

## Resposta da cultura do feijoeiro à uniformidade da irrigação por aspersão convencional

Roberto Rezende<sup>1\*</sup>, Antônio Carlos Andrade Gonçalves<sup>1</sup>, José Antônio Frizzone<sup>2</sup> e Manoel Alves de Faria<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá-Paraná, Brazil.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Rural, Esalq/USP, Piracicaba-São Paulo, Brazil. <sup>3</sup>Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Lavras, Lavras-Minas Gerais, Brazil. \*Author for correspondence. e-mail: rrezende@uem.br

**RESUMO.** O efeito da uniformidade da irrigação sobre a cultura do feijoeiro foi avaliado por meio do estudo de algumas variáveis de produção. Foram adotados quatro espaçamentos entre aspersores, correspondentes a quatro valores de coeficientes de uniformidade das irrigações realizadas. As variáveis de produção estudadas foram o número de vagem por planta, o número de grãos por vagem, a massa de cem grãos e o rendimento de grãos. Os resultados mostraram que a máxima uniformidade de aplicação de água não implicou maiores valores das variáveis adotadas.

**Palavras-chave:** irrigação, uniformidade, produtividade.

**ABSTRACT.** Bean yield response to conventional sprinkler irrigation uniformity.

Sprinkler irrigation uniformity effects on bean yield was evaluated using some production variables. Four sprinkler spacing were adopted to irrigate the crop, resulting in four uniformity levels. The number of pods per plant, the number of grain per pod, the mass of hundred grains and crop yield was measured. The maximum application uniformity did not result in higher values of these variables.

**Key words:** irrigation, uniformity, bean yield.

Apesar do crescente uso, a técnica da irrigação, em algumas situações, pode apresentar problemas ocasionados por projetos dimensionados sem critérios e manejados inadequadamente, o que reduz o retorno esperado dos investimentos. Para o estabelecimento de condições ótimas de desenvolvimento vegetal, torna-se indispensável adotar medidas de planejamento do uso dos recursos hídricos e de operação dos sistemas, baseadas nas condições locais. Nenhum sistema de irrigação é capaz de aplicar água com perfeita uniformidade. Em geral, o aumento da uniformidade de distribuição da água requer investimentos na melhoria do sistema, em manutenção e em mão-de-obra para o manejo racional da irrigação (Heermann *et al.*, 1992). No sistema de irrigação por aspersão, a uniformidade de aplicação de água é um parâmetro que influi no custo do sistema e na produção da cultura, devendo ser ajustado de forma a trazer o maior benefício líquido para o agricultor (Chaudhry, 1975; Paiva, 1980; Chen e Wallender, 1984). A uniformidade tem impacto na eficiência dos sistemas de irrigação, a

qual está relacionada com a quantidade de água necessária ao desenvolvimento e ao rendimento de uma determinada cultura. Letey (1985), Hunsaker e Bucks (1987) e Solomon (1984) afirmam que a uniformidade dos sistemas de irrigação influencia no rendimento das culturas, o que tem sido demonstrado por vários autores (Mantovani, 1993; Gohring e Wallender, 1987). Culturas de maior valor econômico são diretamente afetadas pela baixa uniformidade. Em condições de limitada disponibilidade de água, porém, essa uniformidade pode ser compensada por um manejo eficiente da lâmina a ser aplicada, proporcionando melhor eficiência na sua utilização. Solomon (1984) afirma que, em alguns casos, a produção pode ser expressa como função da uniformidade e da eficiência de irrigação. von Bernuth (1983) utiliza uma função de produção para demonstrar que, trabalhando-se com níveis de irrigação abaixo do ótimo econômico, a uniformidade de distribuição influencia significativamente na produção. Acima daquele nível, no entanto, isto não se verifica. Letey *et al.*

(1984) analisam conceitualmente essa relação e segundo eles, em culturas pouco sensíveis ao encharcamento, quando as lâminas aplicadas são insuficientes, menor uniformidade leva a maiores retornos econômicos, uma vez que pelo menos parte da área receberia água suficiente, ao contrário do que ocorreria numa irrigação de alta uniformidade. Os danos da baixa uniformidade, ainda segundo esses autores, são maiores nas épocas de maior evapotranspiração em solos com tendência a encharcamento, baixa capacidade de retenção e pequena profundidade efetiva. Os autores admitem, no entanto, que baixas uniformidades levam a baixas produções as quais podem ser compensadas pelo aumento da lâmina aplicada quando seu custo é baixo. Há, no entanto, que se considerar neste caso também a lixiviação de nutrientes. Assim, a uniformidade ótima para um projeto depende das condições locais e de preços do produto e de insumos, os quais variam no tempo, podendo-se utilizar valores menores que os tradicionais de projeto, quando se tem restrição na quantidade de água disponível (von Bernuth, 1983). Ao longo de algumas décadas, pesquisadores propuseram diferentes coeficientes para expressar a uniformidade da lâmina aplicada com base em observações pontuais. O coeficiente de Christiansen (CUC), desenvolvido por Christiansen (1942), foi o primeiro índice proposto e tem sido o mais utilizado para quantificação da uniformidade na distribuição da água em irrigação por aspersão convencional. Esse coeficiente é expresso pela seguinte equação:

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_m|}{nX_m} \right] \quad (1)$$

em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %;

N - número de coletores na área entre quatro emissores;

$X_i$  - lâmina de água coletada no  $i$ -ésimo coletor, em mm;

$X_m$  - valor médio das lâminas de água coletadas, em mm.

Depois que Christiansen (1942) propôs seu coeficiente para caracterizar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão, muitos outros coeficientes foram apresentados. Nenhum deles, porém, foi suficientemente completo, de forma a possibilitar a substituição, apresentando vantagens sobre o coeficiente anteriormente proposto. A irrigação se caracteriza como uma tecnologia que sempre está

apresentando expressivas inovações capazes de assegurar níveis de desempenho cada vez mais elevados dos sistemas, nas mais diferentes condições. Esses avanços tecnológicos resultam de diversos trabalhos de pesquisa, os quais promovem o desenvolvimento da ciência de irrigação, numa busca permanente do melhor resultado aliado a um menor custo. Este trabalho foi conduzido com o propósito de estudar os efeitos da qualidade da irrigação sobre variáveis de produção da cultura do feijoeiro, objetivando o aprimoramento dos projetos e manejo dos sistemas de irrigação por aspersão.

## Material e métodos

O presente trabalho foi conduzido na área experimental do Centro Técnico de Irrigação, do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá. Em um período anterior aos ensaios, foi implantada a cultura do feijoeiro, variedade Iapar-57, na área selecionada para a condução do experimento. Essa cultura foi conduzida de maneira convencional, no que diz respeito ao preparo do solo, semeadura, adubação e tratamentos fitossanitários. As irrigações foram realizadas tendo como base a média das leituras de duas baterias de tensiômetros para cada cenário, instalados nas áreas adjacentes às áreas experimentais, nas profundidades de 0,20 e 0,40m. Como critério para irrigação, foi utilizado o potencial mátrico limite de -0,05 MPa. Em todas as irrigações, nos quatro cenários, foi aplicada a mesma lâmina de água, igual a 12mm. Conseqüentemente, o turno de rega foi variável. Em decorrência do índice pluviométrico ocorrido, foram realizadas somente dezenove irrigações durante todo o ciclo da cultura, somando-se 228mm, das quais foram utilizadas para análise apenas quinze, porque após as demais irrigações ocorreram chuvas.

O sistema de irrigação por aspersão, utilizado para cada nível de uniformidade adotado (cenário), foi composto de cinco linhas laterais adjacentes, com cinco aspersores por linha, funcionando simultaneamente à mesma pressão. Nas linhas laterais foram utilizados tubos de PVC de 50 mm de diâmetro. Os comprimentos das linhas laterais foram de 54, 78, 78 e 102m respectivamente, para os espaçamentos de 12x12, 18x18, 18x24 e 24x24m entre aspersores, conforme Figura 1. As ligações entre os tubos e os aspersores (tubo de elevação) foram feitas com tubos de PVC de 25mm de diâmetro e 0,6m de comprimento. Nesses tubos foram instalados registros de gavetas e manômetros de "Bourdon" para controle da pressão em cada aspersor. Os aspersores utilizados foram da marca Fabrimar, modelo A232 ECO, bocais 5,6 x 3,2 mm.

Em cada cenário funcionavam simultaneamente 25 aspersores.

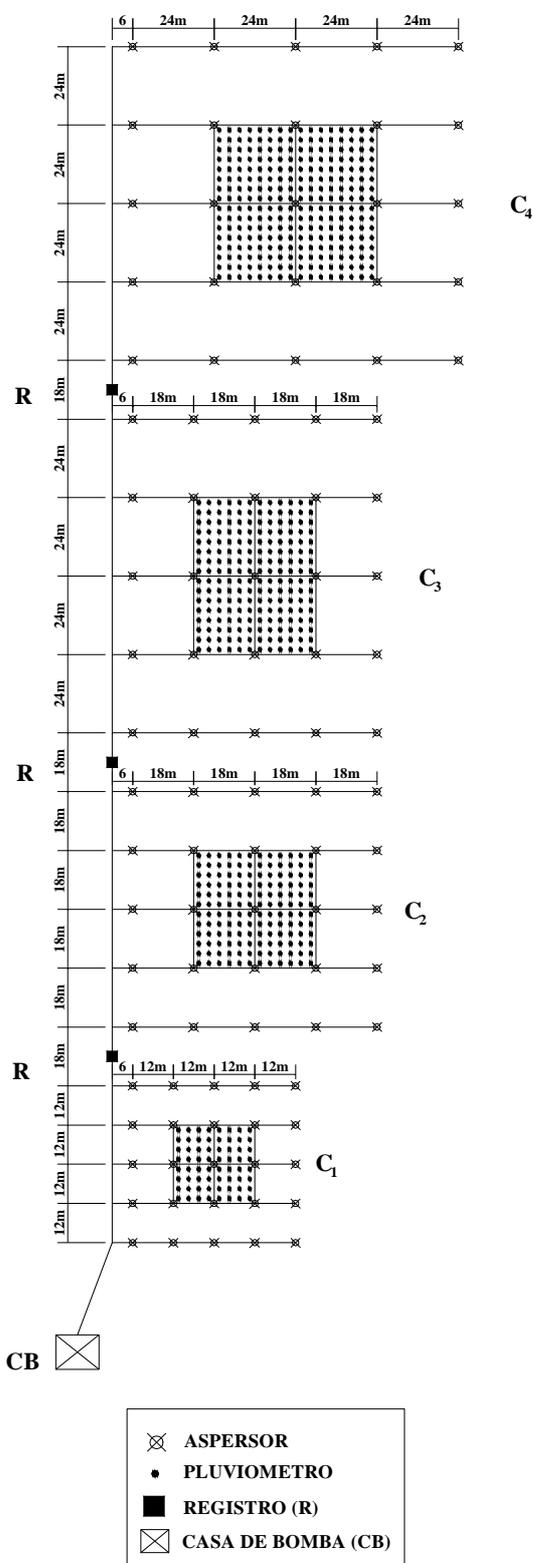


Figura 1. Sistema de irrigação no campo, mostrando os quatro cenários (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>)

Para o cálculo do coeficiente de uniformidade de irrigação, foram medidas as precipitações, usando pluviômetros dispostos em malhas de 3x3m, nas áreas compreendidas entre os nove aspersores centrais, nos quatro cenários analisados, conforme Figura 1.

Para cada um dos cenários, foram realizadas quatro amostragens. Cada amostragem corresponde à área compreendida entre quatro aspersores e, em cada cenário, o número de quadrículas de 3x3m era diferente. Para os cenários 1, 2, 3 e 4, o número de quadrículas foi de 16, 36, 48 e 64 quadrículas, respectivamente. Para expressar a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada, foi utilizado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), obtido conforme equação 1.

As variáveis estudadas foram avaliadas nas quatro amostragens, em cada cenário, nas mesmas épocas e utilizando-se sempre os mesmos critérios, isto é, obtendo-se dados em cada quadrícula. O número médio de vagens por planta, em um período que antecedeu à colheita, foi obtido a partir da contagem em quatro plantas escolhidas aleatoriamente dentro de cada quadrícula. O número de grãos por vagem foi obtido, também para cada quadrícula, utilizando-se todas as vagens das quatro plantas, nas quais obteve-se o número de vagem por planta. Posteriormente, foi calculada a média, obtendo-se assim o número de grãos por vagem. Para a obtenção da massa de cem grãos, foram separados aleatoriamente cem grãos das plantas de cada quadrícula. Após terem sido separados, foram pesados em balança de precisão. Para obter o rendimento de grãos, as plantas foram colhidas e trilhadas manualmente, em todas as quadrículas e obteve-se a massa de grãos. Após correção da umidade dos grãos para 13%, os dados foram convertidos em Kg.ha<sup>-1</sup>.

Os dados foram analisados estatisticamente com o uso do programa SAS (SAS Institute, 1991), sendo obtida a estatística descritiva das variáveis, bem como a análise de variância e teste de comparação de médias dos mesmos para os cenários adotados.

**Resultados e discussão**

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios dos coeficientes de uniformidade de Christiansen, para as 15 irrigações conduzidas nos quatro cenários. Nesta tabela, pode-se observar que a variação dos CUC entre as irrigações é pequena, em todos os cenários, o que é expresso por valores de coeficientes de variação (Cv) inferiores a 2%. Isto mostra que o padrão de aplicação de água pouco se alterou com o passar do tempo. Os valores médios do coeficiente

de uniformidade de Christiansen, obtidos para os cenários 1 e 2, são superiores ao valor mínimo aceitável citado em literatura (80%), para o desempenho normal do sistema de aspersão. O mesmo não ocorre para os cenários 3 e 4, cujos valores de CUC são inferiores ao valor aceitável.

Os valores médios de CUC diminuem com o aumento do espaçamento entre aspersores, sendo as diferenças entre cenários significativas pelo teste de Tukey, para  $\alpha = 5\%$ . Esses coeficientes confirmam as diferentes qualidades das irrigações estabelecidas entre cenários.

**Tabela 1.** Valores médios do coeficiente de Christiansen, desvio padrão e coeficiente de variação, para os quatro cenários

	Valores de coeficientes de uniformidade de Christiansen		
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Cenário 1	94,1a	0,69	0,7
Cenário 2	85,6b	1,39	1,6
Cenário 3	65,6c	1,15	1,8
Cenário 4	57,9d	0,53	0,9

Médias seguidas de letras diferentes não são iguais pelo teste de Tukey para  $\alpha = 5\%$

A estatística descritiva para os valores das variáveis de produção, rendimento de grãos (RG), número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG) e massa de cem grãos (MC) é mostrada na Tabela 2, para os quatro cenários. O rendimento de grãos da cultura foi influenciado pela qualidade da irrigação realizada. Os diferentes cenários deram origem a produções que diferem entre si, conforme apresentado na Tabela 2. A maior produtividade, no entanto, foi obtida no cenário 2, correspondente ao espaçamento de 18 x 18m. A maior produtividade deve estar, pelo menos em parte, associada ao uso mais eficiente da água aplicada. A produtividade obtida no cenário com maior uniformidade (Cenário 1) foi maior que a obtida no cenário 4, demonstrando, apenas que a maior uniformidade não implicou máxima produtividade. Considerando ainda o fato de que uniformidade elevada está associada ao maior custo do sistema de irrigação, fica caracterizada a importância de se identificar um nível de uniformidade adequado para as condições nas quais se faz a irrigação. Nas condições estudadas, alta uniformidade de irrigação não conduziu a uma maior produtividade da cultura. O cenário 4 deu origem à menor produtividade, o que está associado ao fato de que, neste espaçamento (24x24m), ficam áreas relativamente grandes sem irrigar, na região central de cada quadrícula entre quatro aspersores, promovendo redução da produtividade. O número de vagens por planta seguiu o mesmo comportamento da variável produtividade de grãos. O maior valor foi obtido no cenário 2, e o valor

obtido no cenário 1 foi maior apenas que o do cenário 4. Para essa variável, no entanto, o cenário 3 deu origem a um valor que não difere estatisticamente daqueles obtidos para os cenários 1 e 2, expressando a menor sensibilidade dessa variável às diferentes condições de irrigação adotadas.

**Tabela 2.** Estatística descritiva para as variáveis de produção: rendimento de grãos (RG), número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG) e massa de cem grãos (MC)

Variáveis	N	Estatística descritiva					Dp	Cv
		Média	Mediana	Mínimo	Máximo			
RGc1		2333,2c	2249,9	1503,6	3520,0	429,4	18,4	
NVc1		9,2 b	9,3	6,3	12,5	1,8	19,3	
NGc1	64	5,8 b	5,8	4,3	7,2	0,6	10,0	
MCc1		21,6 b	22,0	19,3	22,9	1,2	5,5	
RGc2		2759,1a	2877,9	1520,0	3521,0	558,9	20,3	
NVc2		10,0 a	9,0	5,8	15,3	2,2	21,9	
NGc2	144	6,1 a	6,2	4,6	7,6	0,5	8,9	
MCc2		22,2 a	22,4	19,4	23,9	1,1	4,8	
RGc3		2422,8b	2415,6	1503,6	3655,4	525,0	21,7	
NVc3		9,6 a b	9,3	5,8	15,3	2,0	20,8	
NGc3	192	5,6 b	5,8	3,0	7,2	0,8	14,8	
MCc3		21,8 b	22,1	16,0	23,9	1,9	8,6	
RGc4		1501,5d	1466,8	835,4	2315,6	306,7	20,4	
NVc4		7,9 c	7,8	2,0	13,0	2,1	26,0	
NGc4	256	4,6 c	4,6	2,0	5,8	0,7	16,3	
MCc4		20,1 c	20,5	15,2	22,5	1,4	7,1	

Médias de cada variável seguidas de letras diferentes não são iguais pelo teste de Tukey para  $\alpha = 5\%$ ; RG expresso em kg ha<sup>-1</sup> e MC em gramas

O número de grãos por vagem apresentou comportamento semelhante ao das outras variáveis. O maior valor foi obtido para o cenário 2 e o menor para o cenário 4. Os cenários 1 e 3 deram origem a valores que não diferiram estatisticamente entre si. O mesmo ocorreu com a massa de cem grãos, mostrando que a irrigação mais favorável à cultura não foi aquela realizada com maior uniformidade, mas aquela referente ao espaçamento de 18 x 18m, a qual pode ser caracterizada como de alta uniformidade, segundo os critérios usuais (CUC = 85,6% para lâmina aplicada). Naturalmente, o maior espaçamento (24 x 24m), na medida em que deu origem a áreas relativamente grandes sem irrigação, promoveu os piores resultados, uma vez que nessas áreas a cultura sofreu os efeitos do déficit hídrico. A redistribuição de água no solo não foi suficiente para compensar as irregularidades de aplicação de água. O rendimento médio de grãos no cenário 2 foi de 2759 kg ha<sup>-1</sup>, um valor que pode ser considerado elevado, mesmo em condições de irrigação. Para o cenário 3 e o cenário 1, os rendimentos médios foram de 2423 e 2333 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, revelando também alta produtividade. Para o cenário 4, o rendimento médio de 1500 kg ha<sup>-1</sup> revela a redução de produtividade associada à redução da uniformidade da irrigação, embora a lâmina média tenha sido constante entre cenários. Isto torna o espaçamento

referente ao cenário 3 uma condição conveniente, uma vez que uma substancial redução de equipamento necessário promoveu pequena redução de produtividade. Como pode ser observado na Tabela 2, embora o rendimento de grãos tenha variado entre cenários, principalmente entre o cenário 4 e os demais, o coeficiente de variação (Cv) para essa variável pouco se modificou, apresentando valores praticamente iguais entre o cenário 4, de menor produtividade, e o cenário 2, de maior produtividade. Isto revela dispersão semelhante em torno do valor médio em ambos os casos, mostrando que a redução do valor dessa variável foi uniforme em toda a área irrigada.

Uniformidade máxima não implica maior produtividade da cultura. Embora não tenha promovido produtividade máxima, o espaçamento de 18 x 24m promoveu pequena queda de valor da variável rendimento de grãos. Como este espaçamento implica menor uso de componentes do sistema, isto o torna mais conveniente economicamente.

#### Referências bibliográficas

- Chaudhry, F.H. *O papel da uniformidade de precipitação na produção*. São Carlos, 1975. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Chen, D.; Wallender, W.W. Economic sprinkler selection, spacing and orientation. *Transact. ASAE*, 27(3):737-743, 1984.
- Christiansen, E.J. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley University of California, 1942. 142p. (Bulletin, 670).
- Gohring, R.T.; Wallender, W.W. Economics of sprinkler irrigation systems. *Transact. ASAE*, 30(4):1083-1089, 1987.
- Heermann, D.F.; Duke, H.R.; Serafim, A.M.; Dawson, L.L. Distribution functions to represent center-pivot water distribution. *Transact. ASAE*, 35(5):1465-1472, 1992.
- Hunsaker, D.J.; Bucks, D.A. Wheat yield variability in irrigated level basins. *Transact. ASAE*, 30(4):1099-1104, 1987.
- Letey, J. Irrigation uniformity as related to optimum crop production - additional research is needed. *Irrigat. Sci.*, 6(4):253-263, 1985.
- Letey, J.; Vaux, H.J.; Feinerman, E. Optimum crop water application as affected by uniformity of water infiltration. *Agron. J.*, 76(3):435-444, 1984.
- Mantovani, E.C. *Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos*. Córdoba, 1993. (Doctoral Thesis in Agronomy) - Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Universidad de Córdoba.
- Paiva, J.B.D. *Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão*. São Carlos, 1980. (Master's Thesis in Agronomy) - Escola de Engenharia de São Carlos / USP.
- Solomon, K.H. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measures. *Irrigat. Sci.*, 5(3):161-172, 1984.
- Von Bernuth, R.D. Uniformity design criteria under limited water. *Transact. ASAE*, 26(5):1418-1421, 1983.
- Statistical Analysis System Institute. *SAS/STAT Procedure guide for personal computers*. Version 5, Cary, SAS Institute, 1991.

Received on May 19, 2000.

Accepted on August 11, 2000.