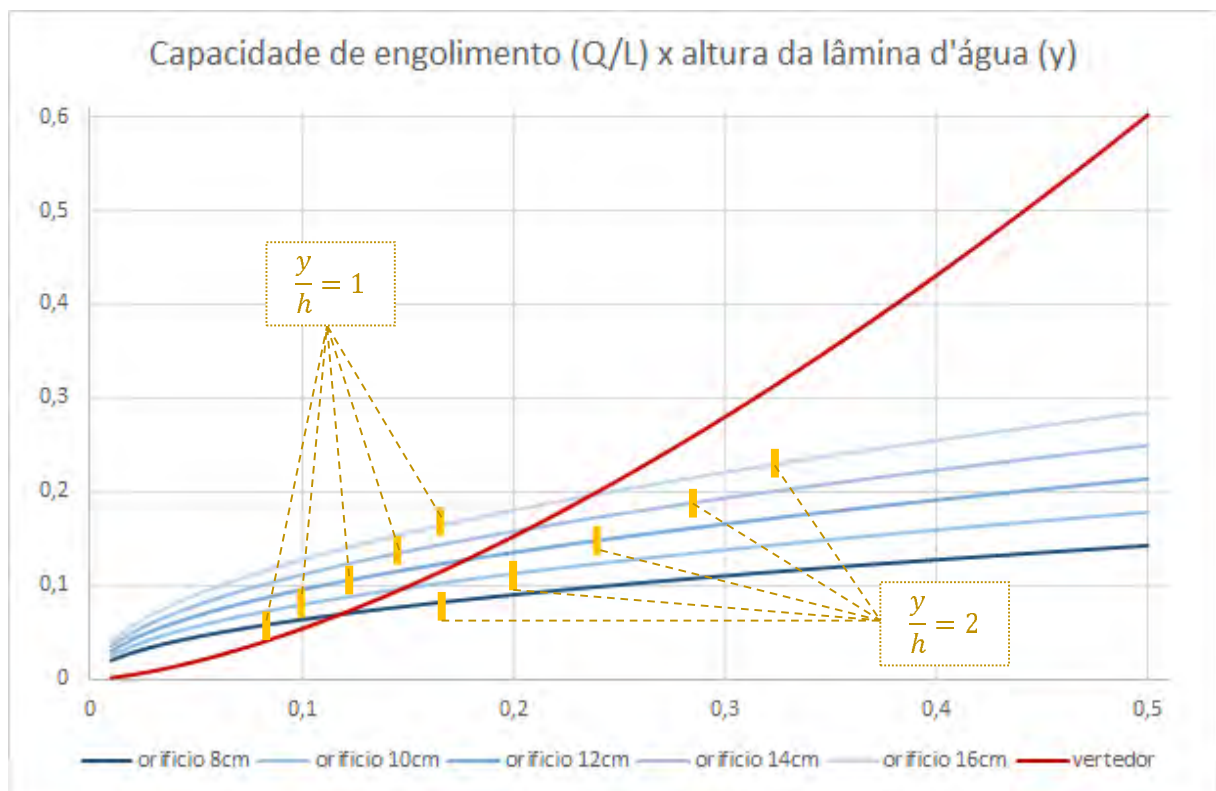


Figura 23 – Gráfico de dimensionamento em ponto baixo com abertura na guia

A Figura 23 mostra o gráfico comparativo para o dimensionamento feito pelo modelo de vertedouro e orifício para os seguintes casos de altura de abertura na guia:

- 8 cm;
- 10 cm;
- 12 cm;
- 14 cm;
- 16 cm;

Ressalta-se que a curva traçada para uma abertura de 16cm é apenas teórica e tem finalidade comparativa, uma vez que não se trata de um valor possível para guias no Brasil. Os traços marcando cada uma das curvas de dimensionamento de orifício representam os pontos que, segundo as recomendações de dimensionamento clássicas, marcam as transições entre os modelos de vertedouro e orifício. Nota-se que, para todos os casos, quando $y/h \leq 1$ de fato, utilizar o modelo de vertedouro para dimensionamento de fato está a favor da segurança. O mesmo é válido para os casos em que $y/h \geq 2$.

Os casos tido como variáveis (entre os dois limites) mostram-se exagerados, de maneira que é possível restringir mais a faixa de resultados duvidosos ainda dentro de uma faixa de segurança confiável. Observa-se para todos os exemplos acima de para $y/h \leq 1,48$, dimensionar pelo modelo de vertedouro está a favor da segurança, enquanto para $y/h \geq 1,48$ o mais adequado é o modelo de orifício. Considerando-se porém uma possível variação no C_d por fatores geométricos, tem-se que, no caso extremo (embora pouco aplicável para o dimensionamento de boca-de-lobo), pode-se afirmar que o modelo de orifício está a favor da segurança com certeza absoluta apenas para $y/h \geq 1,82$.

Em resumo, de maneira simplificada e levando em conta considerações práticas construtivas, pode-se dizer que o dimensionamento está a favor da segurança nos seguintes casos:

- $y/h \leq 1,5 \rightarrow$ modelo de vertedor;
- $y/h \geq 1,5 \rightarrow$ modelo de orifício;

5.2. Ponto baixo com grade

Como no caso anterior, as metodologias convergem no dimensionamento para este caso (como resumido na Tabela 6), divergindo na escolha do momento de virada entre modelo de vertedor e orifício. Trabalha-se a equação de vertedor para chegar-se em uma base comparável:

:

$$\frac{Q}{P} = 1,655 * y^{\frac{3}{2}}$$

$$\frac{Q}{A} = \frac{a_1 + a_2}{a_1 * a_2} 1,655 * y^{\frac{3}{2}} = \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) 1,655 * y^{\frac{3}{2}}$$

Sendo P o perímetro efetivo da grelha (perímetro molhado).

Já para o funcionamento como orifício, tem-se como no caso anterior, a expressão geral (m a taxa de abertura da grelha):

$$Q = C_d * m * A * (2gy)^{0,5}$$

$$\frac{Q}{A} = (C_d * m * (2g)^{0,5}) * y^{0,5}$$

Toma-se como primeira referência a formula dada pelo DNIT, na qual:

$$\frac{Q}{A} = 2,91 * m * y^{0,5}$$

Mas considerando-se os limites possíveis de C_d , esses valores podem variar de :

$$\frac{Q}{A} = 2,52 * m * y^{0,5}$$

Até:

$$\frac{Q}{A} = 3,1 * m * y^{0,5}$$

A análise comparativa entre os modelos de vertedouro e orifício depende dos parâmetros geométricos da grelha, mais especificamente a_1 (largura total), a_2 (comprimento total) e m (taxa de abertura, a razão entre área descontada da área das barras pela área total). Toma-se como referência o modelo padrão de grelha segundo, mostrado na Figura 24, e como balizador o catálogo de modelos comerciais existentes de grelhas. As dimensões variam, em termos gerais, entre 40cm e 50cm para largura e 90cm e 100cm para o comprimento e grau de abertura entre 0,3 e 0,4. Tomaram-se como referência também as dimensões de diversas grelhas comerciais de diversos fornecedores no Brasil.

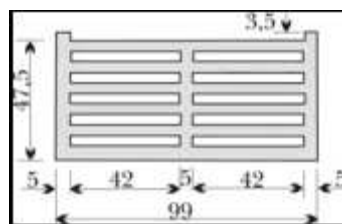


Figura 24 – Grelha padrão segundo a sudecap (COELHO)

Desta maneira, determina-se:

- $30\text{cm} \leq a_1 \leq 60\text{cm}$
- $80\text{cm} \leq a_2 \leq 110\text{cm}$
- $0,2 \leq m \leq 0,5$

Nos gráficos a seguir, tem-se em base comparativa para os intervalos de valores determinados as curvas de dimensionamento segundo o modelo de vertedor e de orifício. A Figura 25 ilustra o caso para dimensões mais cotidianas de grelha:

- $a_1 = 50\text{cm}$
- $a_2 = 100\text{cm}$

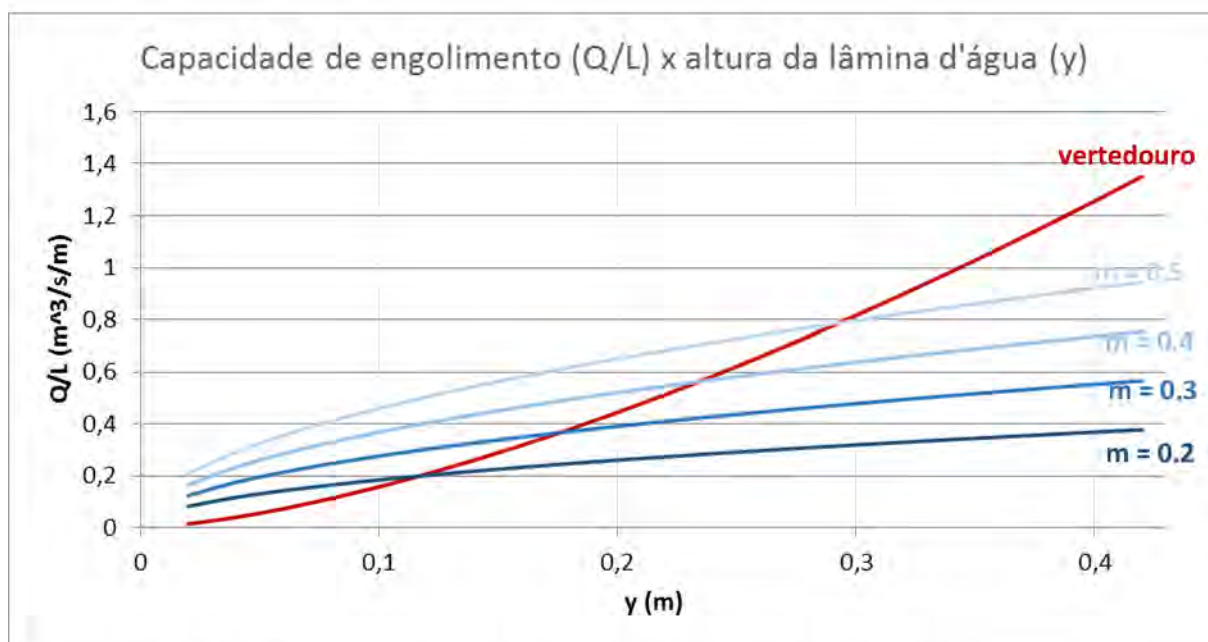


Figura 25 – Dimensionamento em ponto baixo com grelha – dimensões usuais

A Figura 26 ilustra o caso para dimensões mínimas de grelha:

- $a_1 = 30\text{cm}$
- $a_2 = 80\text{cm}$

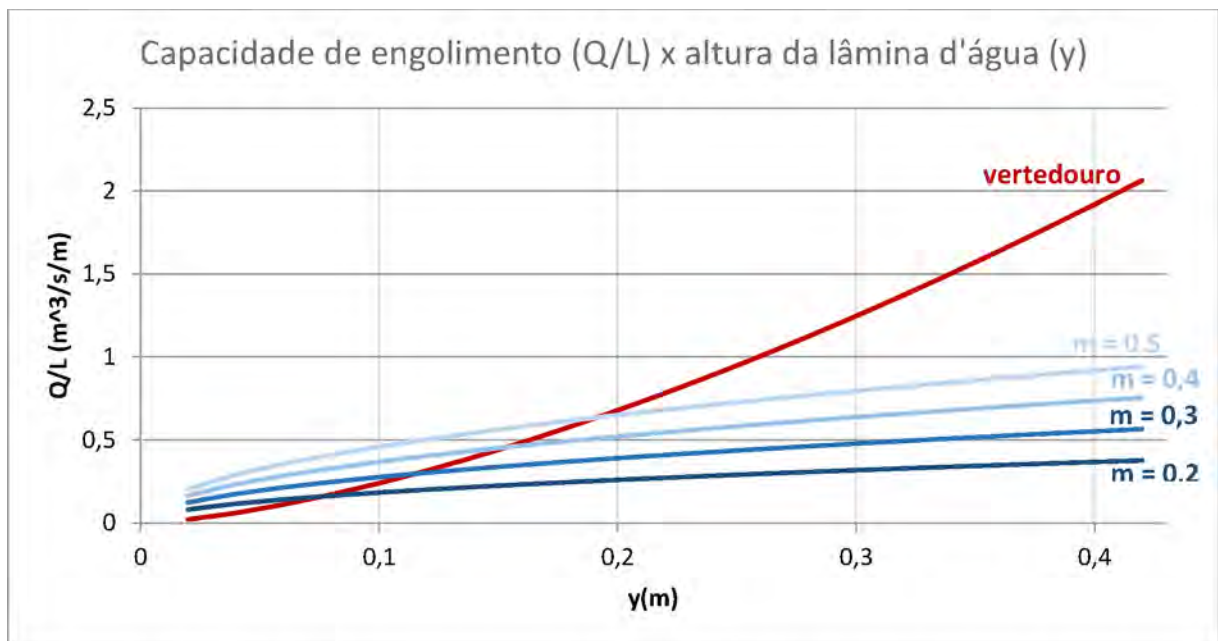


Figura 26 – Gráfico de dimensionamento em ponto baixo com grelha para dimensões mínimas

A Figura 27 ilustra o caso para dimensões mínimas de grelha:

- $a_1 = 60\text{cm}$
- $a_2 = 110\text{cm}$

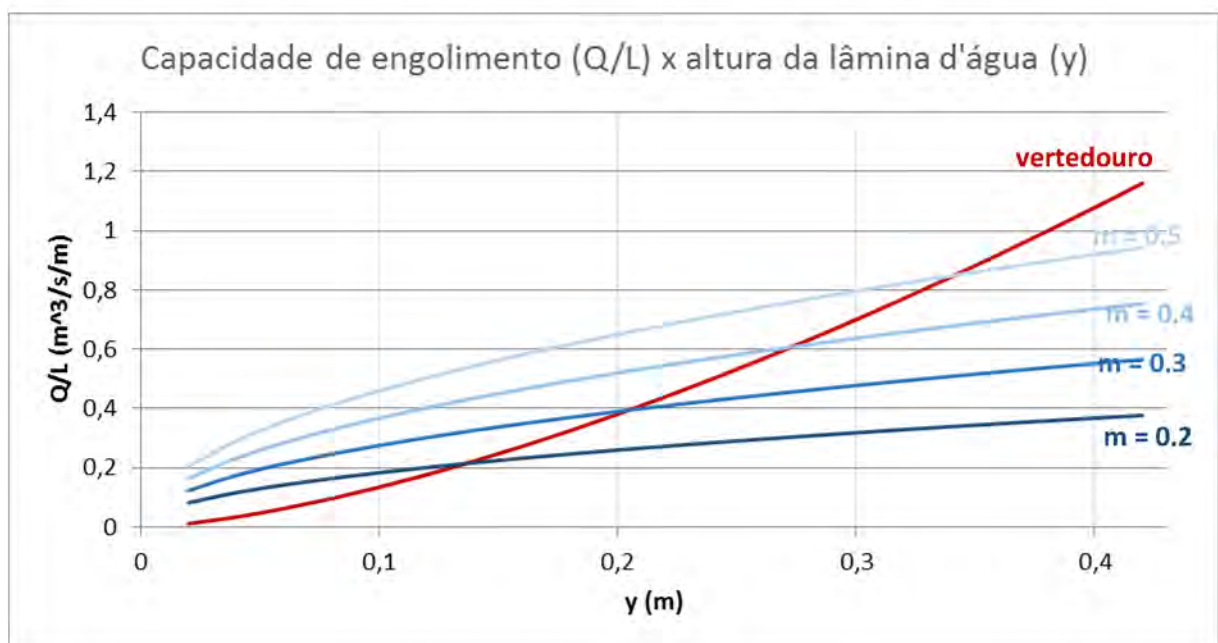


Figura 27 – Gráfico de dimensionamento em ponto baixo com grelha para dimensões máximas

A análise dos casos de dimensões mínimas e máximas pode ser levada para os valores mínimos e máximos de C_d , como na Figura 28 (dimensões mínimas e $C_d = 0,57$) e como na Figura 29 (dimensões mínimas e $C_d = 0,7$). Estes valores representam os casos extremos teóricos de transição entre modelo de vertedor e orifício, sempre tendo como premissa que o menor valor de capacidade entre os dois está a favor da segurança.

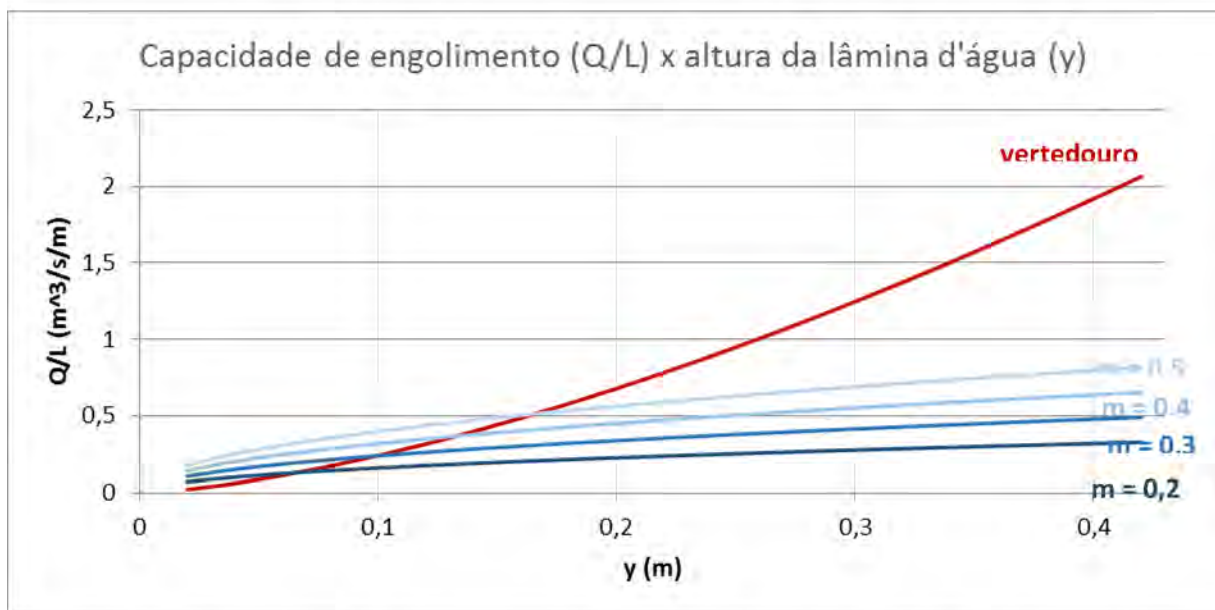


Figura 28 – Gráfico de dimensionamento em ponto baixo com grelha para dimensões mínimas com $C_d = 0,57$

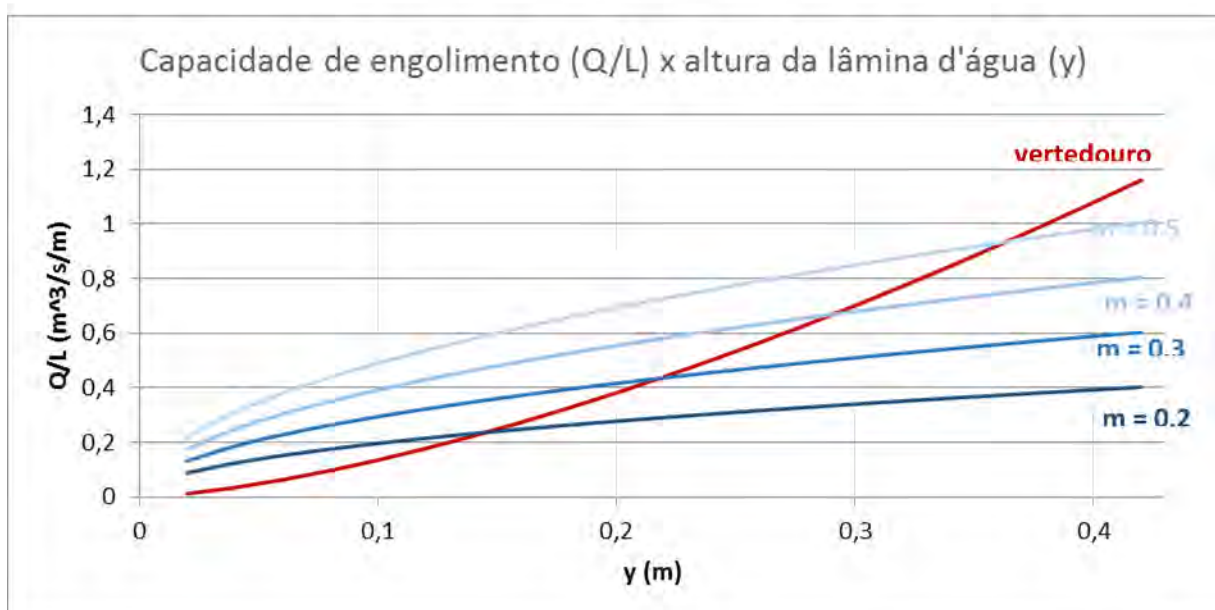


Figura 29 – Gráfico de dimensionamento em ponto baixo com grelha para dimensões máximas com $C_d = 0,7$

Para valores de $y \geq 42 \text{ cm}$, de fato tem-se sempre o dimensionamento pelo modelo de orifício como mais a favor da segurança e portanto mais adequado. Já para valores de $y \leq 12 \text{ cm}$, observa-se o modelo de vertedouro como a favor da segurança para praticamente todos os casos analisados, excetuando-se casos extremos de grelhas muito pequenas e com baixa taxa de abertura, casos esses que apresentam capacidade de engolimento muito baixa sendo, portanto, não aplicáveis.

Para os casos relevantes, de dimensões de grelhas próximas ao usual $1\text{m} \times 0,5\text{m}$ e taxa de abertura entre 40% e 50%, verifica-se de maneira simplificada e levando em conta considerações práticas construtivas, que a faixa de indecisão entre modelo de vertedouro e orifício pode ser resumida de entre 12cm e 42cm para entre 20cm e 30cm .

Não se verifica nenhum cenário em que está a favor da segurança adotar o modelo de orifício para todo $y \geq 7,5\text{cm}$, como proposto como modelo alternativo no Manual de Drenagem Rodoviário da DNIT.

5.3. Ponto médio de sarjeta com abertura na guia

A Tabela 6 traz um resumo do dimensionamento pela metodologia tradicional, que depende do parâmetro K , função do ângulo $\emptyset$ entre sarjeta e guia, y , altura da lâmina d'água a montante da boca-de-lobo, além de C , constante que depende da depressão (e vale 0 para o caso sem depressão). Já o dimensionamento pela FHA (também resumido na Tabela 6) utiliza uma abordagem diferente. Calcula-se o comprimento necessário para que a vazão seja completamente absorvida. Em seguida deve ser calculada a eficiência da boca-de-lobo. Por fim, a vazão efetivamente captada passa a ser medida por:

$$Q_{captada} = E * Q_{sarjeta}$$

Nota-se que, para este caso, o cálculo da vazão captada não é por metro de abertura, diferentemente da metodologia tradicional. Desta maneira, a comparação dependerá do valor de L , ou seja, o comprimento da abertura na guia. Toma-se como referência o valor padrão de abertura na guia aqui no Brasil segundo a Sudcap de 1m .

Deve-se estabelecer restrições para as declividades longitudinais (inclinação da rua) e transversais (declividade da sarjeta). Em seus estudos pela Universidade Johns Hopkins, Li, Goodell e Geyer utilizaram os seguintes valores de declividades:

- Declividade longitudinal mínima: 0,5%
- Declividade longitudinal máxima: 6%
- Declividade transversal mínima: 8%
- Declividade transversal máxima: 50%

Toma-se também como referência as recomendações de projeto de rodovias da DNIT de 2006, que traz valores máximos para declividade longitudinal, conforme a Tabela 8. Há também recomendações de inclinação para sarjetas: na parte contígua ao acostamento 25%, e na parte contígua ao corte, a mesma inclinação do talude dest.

Tabela 8 – valores máximos declividade longitudinal para rodovias segundo a DNIT (2006)

Classe	Região plana	Região Ondulada	Região Montanhosa
Especial	3%	4%	5%
I	3%	4%	5%
II	3%	4%	6%
III	4%	5%	7%

Analisando em primeiro lugar a influência da variação dos parâmetros em cada um dos modelos, observas-se que, para o modelo clássico, trata-se de uma variação no coeficiente K, o que representa apenas uma transformação homotética. Para o modelo da FHA há mudança no comportamento, mas para alturas de lâmina d'água pequenas, essa variação é quase apenas um deslocamento da curva, como mostra a Figura 30. Tem-se neste exemplo valores de declividades dados na Tabela 9 (modelos estabelecidos com base nas referências acima).

Tabela 9 – valores de declividade para os modelos escolhidos

Modelo	Transversal	Longitudinal
1	8%	0,50%
2	8%	6,00%
3	25%	1,00%
4	15%	1,00%

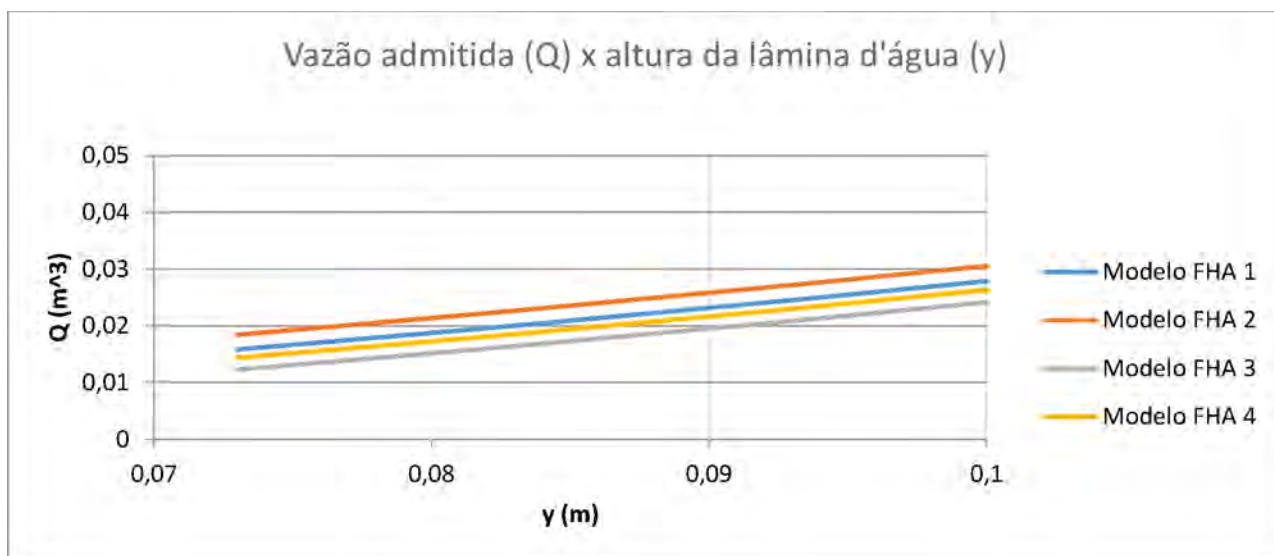


Figura 30 — Comportamento do modelo FHA com a variação das declividades para baixas alturas de lâmina

Comparando-se então para um caso padrão (tomado como exemplo inicial o caso de declividade transversal de 15% e longitudinal de 1% como nos experimentos da Universidade Johns Hopkins) tem-se na Figura 31 o caso para pequenas lâminas d'água.

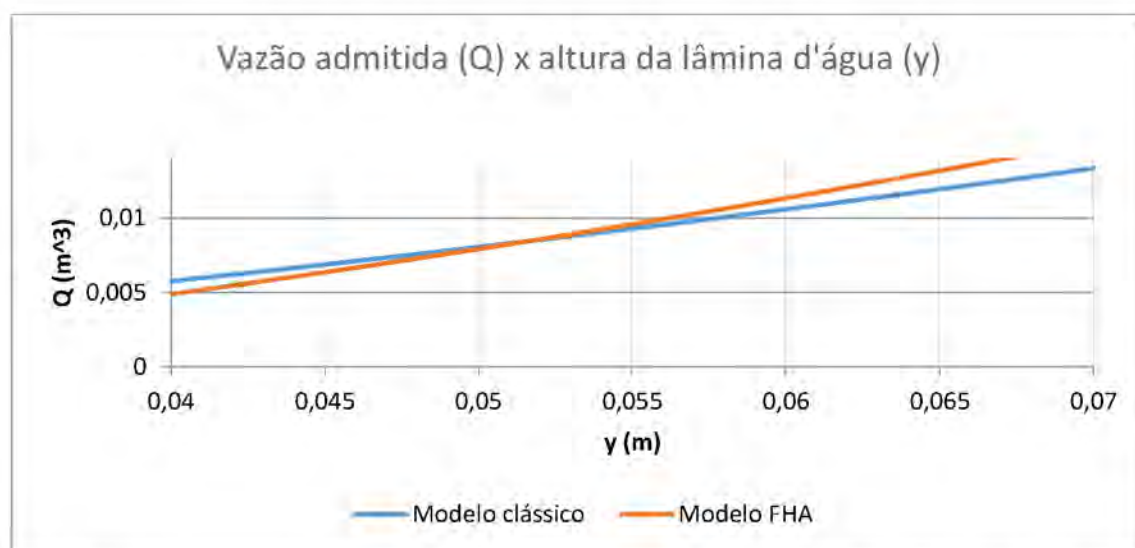


Figura 31 — Comparativo do dimensionamento pela metodologia clássica e pela FHA – encontro das curvas em caso usual

Pelas características observadas no comparativo da Figura 30 (deslocamento das curvas para lâminas pequenas), nota-se que o perfil observado na Figura 31 deverá ser repetido em todos os casos de parâmetros físicos estabelecidos, ou seja, o modelo FHA estando a favor da

segurança até um certo valor de lâmina d'água e o modelo clássico a partir disso. A Figura 32 mostra o exemplo do comportamento dessas duas curvas (declividades de 10% e 1%) para um intervalo de valores mais altos de lâminas d'água.

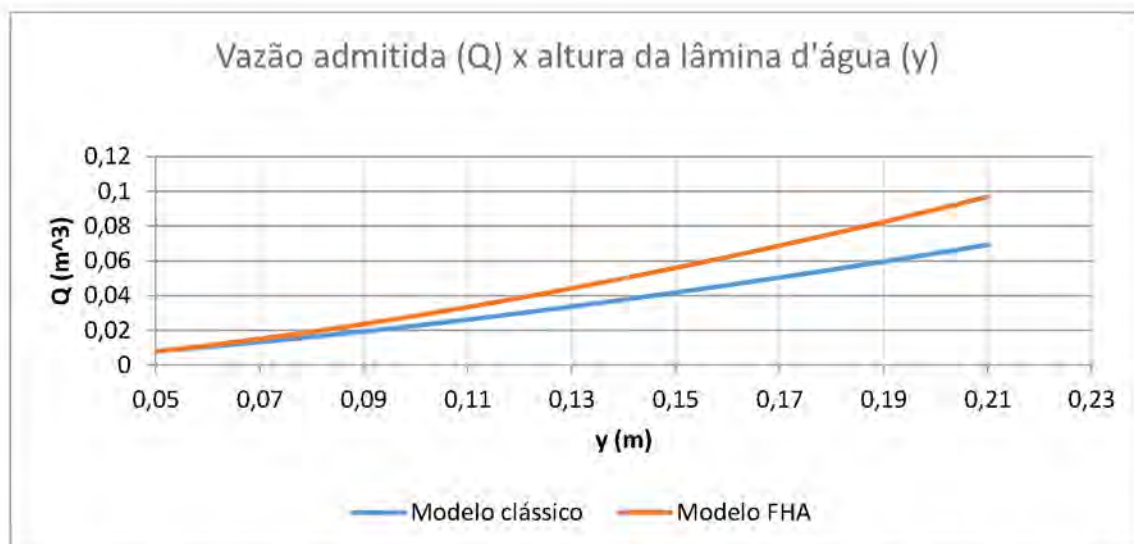


Figura 32 — Comparativo do dimensionamento pela metodologia clássica e pela FHA para grandes lâminas d'água

Necessita-se então entender o ponto em que essa transição se dá. A Figura 33 e a Figura 34 mostram as transições nos casos limite (modelos 2 e 3).

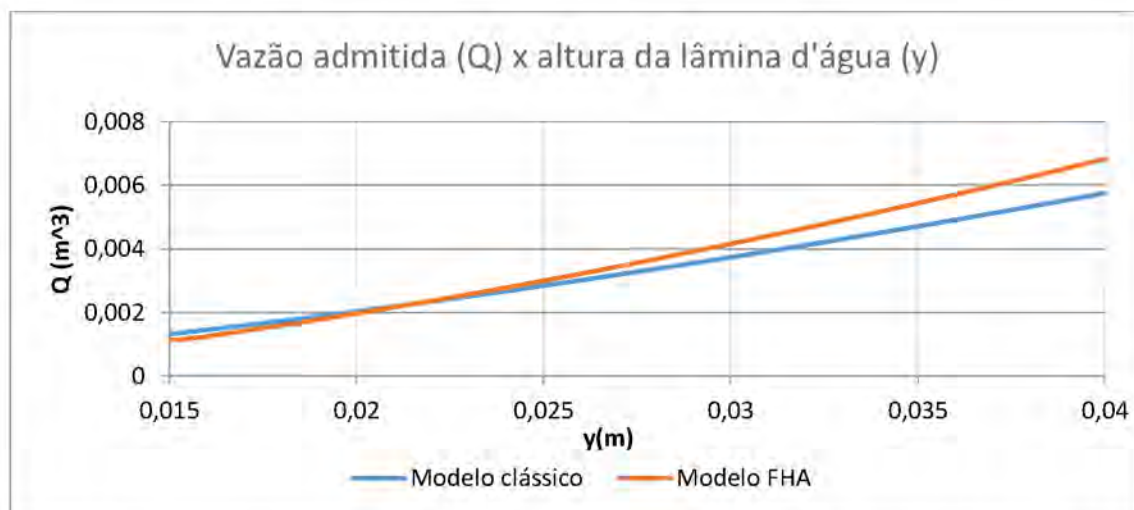


Figura 33 — Comparativo do dimensionamento pela metodologia clássica e pela FHA para as condições do modelo 3

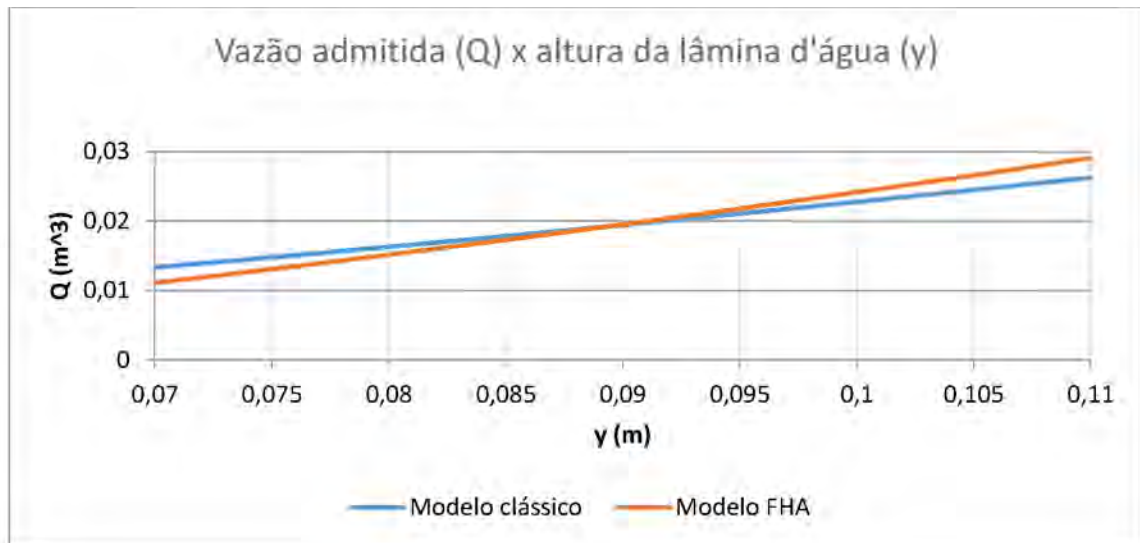


Figura 34 — Comparativo do dimensionamento pela metodologia clássica e pela FHA para as condições do modelo 2

A transição entre os modelos se deu, aproximadamente, para valores de lâmina d'água entre 2cm (para condições que favorecem a absorção, em outras palavras, baixa declividade transversal e alta declividade longitudinal) e 9cm (para condições que não favorecem a absorção, em outras palavras, baixa declividade transversal e alta declividade longitudinal).

5.4. Ponto médio de sarjeta com grelha

A Tabela 6 traz a expressão que resume a metodologia tradicional para dimensionamento, baseada no cálculo dos comprimentos mínimos L_0 e L' . Já o dimensionamento pela FHA tem-se que a vazão interceptada é dada por pela soma da vazão na largura W com o com vazão lateral interceptada. Para o caso sem depressão, tem-se que $R_f = 1$ e portanto?

$$Q_i = Q_w + R_s Q_s$$

Sendo que:

$$\frac{Q_w}{Q} = 1 - \left(1 - \frac{W}{T}\right)^{2,67}$$

$$\frac{Q_s}{Q} = 1 - \left(\frac{Q_w}{Q} \right)^{2,67}$$

$$R_s = \frac{1}{\left(1 + \frac{0,0828 V^{1,8}}{S_x L^{2,3}} \right)}$$

De maneira análoga ao item 5.3, utiliza-se os modelos da Tabela 9 para comparar o comportamento das duas metodologias. Utiliza-se as dimensões de grelha padrão da Sudecap apresentadas na Figura 24. O comparativo de dimensionamento para o caso de declividade longitudinal 6% e transversal de 8% é dado pela Figura 35. Já a Figura 36 mostra o dimensionamento para o modelo 3, declividade transversal de 25% e longitudinal de 1%.

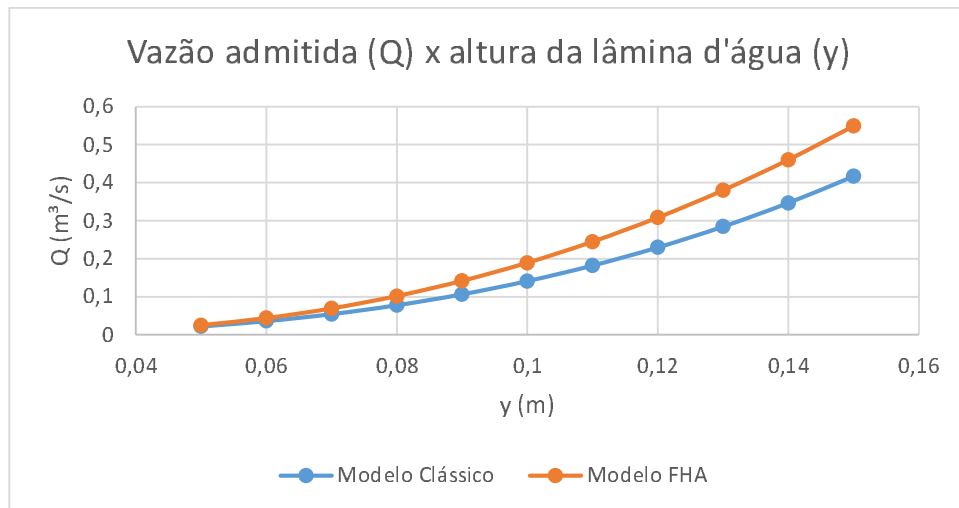


Figura 35 — Comparativo do dimensionamento pela metodologia clássica e pela FHA para grelha em ponto médio no modelo 2

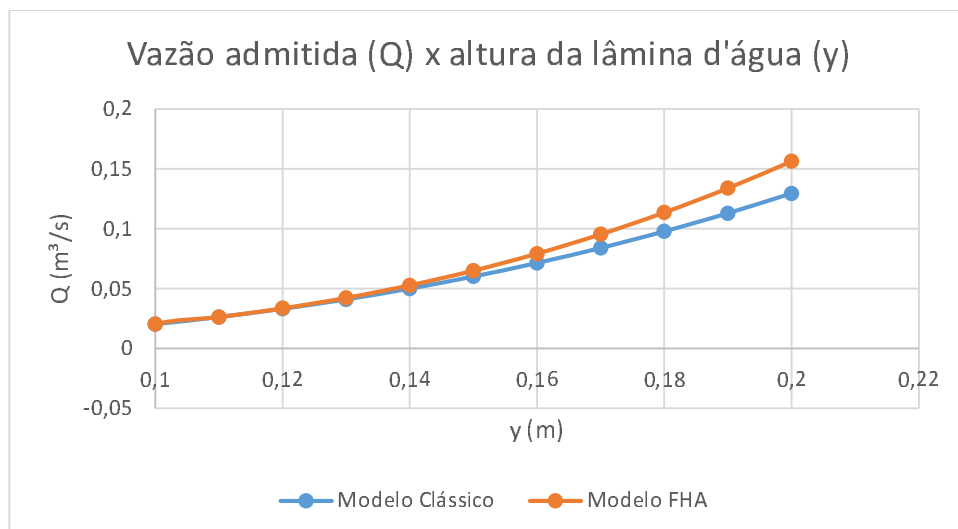


Figura 36 — Comparativo do dimensionamento pela metodologia clássica e pela FHA para para grelha em ponto médio no modelo 3

Reduzindo-se a largura W da grelha verifica-se uma aproximação da curva FHA com a curva do modelo clássico (a curva da FHA se desloca para baixo), e aumentando-se a largura W verifica-se efeito contrário. A Figura 37 traz as curvas de dimensionamento para o caso de $W = 0,3m$ e mesmo assim verifica-se que a curva FHA está sempre acima da curva de metodologia clássica. Mesmo neste caso (uma grelha de largura já muito baixa) verifica-se o modelo clássico ainda estando sempre mais a favor da segurança que o modelo da FHA, para todos os valores de lâmina d'água de interesse.

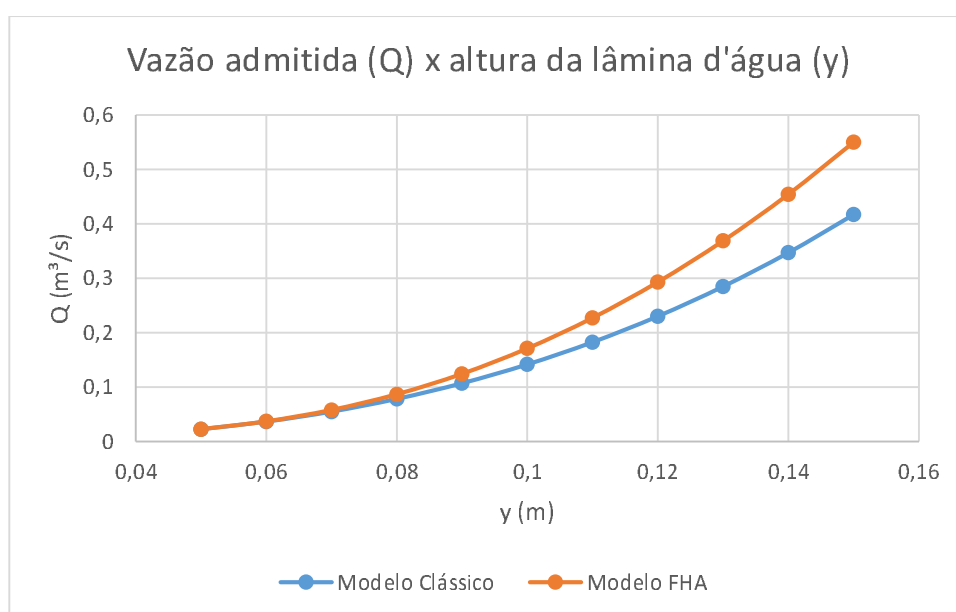


Figura 37 — Comparativo do dimensionamento pela metodologia clássica e pela FHA para para grelha em ponto médio no modelo 2 e $W=0,3m$

6. Conclusões

A partir da análise das metodologias levantadas, com destaque para a metodologia clássica (com observações do manual da DNIT) e para as recomendações da FHA, torna-se nítido a divergência nos resultados de dimensionamento e o peso de decisões que projetistas tem de tomar, por vezes não tão embasadas. Não há uma relação direta de supervalorizar ou subestimar a capacidade de engolimento dos aparelhos para todos os casos de uma metodologia com relação à outra, sendo necessário, desta maneira, analisar os casos individualmente.

Neste trabalho adotou-se o resultado mais a favor da segurança como o mais recomendado, uma medida cautelosa que considera os riscos decorrentes de erros no dimensionamento de um sistema de drenagem. Recomenda-se, porém, apesar dos resultados de ambas as metodologias não serem muito distantes, uma averiguação experimental através de ensaios que determinem qual modelo está mais perto da realidade. Isso se importante uma vez que a metodologia mais a favor da segurança é, ao mesmo tempo, a menos econômica, o que pode gerar gastos adicionais desnecessários para um sistema.

Para os casos em ponto baixo, tanto para abertura na guia, como para grelha (e portanto também para o aparelho combinado) não há diferenças significativas na metodologia de dimensionamento analisando diferentes fontes: todos os aparelhos de comportam como vertedouros ou orifícios. A incerteza passa a ser quando considerar o modelo de vertedouro e quando considerar o de orifício, uma vez que isso não é claro na literatura.

Nestes casos, quando se utiliza a boca-de-lobo com abertura na guia, observa-se para todos os exemplos que para $y/h \leq 1,48$, dimensionar pelo modelo de vertedouro está a favor da segurança, enquanto para $y/h \geq 1,48$ o mais adequado é o modelo de orifício. Casos muito distantes dos usuais podem criar uma variação no C_d por fatores geométricos, tem-se que, no caso extremo (embora pouco aplicável para o dimensionamento de boca-de-lobo), pode-se afirmar que o modelo de orifício está a favor da segurança com certeza absoluta apenas para $y/h \geq 1,82$.

Conclui-se a melhor maneira de analisar a transição é de fato pela relação entre altura da lâmina d'água e altura da abertura na guia, de maneira que, simplificada e para dimensões usuais:

- $y/h \leq 1,5 \rightarrow$ modelo de vertedor;
- $y/h \geq 1,5 \rightarrow$ modelo de orifício;

Os casos em que o aparelho escolhido é a boca-de-lobo com grelha (ainda em ponto baixo) tem a transição do dimensionamento (modelo de vertedor e orifício) dependendo dos parâmetros geométricos da grelha, mais especificamente a_1 (largura total), a_2 (comprimento total) e m (taxa de abertura, a razão entre área descontada da área das barras pela área total). Para valores de $y \geq 42 \text{ cm}$, de fato tem-se sempre o dimensionamento pelo modelo de orifício como mais a favor da segurança e portanto mais adequado. Valores de $y \leq 12 \text{ cm}$, para casos aplicáveis na prática (excetua-se aqui portanto grelhas muito pequena com taxa de abertura muito baixa) tem o modelo de vertedouro como a favor da segurança.

Para grelhas de dimensões usuais e comerciais no Brasil, a faixa de indecisão entre modelo de vertedouro e orifício pode ser resumida entre 20cm e 30cm de altura de lâmina d'água. Vale ressaltar que não se verifica nenhum caso em que a recomendação alternativa do Manual de Drenagem Rodoviário da DNIT (modelo de orifício para todo $y \geq 7,5cm$) esteja a favor da segurança.

Já para os casos em ponto de greide contínuo, as metodologias clássica e da FHA mostram divergências na abordagem. O comportamento de cada uma dessas metodologias está mais ou menos a favor da segurança dependendo da variação dos parâmetros físicos em cada um dos modelos, dos quais se destaca as declividades transversal e longitudinal.

Em termos gerais, para abertura na guia, o modelo da FHA se mostra a favor da segurança para valores baixos de altura da lâmina d'água, enquanto a metodologia clássica para valores altos de altura da lâmina. A transição entre os modelos se deu, aproximadamente, para valores de lâmina d'água entre 2cm (para condições que favorecem a absorção, em outras palavras, baixa declividade transversal e alta declividade longitudinal) e 9cm (para condições que não favorecem a absorção, em outras palavras, baixa declividade transversal e alta declividade longitudinal).

Já quando o aparelho utilizado é a grelha (ainda em greide contínuo), verifica-se uma consistência nos resultados obtidos. A metodologia clássica está sempre subdimensionada em relação à metodologia da FHA, ou seja, se mostra mais a favor da segurança.

7. Referências bibliográficas

BARROS, R.T.V. **Resíduos Sólidos. - apostila.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia sanitária e Ambiental – UFMG, 1998. 62p.

COELHO, M.M.L.P. **Eficiência Hidráulica de Bocas de Lobo Situadas em Sarjetas de Greide Contínuo.** RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.2, 2011.

DALFRÉ P.M.O.; GENOVEZ A.I.B. **Eficiência de captação em boca de lobo com depressão e rasgo adicional.** Em: XXI CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HIDRÁULICA, 2004, São Pedro. São Paulo, 2004.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de drenagem de Rodovias.** IPR Publicação 724. 2ed. Rio de Janeiro, Brasil. 2006.

GENOVEZ, A. M; CARDOSO, C. H. A.; GENOVEZ, A. I. B. **Eficiência de captação de águas pluviais com defletores.** Em: 1o CONGRESSO DA ÁGUA, 2004, Campinas. São Paulo, 2004.

LI, WH; GEYER, J,C; BENTON, G,S. **Flow into gutter inlets in a straight gutter without depression,** reimpresso de Sewage and Industrial Wastes, v. 23 n. 1, January,1951 e publicado em The Design of Storm-Water Inlets.

LI, W.H.; GEYER, J.C.; SORTEBERG, K.K, **Flow into Curb_Openning Inlets,** reimpresso Sewage and Industrial Wastes, vol. 23, n. 6 June, 1951 e publicado em The Design of Storm-Water Inlets.

LI, W.H.; GOODELL, B,C.; GEYER, J.C. **Flow Into Deflector Inlets,** reimpresso de Sewage and Industrial Wastes, vol. 26, n. 7, July, 1954 e Publicado em The Design of Storm–Water Inlets.

LI, W.H.; GOODELL, B.C.; GEYER, J.C. **Flow Into Depressed Combination Inlets,** reimpresso Sewage and Industrial Wastes, vol. 26, n. 8, August, 1954.

.LIMA, José Geraldo de Araújo Lima. **Investigações experimentais da eficiência hidráulica em bocas-de-lobo em greide contínuo**. 2007. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.

PINTO, N. L. S. **Hidrologia básica**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1976.

PORTO, R; KAMEL, Z.F; TUCCI,C.E.M; BIDONE, F. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: 3ª Edição, Editora da UFRGS / ABRH, Capítulo 21: Drenagem Urbana, 2002. 943p.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Drenagem urbana: aspectos de gestão**. 2002. 1. Ed. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

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

SOUZA, P.A; MARTINS, J.R.S. **Curso sobre Semelhança e Modelação Física em Hidráulica** – apostila. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Hidráulica da E.E.U.F.M.G, Tópico 1: Análise Dimensional e Semelhança, Modelos e Instrumentação, 1989. 197p.

SUDECAP. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana**. Belo Horizonte, 53 p., 2004.

SUDECAP. **Procedimento Padrão para Contratação e Elaboração de Projetos de Infra-Estrutura**. Belo Horizonte: 4ª Ed, 116p., 2006.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M.T. **Drenagem urbana**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade ABRH, 2009.

UNITED STATES, Federal Aviation Administration. **Advisory circular 150-5320/5D**. Washington, DC, 2013a.

UNITED STATES, Federal Highway Administration. **Hydraulic engineering circular no. 22, third edition**. Washington, DC, 2013b.

WILKEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de drenagem superficial**. 1978. 2ed. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, Brasil.

WRIGHT, K.; ZEGARRA, A.; LORAH, W. **Ancient Machu Picchu Drainage Engineering**. 1999. J. Irrig. Drain Eng.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 24 de novembro de 2015	3. REGISTRO Nº DCTA/ITA/TC-077/2015	4. Nº DE PÁGINAS 67
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Estudo da capacidade de absorção de fluxo para drenagem superficial.			
6. AUTOR(ES): Lucas de Andrade Montez			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Sistema de drenagem, Microdrenagem, Boca-de-lobo.			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Drenagem; Esgotos; Escoação de água; Tubulações; Estruturas hidráulicas; Engenharia estrutural; Engenharia civil.			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientadora: Profa. Dra. Nadiane Smaha Kruk. Publicado em 2015.			
11. RESUMO: O sistema de drenagem superficial, subsistema do ambiente urbano, tem como objetivo fundamental garantir a segurança e conforto da população, protegendo-a contra a ação de águas pluviais. Neste sentido, deve considerar medidas estruturais e não-estruturais para garantir sua eficácia e eficiência, passando por quesitos de macrodrenagem e microdrenagem. As bocas de lobo, como parte do sistema de microdrenagem, são estruturas hidráulicas fundamentais. Elas são responsáveis pela captação das águas que escoam nas sarjetas, sendo o ele entre essas e a rede de galerias subterrâneas. No Brasil, para o dimensionamento da capacidade de engolimento de bocas-de-lobo, usa-se principalmente nomogramas e diagramas. Por trás destas, existem metodologias distintas, o que torna possível, por inconsistências, que se atribua valores de capacidade de engolimento incompatíveis com a realidade. O presente trabalho tem como objetivo comparar a metodologia clássica (reforçada pelas observações do Manual de Drenagem de Rodovias da DNIT) com a metodologia proposta pela FHA (Federal Highway Administration dos EUA) através do <i>Urban Drainage Design Manual</i> (acrescida de recomendações do <i>Aspen Urban Runoff Management Plan</i>) para a determinação da capacidade de engolimento de fluxo lateral em sistemas de drenagem superficial. Os métodos foram aplicados para aparelhos que funcionam como boca-de-lobo, em especial a abertura na guia e a grelha, nos casos de posicionamento em ponto baixo (mínimo local) e greide contínuo. Os resultados mostraram as diferenças dos modelos de vertedor e orifício no dimensionamento de bocas-de-lobo em ponto baixo, e como decidir qual utilizar nos casos próximos da transição. Além disso, verificou-se a dificuldade em decidir para um caso genérico qual entre a metodologia clássica e da FHA está mais a favor da segurança, sendo recomendável, portanto, analisar cada caso. No caso de greide contínua e abertura na guia, a metodologia da FHA se mostra mais a favor da segurança para valores baixos de altura da lâmina d'água, enquanto a metodologia clássica é recomendável para valores altos de altura da lâmina. Já para os casos de grelha em greide contínuo, a metodologia clássica se mostra mais a favor da segurança.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () SECRETO			