

COEFICIENTE DE DESCARGA DE EMISSORES DE PIVÔ CENTRAL

Marconi Batista Teixeira; Ralini Ferreira de Melo; Rubens Duarte Coelho

Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, marconi@esalq.usp.br

1 RESUMO

Com objetivo de avaliar o coeficiente de descarga para diferentes diâmetros de bocais de aspersores fixos para pivô central, analisou-se 35 bocais de diferentes diâmetros com três repetições, totalizando 105 bocais ensaiados. Para a medição da pressão e vazão, foram utilizados, respectivamente, um manômetro digital e um medidor magnético indutivo de vazão. Foi utilizada água tratada com temperatura ambiente 25°C. Os resultados mostraram que para os menores diâmetros de bocais (diâmetro nominal variando de 2,0 até 5,4 mm) o coeficiente de descarga apresentou alguns valores superiores a 1,0; mostrando que com o aumento da pressão ocorre vazamento entre as partes que compõem o bocal, resultando numa vazão superior à esperada, mascarando o valor de Cd. Já os bocais com diâmetro superior a 5,4 mm não apresentaram tais vazamentos, sendo registrados valores de coeficiente de descarga na faixa tradicional de bocais (0,92 – 0,98).

UNITERMOS: dimensionamento hidráulico, uniformidade, bocais

TEIXEIRA, M. B.; MELO, R. F. de; COELHO, R. D. DISCHARGE COEFFICIENTS OF CENTER PIVOT EMITTERS

2 ABSTRACT

Aiming to evaluate the discharge coefficient of different diameters of center pivot emitters, 35 nozzles of different diameters (three replications, totalizing 105 nozzles) were analyzed. A digital manometer and an inductive magnetic meter were used to measure hydraulic pressure (kPa) and flow rate ($m^3 h^{-1}$). Treated water at a 25°C temperature was used in the experiment. The results showed that some discharge coefficient values were higher than 1.0 for small diameters (from 2.0 to 5.4 mm), showing that a pressure increase caused a leak resulting in high flow values when compared to theoretical orifice equation (discharge coefficient). Nozzle diameters that were up to 5.4 mm did not present leaking problems related to pressure increase, recording traditional values for discharge coefficient: 0.92 – 0.98.

KEYWORDS: hydraulic design, uniformity, nozzle

3 INTRODUÇÃO

O sistema de irrigação por pivô central foi desenvolvido no estado do Colorado (EUA), em 1952, mas até 1960 seu uso ainda não estava consolidado. Atualmente o Brasil possui aproximadamente 20% do total da área irrigada por este sistema (Christofidis, 1998),

adaptado aos mais diferentes tipos de culturas, desde pastagens, culturas perenes, anuais e oleícolas. Nos últimos anos têm-se observado a cada ano no país um acréscimo de cerca de 50.000 ha de área cultivada sob pivô central (800-1000 equipamentos por ano).

Sua expressiva adoção é justificada, principalmente, por seu potencial para aplicar água de forma eficiente, alto grau de automatização, que permite uma menor utilização de mão-de-obra em relação a outros métodos de irrigação e a sua capacidade para aplicar água e nutrientes solúveis em uma ampla gama de solos, cultivos e condições topográficas. Atualmente, as principais limitações referem-se ao investimento inicial e ao consumo de energia, aliado a alta intensidade de aplicação na extremidade do pivô, que por sua vez precisa ser ajustada à velocidade de infiltração básica do solo para evitar o escoamento superficial (“runoff”) e um limite de declividade da área para a instalação de até 15%.

Os dois tipos de aspersores usados em pivôs centrais são de impacto (média pressão) e *spray* (baixa pressão), sendo este último com baixo ângulo e são instalados diretamente sobre a linha lateral do equipamento, porém é freqüente a sua utilização mais próxima à superfície do terreno no extremo de um tubo rígido ou flexível, mantendo os emissores mais próximos da copa das plantas.

O objetivo principal da irrigação é ter o máximo de uniformidade de água em toda a área irrigada. As três variáveis principais na seleção dos emissores são: espaçamento, tipo e tamanho. Os emissores devem ser espaçados corretamente para se ter um bom umedecimento do solo. O tipo de emissor e a vazão devem ser selecionados para evitar escoamento superficial e adequar-se ao solo e ao cultivo.

De acordo com Frizzone (1992), a eficácia da irrigação é algo que se identifica por uma relação custo-benefício, cuja maximização depende de fatores que vão desde as condições de mercado para os produtos agrícolas, até as características de desempenho dos emissores.

A intensidade e uniformidade de molhamento que proporciona a lateral dependem dos seguintes fatores: a) tipo de emissor, b) espaçamento entre emissores na linha lateral do pivô central, c) pressão nos bocais e d) o tamanho de gotas.

É principalmente nos emissores que surgem as maiores inovações técnicas, no intuito de buscar menor consumo de energia. No emissor, as partículas líquidas provenientes da tubulação do pivô afluem ao orifício, geralmente através do tubo de descida, quando possuem, segundo trajetórias convergentes na entrada do bocal. Devido à própria inércia e às componentes de velocidades paralelas ao plano do orifício, as partículas não podem mudar de direção de forma brusca ao se aproximarem da saída e continuam, portanto, movendo-se em trajetórias curvilíneas, obrigando o jato a se contrair um pouco além da borda interna da abertura. Este fenômeno é chamado de *contração do jato* (PORTO, 2003).

Para um orifício circular de aresta viva e diâmetro D , a seção contraída do jato situa-se a uma distância aproximada da parede interna da abertura igual a $0,5 D$. A relação entre a área transversal do jato A_c , na seção contraída, e a área do orifício A é denominada *coeficiente de contração*, C_c (equação 1), e pode ser determinada experimentalmente.

$$C_c = \frac{A_c}{A} \quad (1)$$

Devido à existência de perdas de energia no escoamento ao entrar no orifício e durante a passagem pelo mesmo, a velocidade real na seção contraída é ligeiramente inferior à velocidade teórica dada pela equação 2.

$$V_t = \sqrt{2gH} \quad (2)$$

em que:

V_t – velocidade teórica (m s^{-1});

g – gravidade (m s^{-2}); e

H – pressão de operação (kPa).

A relação entre a velocidade real V e a velocidade teórica V_t , que teria lugar se não houvesse perdas, denomina-se *coeficiente de velocidade*, C_v (equação 3), cuja ordem de grandeza para orifícios circulares de parede fina é 0,98.

$$C_v = \frac{V}{V_t} \quad (3)$$

$$V = C_v \sqrt{2gH} \quad (4)$$

A vazão real Q é o produto da área da seção contraída A_c pela velocidade real V .

$$Q = A_c V = A_c C_v \sqrt{2gH} \quad (5)$$

Finalmente, a vazão pelo orifício, usando a equação 1, é dada por:

$$Q = C_c C_v A \sqrt{2gH} \quad (6)$$

Ao produto $C_c C_v$ dá-se o nome de *coeficiente de vazão* ou de *descarga*, C_d .

Assim, a expressão geral para a vazão descarregada através de um orifício de área A , de pequenas dimensões e parede fina, sujeito a uma carga H , fica:

$$Q = C_d A \sqrt{2gH} \quad (7)$$

em que:

Q – Vazão que passa pelo bocal ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$);

C_d – Coeficiente de descarga (adimensional);

A – Área do bocal (m^2).

A equação 7 é chamada de *lei dos orifícios*. Os valores dos coeficientes de contração, velocidade e descarga são levantados experimentalmente. Desde que a forma geométrica do orifício permita tratá-lo como de canto vivo, e o escoamento local seja turbulento, a variável a limitar e/ou controlar (vazão ou pressão) pode ser descrita através da equação 7 (Linsingen, 2003).

Entretanto, em determinadas situações, como em baixas temperaturas, pequena queda de pressão, ou com pequenas aberturas do orifício, as forças viscosas podem prevalecer, o escoamento pode tornar-se laminar e a equação 7 deixa de ser válida (Linsingen, 2003).

Apesar disso, na prática, costuma-se utilizar a equação 7 para ambos os regimes de escoamento, e para orifícios de qualquer geometria, inclusive para resistências formadas por tubos curtos de pequeno diâmetro, utilizando-se um coeficiente de descarga C_d experimental adequado (Linsingen, 2003).

Uma vez definidos os valores de pressão e vazão em cada ponto, os bocais dos emissores podem ser dimensionados por meio da seguinte equação:

$$D_{b_i} = 1000 \sqrt{\frac{Q_i}{3,748 C_d H^{0,5}}} \quad (\text{equação 8})$$

em que:

D_{b_i} – diâmetro do maior bocal do emissor (mm);

Q_i – vazão do emissor, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

Este valor de diâmetro de bocal originalmente calculado deverá ser ajustado para os diâmetros de bocais disponíveis no mercado.

Devido à dificuldade de se obter na literatura valores de coeficiente de descarga para bocais utilizados em sistema, pivô central, realizou-se este trabalho, cujo objetivo foi medir o coeficiente de descarga de diferentes tipos de bocais com o intuito de medir o coeficiente de descarga dos mesmos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 3 repetições. Nas parcelas experimentais foram testadas as diferentes combinações de anel roscável e insertos, que também se diferenciam por cores para identificar o diâmetro nominal de cada bocal. Para medir o diâmetro dos bocais foi utilizado um projetor de perfil modelo Starrett HB 400, que permite aferir com precisão (erro máximo de leitura de 1%) o diâmetro do orifício, na condição de pressão hidrostática nula. A medição de diâmetro de bocais por meio de projetor de perfil com a precisão da ordem de 1/1000 mm, não é uma tarefa tão simples. Obviamente, não pela capacidade do aparelho, mas sim pela dificuldade prática de se focar corretamente a projeção ortogonal (visível na tela do projetor) da seção transversal representativa do diâmetro do bocal. Esta focagem é subjetiva devido à dificuldade em se fazer coincidir corretamente, os eixos cartesianos da tela com o contorno delineador do diâmetro projetado. Portanto, para o propósito desta pesquisa uma precisão da ordem de 1/100 mm torna-se mais compatível com a realidade.

Cada parcela experimental foi composta por 7 modelos de anéis roscáveis com 5 insertos cada, totalizando 35 bocais (diâmetros nominais variando de 2,0 a 9,6) com 3 repetições, sendo importante informar que os bocais não foram desmontados ou remontados para os ensaios, ou seja, estavam completos conforme o fabricante disponibiliza no mercado.

Mediu-se em uma campânula a vazão dos bocais utilizando um medidor magnético de vazão modelo KROHNE IFC 010 D com faixa de trabalho de 0 a $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e erro máximo de leitura de 1%.

As pressões de operação utilizadas para fazer a curva foram: 70, 105, 140, 210, 250, e 280 kPa, sendo utilizado um manômetro digital de 500 kPa para aferição e manutenção destes valores durante os testes. A água utilizada nos testes foi obtida do reservatório do próprio Laboratório de Irrigação da ESALQ, sendo, portanto água tratada. Devido a inexistência nas normas da ASAE de uma metodologia padrão para a avaliação de coeficiente de descarga de emissores para pivô central, foi utilizada a metodologia descrita acima para o desenvolvimento deste ensaio.

A Figura 1 apresenta um esquema ilustrativo dos equipamentos utilizados no ensaio.

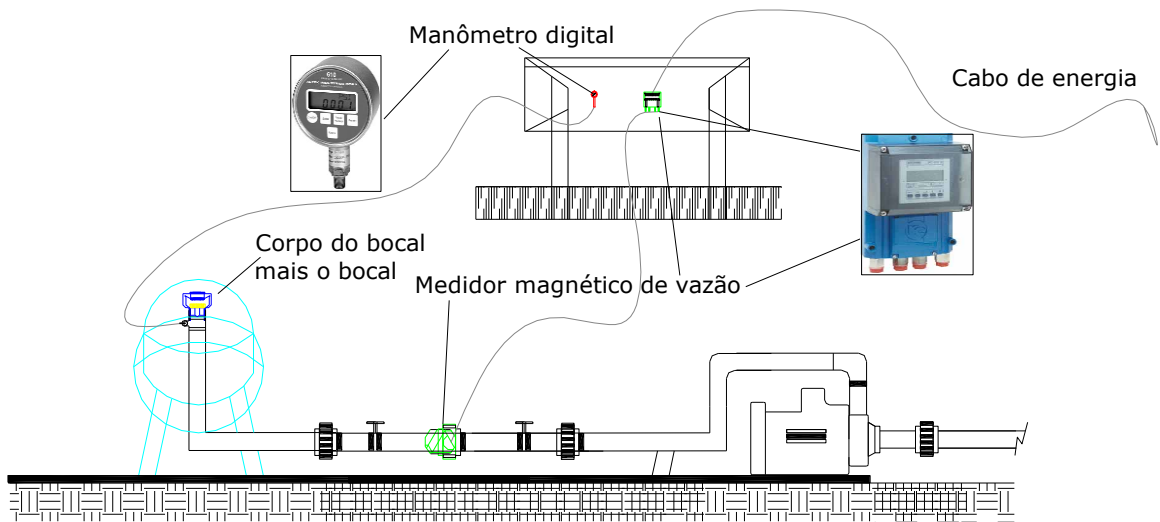


Figura 1. Esquema ilustrativo dos equipamentos utilizados no ensaio.

Foi realizada a análise de Regressão Linear Simples, utilizando o software SAS (Gomes, 1990).

4.1 Característica Avaliada

4.1.1 Coeficiente de descarga (Cd)

Esta avaliação visou observar a variação do coeficiente de descarga entre cada tipo de bocal, em razão das diferenças decorrentes do processo de fabricação.

Uma vez definidos os valores de pressão e vazão em cada ponto, os coeficientes de descarga (Cd) foram calculados por meio da seguinte equação:

$$Cd = \frac{q}{\frac{\pi d^2 \sqrt{2gH}}{4}} \quad (\text{equação 9})$$

em que:

q – vazão do emissor ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

d – diâmetro do bocal do emissor (mm).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise de regressão para o coeficiente de descarga em cada um dos diâmetros estudados, fonte do fabricante, permitindo verificar efeitos significativos da pressão sobre o coeficiente de descarga, para a maior parte dos bocais estudados.

Tabela 1. Resumo da análise de regressão linear simples para o coeficiente de descarga (C_d)

Diâmetro do Bocal (mm)	Cd			Análise de Regressão para o Cd		
	min	méd	máx	CV(%)	R ²	Valor de p
2,0	1,05	1,12	1,19	3,4985	0,4344	0,0197*
2,2	1,02	1,11	1,19	5,5910	0,1641	0,1914 ^{ns}
2,4	0,93	1,00	1,06	4,6664	0,1411	0,2289 ^{ns}
2,6	0,89	0,96	1,02	2,2481	0,1882	0,1588 ^{ns}
2,8	0,93	1,07	1,21	9,9684	0,0010	0,9229 ^{ns}
3,0	0,93	1,02	1,10	1,3508	0,5865	0,0037**
3,2	0,95	1,02	1,08	3,0291	0,4159	0,0235*
3,4	0,91	0,94	0,96	1,6317	0,1628	0,1934 ^{ns}
3,6	0,90	0,97	1,04	3,9531	0,1727	0,1790 ^{ns}
3,8	0,91	0,93	0,95	1,0135	0,6428	0,0017**
4,0	0,92	0,97	1,01	2,3471	0,3605	0,0390*
4,2	0,92	0,94	0,95	0,6544	0,5748	0,0043**
4,4	0,91	0,94	0,96	0,6900	0,6911	0,0008**
4,6	0,94	0,98	1,01	2,1282	0,3603	0,0391*
4,8	0,92	0,94	0,95	0,5143	0,6687	0,0012**
5,0	0,92	0,94	0,95	0,5442	0,7970	0,0001**
5,2	0,91	0,93	0,94	0,6329	0,4998	0,0101*
5,4	0,91	0,93	0,95	0,9885	0,3539	0,0413*
5,6	0,93	0,97	1,01	1,2638	0,0416	0,5251 ^{ns}
5,8	0,91	0,93	0,95	0,5409	0,8002	0,0001**
6,0	0,92	0,94	0,95	0,4004	0,8705	0,0001**
6,2	0,92	0,95	0,97	2,0704	0,0628	0,4322 ^{ns}
6,4	0,93	0,95	0,96	0,5078	0,7872	0,0001**
6,6	0,92	0,93	0,94	0,5378	0,5830	0,0039**
6,8	0,91	0,92	0,93	0,5410	0,4614	0,0151*
7,0	0,91	0,94	0,96	1,7551	0,1145	0,2820 ^{ns}
7,2	0,91	0,93	0,94	0,4657	0,8745	0,0001**
7,4	0,92	0,93	0,94	0,3177	0,8681	0,0001**
7,6	0,89	0,91	0,93	1,2429	0,0468	0,4994 ^{ns}
7,8	0,88	0,91	0,93	0,9630	0,0383	0,5424 ^{ns}
8,0	0,92	0,93	0,94	0,5378	0,5830	0,0039**
8,4	0,91	0,93	0,94	0,4943	0,6257	0,0022**
8,8	0,92	0,93	0,94	0,4672	0,6167	0,0025**
9,2	0,91	0,92	0,93	0,4543	0,7452	0,0003**
9,6	0,90	0,92	0,94	1,0517	0,1830	0,1654 ^{ns}

** Significativo a 1% de probabilidade.

- Significativo a 5% de probabilidade.

Conforme Raposo (1979), para sistemas de irrigação por aspersão, o valor de C_d não é constante, variando um pouco com os valores de diâmetro e pressão de funcionamento, numa faixa compreendida entre 0,85 e 0,99, com um valor médio de 0,95.

É importante observar que os bocais ensaiados que apresentaram valor de coeficiente de descarga superior à faixa recomendada não é devido à deformação do material que os compõem, e sim a vazamentos na junção do inserto com a porca, o que pode ser sanado com

um aperto adequado das duas peças. Conforme contato com o Fabricante hipótese de deformação do material ficou descartada, devido, no modelo do bocal ensaiado a vedação ocorrer por meio do contacto físico entre uma aresta do inserto e uma superfície cônica interna do corpo do bocal. Como ambas as partes são de termoplástico, há a necessidade de se aplicar um torque de aperto suficiente para que ocorra uma pressão entre as regiões em contacto e, desta forma, obter a vedação desejada (vedação rígida). Portanto, se o aperto não for suficiente, poderá ocorrer vazamento entre as peças, que será tanto maior, quanto for a pressão no bocal. Com isto, a vazão real estará mascarada e, conseqüentemente, o valor de Cd. Isto é mais perceptível nos bocais menores, já que na vazão medida, a parcela relativa ao vazamento terá maior peso nestes bocais do que nos bocais maiores.

Os bocais ensaiados neste trabalho, já se encontram fora da linha de produção conforme contato com o fabricante desde 2001, sendo substituídos por bocais que apresentam vedação com componentes flexíveis intermediários entre o inserto e a porca (o rings). Vale ressaltar que mesmo fora da linha de produção e não mais sendo comercializados estes produtos continuam sendo utilizados em alguns equipamentos pivôs centrais no país, cabendo ao produtor rural verificar se os componentes do bocal estão bem acoplados, para que este possa ter a função desejada. Vale ainda ressaltar que existem vários produtos de irrigação disponíveis no mercado, nacional e/ou internacional, que utilizam o tipo de vedação “rígida”, sem componentes flexíveis intermediários (arruelas, o rings, etc.).

A Tabela 2 apresenta um ensaio com o bocal com diâmetro nominal de 2,4 onde o mesmo foi selado com araldite, com o objetivo de verificar a ocorrência de vazamentos ou deformação do material. A hipótese de deformação foi descartada, pois de acordo com literatura relativa à matéria-prima termoplástica utilizada na fabricação do inserto, qualquer deformação por esforço compressivo da ordem de 0,5 mm, geraria uma deformação permanente irreversível que seria perceptível após o teste, ao medir-se novamente o diâmetro. Além disto, conforme nota do fabricante, seria necessária uma pressão bem maior que 280 kPa para provocar deformações de 0,5 mm, pois a tensão de ruptura do referido material é da ordem de 3000 kPa. Portanto em nosso ensaio o selamento do bocal com araldite apenas teve a função de auxiliar na vedação do mesmo, função esta que poderia ter sido alcançada com um aperto maior das peças.

Tabela 2. Identificação de vazão extra (vazamento) no bocal

MÉTODO	Bocal (diâmetro nominal: 2,4)*		
	Diâmetro**	q	Cd
	(mm)	(m ³ h ⁻¹)	-
Medidor magnético de vazão	2,35	0,4033	1,304
Método volumétrico (Bocal normal)	2,35	0,4035	1,305
Método volumétrico (Bocal enrijecido)	2,35	0,3009	0,973
Vazão extra		0,1026	

* Ensaio realizado com pressão de serviço (PS) igual a 200 kPa.

** Diâmetro aferido em equipamento padrão (projeto de perfil Starrett HB 400).

Comparando-se Método volumétrico (Bocal normal) e Método volumétrico (Bocal enrijecido), observa-se que ocorreu diminuição do coeficiente de descarga, ou seja, a vazão extra (vazamento) contribui para o aumento do valor de coeficiente de descarga, mascarando desta forma o valor real. Os valores dos coeficientes de descarga e vazão, correlacionados com os valores de pressão de operação utilizados nos ensaios, para cada um dos modelos de bocais estudados, encontram-se descritos nas Tabelas 3a, b, c e d.

Tabela 3 a – Vazões e Coeficientes de descarga para pivô central

Diâmetro Nominal do Bocal (mm)*	Repetição	Diâmetro Medido (mm)**	Pressão de Operação											
			70 kPa		105 kPa		140 kPa		210 kPa		250 kPa		280 kPa	
			q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	Q (m ³ h ⁻¹)	Cd
2,0	R1	1,96	0,136	1,07	0,163	1,05	0,191	1,06	0,239	1,08	0,266	1,11	0,289	1,14
	R2	1,94	0,136	1,09	0,169	1,11	0,202	1,15	0,254	1,18	0,279	1,19	0,295	1,18
	R1	2,18	0,160	1,02	0,200	1,04	0,226	1,02	0,280	1,03	0,309	1,04	0,338	1,08
2,2	R2	2,18	0,175	1,11	0,215	1,11	0,248	1,11	0,316	1,16	0,354	1,19	0,376	1,19
	R3	2,18	0,175	1,12	0,215	1,12	0,254	1,15	0,305	1,12	0,342	1,15	0,354	1,13
	R1	2,41	0,184	0,96	0,244	1,04	0,286	1,03	0,352	1,06	0,370	1,02	0,408	1,06
2,4	R2	2,40	0,178	0,93	0,220	0,94	0,261	0,97	0,320	0,97	0,350	0,97	0,368	0,97
	R1	2,55	0,191	0,89	0,241	0,92	0,284	0,93	0,353	0,95	0,380	0,94	0,410	0,95
	R2	2,59	0,207	0,93	0,262	0,97	0,300	0,96	0,352	0,92	0,402	0,96	0,422	0,95
2,6	R3	2,58	0,212	0,96	0,266	0,99	0,308	0,99	0,378	0,99	0,424	1,02	0,450	1,02
	R1	2,72	0,296	1,21	0,344	1,14	0,398	1,15	0,480	1,13	0,536	1,16	0,567	1,16
	R2	2,77	0,243	0,96	0,301	0,97	0,343	0,96	0,429	0,98	0,466	0,97	0,493	0,97
2,8	R3	2,77	0,236	0,93	0,291	0,94	0,334	0,93	0,421	0,96	0,463	0,97	0,488	0,96
	R1	2,92	0,269	0,95	0,339	0,98	0,389	0,97	0,485	0,99	0,528	0,99	0,566	1,00
	R2	2,88	0,256	0,93	0,321	0,96	0,373	0,96	0,463	0,98	0,505	0,98	0,531	0,97
3,0	R3	2,94	0,300	1,05	0,375	1,07	0,444	1,10	0,526	1,06	0,581	1,07	0,628	1,10
	R1	3,12	0,308	0,95	0,389	0,98	0,450	0,99	0,561	1,00	0,619	1,01	0,670	1,04
	R2	3,12	0,329	1,02	0,405	1,03	0,473	1,04	0,594	1,06	0,655	1,07	0,696	1,08
3,2	R3	3,12	0,311	0,96	0,389	0,98	0,453	0,99	0,576	1,03	0,636	1,04	0,683	1,06
	R1	3,30	0,343	0,95	0,420	0,95	0,490	0,96	0,600	0,96	0,653	0,96	0,685	0,95
	R2	3,34	0,335	0,91	0,416	0,92	0,486	0,93	0,600	0,94	0,655	0,94	0,696	0,94
3,4	R3	3,35	0,340	0,92	0,417	0,92	0,487	0,93	0,601	0,94	0,657	0,94	0,693	0,93
	R1	3,47	0,366	0,92	0,459	0,94	0,534	0,95	0,662	0,96	0,724	0,96	0,765	0,96
	R2	3,45	0,391	0,99	0,485	1,00	0,565	1,01	0,704	1,03	0,776	1,04	0,821	1,04
3,6	R1	3,66	0,400	0,90	0,499	0,92	0,581	0,92	0,718	0,93	0,785	0,93	0,832	0,94
	R2	3,63	0,402	0,92	0,496	0,93	0,577	0,93	0,715	0,95	0,788	0,95	0,832	0,95
	R3	3,67	0,408	0,91	0,500	0,91	0,588	0,93	0,724	0,94	0,791	0,94	0,845	0,95

*Diâmetro nominal do bocal (mm) fornecido pelo fabricante.

** Diâmetro medido (mm) determinados no momento da realização do ensaio.

Tabela 3 b – Vazões e Coeficientes de descarga para pivô central

Diâmetro Nominal do bocal (mm)*	Repetição	Diâmetro Medido (mm)**	Pressão de Operação											
			70 kPa		105 kPa		140 kPa		210 kPa		250 kPa		280 kPa	
			q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd
4,0	R1	3,93	0,486	0,95	0,603	0,96	0,704	0,97	0,866	0,98	0,973	1,01	1,036	1,01
	R2	3,92	0,467	0,92	0,587	0,94	0,681	0,95	0,835	0,95	0,915	0,95	0,970	0,95
	R3	3,92	0,479	0,94	0,587	0,94	0,679	0,94	0,839	0,95	0,913	0,95	0,966	0,95
4,2	R1	4,10	0,515	0,93	0,636	0,93	0,741	0,94	0,905	0,94	0,993	0,94	1,063	0,96
	R2	4,14	0,528	0,93	0,652	0,94	0,756	0,94	0,930	0,95	1,016	0,95	1,061	0,94
	R3	4,15	0,526	0,92	0,650	0,93	0,753	0,93	0,926	0,94	1,013	0,94	1,077	0,95
4,4	R1	4,31	0,573	0,93	0,709	0,94	0,820	0,94	1,014	0,95	1,113	0,96	1,185	0,96
	R2	4,30	0,568	0,93	0,699	0,93	0,810	0,93	0,999	0,94	1,090	0,94	1,161	0,95
	R3	4,32	0,566	0,91	0,699	0,92	0,811	0,93	0,995	0,93	1,088	0,93	1,153	0,93
4,6	R1	4,50	0,633	0,94	0,778	0,95	0,905	0,95	1,125	0,97	1,248	0,98	1,308	0,98
	R2	4,51	0,656	0,97	0,816	0,99	0,952	1,00	1,179	1,01	1,287	1,01	1,370	1,01
	R3	4,52	0,641	0,95	0,794	0,96	0,922	0,96	1,142	0,97	1,250	0,98	1,324	0,98
4,8	R1	4,69	0,672	0,92	0,823	0,92	0,956	0,93	1,177	0,93	1,285	0,94	1,354	0,93
	R2	4,70	0,674	0,92	0,831	0,93	0,966	0,93	1,193	0,94	1,304	0,94	1,383	0,94
	R3	4,72	0,683	0,93	0,842	0,93	0,973	0,93	1,203	0,94	1,311	0,94	1,406	0,95
5,0	R1	4,90	0,740	0,93	0,913	0,94	1,058	0,94	1,305	0,95	1,426	0,95	1,512	0,95
	R2	4,89	0,727	0,92	0,904	0,93	1,048	0,93	1,298	0,95	1,417	0,95	1,507	0,95
	R3	4,83	0,715	0,92	0,884	0,93	1,025	0,94	1,267	0,95	1,381	0,94	1,470	0,95
5,2	R1	5,11	0,807	0,93	0,990	0,94	1,146	0,94	1,414	0,94	1,537	0,94	1,626	0,94
	R2	5,10	0,796	0,92	0,971	0,92	1,132	0,93	1,397	0,94	1,527	0,94	1,618	0,94
	R3	5,10	0,789	0,91	0,970	0,92	1,129	0,92	1,394	0,93	1,515	0,93	1,608	0,93
5,4	R1	5,27	0,835	0,91	1,029	0,91	1,192	0,92	1,468	0,92	1,601	0,92	1,696	0,92
	R2	5,29	0,853	0,92	1,049	0,92	1,223	0,93	1,501	0,94	1,646	0,94	1,740	0,94
	R3	5,29	0,862	0,93	1,064	0,94	1,233	0,94	1,516	0,94	1,655	0,94	1,758	0,95
5,6	R1	5,44	0,965	0,98	1,202	1,00	1,395	1,00	1,717	1,01	1,850	1,00	1,930	0,98
	R2	5,48	0,965	0,97	1,198	0,98	1,386	0,98	1,697	0,98	1,855	0,99	1,961	0,98
	R3	5,45	0,915	0,93	1,130	0,94	1,317	0,95	1,616	0,95	1,778	0,96	1,891	0,96
5,8	R1	5,70	0,993	0,92	1,232	0,93	1,429	0,94	1,757	0,94	1,924	0,95	2,035	0,95
	R2	5,66	0,978	0,92	1,217	0,94	1,410	0,94	1,731	0,94	1,898	0,95	2,011	0,95
	R3	5,63	0,954	0,91	1,180	0,92	1,366	0,92	1,680	0,92	1,832	0,92	1,944	0,93

*Diâmetro nominal do bocal (mm) fornecido pelo fabricante.

** Diâmetro medido (mm) determinados no momento da realização do ensaio.

Tabela 3 c – Vazões e Coeficientes de descarga para pivô central

Diâmetro Nominal do Bocal (mm)*	Repetição	Diâmetro Medido (mm)**	Pressão de Operação											
			70 kPa		105 kPa		140 kPa		210 kPa		250 kPa		280 kPa	
			Q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd
6,0	R1	5,85	1,053	0,93	1,292	0,93	1,502	0,94	1,847	0,94	2,025	0,95	2,142	0,95
	R2	5,88	1,056	0,92	1,308	0,93	1,516	0,94	1,869	0,94	2,044	0,95	2,167	0,95
	R3	5,86	1,060	0,93	1,307	0,94	1,514	0,94	1,868	0,95	2,041	0,95	2,169	0,95
6,2	R1	6,10	1,172	0,95	1,447	0,96	1,682	0,96	2,073	0,97	2,262	0,97	2,396	0,97
	R2	6,12	1,136	0,92	1,406	0,93	1,626	0,93	1,998	0,93	2,180	0,93	2,308	0,93
	R3	6,09	1,132	0,92	1,406	0,93	1,625	0,93	2,002	0,94	2,187	0,94	2,325	0,95
6,4	R1	6,33	1,244	0,94	1,531	0,94	1,778	0,95	2,184	0,95	2,391	0,95	2,540	0,96
	R2	6,33	1,240	0,93	1,531	0,94	1,778	0,95	2,196	0,96	2,402	0,96	2,548	0,96
6,6	R1	6,42	1,257	0,92	1,542	0,92	1,793	0,93	2,200	0,93	2,408	0,93	2,550	0,93
	R2	6,44	1,264	0,92	1,557	0,93	1,813	0,93	2,228	0,94	2,434	0,94	2,576	0,94
6,8	R1	6,68	1,352	0,91	1,671	0,92	1,938	0,93	2,380	0,93	2,601	0,93	2,751	0,93
	R2	6,70	1,367	0,92	1,689	0,93	1,957	0,93	2,406	0,93	2,621	0,93	2,780	0,93
	R3	6,70	1,360	0,91	1,678	0,92	1,948	0,93	2,393	0,93	2,615	0,93	2,774	0,93
7,0	R1	6,80	1,400	0,91	1,723	0,92	1,993	0,92	2,445	0,92	2,669	0,92	2,818	0,92
	R2	6,85	1,448	0,93	1,793	0,94	2,088	0,95	2,571	0,95	2,808	0,95	2,992	0,96
	R3	6,85	1,442	0,93	1,783	0,94	2,082	0,95	2,557	0,95	2,798	0,95	2,980	0,96
7,2	R1	7,02	1,493	0,91	1,848	0,92	2,154	0,93	2,647	0,94	2,898	0,94	3,067	0,94
	R2	7,08	1,513	0,91	1,871	0,92	2,186	0,93	2,683	0,93	2,936	0,94	3,120	0,94
7,4	R1	7,18	1,570	0,92	1,935	0,93	2,253	0,93	2,772	0,94	3,031	0,94	3,216	0,94
	R2	7,17	1,568	0,92	1,940	0,93	2,249	0,93	2,779	0,94	3,033	0,94	3,215	0,94
7,6	R1	7,41	1,640	0,90	2,022	0,91	2,337	0,91	2,863	0,91	3,136	0,91	3,312	0,91
	R2	7,44	1,684	0,92	2,078	0,93	2,404	0,93	2,955	0,93	3,224	0,93	3,415	0,93
	R3	7,41	1,624	0,89	2,011	0,90	2,326	0,90	2,862	0,91	3,126	0,91	3,312	0,91
7,8	R1	7,51	1,644	0,88	2,028	0,89	2,338	0,88	2,863	0,89	3,128	0,89	3,304	0,88
	R2	7,52	1,669	0,89	2,062	0,90	2,382	0,90	2,926	0,90	3,198	0,90	3,387	0,90
	R3	7,64	1,760	0,91	2,175	0,92	2,525	0,92	3,107	0,93	3,393	0,93	3,598	0,93

*Diâmetro nominal do bocal (mm) fornecido pelo fabricante.

** Diâmetro medido (mm) determinados no momento da realização do ensaio.

Tabela 3 d – Vazões e Coeficientes de descarga para pivô central

Diâmetro Nominal do Bocal (mm)*	Repetição	Diâmetro Medido (mm)**	Pressão de Operação											
			70 kPa		105 kPa		140 kPa		210 kPa		250 kPa		280 kPa	
			q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd	q (m ³ h ⁻¹)	Cd
8,0	R1	7,89	1,902	0,92	2,328	0,92	2,709	0,93	3,329	0,93	3,641	0,93	3,850	0,93
	R2	7,88	1,897	0,92	2,340	0,93	2,709	0,93	3,335	0,94	3,654	0,94	3,855	0,94
8,4	R1	8,29	2,097	0,92	2,598	0,93	3,002	0,93	3,713	0,94	4,039	0,94	4,283	0,94
	R2	8,29	2,090	0,92	2,589	0,93	2,992	0,93	3,684	0,93	4,022	0,94	4,256	0,93
	R3	8,23	2,049	0,91	2,518	0,92	2,920	0,92	3,586	0,92	3,915	0,92	4,138	0,92
8,8	R1	8,67	2,302	0,92	2,839	0,93	3,288	0,93	4,034	0,93	4,412	0,94	4,681	0,94
	R2	8,68	2,289	0,92	2,807	0,92	3,283	0,93	4,022	0,93	4,405	0,93	4,633	0,93
	R3	8,69	2,299	0,92	2,811	0,92	3,283	0,93	4,033	0,93	4,405	0,93	4,664	0,93
9,2	R1	9,05	2,466	0,91	3,056	0,92	3,549	0,93	4,348	0,93	4,746	0,93	5,051	0,93
	R2	9,06	2,476	0,91	3,078	0,92	3,549	0,92	4,368	0,93	4,776	0,93	5,071	0,93
	R3	9,05	2,484	0,92	3,070	0,92	3,545	0,92	4,372	0,93	4,772	0,93	5,045	0,93
9,6	R1	9,49	2,721	0,91	3,341	0,92	3,891	0,92	4,762	0,92	5,200	0,92	5,526	0,93
	R2	9,39	2,718	0,93	3,346	0,93	3,883	0,94	4,769	0,94	5,200	0,94	5,507	0,94
	R3	9,48	2,685	0,90	3,303	0,91	3,838	0,91	4,711	0,91	5,114	0,91	5,465	0,92

*Diâmetro nominal do bocal (mm) fornecido pelo fabricante.

** Diâmetro medido (mm) determinados no momento da realização do ensaio.

Na maior parte da avaliação, os bocais com diâmetro nominal variando de 2,0 a 5,4 mm, apresentaram valores de coeficiente de descarga superior a 1,0, sendo que em menos de 25% dos ensaios com os referidos bocais apresentaram coeficiente de descarga menor que 1. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento da vazão devido vazamento entre as partes que compõem o bocal, em função do aumento da pressão de operação, contribuindo, assim, para o aumento do valor de coeficiente de descarga.

6 CONCLUSÕES

Menos de 25% dos ensaios com bocais de menor diâmetro (diâmetro nominal variando de 2,0 até 5,4 mm), apresentaram valores de coeficiente de descarga inferiores a 1, evidenciando que com o aumento da pressão, ocorre vazamento entre as partes que compõem o bocal, resultando em uma vazão superior à esperada pela equação do bocal, que contribui para o aumento do valor de Cd, mascarando, assim, o valor real.

Descartou-se a possibilidade de deformação do material que compõem o inserto, devido não ter-se observado uma deformação permanente e irreversível no bocal após o ensaio, que seria perceptível ao medir-se novamente o diâmetro do bocal.

Para um uso adequado dos bocais ensaiados, é importante aferir a junção das peças que compõem o mesmo com um aperto, possibilitando assim um uso satisfatório do mesmo, e a manutenção da variação dos valores de coeficiente de descarga com o aumento da pressão, dentro de uma faixa aceitável.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2002. 656 p.
- CHRISTOFIDIS, D. **Water, irrigation and food crisis** in water resources revelopment. London, v.14, n.13, p.405-415, Carfax Publishing Ltd., 1998.
- FRIZZONE, J. A. **Uniformidade e eficiência de irrigação**. Piracicaba: Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1992. 11 p.
- GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13.ed. São Paulo: Nobel, 1990. 468 p.
- LINSINGEN, I. von. **Fundamentos de sistemas hidráulicos**. 2.ed. Florianópolis: Ed.da Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. 399 p. (Série Didática).
- PORTO, R. de M. **Hidráulica básica**. 2.ed. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, , 2003. 519 p. (Projeto REENGE).
- RAPOSO, J. R. **A rega por aspersão**. 1. Lisboa: Livraria Clássica, 1979. 339 p.