

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO APLICADA POR UM PIVÔ CENTRAL *

DISTRIBUTION OF WATER IN THE SOIL BY CENTER PIVOT

Luiz Fernando Coutinho de OLIVEIRA¹; Aníbal Sebastião ALVES FILHO²; Pedro Marques da SILVEIRA³

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão, quanto à distribuição de água na superfície e nas camadas do solo de 0-20 e 20-40 cm. As avaliações foram realizadas em duas posições do equipamento pivô central, caracterizada por dois tipos de manejo de solo, preparo do solo com grade aradora (P1) e plantio direto (P2). Utilizou-se na análise da uniformidade de aplicação de água os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), calculados a partir de dados de precipitação, coletados segundo a metodologia proposta pela ABNT (1985). Os ensaios foram conduzidos na Fazenda Capivara, pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa - Arroz e Feijão, no município de Santo Antônio de Goiás, GO, localizada geograficamente a 16°28' de latitude sul e a 49°17' de longitude oeste e altitude de 823 m. O pivô foi avaliado na velocidade de operação de 100%, nas posições P1 e P2. O pivô avaliado apresentou coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) acima do mínimo recomendado de 80%, e nos dois sistemas de preparo e nas camadas do solo estudado, os coeficientes de uniformidade foram superiores àqueles obtidos na superfície do solo, aumentando com o tempo até o limite de 24 horas após a irrigação, indicando uma boa redistribuição de água no perfil do solo.

UNITERMOS: Pivô central, Uniformidade, Plantio direto

INTRODUÇÃO

A disponibilidade e distribuição da água inspiram cuidados urgentes e permanentes, levando o homem moderno a planejar e racionalizar o seu uso para os diversos fins, o que inclui a agricultura irrigada. De todas as formas de consumo de água, estima-se que 70% é destinado à agricultura, principalmente para uso em irrigação. Assim sendo, é preciso incentivar o uso de práticas que minimizem o consumo de água sem prejuízo da produção e minimizem o impacto ambiental.

A partir da avaliação dos coeficientes de uniformidade, das características de desempenho da irrigação, tomando como base às lâminas de água coletadas na superfície e armazenadas no perfil do solo, considerando ainda diferenciados manejos dos solos, é possível recomendar práticas de manejo de solo e irrigação que possam contribuir para a redução de lâminas e do número de aplicações ou variações de turnos de rega.

Segundo Armoni (1986 apud ANDRADE, 1990), na irrigação por aspersão apenas a disposição dos aspersores não pode fornecer um nível desejado de uniformidade de distribuição de água, e, de acordo com Nakayama; Bucks (1986) o crescimento uniforme das culturas irrigadas depende muito da uniformidade de aplicação de água na superfície e no interior do solo. Hart; Reynolds (1965), pesquisando a influência de algumas variáveis de irrigação no tocante à distribuição de água dentro do solo, concluíram que a avaliação de sistema de irrigação por aspersão pelas medidas obtidas na superfície subestima sua uniformidade.

Paiva (1980), analisando a uniformidade de distribuição de água abaixo da superfície do solo, em sistema de irrigação por aspersão, concluiu que houve um sensível acréscimo nos coeficientes de uniformidade, ao longo do tempo, após o fim da irrigação. Em todas as profundidades estudadas, nos espaços onde a uniformidade de água na superfície foi muito baixa, em pequenos

* Trabalho extraído da dissertação em Produção Vegetal, do primeiro autor

¹ Professor Adjunto, Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Goiás

² Professor, Escola Agrotécnica Federal de Urutaí

³ Pesquisador, Embrapa-Arroz e Feijão

Received: 12/06/02

Accept: 16/12/02

espaços de tempo, os coeficientes de uniformidade alcançaram altos valores no interior do solo.

Segundo Merriam et al. (1973), para as culturas de alto rendimento econômico e com sistema radicular raso, o sistema de aspersão deve apresentar uma uniformidade de distribuição acima de 80% ou coeficiente de uniformidade de Christiansen acima de 88%. Para culturas com sistema radicular médio, esta uniformidade de distribuição pode variar de 70 a 80% e CUC de 82 a 88%. Todavia, Penaforte (1992) com base nos resultados encontrados da análise da performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional, concluiu que a eficiência de aplicação e de armazenamento, determinadas acima da superfície, podem representar aquelas obtidas abaixo da superfície, apenas quando se tem uma irrigação bem planejada e que, os valores dos coeficientes de uniformidade estimados na superfície foram inferiores àqueles estimados abaixo da superfície do solo.

Considerando o sistema plantio direto, segundo Nascimento (1999) os sistemas que não usam revolvimento do solo, juntamente com a presença de uma camada de palha na superfície, proporcionam vários benefícios nas propriedades físicas do solo, tais como, diminuição da temperatura e da evaporação da água do solo, aumento da capacidade de armazenamento da água, da capacidade de infiltração, da porosidade e do número de agregados.

Vieira (1981) verificou que, a quantidade de água armazenada no solo sob plantio direto foi significativamente mais elevadas que no solo sob preparo convencional. Moreira et al. (1999) verificaram que, o potencial matricial da água no solo foi menor e mais variável ao longo do ciclo do feijoeiro em SPD, em comparação aos preparos com grade aradora e com arado de aiveca.

Em vista do exposto, o trabalho objetivou na avaliação das características de desempenho de aplicação de água na superfície e no perfil do solo, utilizando um sistema de irrigação pivô central operando sob as condições de cerrado, para duas posições da linha lateral móvel, submetido a dois sistemas de manejo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi desenvolvido na Fazenda Capivara pertencente ao centro de pesquisa de arroz e feijão da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, situada no município de Santo Antônio de Goiás, GO, localizada geograficamente a 16°28' S e a 49°17' W, à altitude de 823 m. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Perférico, textura argilosa, submetido

a dois tipos de manejo de solo, preparo com grade aradora e plantio direto. A área experimental foi individualizada em duas subáreas, estando uma em nível cultivada com cevada cujo preparo do solo foi realizado com uma grade aradora, e a outra com um declive de 1,3%, cultivada com feijão no sistema de plantio direto. O sistema de irrigação utilizado nos ensaios foi do tipo pivô central de baixa pressão, equipado com pendurais irrigando uma área de 53,1 ha.

Para as análises físico-hídricas foram selecionados seis pontos de amostragem posicionados entre a sétima e a nona torre do sistema pivô central avaliado neste trabalho. As amostragens foram realizadas em duas profundidades, 0-20 e 20-40 cm, sendo três em cada sistema de manejo do solo. Para a obtenção da velocidade de infiltração básica (VIB), utilizou-se o método do infiltrômetro dos anéis concêntricos descrito por Bernardo (1995).

Para as avaliações da distribuição de água na superfície e no solo, foram realizados três ensaios, nos quais coletaram-se as lâminas de água aplicadas pelo equipamento pivô central e amostras do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. As avaliações foram realizadas em duas posições do equipamento pivô central, caracterizada pelos dois sistemas de manejo de solo, ou seja, preparo do solo com grade aradora (P1) e plantio direto (P2).

A uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação potencial de água foram determinadas de acordo com a metodologia preconizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1985). Para tal, foram utilizados 82 coletores com área de captação de 50 cm², suspensos por hastes de alumínio a 50 cm acima da superfície do solo e espaçados a cada 5 m. Os coletores foram dispostos em ordem crescente a partir do ponto central do sistema pivô, em duas linhas radiais formando entre si um ângulo de 3°.

Entre as linhas de coletores, foram retiradas 15 amostras de solo entre a sétima e a nona torres nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, em espaçamentos de 5 m, utilizando para tal um trado helicoidal. As amostras de solo foram coletadas imediatamente após a irrigação (Tempo 0) e em tempos de 12, 24 e 36 horas após o seu final. A umidade do solo foi determinada pelo método gravimétrico o que permitiu a determinação da uniformidade de distribuição de água abaixo da superfície do solo.

A uniformidade das lâminas de água aplicada pelo sistema avaliado e armazenada no solo de água foi determinada pelos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD), pelo emprego das equações 1 e 2.

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

em que,

X_i : precipitação observada no coletor de ordem i , em mm;

\bar{X} : precipitação média ponderada, em mm;

N_i : $i - 0,5$;

i : número de ordem do coletor;

n : número de coletores.

$$CUD = 100 \left(\frac{\sum_{i=p}^q N_i X_i}{\bar{X} \sum_{i=p}^q N_i} \right) \quad [2]$$

em que:

p : primeiro elemento da série crescente de lâminas coletadas e

q : número de ordem do elemento da série

crescente de lâminas coletadas que faz com que $\sum_{i=p}^q N_i$

atinga aproximadamente 25% da sua soma total ($\sum_{i=1}^n N_i$).

Neste caso, o valor de CUD expressa quanto à precipitação média da área menos irrigada se aproxima da precipitação média total, diferenciando-se assim da consideração de 25% dos coletores com menor precipitação (BERNARDO, 1995; SILVEIRA; STONE, 1994).

A velocidade e direção do vento a 2 m altura em relação à superfície do solo, temperatura e umidade relativa do ar foram medidas em intervalos de 10 minutos em uma estação meteorológica portátil, instalada próxima à área. A evaporação durante o período de realização dos ensaios, foi determinada pela variação do volume de água em dois coletores, instalados próximos ao ponto pivô e as perdas de água por evaporação e deriva (PEAV), determinadas comparando-se a lâmina média aplicada

(Hm) com a precipitação média ponderada (\bar{X}), ou seja:

$$PEAV = 100 \left(1 - \frac{\bar{X}}{H_m} \right) \quad [3]$$

A pressão de operação do sistema foi determinada com um manômetro de Bourdon acoplado à tubulação de recalque, junto à torre do pivô, e a vazão estimada através da expressão:

$$Q_e = \frac{10 \times A \times \bar{H}}{T} \quad [4]$$

em que:

Q_e : Vazão estimada do sistema, $m^3 h^{-1}$;

H : Precipitação total média aplicada, mm;

T : Tempo gasto para um giro, h e

A : Área irrigada, ha.

Uma vez que os valores de uniformidade de distribuição de água independem da velocidade de operação do equipamento, conforme Merriam et al. (1973), Bridi (1994) e Cotrim (1988), o sistema pivô central foi avaliado para a regulagem de 100% no relé porcentual situado no quadro de comando do equipamento. No sentido radial de caminhamento da última torre, cronometrou-se o tempo de descolamento da mesma para percorrer uma distância de 10m, o permitiu determinar sua velocidade de deslocamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

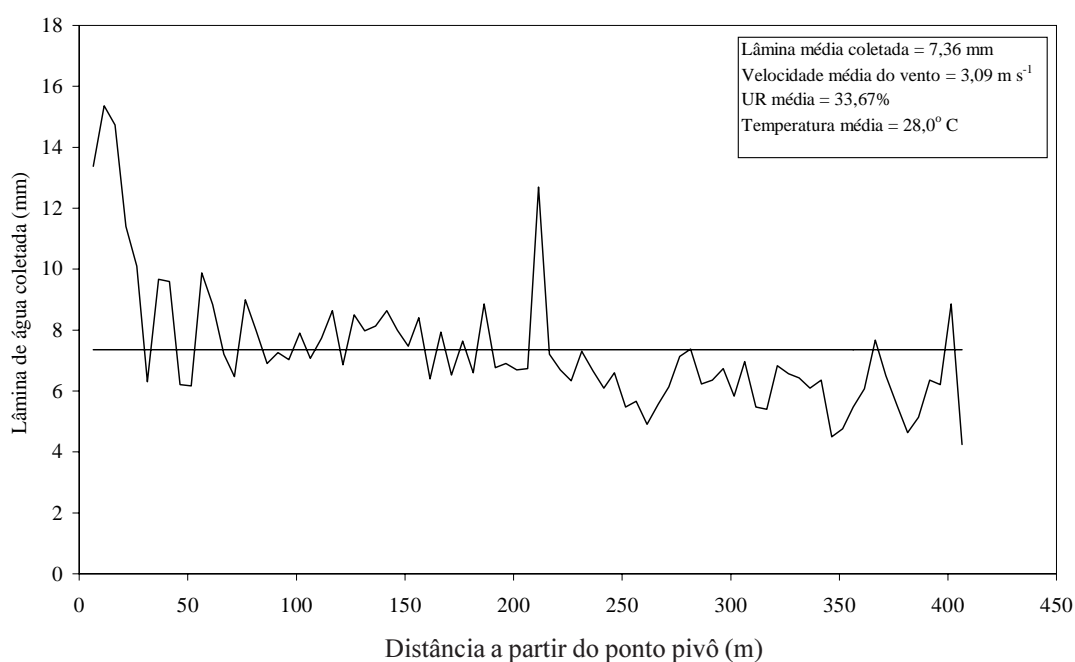
Os valores médios dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) acima da superfície do solo encontram-se na Tabela 1. As velocidades de ventos variaram muito durante a realização dos testes, uma vez que os mesmos foram realizados em um período de maior ocorrência de ventos na região, impossibilitando uma análise acurada de sua influência nos coeficientes. Os resultados tendem a confirmar as conclusões de Withers; Vipond (1977), segundo os quais, apenas a partir da velocidade de vento de $3,61 m.s^{-1}$, a uniformidade de distribuição é realmente prejudicada.

Tabela 1. Coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e de distribuição (CUD) médios, para as posições P1 e P2, acima da superfície do solo

Posições	CUC (%)	CUD (%)	V _v (m/s)	UR (%)	T (°C)	Ev (mm)	PEAV (%)	Pressão (kPa)
P1	80,66	70,83	3,09	33,67	28,00	0,90	9,87	186,15
P2	81,09	70,20	0,77	48,67	22,67	0,26	9,17	179,26

O perfil médio de distribuição da lâmina coletada em todos os testes, em relação à distância do centro do pivô está evidenciada nas Figuras 1 e 2 que constam de

gráficos das lâminas coletadas ao longo da lateral. De um modo geral, as precipitações ficaram relativamente próximas às lâminas médias.

**Figura 1.** Perfil da lâmina média de três repetições coletada para a posição P1.

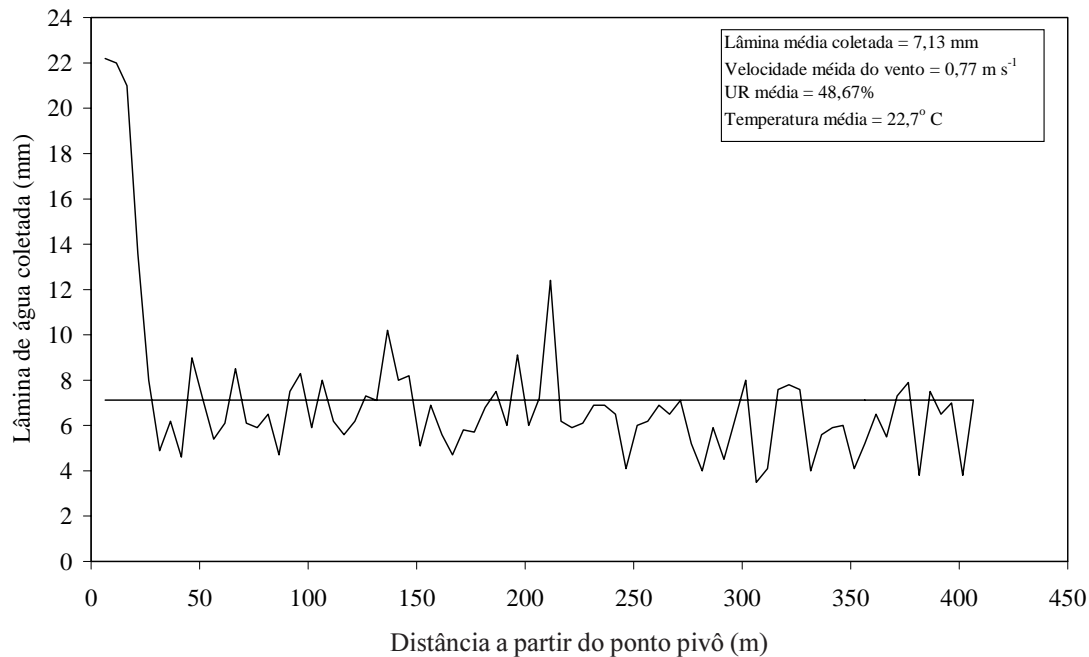


Figura 2. Perfil da Lâmina média de três repetições coletadas, para a posição P2. A maior discrepância observada entre os valores na posição P1 parece estar associado à maior variação na velocidade dos ventos durante os ensaios realizados nesta posição.

Os valores de coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) se mostraram sempre superiores aos valores de distribuição (CUD). Considerando os valores médios, a posição P2 apresentou ligeira elevação nos valores de CUC. De um modo geral, não foi possível associar a intensidade de ventos aos menores coeficientes.

Não foi constatada a ocorrência de escoamento superficial durante a realização dos testes. Isto se explica, em parte pela pequena lâmina aplicada e, em parte, pela velocidade de operação do sistema (100%).

O sistema de irrigação avaliado funciona com boa uniformidade de distribuição de água, uma vez que apresenta valores de CUC acima de 80% e de CUD, em média, acima de 70%, o que é considerado satisfatório por um grande número de autores, inclusive Merriam et al (1973).

No que se refere às perdas por evaporação, como se sabe, elas estão diretamente associadas ao comportamento dos fatores climáticos. Os valores médios mostraram que, uma vez aumentadas à velocidade dos ventos e a temperatura e diminuindo a umidade relativa do ar, a demanda evaporativa da atmosfera foi maior. Estas perdas foram, certamente, intensificadas pela alta velocidade de operação do equipamento de irrigação, que predispõe um contato contínuo da lâmina aplicada com novas camadas de ar seco, concordando com o afirmado

por Silveira; Stone (2001). Uma vez que as maiores lâminas foram aplicadas na posição P1, a perda por arrastamento e ventos, em média, foi maior nesta posição. Uma lâmina maior associada à maior intensidade de ventos, umidade relativa do ar mais baixa e maior temperatura justifica o fato. Os maiores valores de PEAV para a posição P1 podem também se justificar pelo fato de que os testes para esta posição foram feitos no período vespertino, em períodos mais quentes, secos e com ventos mais intensos, concordando com o observado por Christiansen (1942).

Os valores médios dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) acima e abaixo da superfície do solo estão apresentados na Tabela 2. Foi possível constatar que todos os valores obtidos abaixo da superfície foram superiores àqueles determinados acima da superfície do solo. Os gradientes de tensão no solo provocaram a redistribuição da água no perfil, tendendo a uma uniformização da umidade nas profundidades estudadas. É possível verificar que os valores de CUC na camada de solo de 20-40 cm são sempre superiores aos obtidos na camada superficial (0-20 cm) para a posição P1. Possivelmente isto ocorre em função de que, na camada subsuperficial, nesta posição, fatores determinantes para melhor redistribuição da água, como percentagem de argila e condutividade hidráulica do solo saturado se apresentarem maiores (Tabela 3).

Tabela 2. Valores dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (%) obtidos entre a sétima e a nona torres, na superfície e no perfil do solo, nos intervalos de 0, 12, 24 e 36 horas após a irrigação, nas posições P1 e P2

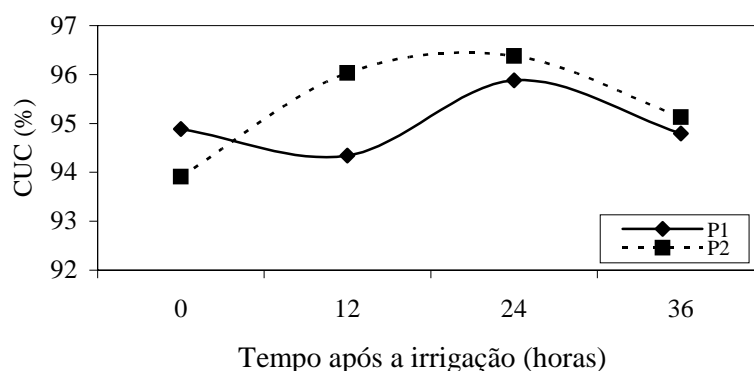
Posições	Superfície	0 Hora		12 Horas		24 Horas		36 Horas	
		0-20 (cm)	20-40 (cm)	0-20 (cm)	20-40 (cm)	0-20 (cm)	20-40 (cm)	0-20 (cm)	20-40 (cm)
P1	86,37	94,89	96,96	94,34	96,76	95,88	97,40	94,79	96,79
P2	81,04	93,91	93,75	96,03	94,81	96,38	97,37	95,13	95,73

Tabela 3. Caracterização físico-hídrica das camadas de solo nas posições P1 e P2

Posição	Camada (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Dp (g.cm ⁻³)	Ds (g.cm ⁻³)	m (%)	M (%)	VTP (%)	Ko (cm.h ⁻¹)	VIB (cm.h ⁻¹)
P1	0-20	39,07	13,95	46,98	2,67	1,37	45,08	4,12	49,20	4,91	3,20
	20-40	35,07	15,95	48,98	2,68	1,34	45,65	3,05	48,70	4,03	3,20
P2	0-20	34,40	19,95	45,65	2,67	1,34	46,65	3,05	49,70	2,68	2,00
	20-40	35,73	19,95	44,32	2,64	1,30	48,67	3,02	51,69	2,15	2,00

Na posição P2, pelo menos até 12 horas após a irrigação, os maiores valores de CUC obtidos na camada superficial (0-20 cm), devido ao fato de que, a percentagem de argila e a condutividade hidráulica saturada se apresentarem maiores nesta camada, favorecendo a redistribuição da água no solo. Houve uma

redistribuição de água mais rápida no plantio direto (P2), em que se percebe uma elevação nos valores de CUC, nas duas profundidades estudadas, até 24 horas após a irrigação (Figuras 3 e 4). Os maiores valores de microporosidade nas duas camadas estudadas nesta posição talvez interfiram positivamente neste processo.

**Figura 3.** Comportamento dos valores de CUC para a camada de solo de 0-20 cm, nos intervalos de 0, 12, 24 e 36 horas após a irrigação, nas posições P1 e P2.

Os valores de CUC e CUD obtidos para o armazenamento de água no perfil do solo imediatamente após a irrigação (Tempo 0), foram de 11,06 % e 15,78 %, 23,61 % e 21,27 %, superiores aos observados na superfície do solo, para as posições P1 e P2, respectivamente.

No que se refere ao coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), os valores obtidos no perfil foram sempre superiores àqueles obtidos na superfície, a exemplo do que se sucedeu com os valores de CUC. Os valores obtidos na camada de 20-40 cm foram também superiores aos obtidos na camada mais superficial, em média, para a posição P1 (Tabela 4).

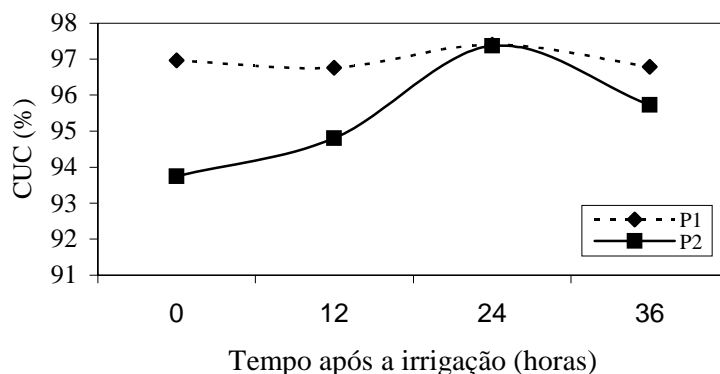


Figura 4. Comportamento dos valores de CUC, para a camada de 20-40 cm, nos intervalos de 0, 12, 24 e 36 horas após a irrigação, nas posições P1 e P2.

Tabela 4. Valores dos coeficientes de uniformidade de distribuição (%) na superfície e no perfil do solo, nos intervalos de 0, 12, 24 e 36 horas após a irrigação, para P1 e P2

		0 Hora		12 Horas		24 Horas		36 Horas	
Posições	Superfície	0-20 (cm)	20-40 (cm)	0-20 (cm)	20-40 (cm)	0-20 (cm)	20-40 (cm)	0-20 (cm)	20-40 (cm)
		P1	75,15	91,50	94,28	92,06	94,18	93,50	95,40
P2	72,29	85,86	89,47	93,81	92,56	94,69	95,11	93,00	91,26

É possível observar que, tanto para valores de CUC, quanto de CUD, o plantio direto apresenta melhor desempenho no que se refere à redistribuição da água no perfil do solo, na camada de 0-20 cm, que é a camada de

maior interesse para este sistema de manejo do solo. Nas Figuras 5 e 6 observa-se um aumento dos coeficientes CUC e CUD após a irrigação, na camada de solo de 20-40 cm, evidenciando o processo de redistribuição de água no solo.

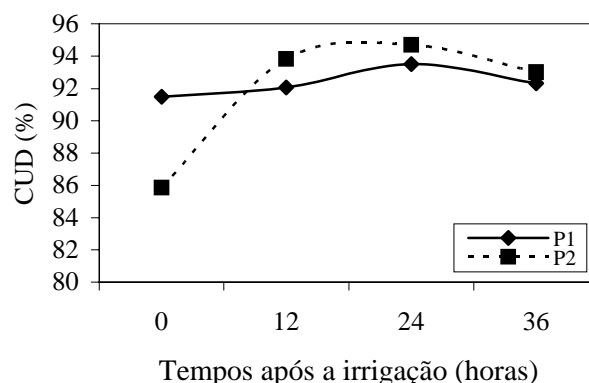


Figura 5. Comportamento dos valores de CUD, para a camada de 0-20 cm, nos intervalos de 0, 12, 24 e 36 horas após a irrigação, nas posições P1 e P2

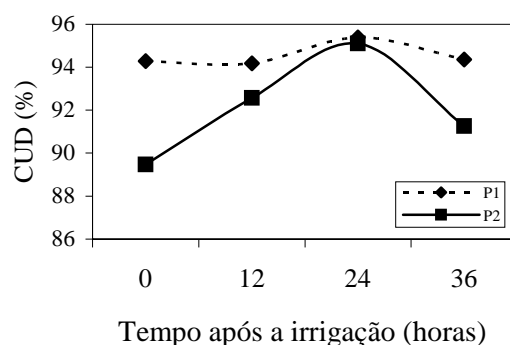


Figura 6. Comportamento dos valores de CUD, para a camada de 20-40 cm, nos intervalos de 0, 12, 24 e 36 horas após a irrigação, nas posições P1 e P2.

CONCLUSÕES

O sistema pivô central apresentou um bom desempenho com CUC e CUD acima de 80% e 70%, respectivamente, para as diversas condições climáticas para qual o sistema foi avaliado. Nas duas camadas de solo estudadas, os coeficientes de uniformidade foram

superiores àqueles obtidos na superfície para os diferentes manejos de solo, o que indica boa redistribuição de água no perfil do solo. A avaliação pivô central quanto à sua distribuição de água, pode subestimar seu desempenho quando avaliado somente com base na coleta das lâminas aplicadas na superfície do solo.

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the action of an overhead irrigation of the type central pivot of low pressure, in relation to the distribution of water in the surface and in the 0-20 and 20-40 cm layers of the soil. The evaluations were done in two positions of the central pivot equipment, characterized by two types of soil handling, preparation of the soil with leveling disking (P1) and no-tillage (P2). The analysis of the uniformity of application of water was done by the coefficients of uniformity of Christiansen (CUC) and of distribution (CUD), calculated starting from precipitation data, collected according to the methodology proposed by ABNT (1985). The tests were done in Fazenda Capivara, belonging to the Brazilian Company of Agricultural Research, Embrapa - Rice and Bean, in the county of Santo Antônio de Goiás, GO, located geographically at 16° 28' S of latitude and 49° 17' W of longitude and altitude of 823 m. The pivot was evaluated in the speed of operation of 100%, in the positions P1 and P2. The pivot evaluated presented coefficient of uniformity of Christiansen (CUC) and of distribution (CUD) above the recommended minimum of 80%, in the two preparation systems and in the soil layers studied, the uniformity coefficients were superior the those obtained in the surface of the soil, increasing with the time until the limit of 24 hours after the irrigation, indicating a good redistribution of water in the soil profile.

UNITERMS: Center pivot, Distribution uniformity, No-tillage

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, D. V. **Avaliação hidráulica de tubos flexíveis de polietileno perfurados a laser utilizados na irrigação.** 1990. 147 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de irrigação por aspersão pivô central, caracterização de desempenho - método de ensaio:** 1º Projeto de normas. Rio de Janeiro, 1985. 22 p. (PN 12:02.08-005).

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.

BRIDI, S. **Análise de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central**. 1994. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. 142 p. (Bulletin 670).

COTRIM, C. E. Desempenho de um sistema de irrigação do tipo pivô-central de baixa pressão. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, v. 33, p. 21-27, 1988.

HART, W. E.; REYNOLDS, W. N. Analytical design of sprinkler systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 8, n. 1, p. 83-85, 1965.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J.; ALFARO, J. **Irrigation system evaluation and improvement**. Logan: Utah State University, 1973.

MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; SILVA, S. C.; SILVEIRA, P. M. **Irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa/ CNPAF, 1999. 31 p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickler irrigation for crop production: design, operation and management**. Arizona: [s.n.], 1986. 383 p.

NASCIMENTO, J. L. **Resposta de duas cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a cinco lâminas de irrigação aplicadas durante o estágio de desenvolvimento vegetativo nos sistemas de plantio convencional e direto**. 1999. 138 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

PAIVA, J. B. D. **Uniformidade de aplicação de água abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão**. 1980. 333 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PENAFORTE, A. B. **Análise da performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional, acima e abaixo da superfície do solo**. 1992. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação no feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: EMBRAPA/ SPI, 1994. 46 p. (CNPAF. Circular Técnica, 27).

_____. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA/ CNPAF, 2001. 230 p.

VIEIRA, M. J. Propriedades físicas do solo. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Plantio direto no estado do Paraná**. Londrina, 1981. p.18-32. (Circular, 23).

WITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação: projeto e prática**. São Paulo: E.P.U., 1977. 339 p.