

Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água

Roberto Rezende¹, Paulo Sérgio Lourenço de Freitas^{1*}, Everardo Chartuni Mantovani² e José Antônio Frizzone³

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Av. P.H. Rolfs S/N, 36571-000, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

³Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: psifreitas@uem.br

RESUMO. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da uniformidade de aplicação de água na produtividade das culturas do milho e do feijão. Para a cultura do milho, os tratamentos constaram de cinco lâminas de irrigação e duas uniformidades de aplicação, uma alta (CUC>82%) e outra baixa (CUC<67%); e na do feijão, de quatro uniformidades de aplicação de água (cenário 1 CUC igual 94,1%, cenário 2 CUC igual 85,6%, cenário 3 CUC igual 65,6% e cenário 4 CUC igual 57,9%). Ajustou-se uma equação de regressão para os valores da produtividade da cultura do milho, em função da lâmina de água, para os tratamentos com alta uniformidade, enquanto para os de baixa uniformidade e para a cultura do feijão não foi possível ajuste, pois os dados de produtividade versus lâmina de água não seguiram qualquer tendência. Foi possível ajustar-se uma equação de regressão para os valores da produtividade da cultura do milho em função da lâmina d'água, para os tratamentos com alta uniformidade. Para os tratamentos de baixa uniformidade, não foi possível ajuste.

Palavras-chave: lâmina aplicada, uniformidade de aplicação, cultura do milho e do feijão.

ABSTRACT. *Function of the production of maize and bean crops for different blades and water application uniformity.* The present work aims to evaluate the uniformity irrigation effect on the production maize and bean crops. The treatments consisted of five irrigation depths and two application uniformities, namely, a high one (CUC>82%) and a low one (CUC<67%) for a maize crop. In addition, the bean crop treatment consisted of four water application uniformities, (CUC equals to 94.1%, 85.6%, 65.6%, and 57.9% for sceneries 1, 2, 3 and 4, respectively). A regression equation was adjusted to the experimental values of the maize crop productivity as a function of water depth for the treatments with high uniformity. However, the adjustment was not possible for treatments with low uniformity and for bean crop, because the productivity data, as a function of water depth, did not follow any tendency.

Key words: applied water depth, application uniformity, maize and bean crops.

Introdução

A produtividade média nacional da cultura do feijoeiro é de aproximadamente 500kg/ha⁻¹, enquanto a de outros países como Estados Unidos, Turquia e Japão é 1486kg, 1471kg e 1420kg/ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, no Brasil, com o uso intenso de tecnologia, tem-se obtido normalmente na época de plantio de inverno, algo em torno de 3.600kg/ha⁻¹. Essa produtividade pode ser considerada a mais elevada do mundo para a cultura do feijoeiro. Existe, portanto, um grande potencial de produção a ser conquistado, exigindo a aplicação de técnicas mais adequadas e eficientes, de forma a melhorar os índices de rendimento da cultura, contornando as adversidades climáticas e fazendo uso mais racional dos fatores de produção.

O feijoeiro é uma cultura sensível ao déficit de água no solo, sendo esse fator um dos mais limitantes para obtenção de altas produtividades. Numerosos estudos com a cultura do feijoeiro irrigado têm sido realizados, a fim de otimizar a exploração dessa leguminosa.

A produtividade da cultura do feijoeiro é função de vários fatores, dentre eles podem-se citar: sementes selecionadas, variedade, clima e aspectos físico-químicos do solo. Dentre os fatores climáticos, a precipitação pluviométrica é uma das principais causas do insucesso na obtenção da alta produtividade de feijão. Em regiões onde a distribuição de chuvas é irregular, podem ocorrer perdas significativas, principalmente quando a falta ou o excesso de água ocorrem na fase mais sensível a esse fator. Nesses casos, a irrigação é uma tecnologia que pode não só

reduzir os riscos de insucessos, como também aumentar a produtividade de feijão, e até proporcionar um maior número de safras durante o ano.

A cultura do milho é produzida em climas que variam desde a zona temperada até a tropical, durante os períodos em que as temperaturas médias são superiores a 15°C e não ocorrem as geadas. Quando as temperaturas médias durante o período de crescimento são superiores a 20°C, o ciclo das variedades precoces de produção de grãos varia de 80 a 110 dias, e o das variedades médias, de 110 a 140 dias, para a atingir a fase de maturação fisiológica. Quando as temperaturas médias são inferiores a 20°C, o ciclo da cultura aumenta de 10 a 20 dias para cada 0,5°C de diminuição da temperatura, dependendo da variedade, devendo-se ressaltar que a 15°C o ciclo da cultura do milho em grão varia de 200 a 300 dias. Para obter a produção máxima, com período médio de amadurecimento, o milho necessita de 500 a 800mm de água, dependendo do clima (Doorenbos e Kassam, 1979).

Leal (1993) avaliou o crescimento da cultivar BR-201 para as seguintes condições: plantio realizado no mês de agosto, para três densidades de plantio, 80.000, 60.000 e 40.000 plantas/ha⁻¹. O autor encontrou a altura máxima de planta de 2,24m, 2,20m e 2,07m e um peso seco de 2,27kg, 2,03kg e 1,57kg m⁻², obtendo uma produtividade de 7.752kg, 7.576kg e 6.703kg ha⁻¹, respectivamente.

Quando o fator água não é limitante, tem-se compensado a desuniformidade de aplicação de água, aplicando-se quantidades superiores às necessárias se a aplicação fosse uniforme, com o objetivo de permitir que apenas pequenas áreas do campo apresentem déficit hídrico (Walker, 1979).

Alguna desuniformidade de aplicação de água deve ser tolerada para os sistemas de irrigação. Vários autores (Howell, 1964; Walker, 1979; von Bermuth, 1983; Clemens, 1988; Duke *et al.*, 1992; Rezende *et al.*, 1992) avaliaram a relação entre a uniformidade de aplicação de água e os parâmetros de desempenho de sistemas de irrigação, ou variabilidade da produtividade das culturas.

A aplicação de água por um sistema de irrigação sempre apresenta grau de desuniformidade. A variação na umidade do solo é dependente da distribuição e da quantidade de água aplicada. Intuitivamente, sabe-se que a distribuição de água em todo o ciclo da cultura será mais uniforme do que a média das distribuições individuais, e que as variações na direção do vento no período das irrigações poderão causar altas e baixas aplicações nas áreas, cancelando o efeito umas das outras e resultando em menor desvio das médias das aplicações (Warrich *et al.*, 1983).

Mateos *et al.* (1997) avaliaram a resposta da cultura do algodão à desuniformidade de aplicação de

água e a duas lâminas de irrigação. No tratamento de reposição total da lâmina, foram aplicados 400mm e 260mm de água, tendo os coeficientes de uniformidade de Wilcox e Swailes sido de 90% e 67%, para alta e baixa uniformidade, respectivamente; no entanto, não houve diferença significativa entre os tratamentos de lâmina e o coeficiente de uniformidade, quando analisaram a produtividade da cultura, que foi, em média, de 2.349kg/ha⁻¹. Os autores relataram que as razões para a não-observação das diferenças foram o plantio tardio e as baixas temperaturas durante o ciclo da cultura; eles observaram, também, diferenças significativas para o IAF (índice de área foliar) e para as duas lâminas de irrigação. Porém, não houve diferença significativa para as duas uniformidades, ao nível de 5% de probabilidade.

A quantidade de água aplicada em um ciclo de uma cultura é determinada pelo critério da maximização do lucro, em vez da maximização da produtividade. Letey *et al.* (1984) analisaram o efeito da uniformidade de infiltração de água na produção das culturas do algodão e do milho. Para a cultura do milho, exceto para pequenas lâminas aplicadas, a produção diminuiu com o decréscimo da uniformidade de aplicação de água. Se a produção não decresce com o acréscimo da lâmina de água aplicada, para esse tipo de função de produção, o acréscimo da lâmina de água aplicada poderá minimizar o efeito da baixa uniformidade. Para valores de lâminas de água aplicadas muito reduzidos, a produtividade pode ser acrescida pelo decréscimo da uniformidade. Tal desuniformidade tem maior efeito na produtividade quando o solo apresenta baixa capacidade de retenção, ou a cultura tem raízes superficiais, ou ainda quando a evapotranspiração apresenta valores elevados. A despeito do custo da água, os níveis de receita diminuem com o decréscimo da uniformidade. Para dado preço da água, o decréscimo na receita em razão da baixa uniformidade seria o custo esperado para aumentar a uniformidade de aplicação de água.

O efeito da uniformidade de irrigação na produção das culturas é fator significativo a ser considerado em projetos de irrigação por aspersão. Vários modelos relacionam a uniformidade de irrigação e a produtividade de uma determinada cultura. Mantovani *et al.* (1995) desenvolveram um modelo de função de produção denominado Combinado, que considera a influência da uniformidade de aplicação de água na produtividade. Esses autores observaram que a lâmina de água necessária para se obter a produtividade máxima aumenta com a diminuição da uniformidade de aplicação; para obtê-la, foi necessário aplicar-se 500mm, 700mm e 1000mm para valores de CUC de 95%, 75% e 55%, respectivamente. Outros autores relatam também que, conforme o coeficiente de uniformidade, o nível

ótimo de irrigação dependerá da relação entre o preço do produto e o da água. Li (1998) apresentou um modelo que relaciona a produção ao déficit de evapotranspiração a partir de uma função de produção. As simulações realizadas mostraram que a quantidade ótima de irrigação depende da uniformidade de aplicação de água e dos fatores econômicos, decrescendo com a uniformidade, mas aumentando com a razão do preço do produto e da água. Seginer (1978) desenvolveu um modelo que gerou um diagrama da uniformidade de distribuição de água, por um sistema de irrigação por aspersão, e do preço da água como fatores que podem ser utilizados para determinar a lâmina ótima aplicada e o retorno econômico para uma cultura. O diagrama é baseado em uma simplificada forma de função de produção e de distribuição de água.

Pang *et al.* (1997a) avaliaram as relações entre o manejo da irrigação e o de nitrogênio na produção da cultura do milho, utilizando o modelo Ceres-Maize para várias combinações de lâminas de água, uniformidade de irrigação e quantidade de nitrogênio. Os efeitos da irrigação foram simulados ao assumir o valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) de 100, 90 e 75%. Os resultados foram pouco afetados para o CUC de 90%, quando comparado com o de 100%. O CUC de 75% causou redução na produção e também aumentou a perda de nitrogênio por lixiviação.

A influência da uniformidade de irrigação de água na produtividade das culturas e na lixiviação de nitrogênio foi avaliada por Pang *et al.* (1997b), com uso do modelo Ceres-Maize. Para introduzir o efeito da uniformidade de aplicação de água na produtividade, os autores utilizaram a metodologia proposta por Letey *et al.* (1984). As simulações foram realizadas para os níveis de uniformidades de aplicação, isto é, para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) de 100%, 90% e 75% e dois níveis de aplicação de nitrogênio 180kg e 240kg/ha⁻¹. Não ocorreu diferença de produtividade entre os tratamentos com a uniformidade de aplicação de água de 90% e 100%, porém, a produtividade foi menor para o tratamento de CUC de 75%. A redução na produtividade começou a partir da aplicação de lâminas de água superiores a 400mm, e a máxima redução ocorreu para o nível de 800mm de aplicação de água. A desuniformidade de irrigação aumentou a lixiviação de nitrogênio, sendo a taxa máxima de lixiviação de 10kg a 15kg/ha⁻¹.

Com o presente trabalho, objetivou-se obter informações para introduzir, em modelos de simulação de crescimento de culturas, o efeito da uniformidade de aplicação de água de sistema de irrigação por aspersão, na produtividade das culturas do milho e do feijão.

Os experimentos foram conduzidos em duas localidades: Coimbra, Estado de Minas Gerais, com a cultura do milho e em Maringá, Estado do Paraná, com cultura do feijão.

Feijoeiro

Na área experimental de irrigação do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá, no município de Maringá, Estado do Paraná, localizada geograficamente à latitude de 23°25' S e à longitude 51°57' W, com altitude média de 542m, foi conduzido o presente trabalho, no primeiro semestre de 1998.

O solo da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho Eutroférrico (Embrapa, 1999). O relevo da área experimental é considerado homogêneo, com suave ondulação, apresentando declividade média de 6%.

As amostras foram retiradas em locais distintos dentro da área utilizada para a realização dos ensaios. A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, com auxílio de anéis de alumínio de 5cm de diâmetro e 3cm de altura. O limite superior de umidade foi considerado como sendo o conteúdo de água retido a 6 kPa (Souza e Reichardt, 1996).

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, conforme a Figura 1. A pressão foi ajustada atuando-se em registros de gaveta dispostos no tubo de elevação de cada aspersor.

Material e métodos

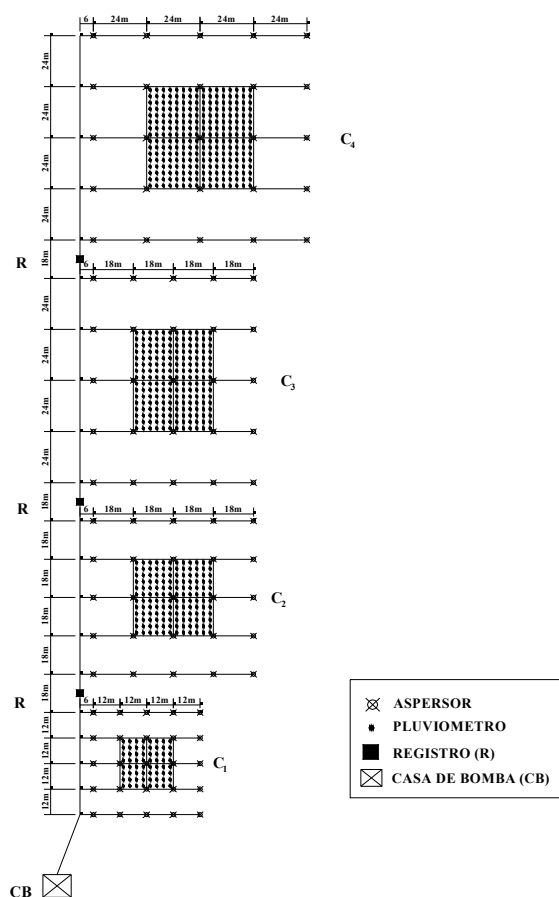


Figura 1. Sistema de irrigação, mostrando os quatro cenários (C₁, C₂, C₃ e C₄).

Os aspersores utilizados foram da marca Fabrimar, modelo A 232 ECO, bocais 5,6mm x 3,2mm. Em cada cenário, funcionavam, simultaneamente, 25 aspersores, sendo suas características operacionais apresentadas na Tabela 1, destacando-se que eles não funcionaram em condições recomendadas em catálogo do fabricante.

Tabela 1. Características do aspersor, bocais, pressão de serviço (P.S.), vazão (Q.), diâmetro molhado (D.M.), espaçamento (E.) e intensidade de aplicação (Ia).

Bocais (mm)	P.S. (mca)	Q. (m ³ /h)	D.M. (m)	E. (m)	Ia (mm h ⁻¹)
5,6 x 3,2	30	2,52	28	12x12	17,50
	30	2,52	28	18x18	7,78
	25	2,36	25	18x24	5,46
	25	2,36	25	24x24	4,10

Nas linhas laterais, usou-se tubos de PVC de 50mm de diâmetro. Os comprimentos das linhas laterais foram de 54m, 78m, 78m e 102m, respectivamente, para os espaçamentos de 12m x 12m; 18m x 18m; 18m x 24m e 24m x 24m entre aspersores, enquanto 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, e neles foram instalados registros de gavetas e manômetros de “Bourdon”, para controle da pressão em cada aspersor.

As linhas principais constituíram-se de tubos de PVC de 75mm, com diferentes comprimentos em função da localização do ensaio na área experimental.

Trabalhou-se com quatro espaçamentos entre aspersores, com a finalidade de obter altos e baixos coeficientes de uniformidade de distribuição na superfície do solo, possibilitando a comparação com coeficientes de uniformidade de umidade abaixo da superfície. Os efeitos dos diferentes níveis de uniformidade sobre as variáveis de produção e de crescimento da cultura do feijão foram também avaliados. Esses espaçamentos entre aspersores serão denominados, neste trabalho, de cenários, sendo o cenário 1 correspondente ao espaçamento entre aspersores de 12m x 12m e os cenários 2, 3 e 4 referentes, respectivamente, aos espaçamentos de 18m x 18m, 18m x 24m e 24m x 24m.

As irrigações foram realizadas tendo-se como base a média das leituras de tensiômetros instalados nas parcelas experimentais, nas profundidades de 0,20m e 0,40m, utilizando-se como limite os valores de umidade nas tensões de 0,05 MPa. Em todos os cenários, aplicou-se mesma lâmina bruta de água, em todas as irrigações, igual a 12mm, conseqüentemente, foram necessários diferentes tempos de irrigação para cada cenário.

A obtenção dos dados referentes às irrigações foi feita em todas as irrigações necessárias, mas foram utilizados dados referentes a quinze irrigações apenas, uma vez que ocorreram chuvas após as demais.

As condições climáticas reinantes durante os ensaios realizados, válidas para os quatro cenários, foram relativamente estáveis, não sendo possível detectar seus efeitos sobre os coeficientes de uniformidade obtidos. O valor médio da velocidade do vento foi igual a 0,62m/s, com coeficiente de variação (Cv) de 8,0%. A umidade relativa média foi de 58%, com Cv de 16,4%, e a temperatura média foi de 20,6°C, com Cv de 18,6%. Com base nesses valores, pôde-se verificar que o vento, fator que mais tende a influenciar o padrão de irrigação, apresentou valores baixos de velocidade, não comprometendo a qualidade da irrigação realizada. Os outros dois fatores, na medida que não variaram muito entre irrigações, tenderam a influenciá-las de modo semelhante. A evaporação, medida em oito coletores dispostos próximos à área experimental, foi nula. Esse fato pode ser explicado em função dos horários nos quais foram realizadas as irrigações, ou seja, no amanhecer dos dias, quando a incidência de ventos é menor na região.

Quanto às precipitações ocorridas durante o ciclo da cultura (23/03 a 22/06), totalizaram 208,7mm, sendo considerado um índice alto para a região em tal

período. A época e a magnitude de tais precipitações podem ser vistas na Figura 3.

Em decorrência do alto índice pluviométrico, somente foram realizadas dezenove irrigações durante todo o ciclo da cultura, somando-se 228mm, das quais quinze delas foram utilizadas para análise, e após quatro irrigações, ocorreram interferências nos dados decorrentes de chuvas, como pode ser observado na Figura 3.

Cultura do milho

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Coimbra, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Coimbra, Estado de Minas Gerais, Brasil, no ano de 1999, em solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo Câmbico, cujas coordenadas geográficas são: latitude de 20° 51' S, longitude de 42° 47' W e a altitude 720m.

Para realização das análises dos parâmetros físico-hídricos do solo, como densidade aparente, e granulometria do solo foram retiradas amostras a cada 20cm, até a profundidade de 80cm.

Os valores obtidos foram de 0,426m³ e 0,45m³ m⁻³, para as camadas de 0-20cm e 20-40cm, respectivamente, e o limite inferior de água disponível foi assumido como sendo umidade correspondente a -1500 kPa. Os valores obtidos foram 0,30m³ m⁻³ e 0,32m³ m⁻³, respectivamente.

O experimento de campo foi instalado de acordo com o esquema apresentado na Figura 1. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, e os tratamentos constaram de cinco lâminas de água e de duas uniformidades de irrigação (CUC): alta (>82%) e baixa (<67%). As parcelas apresentaram dimensões de 12m largura e 36m de comprimento. Os dados para a análise foram obtidos em áreas em torno dos coletores instalados nas parcelas, com o objetivo de se analisar a influência da água aplicada nos componentes de produção da cultura. No tratamento denominado L1A, aplicou-se uma lâmina d'água suficiente para elevar a umidade do solo, determinada antes da irrigação, até atingir o limite superior de água no solo. A lâmina de água aplicada no tratamento L1A será, doravante, denominada lâmina de água adequada. As lâminas aplicadas nos demais tratamentos foram relativas ao tratamento L1A. Nos tratamentos L2A, L3A, L4A e L5A, foram aplicados 50%, 75%, 125% e 150% da lâmina adequada, com uniformidade maior do que 82%, respectivamente. L1B, L2B e L3B correspondem a 50%, 75% e 100%, respectivamente, da lâmina aplicada em L1A, com uniformidade menor que 67%. Para análise estatística do experimento, fez-se a seguinte consideração: os tratamentos L1A, L1B, L2A, L2B e L3B apresentaram três repetições, com nove coletores de água, totalizando 27 coletores. Para os outros tratamentos, L3A, L4A e L5A, realizaram-se três

repetições, com três coletores cada um, totalizando nove coletores. Para a análise estatística do experimento levando em conta todos os tratamentos, utilizaram-se apenas os dados do bloco 3 com 27 coletores (Figura 4).

Nos tratamentos de alta uniformidade, os aspersores foram dispostos nos quatro extremos da parcela, com um ângulo de giro do aspersor de 180°, e, nos de baixa uniformidade, eles foram colocados em uma das diagonais da parcela, com ângulo de giro de 90°. Para se obter a uniformidade de irrigação em torno de 67%, foi necessário atuar no defletor do jato de água do aspersor, com o objetivo de fracionar o jato, para que o seu alcance, em um dos aspersores, fosse reduzido, a fim de que ele atingisse apenas um número de coletores da parcela, enquanto o jato de água do outro aspersor, localizado na diagonal oposta, atingisse os demais coletores. Dessa forma, os coletores próximos ao aspersor, com defletor ajustado, recebiam lâminas de água superiores às dos demais. Na irrigação seguinte, retornou-se o defletor do aspersor para a posição normal e se ajustou o defletor do aspersor da diagonal oposta, fazendo, a cada duas irrigações, determinadas áreas dentro da parcela receberem uma lâmina muito superior à adequada. Foram utilizados aspersores da marca NAAN, modelo 427, setorial, com bocal de 3,5mm e com pressão de serviço de 285 kPa. Nessas condições, o aspersor apresentava uma vazão de 0,68m³ h⁻¹. As irrigações foram realizadas antes do amanhecer, por causa dos fortes ventos ocorridos no local.

As irrigações foram realizadas semanalmente, enquanto a lâmina a ser reposta ao solo foi calculada mediante o uso da umidade média obtida em três pontos, por meio de tubos de acesso instalados na parcela L1A, nas camadas de 0-20cm, 20-40cm, 40-60cm e 60-80cm. Em todas as parcelas, foram instalados tubos de acesso da sonda, e, nos tratamentos de alta uniformidade, três tubos na diagonal da parcela, enquanto nos tratamentos de baixa uniformidade foram instalados nove tubos de acesso. A profundidade radicular da cultura foi estimada com o uso do perfil de extração de água.

A umidade do solo foi determinada no final do dia anterior às irrigações, a partir das leituras realizadas com uma sonda de nêutrons, modelo CPN 503, nos pontos com os tubos de acesso (Figura 1); já em relação à lâmina bruta aplicada, calculada mediante o uso da eficiência potencial de aplicação, estimada a partir de irrigações realizadas anteriormente, para condições aproximadas ao horário das irrigações. A partir desse valor, calculou-se a lâmina bruta a ser aplicada, o qual era monitorada por meio de hidrômetro, com capacidade de 30m³h⁻¹, instalado na tubulação principal (Figura 1), previamente calibrado em laboratório.

A pressão foi medida com um manômetro metálico, cuja escala de medida variava de 0 a 475 kPa, instalado na entrada da linha lateral. A pressão foi regulada por meio de uma válvula de gaveta instalada na entrada da parcela. O volume aplicado foi calculado a partir da lâmina de água a ser reposta ao solo, em cada tratamento, e era função do porcentual da lâmina de água a ser aplicada no tratamento L1A. Após atingir o volume aplicado nos tratamentos de menor lâmina de água, isto é, L2A e L2B, que corresponde a 50% da lâmina de água do tratamento L1A, fechou-se a válvula de gaveta, e o volume foi novamente calculado, para completar a irrigação nos outros tratamentos.

As lâminas de água totais aplicadas na cultura do milho em cada tratamento ao longo do ciclo da cultura estão apresentadas na Tabela 2. Foram realizadas 26 irrigações semanais. As precipitações pluviais, ocorridas durante o ciclo da cultura (Figura 2), não afetaram os resultados do experimento, pois elas se concentraram na época em que os grãos estavam na fase do farináceo. O total precipitado durante o ciclo da cultura foi de 265mm.

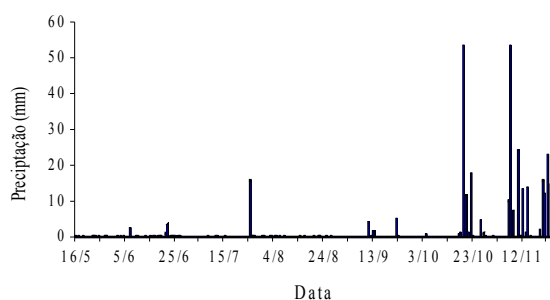


Figura 2. Precipitação ocorrida durante ciclo da cultura.

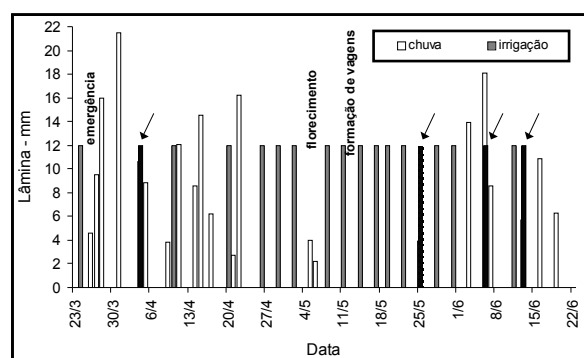


Figura 3. Lâminas de água aplicadas via irrigação e decorrentes de chuva, durante o ciclo da cultura. As quatro irrigações em destaque, marcadas por uma seta, foram seguidas de chuva.

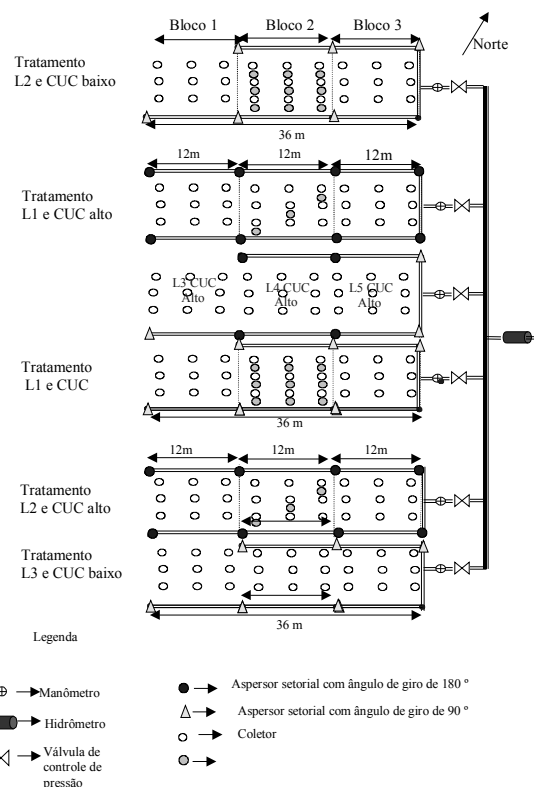


Figura 4. Esquema do sistema de irrigação instalado na área experimental.

Tabela 2. Lâmina total aplicada nos experimento com a cultura do milho.

Tratamento	L1A	L2A	L3A	L4A	L5A	L1B	L2B	L3B
Lâmina	352,4	235,5	309,2	415,8	489,4	319,1	204,3	259,6

Resultados e discussão

Cultura do feijão

Os dados de produtividade *versus* lâmina de água, foram plotados na Figura 5, para o tratamento com aplicação com alta uniformidade, e, para os tratamentos com baixa uniformidade de aplicação de água, na Figura 6. A produtividade da cultura mostrou tendência de dispersão diferente dos valores que a observada para os valores de IAF (Figuras 7 a 8).

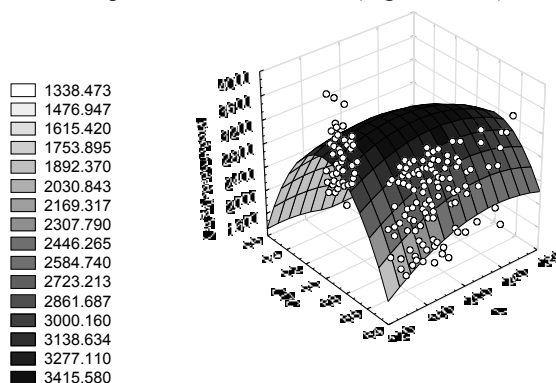


Figura 5. Produtividade da cultura do feijão para tratamento com alta uniformidade (CUC > 86%).

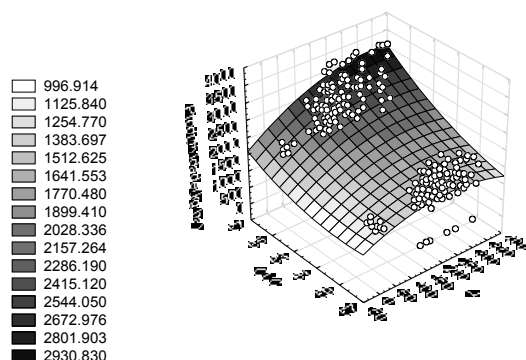


Figura 6. Produtividade da cultura do feijão para tratamento com baixa uniformidade (CUC < 66%).

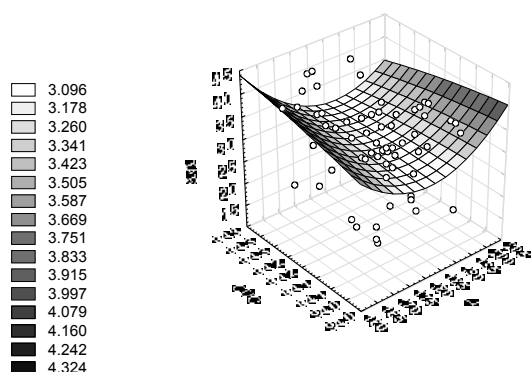


Figura 7. Índice de área foliar da cultura do feijão para tratamento com alta uniformidade (CUC > 86%).

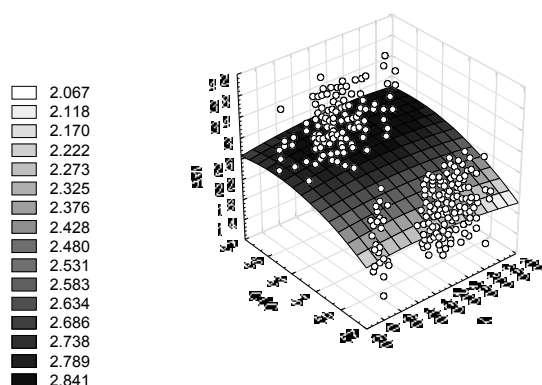


Figura 8. Índice de área foliar da cultura do feijão para tratamento com baixa uniformidade (CUC < 66%).

Os valores de produtividade nos tratamentos com baixa uniformidade apresentaram alta dispersão para as lâminas de água de mesmo valor ou de valores próximos ao da aplicação de água para esse tratamento. Para a cultura do feijão, foram plotados os gráficos de produtividade *versus* lâmina de água

(Figuras 5 e 6), os quais apresentaram alta dispersão dos valores da produtividade, em função da lâmina d'água. Para os tratamentos com aplicação de água de alta uniformidade os valores da produtividade em função da lâmina de água e do CUC, apresentaram um comportamento diferente, quando comparado ao da cultura do milho (Figura 9). Para a cultura do milho, foi possível ajustar-se uma equação de regressão, enquanto para a cultura do feijão, em razão da dispersão dos dados não é possível ajustar uma equação de regressão da produtividade, em função da lâmina de água e do CUC, pois a produtividade não é função apenas lâmina de água aplicada, mas de também de outros fatores, e isso impossibilita determinar um comportamento da lâmina de água e do CUC *versus* produtividade para diferentes uniformidades de aplicação de água.

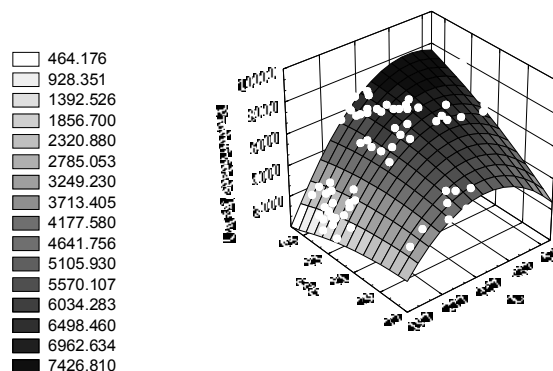


Figura 9. Produtividade da cultura do milho em função da lâmina de água para os tratamentos com alta e baixa uniformidade de aplicação de água.

A precipitação ocorrida na área experimental durante o ciclo da cultura, foi de 208mm, 7mm, e a distribuição da precipitação ao longo do ciclo da cultura possibilitou obter-se uma produtividade média de 935kg ha⁻¹ e, para a lâmina de água média aplicada de 23,4mm, a produtividade foi de 1.239kg ha⁻¹; isto ocorreu em porque antes do florescimento da cultura não ocorreram precipitações, e a aplicação da lâmina de água possibilitou o incremento na produtividade, como pode ser observado nas Figuras 5 e 6; ocorrendo o mesmo para o índice de área foliar (Figuras 7 e 8).

Milho

Os dados de produtividade *versus* lâmina de água e CUC foram plotados na Figura 9, para o tratamento com aplicação com alta uniformidade, e, para os tratamentos com baixa uniformidade de aplicação de água, na Figura 10. A produtividade da cultura mostrou a mesma tendência de dispersão dos valores que a observada para os valores de IAF (Figuras 11 e 12).

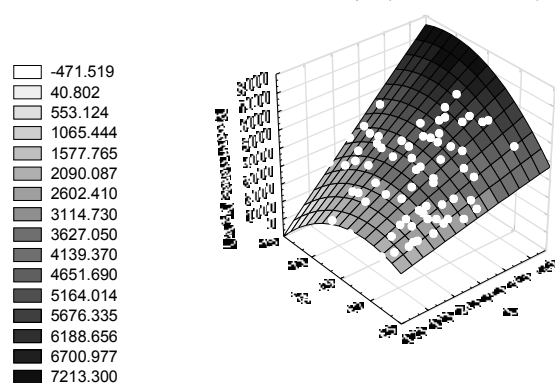


Figura 10. Produtividade da cultura do milho, em função da lâmina d'água para os tratamentos com baixa uniformidade.

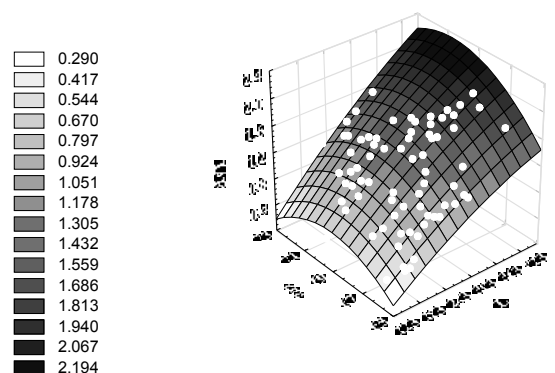


Figura 11. Índice de área foliar, em função da lâmina de água, para os tratamentos com alta uniformidade.

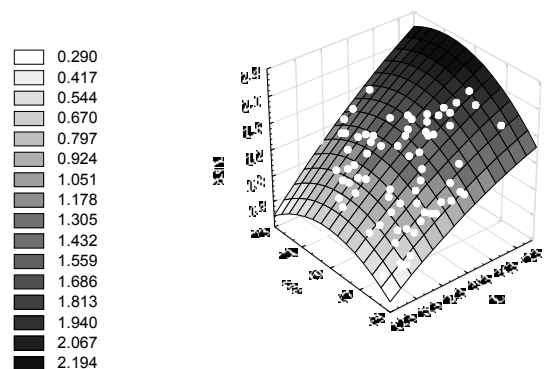


Figura 12. Índice de área foliar da cultura do milho em função da lâmina de água, para os tratamentos com baixa uniformidade.

Os valores de produtividade nos tratamentos com baixa uniformidade apresentaram alta dispersão para as lâminas de água de mesmo valor ou de valores próximos ao da aplicação de água para este tratamento.

Analisando a Figura 9, observa-se que o aumento da lâmina de água aplicada diminuiu as discrepâncias dos valores das produtividades, em que. Para menores lâminas d'água, há maior variabilidade na

produtividade. Observou-se também tendência de diminuição da produtividade com o aumento da lâmina de água aplicada. A dispersão dos valores da produtividade, Figura 10, fez o ajuste da equação de regressão para os dados apresentar um coeficiente de determinação muito baixo, de 0,26.

$$Y = 357595 + 19,84L - 887,7CUC + 54,76CUC^2 \quad (1)$$

$$R^2 = 0,60$$

em que

Y - produtividade da cultura, em kg ha⁻¹;

L - lâmina da água, em mm; e

CUC - Coeficiente de uniformidade de Cristhiansen.

Para plotagem das Figuras 9 e 11, foram utilizados os dados obtidos em 81 áreas em torno dos coletores instalados nos tratamentos com alta uniformidade de aplicação. As Figuras 10 e 12 foram plotadas com os dados dos tratamentos com baixa uniformidade.

Na Figura 11, foram plotados os valores da lâmina de água, CUC e IAF obtidos nos coletores instalados nos tratamentos com alta uniformidade. Pela análise de regressão, ajustou-se um modelo quadrático, equação 2, obtendo-se os valores de significância para os coeficientes de regressão a 5%, pelo teste de t.

Pode ser observado que para pequenas diferenças nas lâminas de água são encontradas variações nos valores de IAF. Essa discrepância diminui com o aumento da lâmina de água aplicada, pois tal aumento não proporciona um significativo incremento no IAF, com tendência para estabilização em relação ao aumento da lâmina de água.

$$IAF = -138,5 + 0,0242L - 0,000026L^2 + 0,033CUC - 0,0202CUC^2 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,85$$

em que,

IAF - índice de área foliar da cultura, em m² m⁻²;

L - lâmina da água, em mm.

Os dados das lâminas de água, CUC e do IAF, para os tratamentos com baixa uniformidade de aplicação, foram plotados na Figura 12. Realizou-se a análise de regressão, mas os modelos ajustados apresentaram baixo coeficiente de determinação de 0,36, em razão da dispersão acentuada dos valores.

Conclusão

Foi possível ajustar uma equação de regressão para os valores da produtividade da cultura do milho em função da lâmina de água, para os tratamentos com alta uniformidade, os de baixa uniformidade e para a cultura do feijão, não foi possível ajuste.

Referências

CLEMENS, A.J. Method for analyzing field scale surface irrigation uniformity. *J. Irrigat. Drain. ASCE*, New York, n.1R1, p.74-88, 1988.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. *Yield response to water*. Roma: FAO, 1979. 193p. (FAO Irrigation and Drainage, 33).

DUKE, H.R. et al. Appropriate depths of application for

- scheduling center pivot irrigations. *Trans. ASAE*, St. Joseph v.35, p. 1457-1464, 1992.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira Pesquisa Agropecuária. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa em Solos. 1999. 412p
- HOWELL, D.T. Nonuniformity and sprinkler application efficiency. *J. Irrigat. Drain. ASCE*, New York,, n.1R3, p.55-67, 1964.
- LEAL, B. G. *Caracterização da radiação, análise de crescimento e do desenvolvimento de milho (Zea mays L.) em três densidades de plantio*. 1993. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- LETEY, J. *et al.* Optimum crop water as affected by uniformity of water infiltration. *Agron. J.*, Madison, v.76, p.435-441, 1984.
- LI, J.S. Modeling crop yield as affected by uniformity of sprinkler system. *Agricu: Water Manag.*, Amsterdam, v.38, p.135-146, 1998.
- MANTOVANI, E.C. *et al.* Modeling the effects of sprinkler irrigation uniformity in crop yield. *Agric. Water Manag.*, Amesterdam v.27, p.243-257, 1995
- MATEOS, L. *et al.* Cotton response to non-uniformity of convencional sprinkler irrigation. *Irrig. Sci.*, Berlin, v.17, p.47-52, 1997.
- PANG, X.P. *et al.* Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching. *Soil Sci.*, Baltimore, v.61, p.257-261, 1997a.
- PANG, X.P. *et al.* Yield and nitrogen uptake prediction by Ceres-Maize model under semiarid conditions. *Soil Sci.*, Baltimore, v.61, p.254-256, 1997.
- REZENDE, R. *et al.* Influência do Espaçamento Entre Aspersores na Uniformidade de Distribuição de Água Acima e Abaixo da Superfície do Solo. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.2, p.247-352, 1998.
- SEGINER, I. A note on the economic significance of uniform water aplication. *Irrig. Sci.*, Berlin, v.19, p.19-25, 1978.
- SOUZA, L.D.; REICHARDT, K. Estimativa da capacidade. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.20, p.183-189,1996.
- WALKER, W. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficiency model. *J. Irrig. Drain. ASCE*, New York, n.1R2, p129-136, 1979.
- Von BERNUTH, R. D. Uniformity design criteria under limited water. *Trans. ASAE*, St. Joseph, v.26, n.5, p.1418-1421, 1983.

Received on August 13, 2004.

Accepted on December 23, 2004.