

Investigações Experimentais sobre as Capacidades das Bocas-de-lobo em Greide Contínuo

José Geraldo de Araújo Lima¹ & Márcia Maria Lara Pinto Coelho²

RESUMO --- O escoamento das águas pluviais depende do adequado funcionamento de todas as partes do sistema de drenagem. Contudo, o desconforto e os riscos para a população são mais sentidos em suas primeiras etapas, quando ocorrem os problemas relacionados à captação da água que escoam do leito das ruas. Na dinâmica do funcionamento da microdrenagem cabe à boca-de-lobo o papel de captação da água que escoam superficialmente pelas sarjetas. Torna-se importante, então, o conhecimento pleno das características gerais e da eficiência hidráulica deste dispositivo. Com o objetivo de estudar as bocas-de-lobo atualmente utilizadas em Belo Horizonte e cidades vizinhas, foi montado no Centro de Pesquisas Hidráulicas - CPH UFMG um modelo reduzido em escala 1:3, com vistas a aferir a eficiência hidráulica atribuída a estes dispositivos em determinadas condições de funcionamento. Dentre os resultados obtidos, destaca-se a capacidade de captação das bocas-de-lobo situadas nas sarjetas de ruas de greide contínuo. Adicionalmente, foram testados outros tipos de grelha visando melhorar a eficiência da captação. A grelha com barra transversal posicionada sob as barras longitudinais proporcionou aumento de 10%, aproximadamente, na capacidade de captação da boca de lobo.

ABSTRACT --- Storm water flow depends on the adequate operation of all parts of the drainage system. However, disturbances and risks for population are felt in the early stages of the process, when occur problems related to collecting water flowing along the streets. As far as the minor drainage system is concerned, inlets have to collect most of water into the surface drainage system devices. Therefore, it is important the full knowledge of general inlets characteristics and hydraulic efficiency. In order to study inlets used nowadays in Belo Horizonte and nearby cities, a model in 1:3 scale has been built in UFMG Hydraulic Research Center -CPH, aiming to evaluate the hydraulic efficiency of inlets under some given conditions. Among the results, one of the most significant relates to the inlets capacity at intermediary points of the gutters. Besides, another types of grates have been tested in order to improve the intake efficiency, by changing the transversal bar under the longitudinal bars has increased about 10% in inlet capture capacity.

Palavras-chave: boca-de-lobo, grelha, drenagem.

¹ Engenheiro Civil (PUC – MG) e Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG).

² Engenheira Civil e Mestre em Engenharia Sanitária (UFMG), Doutora em Engenharia Civil/Hidráulica (POLI-USP) e Professora Associada do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG.

1. INTRODUÇÃO

Nos sistemas de drenagem urbana, as bocas-de-lobo são responsáveis pela captação das águas que escoam pelas sarjetas, conectando esses dispositivos de drenagem superficial à rede de galerias subterrâneas. Portanto, o bom funcionamento de um sistema de drenagem está relacionado ao conhecimento da capacidade hidráulica deste dispositivo.

A bibliografia clássica que trata do dimensionamento dessas estruturas hidráulicas utiliza conceitos resultantes de experiências realizadas na Universidade Johns Hopkins - UJH (1950 – 1956), utilizando modelos de bocas-de-lobo empregados na cidade de Baltimore, EUA. Estas experiências tornaram uma referência para a padronização e dimensionamento destes dispositivos de drenagem em diversas cidades brasileiras. Neste contexto, enquadra-se o caso de Belo Horizonte onde os estudos e projetos de drenagem urbana são regulamentados pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP (1985) e (2004). Em suas publicações normativas a SUDECAP disponibiliza as especificações, padronizações dos dispositivos de drenagem e os parâmetros hidráulicos e hidrológicos recomendados para os projetos. Os critérios recomendados pela SUDECAP para a determinação da capacidade de bocas-de-lobo em greide contínuo são os mesmos definidos pelas experiências da UJH. Contudo, os modelos de bocas-de-lobo pesquisados por aquela instituição não se assemelham ao padrão adotado para os sistemas de drenagem de Belo Horizonte. Como exemplos de divergências podem ser citados as formas e dimensões das barras, bem como, a geometria das depressões. Considerando que divergências podem estar influenciando nos valores de eficiência dos sistemas de drenagem implantados em Belo Horizonte, mostra-se relevante uma pesquisa em laboratório visando à determinação da real eficiência hidráulica do padrão de boca-de-lobo e sarjetas adotados para estes sistemas.

A SUDECAP adota como padrão para as ruas de Belo Horizonte a boca-de-lobo combinada com grelha na sarjeta e abertura no meio fio, havendo na maioria das vezes uma depressão na sarjeta. A princípio, na implantação destas bocas-de-lobo era utilizado um artefato de ferro fundido composto de grelha e uma peça que substituía parte do meio fio, criando neste uma abertura por onde uma parte do fluxo era captada. Estas peças formavam um conjunto articulado que permitia a abertura da grelha para a retirada de resíduos que penetravam no interior da boca-de-lobo. Mais recentemente, em decorrência da prática crescente do furto das peças metálicas nos grandes centros urbanos, passou-se a utilizar todas as peças em concreto armado, sendo necessário para isto uma alteração na geometria da grelha para compensar a menor resistência mecânica do concreto.

A Figura 1 mostra este padrão empregado em trechos de greide contínuo, que é o enfoque do presente trabalho.

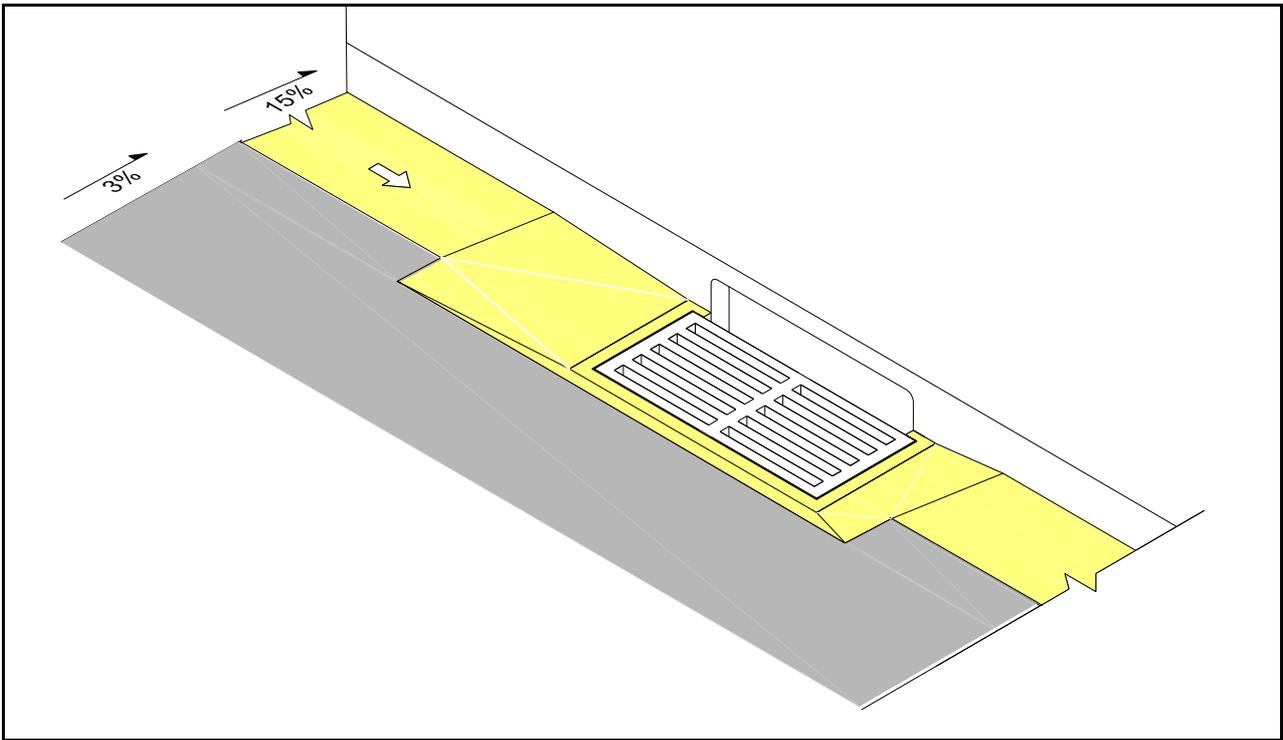


Figura 1 - Boca-de-lobos padrão SUDECAP para greide contígua

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho é avaliar, por meio de um modelo reduzido, o comportamento hidráulico da boca-de-lobos padrão SUDECAP situado em greide contígua. Complementam estes objetivos, os testes com dois tipos diferentes de grelha que visam a melhoria de eficiência da boca-de-lobos. Os testes foram feitos alternando as bocas-de-lobos da seguinte forma:

- Boca-de-lobos sem depressão na sarjeta:
 - Boca-de-lobos com abertura na guia e sem grelha
 - Boca-de-lobos com abertura na guia e grelha
 - Boca-de-lobos sem abertura na guia e com grelha
- Boca-de-lobos com depressão na sarjeta:
 - Boca-de-lobos com abertura na guia e grelha
 - Boca-de-lobos sem abertura na guia e com grelha

3. METODOLOGIA

A eficiência hidráulica de uma boca-de-lobos, situada em ponto intermediário, faz-se pela determinação da relação entre a vazão captada e a vazão afluyente da sarjeta. A vazão captada depende da altura da lâmina de água a montante desta, y_0 , que por sua vez depende das características geométricas da sarjeta, bem como do comprimento, da largura e das demais variáveis

geométricas da boca-de-lobo. Assim, a vazão captada pela boca-de-lobo com grelha e abertura na guia pode ser dada pela relação funcional:

$$\varphi(Q, Q_0, y_0, L, A_u, e, \theta, \sqrt{I/f}, G.) = 0 \quad (1)$$

em que,

Q : vazão captada pela boca-de-lobo (m³/s);

Q_0 : vazão que afluí pela sarjeta (m³/s);

y_0 : altura da lâmina d'água (m);

L : comprimento da abertura na grelha e na guia (m);

A_u : área útil das aberturas na grelha (m²);

e : largura da abertura na grelha (m);

θ : ângulo do plano da sarjeta com a vertical;

I : declividade longitudinal da sarjeta (m/m);

f : fator de atrito da equação universal de perda de carga;

G : parâmetro adimensional que descreve a geometria da sarjeta nas vizinhanças da boca-de-lobo.

A utilização da análise dimensional na relação (1) permite deduzir a relação adimensional expressa em (2), que representa a eficiência da boca de lobo, para uma dada geometria da sarjeta nas proximidades da boca-de-lobo.

$$\frac{Q}{Q_0} = \phi \left(\frac{L}{y_0}, \sqrt{I/f} \right) \quad (2)$$

Para facilitar a obtenção das medidas das grandezas envolvidas na equação (2) e poder definir função ϕ foi construído um modelo, na escala 1:3, no Centro de Pesquisas Hidráulicas – CPH da UFMG. Este modelo se baseou num protótipo correspondente a um pequeno seguimento de rua equipado com sarjeta padrão B da SUDECAP. Esta sarjeta tem duas declividades transversais, a primeira, adjacente ao meio fio, na faixa referente à sarjeta de concreto, tem 15% de declividade e a outra, com 3% de declividade, refere-se à faixa da pista atingida pela lâmina d'água. Esta faixa tem largura máxima admissível de 1,67m, conforme SUDECAP (2004). Segundo a mesma fonte, admite-se coeficiente de Manning n de 0,015 para o cálculo das vazões. Próximo ao fim da sarjeta está posicionada a boca-de-lobo. O modelo permitiu testes com as declividades longitudinais de 0,5%, 5%, 8%, 11% e 14%. A Figura 2 mostra o modelo construído e assentado em sua estrutura de apoio, porém ainda não ligado ao sistema de bombeamento. A Figura 3 exhibe a configuração

geométrica dos três tipos de grelha testados, sendo a grelha “1”, o padrão adotado atualmente pela SUDECAP para a cidade de Belo Horizonte. As grelhas “2” e “3” são configurações propostas como forma de se obter ganho de eficiência da boca-de-lobo.

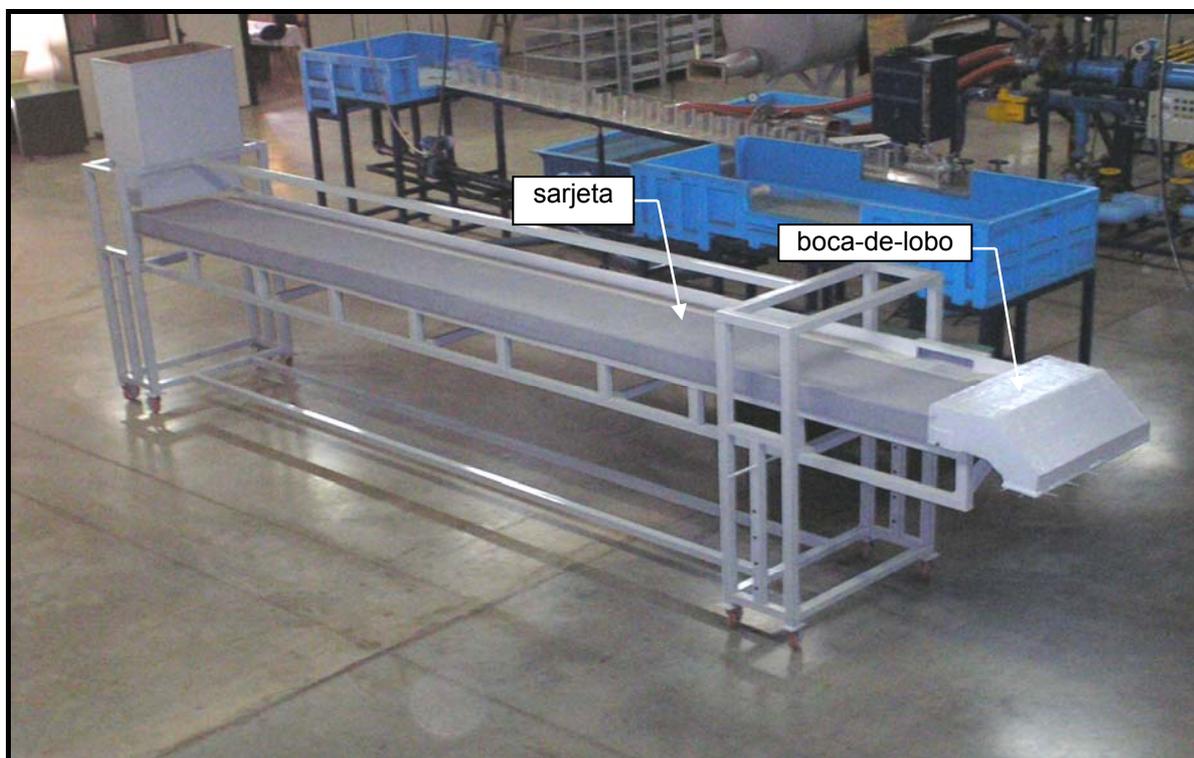


Figura2 – Modelo construído no CPH.

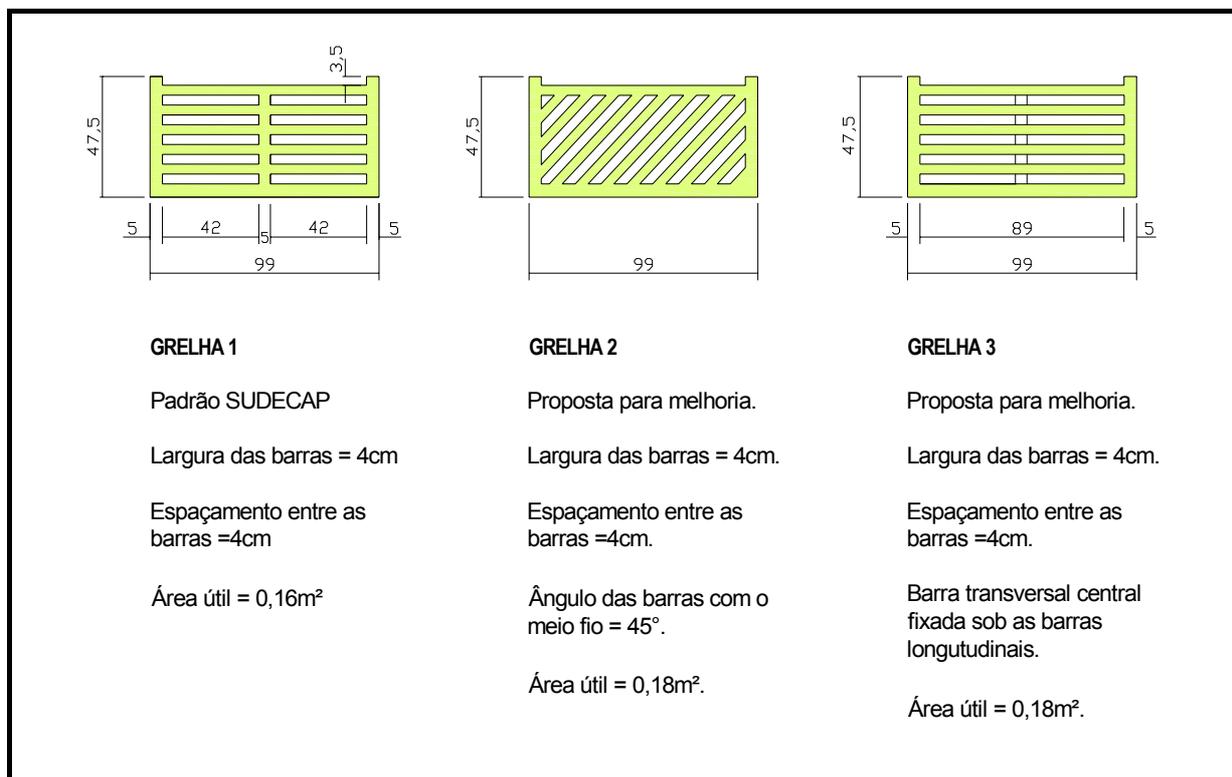


Figura 3 – Características das grelhas testadas

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capacidade de captação das boca-de-lobo com entrada pela guia, segundo Souza (1986) e Li *et al.* (1951), pode ser comparada a de um vertedor de entrada lateral, cuja lei de captação é definida por :

$$\frac{Q}{L} = k.y_0^{1,5} \quad (3)$$

em que,

Q é a vazão captada na boca-de-lobo em m³/s;

L , a largura da abertura na guia em m;

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

k , o fator que depende do coeficiente de descarga, da aceleração da gravidade e do ângulo da inclinação transversal da sarjeta e deverá ser determinado experimentalmente.

A hipótese de funcionamento como vertedor foi também utilizada para o cálculo da vazão captada na boca de lobo com grelha. Entretanto, neste caso foi considerado um vertedor retangular de largura L , submetido à carga y_m , sendo $y_m = y_0 - 0,0125$, correspondente à média entre os valores y_0 (junto à guia) e a altura da lâmina d'água na outra extremidade da sarjeta, conforme a Equação (4) mostrada abaixo.

$$\frac{Q}{L} = k.y_m^{1,5} \quad (4)$$

4.1 – Testes com bocas-de-lobo sem depressão na sarjeta

As figuras seguintes apresentam graficamente os resultados dos testes realizados com as bocas-de-lobo sem depressão. Nelas são mostradas as equações relativas à vazão captada para as declividades longitudinais de 5%, 8%, 11% e 14%. Dada a proximidade dos valores de k nestas equações para as declividades testadas foi possível admitir que a variação das declividades longitudinais tem pouca influência sobre a capacidade de captação. Por isso, foi apresentada uma equação geral para cada tipo de boca-de-lobo testado. Na seqüência são apresentadas as considerações sobre o desempenho de cada boca-de-lobo com base nos resultados revelados pelos respectivos gráficos. Estão inclusas nestas considerações as observações sobre o desempenho das bocas-de-lobo com as grelhas "2" e "3".

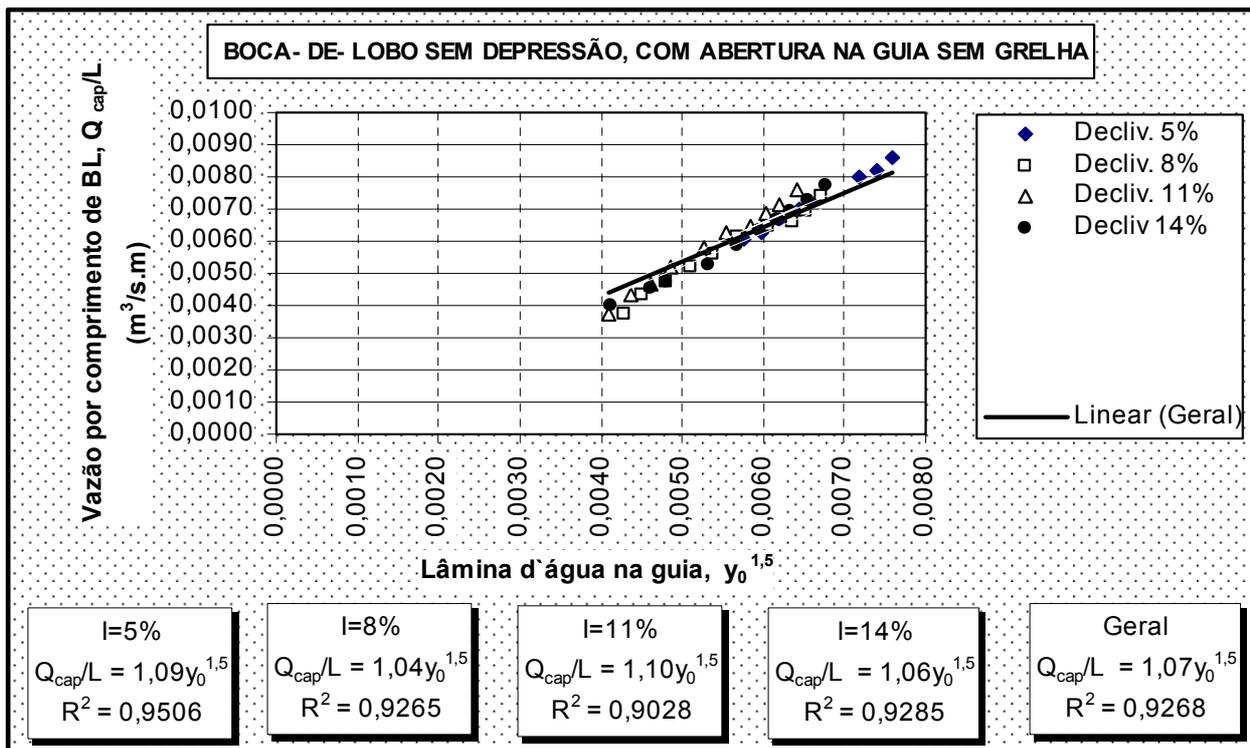


Figura 4 – Resultados dos testes com boca-de-lobo sem depressão e abertura na guia

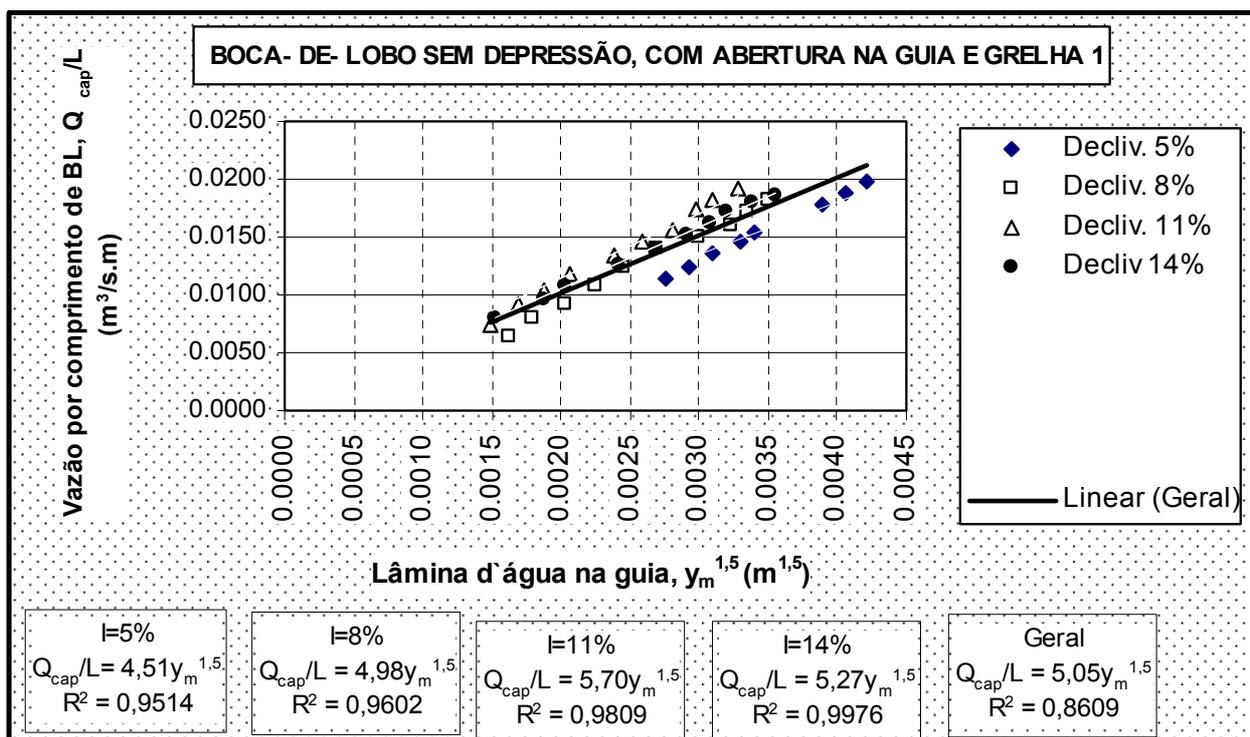


Figura 5 – Resultados para boca-de-lobo sem depressão com abertura na guia e “1”

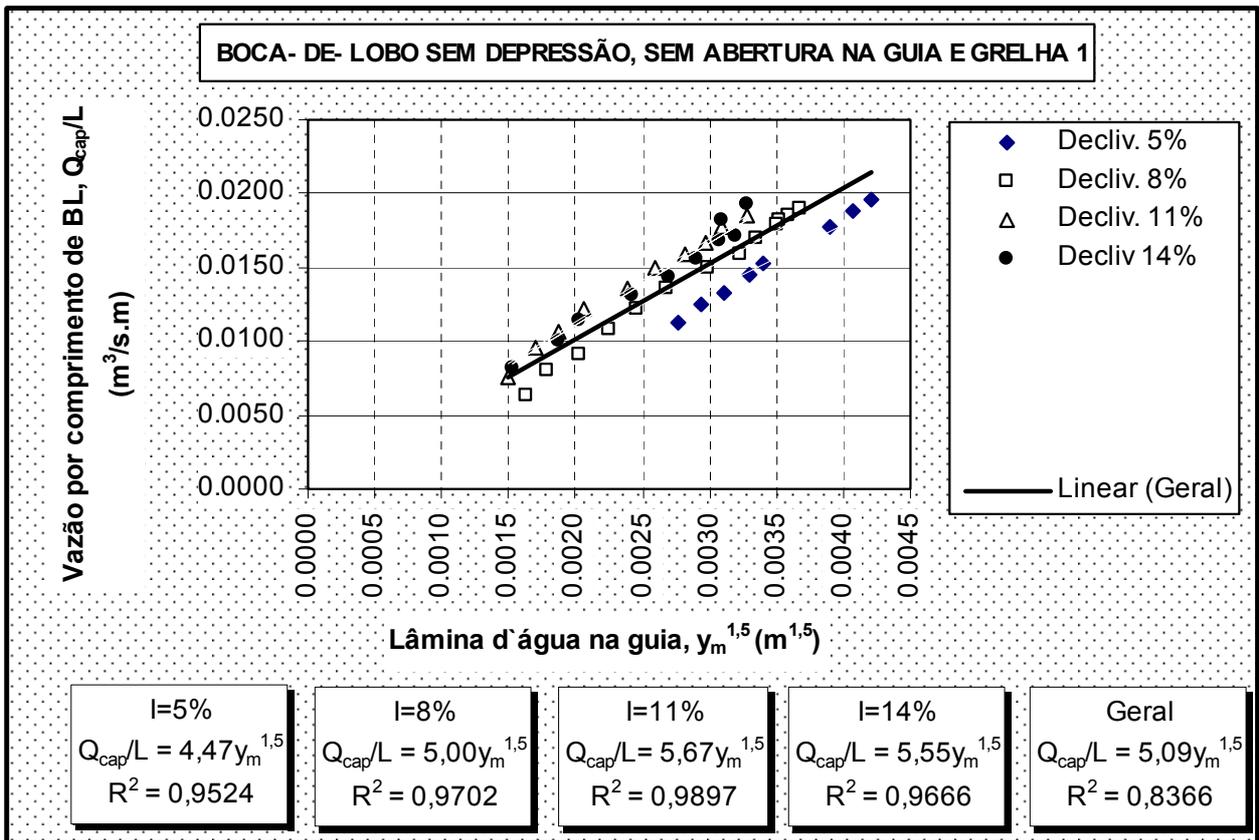


Figura 6 – Resultados para boca-de-lobo sem depressão sem abertura na guia e grelha “1”

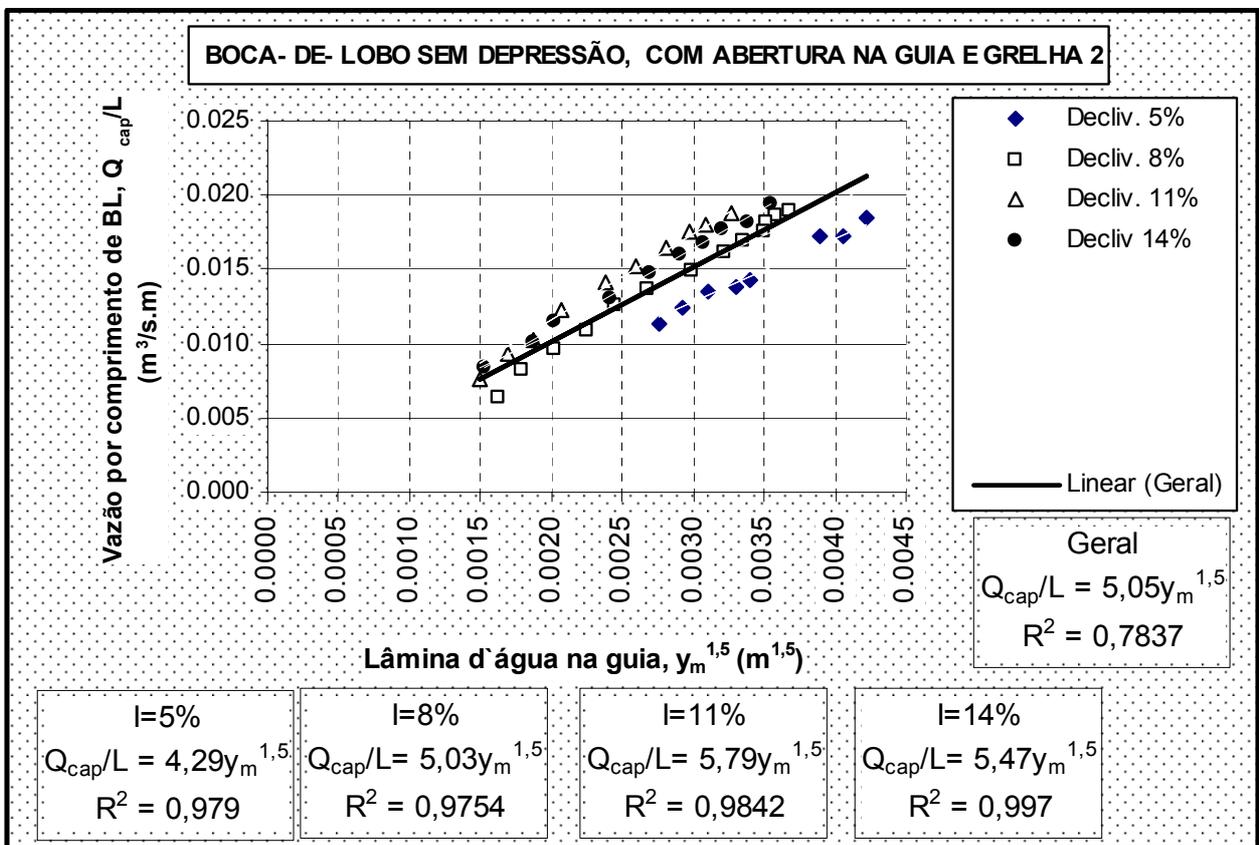


Figura 7 – Resultados para boca-de-lobo sem depressão abertura na guia e grelha “2”

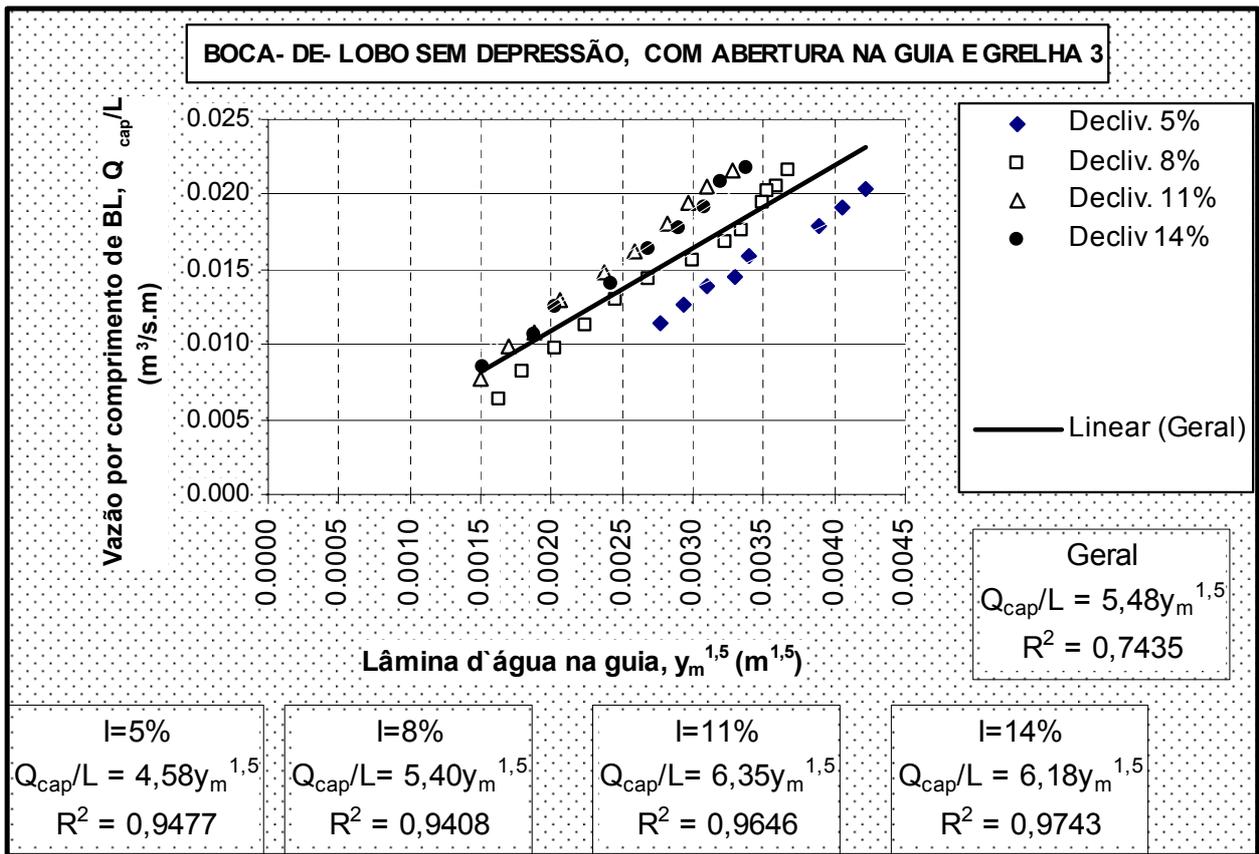


Figura 8 – Resultados para boca-de-lobo sem depressão com abertura na guia e grelha “3”

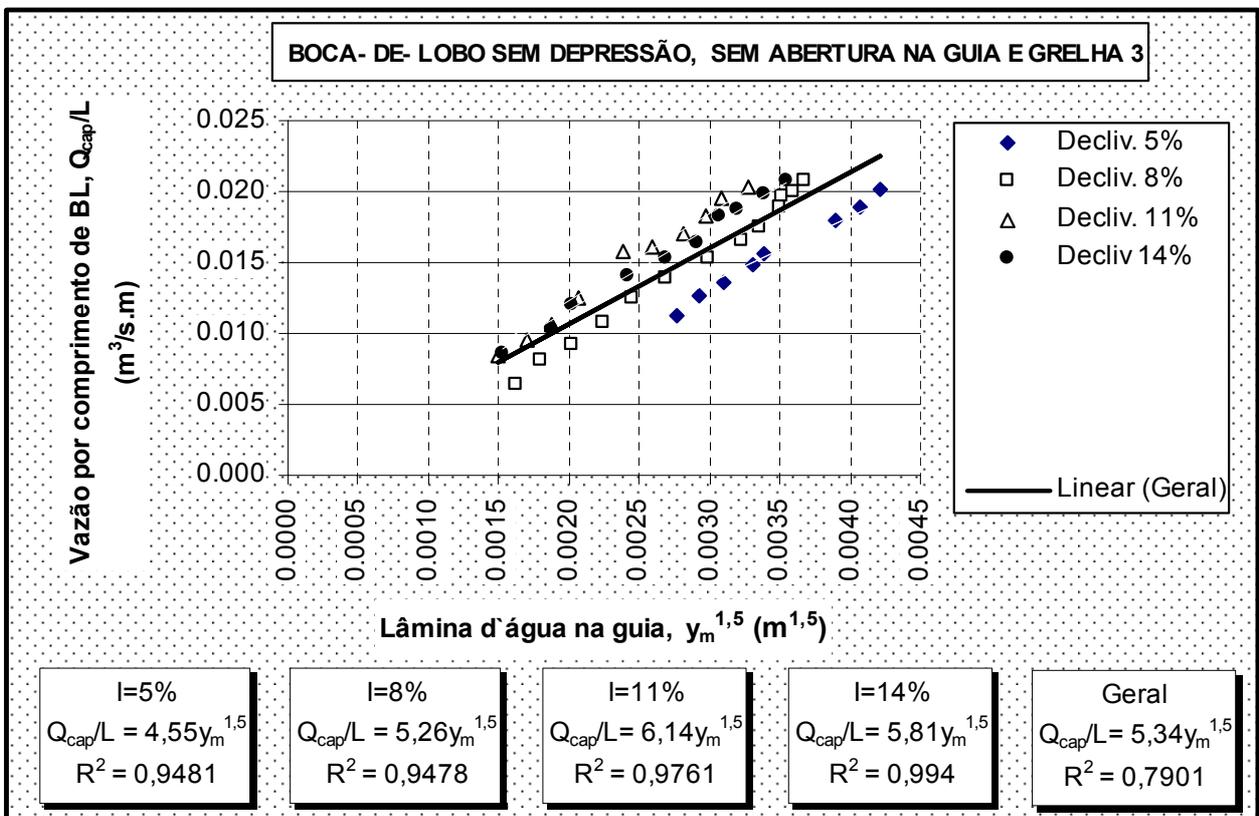


Figura 9 – Resultados para boca-de-lobo sem depressão sem abertura na guia e grelha “3”

Os resultados dos testes feitos com a boca-de-lobo, com abertura na guia e a grelha “1”, representados no gráfico da Figura 5, exibem um incremento na vazão da ordem de 67% para a menor lâmina d’água e 167% para a maior, com relação à boca-de-lobo que não possui grelha – Figura 4.

Comparando as equações das Figuras 5 e 6, cuja diferença das bocas-de-lobo é devida a abertura na guia, constata-se que a alteração dos valores do coeficiente (k) foi pouco significativa. Este dado revela que a contribuição da abertura na guia na eficiência de uma boca-de-lobo combinada (composta de grelha e abertura na guia), pode ser considerada desprezível.

Os resultados dos testes realizados com a boca-de-lobo, com abertura na guia e a grelha “2”, representada na Figura 7, quando comparados com os resultados da boca-de-lobo semelhante, empregando a grelha “1” -Figura 5, demonstraram variação praticamente nula na capacidade de captação.

Já os resultados dos testes realizados com o emprego da grelha “3”, com abertura na guia, Figura 8, quando comparados com aqueles obtidos com o emprego da grelha “1”, Figura 5, ofereceram um ganho na capacidade de captação próximo a 10%. Comparando as grelhas “1” e “3” numa boca de lobo sem abertura na guia, conforme mostram as equações da Figuras 6 e 9, o ganho obtido com a grelha “3” foi da ordem de 4% .

4.2 – Testes com bocas-de-lobo com depressão na sarjeta

As figuras seguintes apresentam graficamente os resultados dos testes realizados com as bocas-de-lobo com depressão. Também aqui os testes foram realizados para as declividades longitudinais de 5%, 8%, 11% e 14%. Devido aos resultados pouco vantajosos registrados nos testes com a grelha “2”, já vistos no item 4.1, não foram testadas bocas-de-lobo com boca-de-lobo com depressão na sarjeta e o emprego desta grelha.

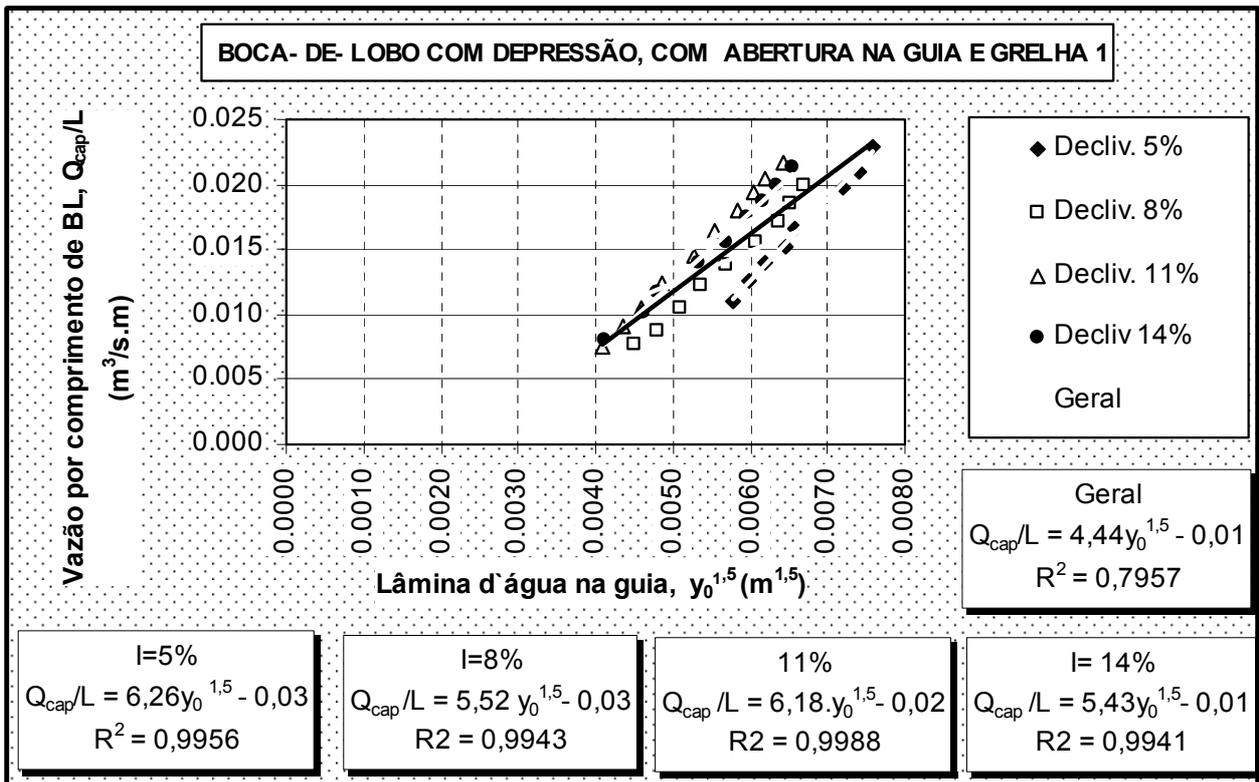


Figura 10 – Resultados para boca-de-lobo com depressão com abertura na guia e grelha “1”

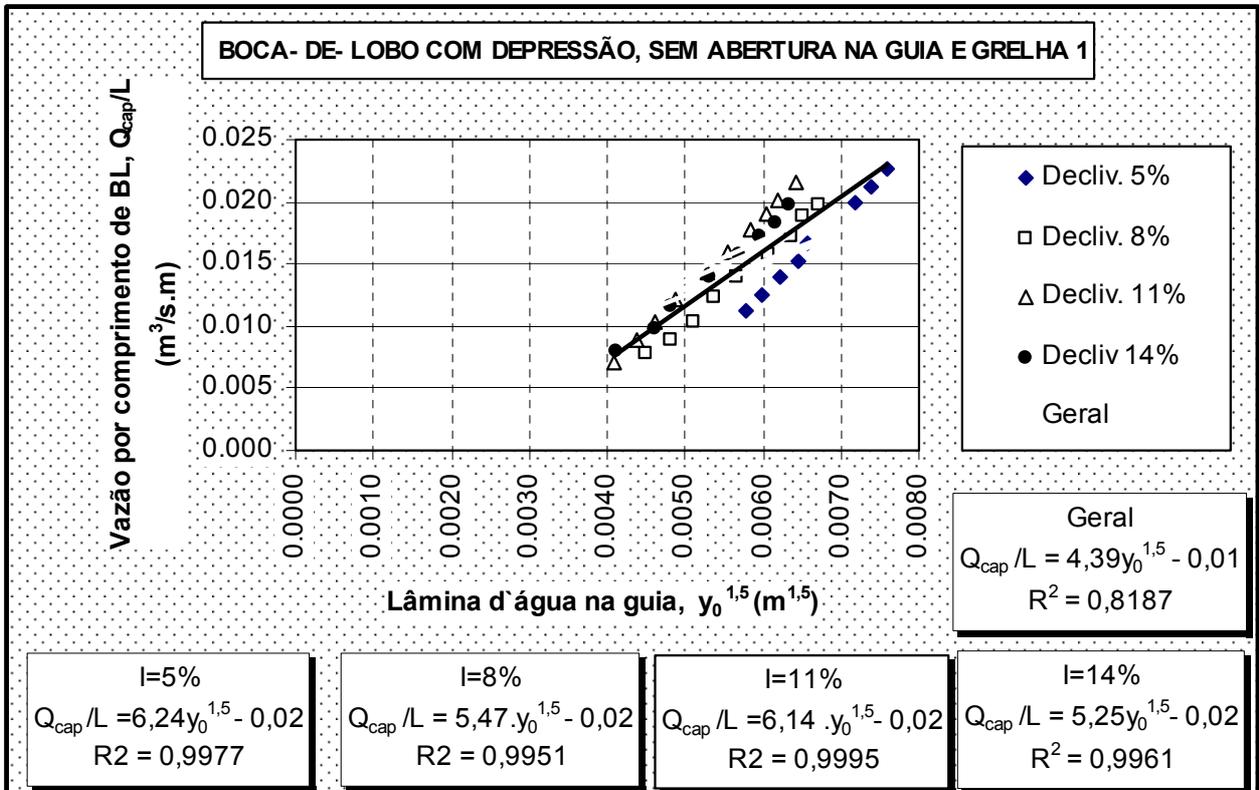


Figura 11 – Resultados para boca-de-lobo com depressão sem abertura na guia e grelha “1”

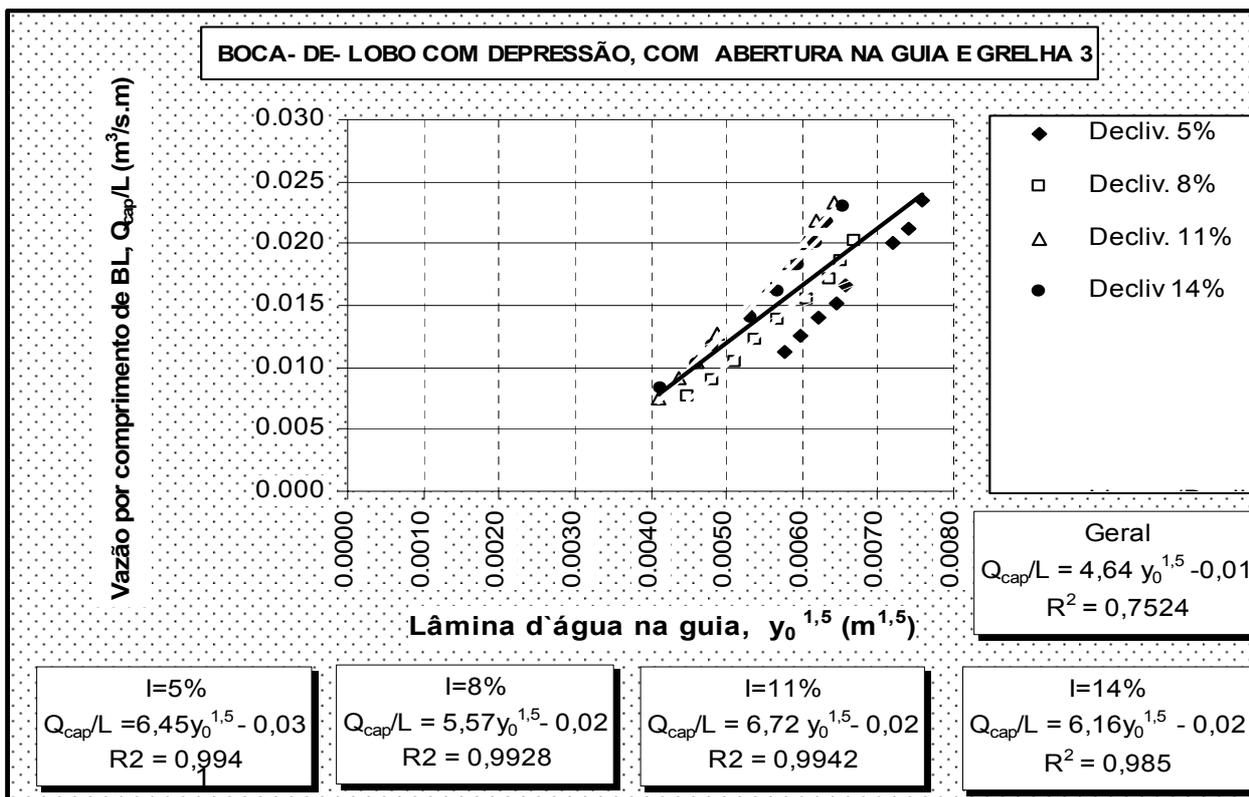


Figura 12 – Resultados para boca-de-lobo com depressão com abertura na guia e grelha “3”

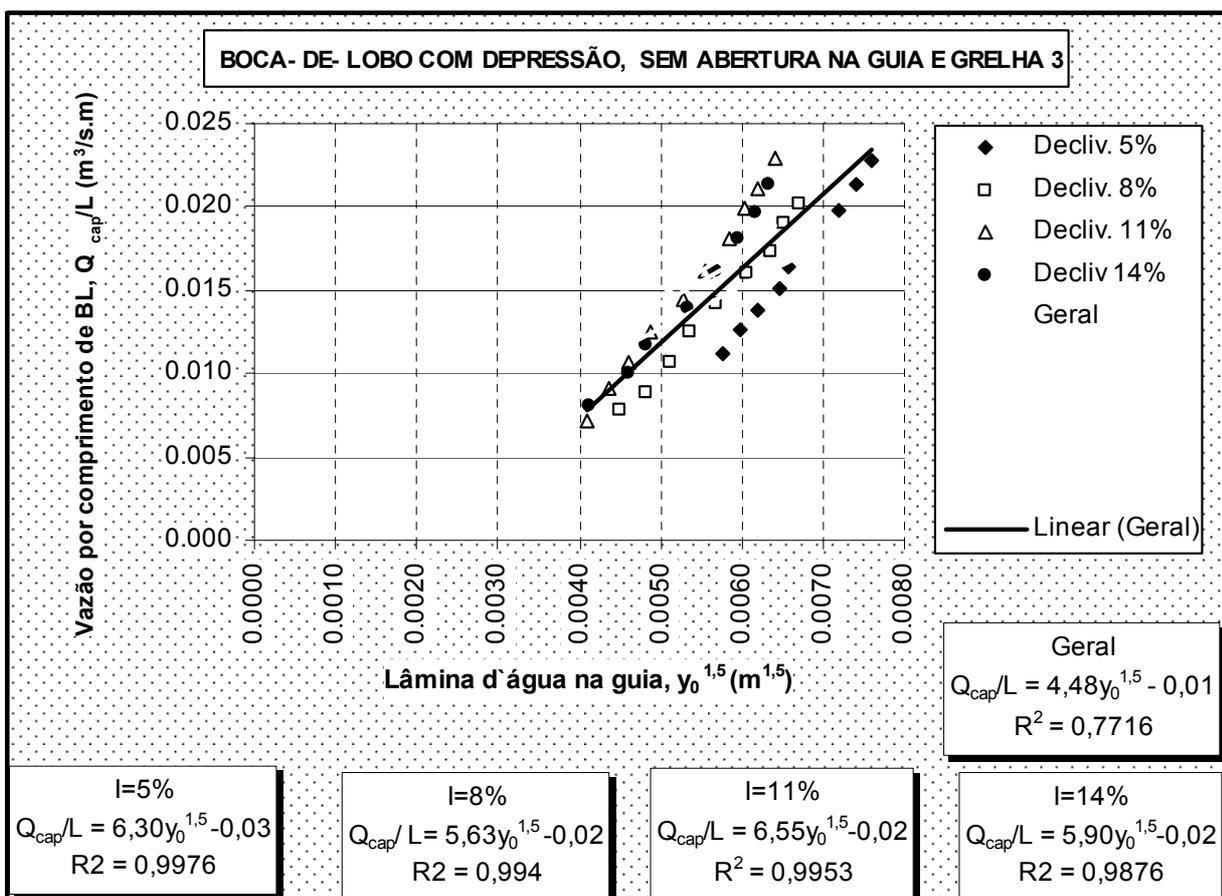


Figura 13 – Resultados para boca-de-lobo com depressão sem abertura na guia e grelha “3”

Na pesquisa com relação a influência da depressão na capacidade das bocas-de-lobo foram realizados primeiramente testes com boca-de-lobo combinada com a abertura na guia e a grelha “1”, seguida pela boca-de-lobo com a grelha “1”, sem abertura na guia, respectivamente, Figuras 10 e 11. Os testes mostraram um ganho de capacidade de captação ordem de 12% em relação à mesma boca-de-lobo porém sem a depressão na sarjeta. Já a comparação da influência da abertura na guia entre os dois casos testados mostrou uma melhoria de apenas 2% na capacidade de captação quando se emprega a abertura na guia.

Finalmente, foram testadas as bocas-de-lobo com depressão na sarjeta e o emprego da grelha “3”, Figuras 12 e 13, respectivamente. A comparação dessa grelha com a grelha “1”, para bocas-de-lobo composta (Figura 10) demonstra um aumento de capacidade de 8% e para as bocas de lobo sem abertura na guia (Figura 11) de 3%, aproximadamente.

A Tabela 1, mostrada a seguir, sumariza os resultados encontrados nos testes de verificação da lei geral de captação das bocas-de-lobo estudadas. Os coeficientes de determinação R^2 apresentados na faixa de 0,7524 e 0,9268 permite concluir que a fração da variância de Q/L é explicada por cerca de 75% a 93% dos valores de y_0 ou y_m ensaiados.

Tabela1 – Resumo dos resultados dos testes realizados

Depressão	Abertura na guia	Tipo de grelha	Equação	R^2	Referência
Não	sim	nenhuma	$Q_{cap}/L=1,07y_0^{1,5}$	0,9268	Figura 4
Não	sim	“1”	$Q_{cap}/L=5,05y_m^{1,5}$	0,8609	Figura 5
Não	não	“1”	$Q_{cap}/L=5,09y_m^{1,5}$	0,8366	Figura 6
Não	sim	“2”	$Q_{cap}/L=5,05y_m^{1,5}$	0,7837	Figura 7
Não	sim	“3”	$Q_{cap}/L=5,48y_m^{1,5}$	0,7435	Figura 8
Não	não	“3”	$Q_{cap}/L=5,34y_m^{1,5}$	0,7901	Figura 9
Sim	sim	“1”	$Q_{cap}/L=4,44y_0^{1,5}-0,01$	0,7957	Figura 10
Sim	não	“1”	$Q_{cap}/L=4,39y_0^{1,5}-0,01$	0,8187	Figura 11
Sim	sim	“3”	$Q_{cap}/L=4,64y_0^{1,5}-0,01$	0,7524	Figura 12
Sim	não	“3”	$Q_{cap}/L=4,48y_0^{1,5}-0,01$	0,7716	Figura 13

5. CONCLUSÕES

Com base na análise dos resultados, discutidos no item anterior, pode-se concluir que:

- A grelha “3” apresentou capacidade de captação superior ao das grelhas “1” e “2” correspondente a 10%, aproximadamente.
- A abertura na guia pouco contribuiu na capacidade de captação das bocas-de-lobo combinadas, sendo a grelha responsável por quase toda a vazão captada.
- A depressão na sarjeta padrão SUDECAP contribuiu com um incremento na capacidade de captação da boca-de-lobo da ordem de 12%.

Tendo em vista estas conclusões, recomenda-se a adoção da grelha “3” em substituição à grelha “1”. Ressalta-se que a diferença básica dessas grelhas está no fato da grelha sugerida apresentar a barra transversal central fixada sob as barras longitudinais

Quanto à abertura na guia, apesar de sua baixa importância para a captação das águas pluviais superficiais, a literatura técnica aconselha o seu uso como segurança, em casos de obstrução das grelhas por resíduos sólidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- LI, W.H.; GEYER, J.C.; SORTEBERG, K.K, Flow into Curb-Opening Inlets, reimpresso Sewage and Industrial Wastes, vol. 23, n. 6 June, 1951 e publicado em The Design of Storm-Water Inlets. UJH, The Design of Storm-water Inlets. Baltimore, 1956.
- SOUZA, P.A., Eficiência Hidráulica da Boca-de-lobo. Boletim 3. Centro Tecnológico de Hidráulica, DAEE, São Paulo, 36 p., 1986.
- SUDECAP. Caderno de Encargos de Infra-estrutura Urbana. Belo Horizonte, 1985.
- SUDECAP. Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem Urbana. Belo Horizonte, 53 p., 2004.