

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM PIVÔ CENTRAL DE BAIXA PRESSÃO EQUIPADO COM TUBOS DE DESCIDA ^{1/}

Luiz Antônio Longo ^{2/}
Blamor Torres Loureiro ^{2/}
Enio Fernandes da Costa ^{3/}
Wilson Denículi ^{2/}

1. INTRODUÇÃO

A finalidade básica da irrigação é fornecer umidade ao solo de maneira que seja atendida a exigência hídrica da cultura durante o seu ciclo. Para atingir tal finalidade, são vários os métodos possíveis. Para grandes áreas cultivadas, há preferência pelos sistemas que empregam maior grau de automatização. Entre eles, destaca-se o sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central.

A preferência por este sistema pode ser atribuída à sua automatização, que proporciona grande economia de mão-de-obra, tubulação e aspersores, em relação ao sistema convencional e à facilidade de mecanização da área.

O desempenho do pivô central, em condições de campo, é avaliado, basicamente, pela uniformidade de distribuição e pela eficiência de aplicação de água.

A velocidade do vento é o elemento climático que maior influência exerce sobre a uniformidade de distribuição de água e, juntamente com a temperatura e a umidade relativa do ar, favorece a perda por evaporação, afetando a eficiência de aplicação. A influência desses elementos climáticos pode variar conforme o tamanho das gotas produzidas pelos aspersores e conforme a distância percorrida por elas desde o ponto de

^{1/} Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para obtenção do título de "Magister Scientiae" em Engenharia Agrícola.

Aceito para publicação em 14.9.1990.

^{2/} Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. 36570 Viçosa, MG.

^{3/} CNPMS - EMBRAPA. 35700 Sete Lagoas, MG.

formação até a superfície irrigada.

Visando minimizar a perda por evaporação e arrastamento das partículas pelo vento, tubos de descida têm sido montados nos equipamentos do tipo pivô central, diminuindo a distância entre o ponto de formação das gotas e a superfície do solo ou da cultura. Espera-se, com isto, que a aplicação de água sofra menos influência dos fatores climáticos locais.

SILVA (4) comenta que, quando se adaptam tubos de descida em pivôs, uma melhoria na uniformidade de distribuição depende do comprimento do tubo (rígido ou flexível) e da placa difusora, (plana, côncava ou convexa e serrilhada ou lisa). Se a combinação desses parâmetros não for adequada, poderá haver problemas de recobrimento, de colisões de gotas e de desuniformidade na aplicação de água, devido às oscilações causadas pelo vento e pelo próprio movimento do pivô.

Ensaio realizados demonstraram que:

- . a utilização de tubos de descida reduz as perdas por evaporação e por arrastamento pelo vento, aumentando a relação entre a lâmina real e a lâmina total aplicada;
- . a maior proximidade do difusor em relação ao solo reduz o seu diâmetro de cobertura, aumentando a intensidade de aplicação e reduzindo a sobreposição entre difusores subseqüentes, com efeitos na uniformidade de distribuição da água;
- . os tubos de descida de material flexível apresentam oscilações, em caso de ventos fortes, prejudicando a uniformidade de distribuição.

HEERMANN e HORTON (2) afirmam que grande diferença de pressão pode causar redução significativa na uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. Entretanto, em pivô central, a uniformidade da lâmina aplicada não depende somente da diferença de pressão, mas também do aumento do diâmetro do bocal do aspersor, proporcionalmente ao aumento da área com o aumento da distância radial a partir do centro do pivô.

A eficiência de aplicação de água de um sistema de irrigação é a relação existente entre a lâmina útil à cultura e a lâmina aplicada pelo sistema. BERNARDO (1), conceituando eficiência, em potencial, de aplicação (E_{pa}) afirma que é a estimativa da percentagem do total de água aplicada na irrigação por aspersão que atinge a superfície do solo e, ou, da cultura. A E_{pa} estima a perda d'água por evaporação e por arrastamento pelo vento durante o trajeto das gotas. Quando não houver perdas por percolação, a eficiência, em potencial, de aplicação é igual à eficiência de aplicação.

A intensidade de precipitação (aplicação) em pivô central pode exceder, em alguns pontos, a capacidade de infiltração de água no solo. Quando este fato se verifica, ocorre acúmulo de água na superfície do solo, diminuindo a eficiência do sistema. Caso o terreno apresente alguma declividade, o excesso de água acumulado pode escoar sobre a superfície, causando erosão. Sendo assim, a intensidade de precipitação do sistema e a velocidade de infiltração de água no solo devem ser criteriosamente analisados.

Uma vez que o tempo de aplicação de água, ao longo da linha do pivô, decresce radialmente, a intensidade de precipitação deve aumentar no mesmo sentido para que a irrigação seja uniforme. Assim, as precipitações máximas devem ocorrer nos pontos mais afastados do ponto pivô.

Ante a necessidade de resultados concretos a respeito da contribuição dos tubos de descida para sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central, o presente trabalho teve os seguintes objetivos:

- . determinar a uniformidade de distribuição e a eficiência, em potencial, de aplicação de água de um pivô central, de baixa pressão, equipado com tubos de descida flexíveis;
- . analisar a relação entre o comprimento dos tubos de descida, os coeficientes de

uniformidade de distribuição e a eficiência, em potencial, de aplicação de água do sistema.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS/EMBRAPA), localizado em Sete Lagoas, MG.

O sistema de irrigação do tipo pivô central avaliado permite a irrigação de, aproximadamente, 16 ha. O método seguido para avaliar o sistema, com base na uniformidade de distribuição de água, foi proposto por MERRIAN *et alii* (3).

Foram determinados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), através das seguintes equações:

$$CUC = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |X_i - X_p|}{\sum_{i=1}^n X_i S_i} \right) \cdot 100, \quad \text{eq. 1}$$

sendo

$$X_p = \left(\frac{\sum_{i=1}^n X_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right), \quad \text{eq. 2}$$

em que X_i é a precipitação observada em cada ponto, em mm; S_i é a distância do ponto pivô ao ponto i , em m; X_p é a lâmina média ponderada, considerando todos os coletores, em mm; e n é o número total de coletores:

$$CUD = 100 \frac{X_{25}}{X_p}, \quad \text{eq. 3}$$

em que X_{25} é a média ponderada de 25% do total de coletores com as menores lâminas coletadas, em mm.

A vazão do sistema, em cada teste, foi determinada por meio de um medidor de vazão (Dall) instalado na adutora do pivô. A lâmina de água aplicada pelo sistema foi determinada, permitindo o cálculo da eficiência, em potencial, de aplicação, através da seguinte equação:

$$EP_a = 100 \frac{X_p}{X_m}, \quad \text{eq. 4}$$

sendo

$$X_m = \frac{Q T}{10 A}, \quad \text{eq. 5}$$

em que X_m é a lâmina média aplicada, em mm; Q é a vazão do pivô, em $m^3 \cdot h^{-1}$; T é o tempo gasto, por rotação, pelo pivô, em h; e A é a área total irrigada, em ha.

A largura da faixa molhada pelo pivô (diâmetro de cobertura do difusor), junto à última torre, foi medida com uma trena, quando o pivô se sobrepunha à linha de pluviômetros. Isso permitiu o cálculo da intensidade de precipitação máxima, através da seguinte equação.

$$IP_{\max} = 9167 \frac{Q}{R d}, \quad \text{eq. 6}$$

em que IP_{\max} é a intensidade de precipitação máxima, em mm.h^{-1} ; Q é a vazão do pivô, em l.s^{-1} ; R é a distância da extremidade ao ponto pivô, em m; e d é o diâmetro de cobertura do difusor, em m.

A velocidade do vento, a temperatura e a umidade relativa do ar foram obtidos a 100 m, aproximadamente, da área de testes, onde se instalou um abrigo meteorológico. No abrigo foi colocado um par de termômetros (bulbo úmido e bulbo seco), graduados em $0,2^\circ\text{C}$, com a finalidade de caracterizar as condições de temperatura e de umidade relativa do ar durante os testes. A dois metros de distância do abrigo foi instalado um anemômetro portátil, com a finalidade de obter dados de velocidade do vento a dois metros de altura, em relação ao solo.

A pressão na saída do jato dos difusores foi determinada no final de cada teste, utilizando-se um tubo de pitot adaptado a um manômetro de Bourdon, graduado em $0,2 \text{ kgf.cm}^{-2}$. Foram feitas tomadas de pressão em três de cada dez difusores ao longo do pivô, com o objetivo de obter um perfil representativo da distribuição da pressão ao longo da linha.

Foram testados tubos de descida de diferentes comprimentos para sistema com 100% da sua capacidade máxima de operação. Para cada teste foram feitas três repetições. As condições analisadas foram as seguintes:

- a) sem tubos de descida;
- b) tubos de descida com 1,2 m de comprimento;
- c) tubos de descida com 2,0 m de comprimento;
- d) tubos de descida com 2,6 m de comprimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Trabalhando com a média aritmética dos volumes coletados em pluviômetros de mesma ordem, dispostos nos quatro raios, com três repetições feitas para cada teste, obtiveram-se valores de CUC, de CUD e de EPA, para cada comprimento de tubos de descida, os quais se encontram no Quadro 1.

Observa-se nesse quadro que o CUC foi pouco influenciado pelo comprimento dos tubos de descida. Os tubos de 2,6 m de comprimento proporcionaram redução de 1,2% no valor do CUC e de 5,5% no valor do CUD, quando comparados com os respectivos valores do pivô sem tubos de descida. Os valores de CUC e de CUD, para as referidas condições, ficaram dentro dos limites recomendados pela literatura. Sendo assim, o desempenho do sistema pode ser considerado bom, em termos de uniformidade de distribuição de água. Os valores de CUD encontrados foram menores e mais variáveis que os de CUC. Tal fato relaciona-se com as variáveis das equações utilizadas para determinar esses coeficientes, uma vez que, para o cálculo do CUD, foram considerados apenas 25% dos pluviômetros com as menores lâminas coletadas.

Observa-se no Quadro 1 que os valores médios de velocidade do vento, umidade relativa e pressão no ponto pivô foram pouco variáveis. Esse fato permite afirmar que os tubos de descida proporcionaram ao sistema melhor eficiência, em potencial, de apli-

QUADRO 1 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e eficiência em potencial de aplicação (EPa), considerando o comprimento dos tubos de descida, a pressão média do ponto pivô, a velocidade média do vento e a umidade relativa média

Comprimento dos tubos de descida (m)	Pressão média no ponto (kgf.cm ⁻²)	Velocidade média do vento (m.s ⁻¹)	Umidade relativa média (%)	CUC (%)	CUD (%)	EPa (%)
0,0	3,9	1,6	54,8	90,9	82,1	75,2
1,2	3,8	1,6	68,0	87,3	75,3	79,2
2,0	3,7	1,8	59,9	89,5	82,0	78,9
2,6	3,8	1,6	60,2	89,8	77,6	82,8

cação de água. O pivô central equipado com tubos de descida de 2,6 m de comprimento apresentou eficiência, em potencial, de aplicação aproximadamente 10% superior à eficiência do pivô sem tubos de descida, para a mesma velocidade média do vento.

Com base, também, nos valores médios de três repetições, procedeu-se à avaliação do sistema, em condições uniformes, aclive de 8,4% e declive de 8%, para cada comprimento de tubos de descida. Os resultados encontram-se na Figura 1. Analisando essa figura, observa-se que, sem tubos de descida, houve grande diferença entre os coeficientes de uniformidade de Christiansen, para linha do pivô em aclive e em declive. Todavia, essa diferença tendeu a diminuir, passar por um ponto comum e voltar a crescer quando se aumentou o comprimento dos tubos de descida. As diferenças entre os valores de CUC, para linhas em aclive e em declive, foram menores para os tubos de 1,2 e de 2,0 m de comprimento. As curvas indicam que deve haver um comprimento de tubo, entre esses valores, que proporcione valores de CUC praticamente iguais, independentemente da posição da linha, para as condições em que foram realizados os testes.

Embora os difusores fossem precedidos de reguladores de pressão, houve diferenças entre os valores de CUC, para linhas em aclive e em declive. Tal fato sugere seja feita uma avaliação do desempenho dos reguladores de pressão utilizados nos testes.

A Figura 2 contém os valores médios de pressão (média dos quatro raios) para ambos os pivôs. Esses tubos causaram perda de carga, reduzindo a pressão de serviço dos difusores. A média aritmética dos valores da pressão dos difusores, foi de 2,7 kgf.cm⁻² para o pivô sem tubos de descida e de 2,1 kgf.cm⁻² para o pivô equipado com tubos de 2,6 m. Portanto, os tubos de descida com 2,6 m causaram uma redução de, aproximadamente, 22% na pressão na saída do jato dos difusores, para as condições de operação do sistema. A pressão na saída do jato dos difusores de número 24, 43 e 62 diferiu das demais, evidenciando que os respectivos reguladores de pressão apresentaram problema.

A maior proximidade do difusor em relação ao solo proporciona ao sistema melhor eficiência de aplicação de água. Por outro lado, a intensidade de precipitação aumenta com a redução do diâmetro de cobertura do difusor. Em certos tipos de solo, onde a velocidade de infiltração básica é menor que a intensidade de precipitação, a água pode acumular-se sobre a superfície, diminuindo a eficiência do sistema e oferecendo riscos de erosão.

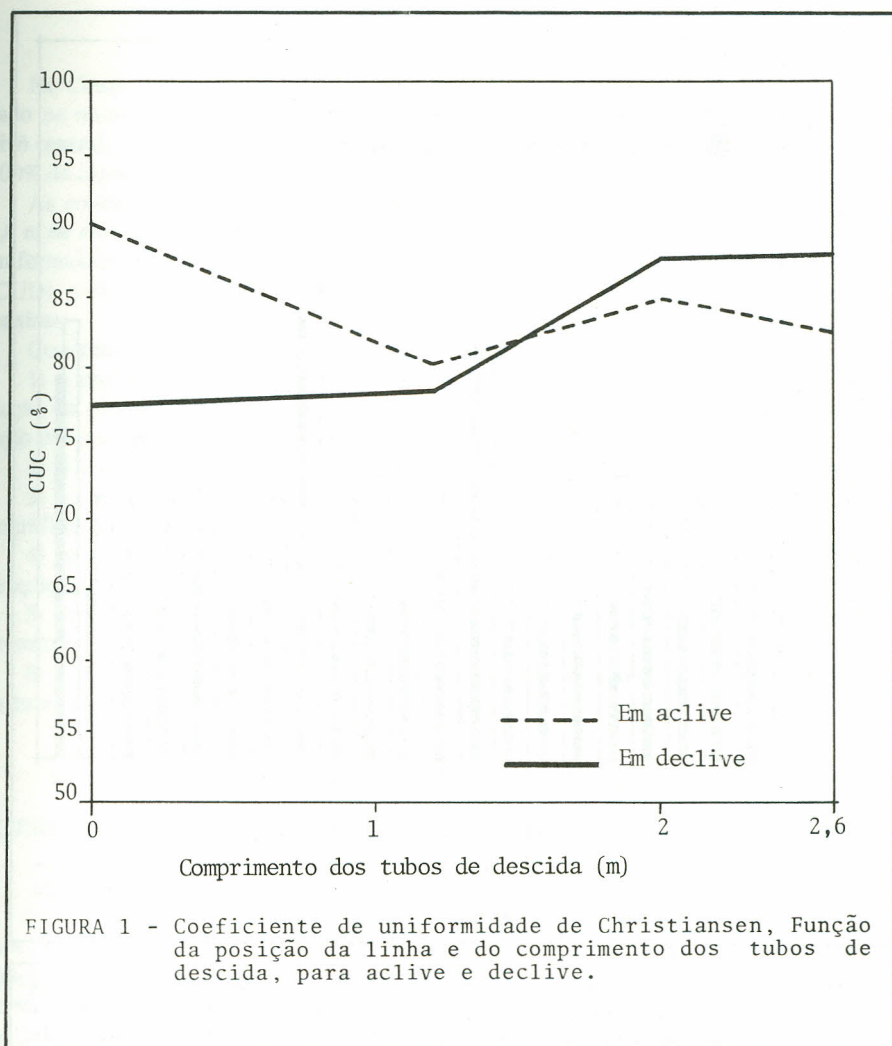
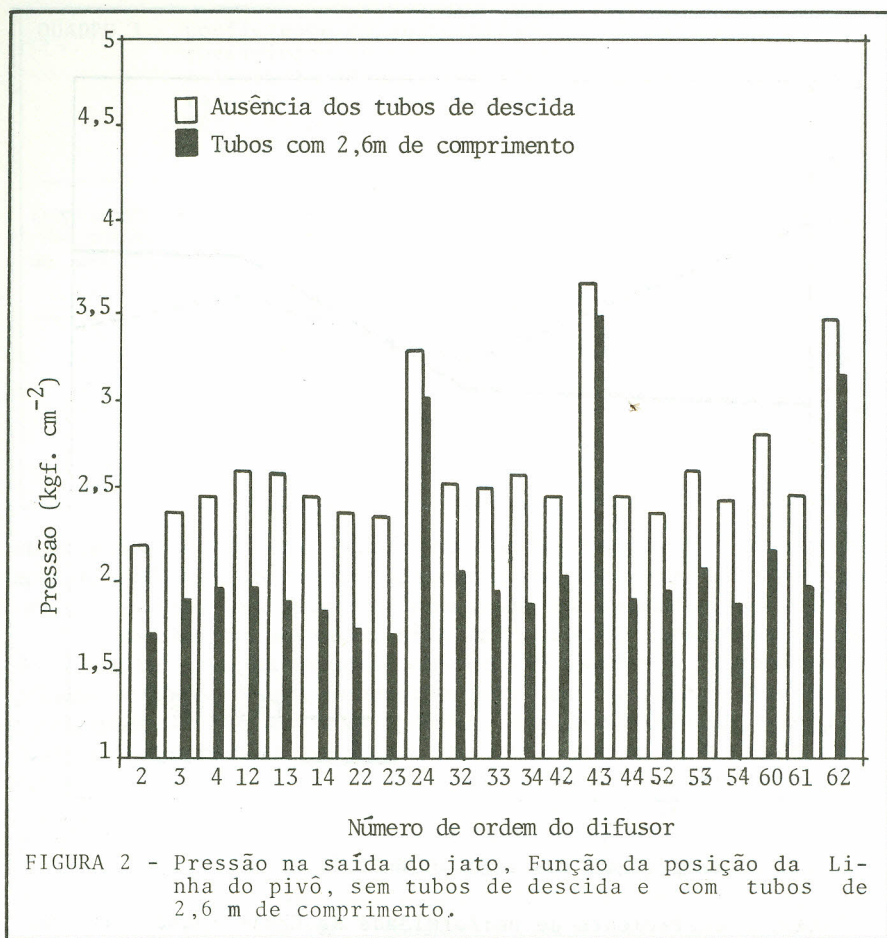


FIGURA 1 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen, Função da posição da linha e do comprimento dos tubos de descida, para aclave e declive.

O Quadro 2 contém os valores de diâmetro de cobertura do difusor, o tempo de molhamento na extremidade da linha pivô e a intensidade de precipitação máxima, de acordo com o comprimento dos tubos de descida. O diâmetro de cobertura do difusor diminuiu quando aumentou o comprimento dos tubos de descida. Os tubos com 2,6 m de comprimento provocaram redução no diâmetro de cobertura do difusor de, aproximadamente, 36%, em relação ao diâmetro de cobertura do difusor, sem tubos de descida. O tempo de molhamento na extremidade do pivô diminuiu e a intensidade de precipitação máxima aumentou quando se aumentou o comprimento dos tubos de descida.

Os tubos com 2,6 m de comprimento causaram um aumento de, aproximadamente, 38% na intensidade de precipitação máxima do sistema, em relação à intensidade de precipitação máxima obtida sem tubos de descida. Embora a intensidade de precipitação na extremidade do pivô tenha sido elevada, não foi verificado acúmulo de água na superfície do solo. Deve-se isto ao fato de o tempo de molhamento ter sido mínimo, uma vez que o equipamento deslocou-se com 100% da sua capacidade máxima e, para



QUADRO 2 - Diâmetro de cobertura do difusor, tempo de molhamento na extremidade do pivô e intensidade de precipitação máxima, conforme o comprimento dos tubos de descida

Comprimento dos tubos de descida (m)	Diâmetro de cobertura (m)	Tempo de molhamento (m)	Intensidade de precipitação máxima (mm.h ⁻¹)
0,0	12,1	4,9	89,2
1,2	9,4	3,8	116,6
2,0	8,6	3,4	129,4
2,6	7,7	3,1	143,4

esse tempo de molhamento, a velocidade de infiltração d'água no solo foi maior que a intensidade de precipitação máxima do sistema.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

No Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS/EMBRAPA), localizado no município de Sete Lagoas, MG, foi feita a avaliação do desempenho de um pivô central, de baixa pressão, equipado com tubos de descida flexíveis, operando com 100% da capacidade máxima de deslocamento.

As condições analisadas foram: sem tubos de descida e tubos com 1,2 m, 2,0 m e 2,6 m de comprimento. Para cada teste realizado foram determinados o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), a eficiência, em potencial, de aplicação (EPa) e a intensidade de precipitação máxima.

Com base nas condições em que foram realizados os testes, concluiu-se que:

1) a uniformidade de distribuição de água praticamente não foi afetada pela variação do comprimento dos tubos de descida, uma vez que foi assegurada a sobreposição dos jatos emitidos por difusores subsequentes;

2) a lâmina coletada mostrou-se mais variável nas extremidades da linha do pivô;

3) a uniformidade de distribuição de água foi influenciada pelas características topográficas da área;

4) os tubos de descida proporcionaram ao sistema melhor eficiência, em potencial, de aplicação de água;

5) dos tubos de descida causaram perda de carga no escoamento, reduzindo a pressão na saída do jato dos difusores;

6) a maior proximidade do difusor em relação ao solo reduziu o diâmetro de cobertura, aumentando a intensidade de precipitação.

5. SUMMARY

(PERFORMANCE EVALUATION OF A LOW PRESSURE CENTRAL PIVOT EQUIPPED WITH "DROP SPRAY")

At the Corn and Sorghum National Research Center in Sete Lagoas, Minas Gerais State, an evaluation was made of the performance of a low pressure central pivot equipped with "drop spray", operating at 100% of its displacement capacity. The tests carried out were the following: without "drop spray"; "drop spray" of 1.2 m; 2.0 m and 2.6 m length. For each test, the uniformity coefficients of Christiansen (CUC) and distribution (CUD), the application efficiency, in potential (EPa), and the highest precipitation intensity were determined. It was concluded that:

The length of "drop spray" did not affect distribution uniformity;

The collected water plate at the end of the pivot line showed a large variation;

Topographic characteristics influenced distribution uniformity;

"Drop spray" increased application efficiency, in potential, reducing pressure at the diffuser exit.

Proximity of the diffuser to the ground decreased the covering diameter and increased precipitation density.

6. LITERATURA CITADA

1. BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5 ed. Viçosa, MG, UFV, Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

2. HEERMANN, D. F. & HORTON, R. E. Some effects of rain intensity, erosion and sedimentation on infiltration capacity. *Soil Science Society of American Proceeding*, 7:82-89, 1949.
3. MERRIAN, J.L., KELLER, J. & ALFARO, J. *Irrigation: system evaluation and improvement*. Logan, Utah State University, 1973. 271 p.
4. SILVA, W.L.C. Considerações sobre o uso de "sprays" de baixa pressão em pivô central. *Irrigação e Tecnologia Moderna*, 39(12):26-27, 1989.