

AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

Elaine de Fatima Miranda Freitas¹, Hiago Felipe Lopes de Farias², Sandra Máscimo da Costa e Silva³, Sebastião Avelino Neto⁴

RESUMO

Um bom sistema de irrigação deve aplicar água no solo uniformemente, até determinada profundidade, propiciando umidade necessária ao desenvolvimento normal das espécies vegetais. O presente trabalho teve como objetivo estimar a velocidade de infiltração básica (VIB) da água no solo e avaliar a uniformidade de distribuição de água de irrigação pelo sistema do tipo pivô central. A velocidade inicial de infiltração da água para cada um dos vãos do pivô foi de 79 mm h⁻¹, 71 mm h⁻¹, 49 mm h⁻¹, 55 mm h⁻¹ respectivamente, alcançou um valor constante de 2 mm h⁻¹, sendo então este o valor denominado de VIB. Os coeficientes de uniformidade CUC, CUH e CUD foram classificados como bons, enquanto CUE e o CUA, classificados como regulares. Nenhum dos coeficientes de uniformidade encontrados apresentou-se na faixa de classificação como excelente, indicando a necessidade de identificação de problemas e realização de melhorias no funcionamento do pivô central.

Palavras-Chave: infiltrômetro de duplo anel, aspersão, coeficiente de uniformidade.

EVALUATION OF THE WATER INFILTRATION SPEED IN SOIL AND UNIFORMITY OF DISTRIBUTION OF IRRIGATION WATER BY CENTRAL PIVOT

¹ Mestranda, Pesquisadora, Universidade Estadual de Goiás – Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, Br 153 n^o 3105 Fazenda Barreiro do Meio, CEP: 75132-400, Anápolis-GO, Brasil, e-mail: elaine.f.m.freitas@hotmail.com

² Mestrando, Pesquisador, Universidade Estadual de Goiás – Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, Br 153 n^o 3105 Fazenda Barreiro do Meio, CEP: 75132-400, Anápolis-GO, Brasil, e-mail: hiagoff@hotmail.com

³ Doutora, Professora, Universidade Estadual de Goiás – Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, Br 153 n^o 3105 Fazenda Barreiro do Meio, CEP: 75132-400, Anápolis-GO, Brasil, e-mail: sandramascimo@hotmail.com

⁴ Pós-Doutor, Professor, Universidade Estadual de Goiás – Campus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas – Henrique Santillo, Br 153 n^o 3105 Fazenda Barreiro do Meio, CEP: 75132-400, Anápolis-GO, Brasil, e-mail: sebastiao.neto@ueg.br

ABSTRACT

A good irrigation system should apply water to the soil evenly, up to a certain depth, providing moisture necessary for the normal development of plant species. This study aimed to estimate the infiltration rate (VIB) of water in the soil and evaluate the uniformity of water distribution for irrigation center pivot system. The initial rate of water infiltration to each of the pivot openings was 79 mm h⁻¹, 71 mm h⁻¹, 49 mm h⁻¹, 55 mm h⁻¹ respectively reached a constant value of 2 mm h⁻¹, then this value being called VIB. Uniformity coefficients CUC, CUH and CUD were classified as good, while CUE and CUA, classified as regular. None of the uniformity coefficients found were in the classification range as excellent, indicating the need to identify problems and make improvements to the central pivot.

Keywords: double ring infiltrometer, sprinkling, uniformity coefficient.

INTRODUÇÃO

A infiltração da água no solo é um processo dinâmico de penetração vertical da água através da superfície do solo. O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é importante para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo (BRANDÃO et al., 2009). A velocidade básica de infiltração (VIB) determina a intensidade de precipitação máxima que poderá ser aplicada ao solo, evitando o escoamento superficial (COELHO et al., 2000).

Em irrigação, a VIB é que vai determinar se o solo suporta a intensidade de aplicação imposta por um determinado tipo de emissor (MANTOVANI et al., 2009). Um bom sistema de irrigação deve aplicar água no solo uniformemente, até determinada profundidade, propiciando umidade necessária ao desenvolvimento normal das espécies vegetais (DRUMOND, 2003).

A uniformidade de distribuição consiste na diferença de variação de aplicação da água em toda a parcela, ou seja, depende da variação de vazão e pressão de serviço em toda a parcela irrigada (BASTOS et al., 2009).

Para Bernardo et al. (2006) muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão, na superfície do solo. O primeiro deles foi proposto por Christiansen (1942) e adota o

desvio médio absoluto como medida de dispersão é o Coeficiente de Uniformidade de Aplicação (CUC). Wilcox e Swailes (1947) propuseram um coeficiente de uniformidade utilizando o desvio-padrão como medida de dispersão, para o qual se aceitam valores de Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) acima de 75%.

Criddle et al. (1956) introduziram outra medida da uniformidade denominado de Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada. Karmeli e Keller (1975) propuseram uma medida de uniformidade que inclui as razões das vazões máxima e mínima dos emissores com a média, Coeficiente de Uniformidade Absoluto (CUA). Hart (1980) propôs um coeficiente de uniformidade usando, o desvio-padrão como medida de dispersão, denominado Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH). Quando a lâmina de água aplicada pelos aspersores tem distribuição normal, tem-se que o CUC é igual ao CUH.

É de grande importância o conhecimento dos fatores que interferem nas características de eficiência dos equipamentos de irrigação. O produtor deve saber o quanto as características de projeto, ou as práticas de uso do equipamento de irrigação modificam a aplicação de água (SCHONS, 2006).

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi o de determinar a velocidade de infiltração básica (VIB) do solo e avaliar a uniformidade de distribuição de água de irrigação pelo sistema do tipo pivô central.

AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

MATERIAL E MÉTODOS

Localização da área experimental

O experimento foi conduzindo em uma fazenda, localizada no município de Silvânia - Go, com altitude média de 877 m. O clima, segundo Köppen e Geiger é do tipo Aw. A temperatura média anual é de 22,5 °C e a média anual de pluviosidade de 1370 mm (SEPIN, 2009). De acordo com os resultados de análises físicas, o solo é classificado como franco-argilo-arenoso e o relevo suavemente ondulado.

O teste de velocidade de infiltração da água no solo e a uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação, assim como a determinação das características físico-hídricas do solo, ocorreram em uma área irrigada por pivô central, composto por 6 torres, distanciadas umas das outras em 54,6 m e um vão em balanço de 27,1 m, com um raio irrigado de 355,2 m abrangendo uma área total irrigada de 39,65 ha.

As torres foram enumeradas, contando-as a partir do ponto pivô, de 1 até 6, considerando-se, também, o vão em balanço, onde os testes de velocidade de infiltração da água e as amostragens para a caracterização física do solo ocorreram. Assim houve a seguinte segmentação: 1 – Vão em balanço; 2 – Vão 6; 3 – Vão 4 e 4 – Vão 2, totalizando assim quatro pontos. Em cada ponto ocorreram três repetições espaçadas linearmente. As coletas das amostras de solo foram na metade do comprimento de cada vão, ou seja, no local da segunda repetição do teste de infiltração da água no solo. As amostras de solo foram coletadas em quatro profundidades 0 – 10 cm, 10 – 20 cm, 20 – 30 cm e de 30 – 40 cm. As análises físicas do solo de cada parcela seguiram a metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Para a determinação da uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação foi utilizado um kit composto de 50 pluviômetros (cada coletor apresenta 80 mm de diâmetro e 102 mm de altura), da marca Fabrimar, fixados radialmente, em hastes metálicas a 0,7 m de

altura do solo, direcionados para a parte de maior acrive da área e proveta graduada.

Os coletores foram numerados em ordem crescente, a partir do centro do pivô e espaçados entre si de 7 em 7 m (BERNARDO et al., 2005). Foram adotados também alguns critérios na metodologia, atendendo os requisitos descritos na norma ABNT NBR 14244 (1998), sobre a determinação da Uniformidade de Distribuição de água para pivôs centrais, como: foi aferido o relé percentual em 35%, o qual apresenta uma lâmina de irrigação de 13,57 mm conforme o catálogo do fabricante. Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, foram adquiridos no site do Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de (SIMEHGO, 2015).

Para determinar as perdas por evaporação que ocorreram durante o teste foram separados dois coletores com volume de água conhecido, próximo à área do pivô central, onde foi medido o volume de água no início e no final do teste, e a diferença correspondeu à perda de água por evaporação. Assim, este valor foi acrescido às leituras em todos os coletores sob o pivô.

Determinação da velocidade de infiltração da água no solo

A velocidade de infiltração básica (VIB) foi determinada seguindo metodologia de Bernardo et al. (2008), utilizando-se o método do infiltrômetro de duplo anel, que consiste em dois anéis, colocados concêntricamente, sendo um menor com diâmetro de 25 cm e outro maior com 50 cm, ambos com 30 cm de altura.

Os anéis foram enterrados no solo até aproximadamente a metade de sua altura (15 cm), depois os anéis foram calibrados colando-se água até a borda em ambos, permanecendo assim por 24 horas. Após o tempo de calibração, foi colocada água, ao mesmo tempo, nos dois anéis. E com o auxílio de uma régua e de um cronômetro, foi acompanhada a infiltração vertical no cilindro interno, concomitantemente com o tempo necessário à sua ocorrência.

Esse tempo foi aumentando, sendo variável com o tempo de infiltração do volume de água. Nos dois cilindros, foi mantida a altura da lâmina de água máxima de aproximadamente 10 cm, permitindo oscilação máxima de 5 cm. Assim, as leituras foram realizadas aos 0 minutos e repetida a cada 1; 1; 1; 2; 2; 2; 5; 5; 5; 10; 10; 10; 20; 20; 20; 30; 30 e 30 totalizando 19 leituras em 204 minutos a contar do instante zero, com o passar do tempo pré-determinado foram realizadas reposições de água nos anéis.

As leituras iniciaram nos tempos de um minuto sendo anotadas em uma planilha, cujos valores foram utilizados para construir as curvas de infiltração acumulada (I) e de velocidade de infiltração (VI). O critério adotado neste trabalho para condição de taxa de infiltração constante foi quando o valor de leitura da carga de água no cilindro interno se repetiu por pelo menos três vezes.

Os resultados da lâmina de água acumulada no solo (I), em função do tempo de infiltração (t) foram obtidos, por regressão linear, conforme a equação 1:

$$I = a T^n \quad (1)$$

Em que:

I é a infiltração acumulada, (cm);

a é a constante dependente do solo;

T é o tempo de infiltração, (min);

n é a constante dependente do solo, variando entre 0 e 1.

Para determinar a regressão linear houve a transformação logarítmica dos dados, pois se $I = a T^n$, $\log I = \log a + n \log T$, à qual corresponde à equação da reta da forma $Y = A + BX$, conforme as equações 2, 3, 4, 5:

$$Y = \log I \quad (2)$$

$$A = \log a \quad (3)$$

$$B = b \quad (4)$$

$$X = \log T \quad (5)$$

Na regressão linear das equações 6, 7, sabe-se que:

$$B = \frac{\sum X \times Y - \frac{\sum X \times \sum Y}{N}}{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{N}} \quad (6)$$

$$A = \bar{Y} - B \times \bar{X} \quad (7)$$

Assim, as equações de infiltração acumulada e velocidade de infiltração instantânea foram encontradas aplicando-se a transformação logarítmica nos dados de tempo acumulado e infiltração acumulada.

Avaliação da uniformidade de distribuição de água

Os coeficientes utilizados para o cálculo da uniformidade de distribuição foram o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), o coeficiente de uniformidade estatístico (CUE), o coeficiente de uniformidade absoluta (CUA) e o coeficiente de uniformidade de Hart (CUH), conforme descritos nas equações 8, 9, 10, 11 e 12 respectivamente, onde os coletores de água foram dispostos radialmente em uma fileira e cada coletor representou uma faixa irrigada circular que é em função de sua distância radial.

O Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) faz uso do desvio médio absoluto, para expressar a dispersão das lâminas e pode ser obtido pela equação (8):

$$CUC = 100 \times \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \times \bar{X}} \right) \right] \quad (8)$$

Em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de distribuição de água de Christiansen, (%);

X_i – precipitação coletada no pluviômetro de ordem i, (mm);

\bar{X} – média geral das precipitações coletadas nos pluviômetros, (mm);

n – número de pluviômetros.

Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), obtido pela equação (9):

**AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E
UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
POR PIVÔ CENTRAL**

$$CUD = 100 \times \left(\frac{\bar{X}_{25\%}}{\bar{X}} \right) \quad (9)$$

Em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição, (%);

\bar{X} – média geral das precipitações coletadas nos pluviômetros, (mm);

$\bar{X}_{25\%}$ – média de 25% do total de coletores com as menores precipitações, (mm).

Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), expressa pela equação (10):

$$CUE = 100 \times \left(1 - \frac{Sd}{\bar{X}} \right) \quad (10)$$

Em que:

CUE – coeficiente de Uniformidade Estatístico, (%);

Sd – Desvio-padrão dos valores de precipitação, (mm);

\bar{X} – Lâmina média de todas as observações, (mm).

Coeficiente de Uniformidade Absoluta (CUA), expresso pela equação (11):

$$CUA = 50 \times \left[\frac{\bar{X}_{25\%}}{\bar{X}} + \frac{\bar{X}}{\bar{X}_{12,5\%}} \right] \quad (11)$$

Em que:

CUA – coeficiente de uniformidade absoluta, (%);

$\bar{X}_{25\%}$ – média de 25% do total de coletores, com as menores precipitações, (mm);

$\bar{X}_{12,5\%}$ – média de 12,5% do total de coletores, com as maiores precipitações, (mm);

\bar{X} – média das precipitações, (mm).

Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH), expresso pela equação (12):

$$CUH = 100 \times \left\{ 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \times \left(\frac{Sd}{\bar{X}} \right) \right\} \quad (12)$$

Em que:

CUH – coeficiente de uniformidade de Hart, (%);

Sd – desvio-padrão dos dados de precipitação, (mm);

\bar{X} – Lâmina média de todas as observações, (mm).

A interpretação dos valores dos coeficientes de uniformidade (CUC, CUD e CUE) foi baseada na metodologia adaptada por Mantovani (2001) (Tabela 1) e o valor do coeficiente de uniformidade (CUA) na metodologia de Bralts (1986), conforme (Tabela 2).

Tabela 1 - Classificação do sistema de aspersão quanto aos coeficientes de uniformidade.

CLASSIFICAÇÃO	CUC (%) [*]	CUD (%)	CUE (%)
Excelente	>90	>84	100 – 95
Bom	80 – 90	68 – 84	90 – 85
Razoável	70 – 80	52 – 68	80 – 75

^{*}CUC (%): Coeficiente de uniformidade de Christiansen; CUD (%): Coeficiente de uniformidade de Distribuição; CUE (%): Coeficiente de uniformidade Estatístico. Fonte: Mantovani (2001).

Tabela 2 - Classificação quanto ao coeficiente de uniformidade absoluta.

CLASSIFICAÇÃO	CUA (%) [*]
Excelente	>90
Bom	80 – 90
Regular	70 – 80
Ruim	<70

^{*}CUA (%): Coeficiente de uniformidade Absoluta. Fonte: Bralts (1986).

Caracterização e condições de operação do pivô central

Os dados coletados e calculados referentes às condições de operação do pivô no campo nos dias das avaliações, encontram-se

na (Tabela 3), foram: área irrigada (AI), raio total (RT), regulagem do percentímetro (P), tempo de operação (T_o), tempo por volta com o percentímetro regulado a 35% (T/V), lâmina bruta (Lb), vazão total (QT) e vazão por hectare (Q/ha).

Tabela 3 - Caracterização do pivô central nas condições em estudo.

Equipamento	A _I (ha)	R _T (m)	P (%)	T _o (h)	T/V (h:min)	Lb (mm)	Q _T (m ³ .h ⁻¹)	Q/h (m ³ .h ⁻¹)
Pivô	39,65	355,2	35	21	21:55	13,57	247,80	6,25

Dados climáticos nos dias das avaliações

Os dados de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento, estão

descritos na (Tabela 4).

Tabela 4 - Dados de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Dias de avaliações	T. M. A.* (°C)	U. R. A. M. (%)	V. V. (m s ⁻¹)
12/05/2015	18,4	91,5	3,4
27/05/2015	22,3	60,5	5,6
28/05/2015	22,4	77,5	6,4
01/06/2015	23,4	62,5	4,2

*T. M. A.: Temperatura média do ar (°C); U. R. A. M.: Umidade relativa do ar média (%); V. V.: Velocidade do vento (m.s⁻¹).

Fonte: SIMEHGO (2015).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados foram submetidos à análise de variância para avaliar o comportamento das diferentes profundidades sobre as características físico-hídricas do solo e da infiltração acumulada e velocidade de infiltração básica (VIB). Para a uniformidade de distribuição de água foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 5 tratamentos e 4 repetições, foi utilizado o teste de F, a 5 % de significância. Para a realização da comparação das médias, foi utilizado o teste de Tukey a 5 % de

probabilidade através do programa estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físico-hídricas do solo

A análise de variância das propriedades físico-hídricas do solo, são apresentados na (Tabela 5). Verifica-se que para D_s, D_p e PT não houve diferença significativa considerando-se as quatro profundidades avaliadas.

Tabela 5 - Estimativa dos quadrados médios (QM) das análises de variância, para quatro variáveis relacionadas às características físicas do solo, em quatro níveis de profundidade, em um pivô central no município de Silvânia - GO.

FV	GL	Quadrado Médio das Variáveis Analisadas			
		D _s	D _p	U ^(a)	PT
Profundidade	3	0,027 ^{ns}	0,007 ^{ns}	72,179 [*]	42,198 ^{ns}

**AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E
UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
POR PIVÔ CENTRAL**

Resíduo	12	0,008 ^{ns}	0,022 ^{ns}	11,016*	45,330 ^{ns}
Total	15	0,191	0,287	348,741	670,559
Médias	-	1,393	2,344	22,838	39,780
CV (%)	-	6,700	6,320	14,770	16,810

*significativo a 5% de probabilidade; ^{ns}: não significativo a 5% de probabilidade. U ^(a) Umidade gravimétrica (%); Ds: Densidade do solo (g cm⁻³); Dp: Densidade das partículas (g cm⁻³); PT: Porosidade total (%).

A umidade do solo apresentou diferença significativa para as diferentes profundidades. Dois fatores principais podem ter contribuído para a maior umidade na camada superficial do solo que seria: a maior infiltração de água no solo, decorrente da não-formação de selamento superficial (DEXTER, 1988) e a menor evaporação de água, decorrente da cobertura do solo por resíduos (SALTON e MIELNICZUK, 1995).

Observando as propriedades físico-hídricas do solo (Tabela 6), observa-se que as médias da Ds e Dp encontram-se dentro dos intervalos encontrados em solos de textura franca. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Albuquerque et al. (1995) e Bertol et al. (2000), mas discordam dos apresentados por Abrão et al. (1979), que verificaram maior densidade do solo em subsuperfície sob plantio direto.

Tabela 6 - Médias e respectivas diferenças, para quatro variáveis relacionadas às características físicas do solo para quatro níveis de profundidade em um pivô central no município de Silvânia - GO.

Profundidade (cm)	Ds ^(a)	Dp	U	PT
0 – 10	1,310 a	2,272 a	27,759 a	42,390 a
10 – 20	1,365 a	2,326 a	24,343 ab	41,330 a
20 – 30	1,420 a	2,410 a	21,333 b	38,230 a
30 – 40	1,495 a	2,361 a	19,265 b	36,375 a
Médias	1,393	2,344	22,838	39,780

As médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a nível de 5% de significância.

^(a) Ds: Densidade do solo (g cm⁻³); Dp: Densidade das partículas (g cm⁻³); U: Umidade gravimétrica (%); PT: Porosidade total (%).

A partir dos dados coletados em campo, elaborou-se um gráfico de Infiltração acumulada (Ia) e de Velocidade de Infiltração

da água no solo (VI), nos respectivos pontos: Vão em balanço, Vão 6, Vão 4, Vão 2 do pivô central (Figura 3).

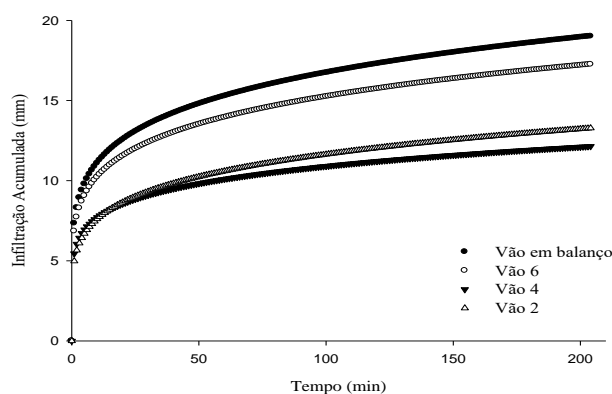


Figura 3 - Infiltração acumulada da água no solo, em mm, em quatro vãos de um pivô central, determinada através do método do infiltrômetro de duplo anel.

A infiltração da água no solo observada em todos os vãos, demonstra que as maiores taxas obtidas de infiltração, após a estabilização, ocorreram no Vão em Balanço e Vão 6, apresentando em média valores de 12 mm h^{-1} nestes vãos. Para os vãos 4 e 2, as taxas de infiltração foram menores, com valores de 8 mm h^{-1} em média, para ambos.

Na Figura 4 verifica-se que os valores de velocidade de infiltração foram maiores para o Vão em Balanço e Vão 6, respectivamente.

Ainda na Figura 04 observou-se uma velocidade inicial de infiltração da água no solo, para cada um dos vãos, sendo: Vão em Balanço de 79 mm h^{-1} , Vão 6 de 71 mm h^{-1} , Vão 4 de 49 mm h^{-1} e Vão 2 de 55 mm h^{-1} . Gradativamente os valores de velocidade de infiltração foram diminuindo no decorrer do tempo até alcançar um valor constante de aproximadamente 2 mm h^{-1} , em todos os vãos estudados, sendo então este o valor denominado de VIB.

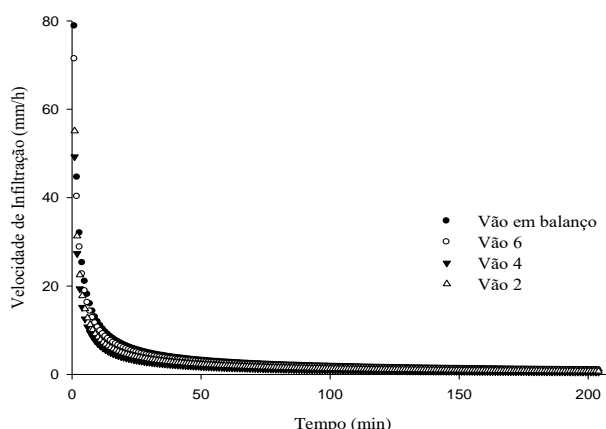


Figura 4 – Velocidade de Infiltração da água no solo, em mm.h^{-1} , em quatro vãos de um pivô central determinada através do método do infiltrômetro de duplo anel.

Conforme Bernardo et al. (2008), o solo pode ser classificado de acordo com a sua velocidade de infiltração básica em: $> 30 \text{ mm h}^{-1}$ (VIB muito alta), de $15 - 30 \text{ mm h}^{-1}$ (VIB alta), de $5 - 15 \text{ mm h}^{-1}$ (VIB média) e $< 5 \text{ mm h}^{-1}$ (VIB baixa). No presente estudo o solo foi classificado como de VIB baixa já que o valor médio encontrado para os quatro vãos foi inferior a 5 mm h^{-1} .

Uniformidade de distribuição de água

Pelo resultado da análise de variância pode-se constatar que os cinco tratamentos estudados (coeficientes de uniformidade de distribuição de água) em relação à porcentagem de uniformidade de distribuição de água, tiveram diferença significativa entre si (Tabela 7).

Tabela 7 – Estimativa do quadrado médio (QM) da análise de variância para cinco coeficientes de uniformidade de distribuição de água num pivô central no município de Silvânia – GO.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Fc	F
Tratamento	4	275,4936	68,8734	274,4560	0,0000*
Resíduo	15	3,7641	0,2509		
Total	19	279,2578			
CV (%) = 0,65		Média Geral (%) = 76,7615			

*significativo a 1% de probabilidade ($p < 0,01$).

Os valores médios dos coeficientes de uniformidade são apresentados na (Tabela 8)

verificou-se que houve diferença significativa a 1% de probabilidade.

**AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E
UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
POR PIVÔ CENTRAL**

Tabela 8 – Valores médios dos coeficientes de uniformidade de distribuição de água e classificação dos ensaios de uniformidade de lâminas de irrigação num pivô central no município de Silvânia – GO.

Tratamentos	Médias	Classificação
CUH*	81,20 a *	Bom
CUC	80,70 a	Bom
CUE	76,43 b	Razoável
CUD	73,50 c	Bom
CUA	71,97 d	Regular

*CUH (%): Coeficiente de uniformidade de Hart; CUC (%): Coeficiente de uniformidade de Christiansen; CUE (%): Coeficiente de uniformidade Estatístico; CUD (%): Coeficiente de uniformidade de Distribuição; CUA (%): Coeficiente de uniformidade Absoluta.

*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente, pelo teste de Tukey ($p < 0,01$).

Observou-se que os coeficientes de uniformidade CUH e CUC não diferiram significativamente, apresentando valores bem próximos, indicando que a lâmina aplicada pelo pivô tem distribuição normal. Segundo Coelho (1990), caso os valores coletados tenham uma distribuição normal, então o valor de CUC é igual ao valor de CUH. Rodrigues et al. (1997), realizaram uma pesquisa visando avaliar a sensibilidade de alguns coeficientes de uniformidade aos fatores operacionais, como por exemplo, o número de coletores, as lâminas coletadas nos pluviômetros, etc., concluíram que o CUC, proposto por Christiansen (1942), o CUH, proposto por Hart (1980) foram os coeficientes menos sensíveis a essas mudanças.

O valor médio encontrado para CUD foi de 73,50%, considerado bom, conforme a classificação proposta por Mantovani (2001), o fato de ser um valor menor quando comparado aos demais e ter uma classificação considerada como boa, pode ser devido ao critério de cálculo que considera apenas 25% da área que recebeu menos água.

Comparando-se os coeficientes calculados, verifica-se como o CUD é sensível às variações na distribuição de água de um sistema de irrigação, essa observação foi realizada por Souza et al. (2006) em avaliações de sistemas de irrigação por aspersão.

Para CUE encontrou-se um valor médio de 76,43%, considerado como regular por

Mantovani (2001), que assemelha-se aos estudos realizados por Paulino et al. (2009) onde ao analisar quatro diferentes métodos de coeficiente de uniformidade que utilizam o sistema de irrigação por aspersão encontraram resultados que se enquadravam na classificação como regular.

Para CUA encontrou-se um valor médio de 71,97% considerado como regular, conforme a classificação proposta por Bralts (1986), conforme a (Tabela 2), sendo o menor coeficiente encontrado. Este fato pode ter ocorrido devido o modelo considerar apenas 25% da área que recebeu menos água e 12,5% da área que recebeu mais água.

Rocha et al. (1999), trabalhando com o sistema de irrigação por aspersão e avaliando a uniformidade de aplicação de água utilizando diferentes equações, observaram, em três testes, que os valores calculados se apresentaram na seguinte ordem decrescente: CUC, CUH, CUE, CUD, respectivamente, muito semelhante aos valores encontrados nesse estudo que foram, CUH, CUC, CUE, CUD E CUA em ordem decrescente.

CONCLUSÕES

A velocidade de infiltração de água no solo da área experimental é classificada como baixa.

Os coeficientes de uniformidade, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen,

Coefficiente de Uniformidade de Hart e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição foram classificados como bons.

Os Coeficiente de Uniformidade Estatístico e o Coeficiente de Uniformidade Absoluta foram classificados como regulares.

Nenhum dos coeficientes de uniformidade encontrados apresentou-se na faixa de classificação como excelente, indicando a necessidade de identificação de problemas e realização de melhorias no funcionamento do pivô central.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRÃO, P. U. R.; GOEPFERT, C. F.; GUERRA, M.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.169-172, 1979.
- ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E.; RUEDELL, J. PETRERE, C. FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.115-119, 1995.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14244**: Equipamentos de irrigação mecanizada – Pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos – Determinação da uniformidade de distribuição de água. Rio de Janeiro, 1998.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUSA, V. F. **Manejo de Irrigação**. Águas do São Francisco, 2009. 36p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 611p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, Minas Gerais, 2008. 625p.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M.; REIS, E. F.; DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.1, p.91-95, 2000.
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p.216-240.
- BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. P.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa, Minas Gerais, Ed. UFV, 2009. 120 p.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. University of California, Berkeley 1942. 124p.
- COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H. DE; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: Parte II, Acúmulo de água sobre a superfície do terreno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.2, p.142-145. 2000.
- COELHO, R. D. **Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas**. 1990. 141 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.
- CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHUCKELY, D. G. **Methods for evaluation irrigation systems**. Washington, USDA, 1956. 24p.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil Tillage Research**. South Australia, v.11, p.199-238, 1988.

AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NO SOLO E
UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO
POR PIVÔ CENTRAL

DRUMOND, L. C. D. **Aplicação de água residuária de suinocultura por aspersão em malha**: desempenho hidráulico e produção de matéria seca de Tifton 85. 2003. 102 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Uniformidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Embrapa, Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

HART, W. E.; PERI, G.; NORUM, D. I. Optimal seasonal irrigation application analysis. **Journal of the Irrigation and Drainage Division of ASCE**, New York, v.106, n.3, p.221-235, 1980.

KARMELI, D.; KELLER, J. **Trickle Irrigation Design**. Glendora: Rain Bird Manufacturing Corporation, 1975. 132p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: princípios e métodos. 3 ed. Viçosa, Ed. UFV, 2009. 355p.
MANTOVANI, E. C. **Avalia**: Programa de Avaliação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

PAULINO, M. A. O.; FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; GUILHERME, D. O.; BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.3, n.2, p.48-54, 2009.

ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T.

Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p.154-160, 1999.

RODRIGUES, L. N.; MELLO, J. L. P.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Coeficientes de uniformidade: sensibilidade a mudanças nos fatores operacionais. **Irriga**, Botucatu. v.2, n.2, p.90-99, 1997.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.313-319, 1995.

SEPIN – **Superintendência de Estatística**, Pesquisa e Informação, 2009. Disponível em: <<http://www.seplan.gov.gov.br>>. Acesso em: 04 Mar. 2015.

SCHONS, R. L. **Avaliação de Parâmetros de Desempenho de Sistemas de Irrigação por Pivô Central Visando sua Otimização Operacional**. 2006. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

SIMEHGO. Disponível em: <<http://www.simehgo.sectec.gov.gov.br/simehgo/index.php>>. Acesso em: 19 Jun. 2015.

SOUZA, L. O. C.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A.; RAMOS, M. M.; FREITAS, P. S. L. Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.3, 2006.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, v.27, n.11, p.565-583, 1947.