

COEFICIENTES DE DESCARGA DE ORIFÍCIOS RETANGULARES EM PAREDE DELGADA VERTICAL CURVA

LUÍS G. H. DO AMARAL¹; MÁRCIO M. RAMOS²; WILSON DENÍCULI³; PAULO R. CECON⁴

¹ Engº Mecânico, Doutorando, Bolsista do CNPq, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, Fone: (0XX31) 3899.2715, luis_gha@yahoo.com.br.

² Engº Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

³ Engº Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

⁴ Engº Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Informática, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.

Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 4 de agosto de 2006 - João Pessoa – PB

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi analisar as influências da curvatura da parede e da operação simultânea de orifícios posicionados lado a lado sobre o coeficiente de descarga de orifícios retangulares em parede delgada vertical. A influência da curvatura da parede foi avaliada em orifícios retangulares de 40 x 80 mm perfurados em quatro tubos de PVC, um de seção quadrada e três de seção circular com diâmetros externos de 250, 350 e 450 mm. A influência da operação simultânea foi avaliada em um tubo de PVC de diâmetro externo de 250 mm, ao redor do qual foram perfurados oito orifícios retangulares de 40 x 80 mm. Verificou-se influência significativa da curvatura da parede sobre o coeficiente de descarga, sendo que esse diminuiu aproximadamente 3,5% para um aumento de 0,32 rad (18,3°) no ângulo α entre o eixo do orifício e a sua parede. Por outro lado, o aumento do número de orifícios operando simultaneamente provocou redução no coeficiente de descarga, devido à sobreposição dos jatos dentro do tubo e do afogamento dos orifícios nas maiores vazões.

PALAVRAS-CHAVE: face interna convexa, escoamento simultâneo.

DISCHARGE COEFFICIENTS FOR RECTANGULAR ORIFICES IN A CURVE THIN PLATE

ABSTRACT: The objective of this work was to verify the influences of plate curvature and simultaneous operation of side by side orifices on discharge coefficient of rectangular orifices in vertical thin plate. The influence of plate curvature was evaluated in 40 x 80 mm rectangular orifices perforated in four PVC pipes, one with square section, and the other ones with cylindrical sections and external diameter of 250, 350 and 450 mm. The influence of simultaneous operation was evaluated in a 250 mm of external diameter pipe, with eight 40 x 80 mm rectangular orifices around it. Increasing 0.32 rad (18.3°) in angle α between orifice axis and its plate, the discharge coefficient decreased 3.5%. Otherwise, increasing number of orifices in simultaneous operation, the discharge coefficient decreased, because of jets superposition within the tube and submergence of the orifices in the highest flows.

KEYWORDS: convex internal side, simultaneous flow.

INTRODUÇÃO: A água tem se tornado fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola, não só nas regiões áridas e semi-áridas, mas também em regiões com maior disponibilidade hídrica (HESPANHOL, 2003). No Brasil, a agricultura, é responsável por quase 63% da demanda por água, o que se deve principalmente à irrigação (REBOUÇAS, 2003), havendo a necessidade de aumento na eficiência de irrigação dos diferentes métodos utilizados para reduzir o desperdício e

aumentar a disponibilidade para os outros usos. Recentemente, AMARAL et al. (2005) apresentaram o protótipo de um regulador automático de vazão para canais de irrigação, com o objetivo de reduzir o desperdício durante a condução da água às áreas irrigadas. Nesse equipamento, o escoamento se dá através de orifícios posicionados lado a lado em parede delgada vertical curva, com face interna convexa. No entanto, não há trabalhos de pesquisa que definam os coeficientes de descarga para esse tipo de orifício, surgindo a necessidade de obtenção de coeficientes de descarga aplicáveis nessas condições. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência da curvatura da parede e da operação simultânea de orifícios posicionados lado a lado sobre o coeficiente de descarga de orifícios retangulares em parede delgada vertical.

MATERIAL E MÉTODOS: Os ensaios foram realizados no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Para estudar a influência da curvatura da parede sobre o coeficiente de descarga foram utilizados quatro tubos de PVC, sendo um deles de seção quadrada com 350 mm de aresta (construído a partir de lâminas de PVC de 5 mm de espessura) e os outros três de seção circular, de diâmetro externo correspondente a 250, 350 e 450 mm, e espessura de parede de 3, 4 e 5 mm, respectivamente. Nesses tubos foram perfurados orifícios retangulares de 40 mm de altura e 80 mm de comprimento. Os tubos foram colocados dentro de um reservatório metálico de 2 m³ equipado com um vertedor lateral de altura regulável para manutenção de nível constante. Além de estruturas para dissipação de energia e linearização do fluxo, o reservatório continha ainda um cone soldado ao seu fundo, que permitia a fixação dos tubos na vertical e a saída da água proveniente do orifício. O reservatório metálico foi posicionado sobre um canal de concreto, possibilitando a transferência da água escoada pelo cone até um reservatório graduado para medição do volume escoado. A vazão no orifício foi obtida dividindo-se esse volume pelo tempo de coleta. O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas no espaço, em quatro repetições, e a variável analisada foi o coeficiente de descarga dos orifícios. Os tratamentos principais (quantitativos) foram quatro diferentes ângulos (α) entre o eixo do orifício e a sua parede: 90° (parede plana), 100,19° (tubo de $\phi_{\text{ext}} = 450$ mm), 103,10° ($\phi_{\text{ext}} = 350$ mm) e 108,33° ($\phi_{\text{ext}} = 250$ mm). Os tratamentos secundários (quantitativos) consistiram de cinco diferentes cargas hidráulicas medidas a partir do centro dos orifícios: 0,10, 0,20, 0,30, 0,40 e 0,50 m. Após a obtenção dos dados, realizou-se a análise de regressão do coeficiente de descarga em função dos tratamentos, para determinação do modelo que melhor se ajustava aos dados experimentais. O coeficiente de descarga foi obtido com a seguinte equação (KING et al., 1945):

$$C' = \frac{3}{2} \frac{Q}{L(2g)^{\frac{1}{2}} (h_2^{\frac{3}{2}} - h_1^{\frac{3}{2}})} \quad (1)$$

em que C' é o coeficiente de descarga, Q é a vazão no orifício (m³ s⁻¹), L é largura do orifício (m), g é a aceleração da gravidade (m s⁻²), e h_1 e h_2 são as cargas sobre as bordas superior e inferior do orifício, respectivamente (m).

Para estudar a influência da operação simultânea de orifícios posicionados lado a lado sobre o coeficiente de descarga, utilizou-se um tubo de PVC de $\phi_{\text{ext}} = 250$ mm e 3 mm de espessura de parede. Nesse tubo, foram perfurados oito orifícios retangulares de 40 mm de altura e 80 mm de comprimento. O tubo foi ensaiado no mesmo reservatório utilizado para os ensaios relativos à influência da curvatura da parede. O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado com parcelas subdivididas no espaço, em quatro repetições, e a variável analisada foi o coeficiente de descarga, obtido pela Equação (1). Os tratamentos principais (qualitativos) consistiram em diferentes números de orifícios operando simultaneamente: 1, 2, 4 e 8 orifícios, sendo que o espaçamento angular entre o eixo dos orifícios foi de, respectivamente, 180°, 90° e 45° para 2, 4 e 8 orifícios operando simultaneamente. Os tratamentos secundários (quantitativos) consistiram de cinco diferentes cargas medidas a partir do centro dos orifícios: 0,10, 0,15, 0,20, 0,25 e 0,30 m. Após a

coleta dos dados, procedeu-se à análise de regressão do coeficiente de descarga em função dos tratamentos secundários, para cada um dos tratamentos principais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A superfície de resposta obtida bem como os parâmetros do modelo ajustados para os dados do ensaio relativo à curvatura da parede são apresentados na Figura 1.

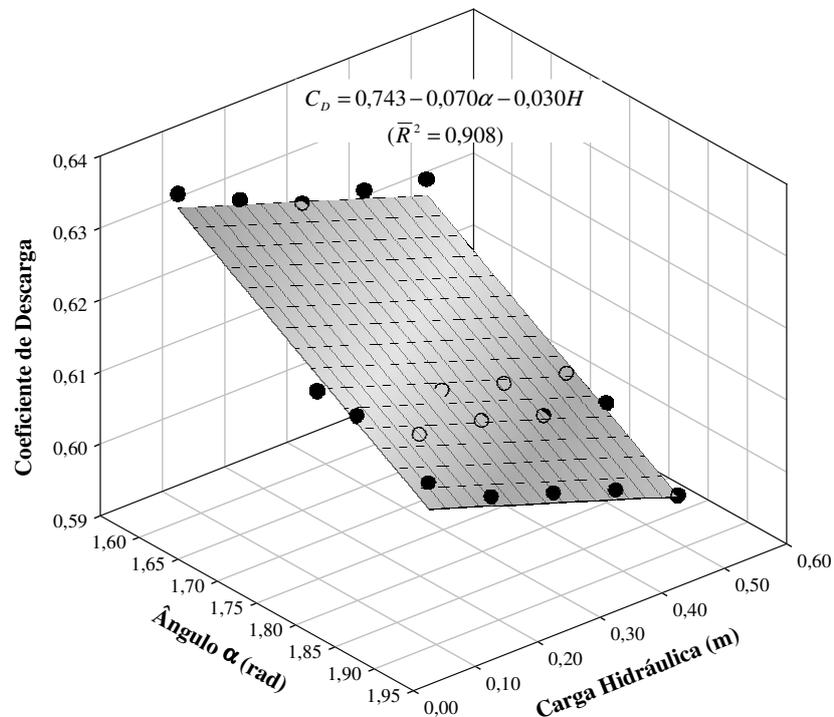


Figura 1 – Médias dos coeficientes de descarga em função da carga hidráulica e do ângulo entre o eixo do orifício e a sua parede, e a superfície de resposta obtida.

Pela figura, percebe-se que houve influência significativa da curvatura da parede e da carga hidráulica sobre o coeficiente de descarga. O coeficiente diminuiu, em média, 3,5% para um aumento de 0,32 rad (18,3°) no ângulo α entre o eixo do orifício e a sua parede. Esses resultados estão coerentes com os estudos de Weisbach, apresentados por HUGHES & SAFFORD (1924), acerca do comportamento do coeficiente de descarga de orifícios circulares em função de α , que demonstraram que, para um orifício circular com diâmetro de 10 mm, o coeficiente de descarga diminuiu cerca de 4,1% com um incremento de 0,39 rad (22,5°) no ângulo α . Por outro lado, houve redução do coeficiente de descarga com o aumento da carga hidráulica para todas as curvaturas de parede. Na Figura 2, são apresentadas as regressões do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, para 1, 2, 4 e 8 orifícios operando simultaneamente. Em geral, houve redução do coeficiente de descarga com o aumento do número de orifícios escoando simultaneamente, ao contrário dos resultados obtidos por Darcy e Bazin, apresentados por HUGHES & SAFFORD (1924), com orifícios quadrados posicionados lado a lado em parede plana, os quais indicaram aumento do coeficiente de descarga com o aumento do número de orifícios operando simultaneamente. Entretanto, no presente trabalho, houve sobreposição dos jatos oriundos dos diferentes orifícios, já que o diâmetro do tubo era relativamente pequeno e, com isso, o ponto de encontro dos jatos dava-se acima da borda inferior dos orifícios. A sobreposição dos jatos causou interferência no escoamento dos orifícios, provocando redução na vazão e, conseqüentemente, no coeficiente de descarga. O acompanhamento da sobreposição dos jatos, realizado de forma visual durante o experimento, revelou que, para 8 orifícios operando simultaneamente, houve interferência em todas as cargas hidráulicas testadas. Para os tratamentos de 2 e 4 orifícios escoando simultaneamente, a interferência foi observada a partir da carga de 0,15 m. Isso explica o fato dos

coeficientes obtidos com 2 e 4 orifícios para a carga de 0,10 m serem maiores do que o coeficiente obtido com 1 orifício para essa mesma carga hidráulica e, nesse caso, os resultados são coerentes com os obtidos por Darcy e Bazin. Os coeficientes de descarga obtidos com 8 orifícios escoando simultaneamente foram relativamente pequenos. Isso pode ser explicado pelo afogamento dos orifícios, devido à alta vazão no interior do tubo de PVC, o que ocorreu a partir da carga de 0,15 m. Para avaliar melhor o efeito do número de orifícios operando simultaneamente seria necessário utilizar um tubo de maior diâmetro, evitando a interferência dos jatos e o afogamento dos orifícios. Entretanto, o aumento do diâmetro acarretaria aumento nas dimensões do regulador automático de vazão, o que, na prática, é indesejável, pois aumentaria o custo do equipamento e inviabilizaria sua instalação em pequenos canais de irrigação.

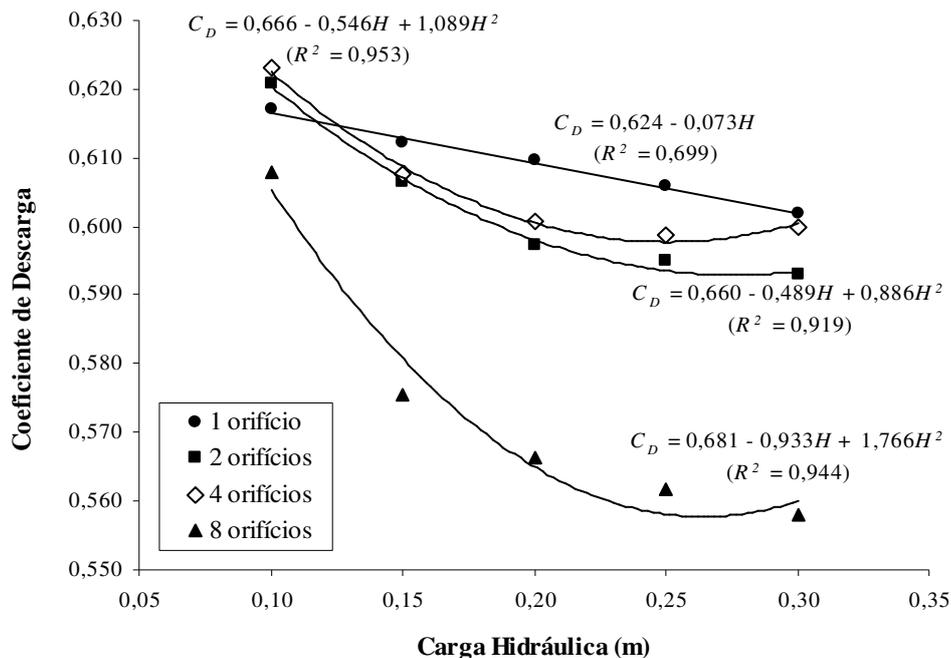


Figura 2 – Regressões do coeficiente de descarga em função da carga hidráulica, para diferentes números de orifícios escoando simultaneamente, e as médias obtidas no experimento.

CONCLUSÕES: Para orifícios retangulares em parede delgada vertical curva com face interna convexa, o aumento no ângulo α entre o eixo do orifício e a sua parede provoca redução no coeficiente de descarga. Para orifícios retangulares posicionados lado a lado em parede delgada vertical curva com face interna convexa submetidos a afogamento e sobreposição dos jatos, o aumento do número de orifícios operando simultaneamente causa redução no coeficiente de descarga.

REFERÊNCIAS:

- AMARAL, L. G. H.; RIGHES, A. A.; SOUZA FILHO, P. S.; DALLA COSTA, R. Automatic regulator for channel flow control on flooded rice. **Agricultural Water Management**, v. 75, n. 3, p. 184-193, 2005.
- HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 411-437, 2003.
- HUGHES, H. J.; SAFFORD, A. T. **A treatise on hydraulics**. New York: The Macmillan Company, 1924.
- KING, H. W.; WISLER, C. O.; WOODBURN, J. O. **Hidráulica**. Tradução de NOVAES, H. e BRAGA, E. P. Porto Alegre: Publicações Pan-Americanas Ltd., 1945.
- REBOUÇAS, A. C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 13, n. especial, p. 341-345, 2003.