

## ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO SOLO, APLICADA POR SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR MICROASPERSÃO<sup>1</sup>

WAGNER WALKER DE ALBUQUERQUE ALVES<sup>2</sup>, CARLOS ALBERTO VIEIRA DE AZEVEDO<sup>2\*</sup>, JOSÉ DANTAS NETO<sup>2</sup>, JOSÉ DE ARIMATÉA DE MATOS<sup>3</sup>, SILVANETE SEVERINO DA SILVA<sup>3</sup>

**RESUMO** - Esta pesquisa realizou uma avaliação da distribuição de água na superfície do solo e em seu perfil, em uma subunidade irrigada por microaspersão cultivada com graviola (*Annona muricata* L.), com a finalidade de verificar a distribuição espacial e a quantificação da disponibilidade de água no perfil do solo. Os dados foram coletados em 28 pontos de emissão espaçados 10 x 24 m, formando uma malha para aplicação da geoestatística. Na avaliação superficial foram determinados o coeficiente de uniformidade de emissão e a eficiência de irrigação, enquanto na avaliação subsuperficial foi estimada a disponibilidade de água em três camadas do perfil do solo, 0-20, 20-40 e 40-60 cm, uma e vinte e quatro horas após a irrigação, utilizando-se de uma sonda de nêutrons. O coeficiente de uniformidade de irrigação encontrado foi de 84,69% com uma eficiência de irrigação de 76,22%. Constatou-se que vinte e quatro horas após a irrigação o conteúdo de água nas camadas mais superficiais do perfil do solo está abaixo do correspondente ao ponto de murcha, enquanto nas camadas mais profundas o conteúdo de água supera a capacidade máxima de retenção de água do solo, ou seja, umidade superior à capacidade de campo.

**Palavras-chave:** Variabilidade espacial. Irrigação. Disponibilidade de água.

## GEOSTATISTICAL ANALYSES OF THE WATER DISTRIBUTION INTO THE SOIL APPLIED BY MICROSPRINKLE IRRIGATION SYSTEM

**ABSTRACT** - This research performed an evaluation of the water distribution on the soil surface and in its profile in a subunit irrigated by microsprinkle cultivated with *Annona muricata* L., with the purpose of verifying the spatial distribution and quantification of the water availability in the soil profile. The data were collected in 28 spaced emission points of 10 x 24 m, forming a mesh for application of the geostatistics. In the surface evaluation it was determined the coefficient of emission uniformity and the irrigation efficiency, while in the subsurface evaluation the water availability was esteemed in three layers of the soil profile, 0-20, 20-40 and 40-60 cm, one and twenty-four hours after the irrigation, using a neutrons probe. The coefficient of irrigation uniformity found was of 84.69% with an irrigation efficiency of 76.22%. It was verified that, twenty-four hours after irrigation, the water content in the most superficial layers of the soil profile is below the correspondent to the wilting point, while in the deepest layers the water content overcomes the maximum capacity of soil water retention, in other words, humidity superior to field capacity.

**Keywords:** Spatial variability. Irrigation. Water availability.

---

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 18/12/2009; aceito em 04/11/2010.

Trabalho de Dissertação de Mestrado apresentado à UFCG pelo primeiro autor.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Agrícola, UFCG, 58429-170, Campina Grande - PB; wagnerwaa@gmail.com; cazevedo@deag.ufcg.edu.br; zedantas@deag.ufcg.edu.br

<sup>3</sup>Departamento de Ciências Ambientais, UFRSA, 59625-900, Mossoró - RN; jamatos@ufersa.edu.br; silvanete.h@hotmail.com

## INTRODUÇÃO

De acordo com Bernardo et al. (2008), um dos principais parâmetros para avaliação de um sistema de irrigação é a uniformidade de aplicação de água na superfície da área irrigada. A uniformidade tem impacto na eficiência dos sistemas de irrigação, a qual está relacionada com a quantidade de água necessária ao desenvolvimento e ao rendimento de determinada cultura (RESENDE et al., 2000).

Segundo Cunha et al. (2008), a uniformidade de aplicação tem efeito no rendimento das culturas e é de fundamental importância na economia do projeto, em qualquer sistema de irrigação. De acordo com Santos et al. (2009) a uniformidade de aplicação descreve a regularidade com que um sistema de irrigação distribui a água em determinada área.

Deve-se considerar, conforme enfatizado por Frizzone et al. (2007), que a uniformidade do teor de água no perfil do solo e a produtividade das culturas irrigadas são bastante dependentes da uniformidade com que a água é aplicada na superfície do solo. A utilização de sistemas de irrigação mais eficientes é uma busca constante na agricultura irrigada, pois existe tendência de aumento no custo da energia e de redução da disponibilidade hídrica dos mananciais (BARRETO FILHO et al., 2000).

Áreas irrigadas que apresentam baixa uniformidade de aplicação de água favorecerão o desenvolvimento desuniforme das plantas cultivadas, pois algumas receberão mais água que outras. Segundo Paulino et al. (2009), este fato está relacionado ao excesso de água no solo, que provoca a lixiviação de nutrientes, a redução na concentração de oxigênio disponível para as raízes, o aumento na incidência de pragas e doenças, enquanto a escassez de água aumenta os riscos de salinização do solo e inibe o potencial produtivo da planta.

A uniformidade da aplicação de água por um sistema de irrigação localizada pode ser melhorada se a redistribuição de água no perfil do solo for considerada. Para isto, é oportuno descrever a distribuição espacial do armazenamento de água no solo, uma vez que, mesmo em um solo considerado homogêneo, a variabilidade nas propriedades físico-hídricas pode ser grande. Uma análise exploratória adequada dos dados constitui o ponto de partida para observar o comportamento das variáveis de interesse, o que pode ser feito por meio de técnicas estatísticas descritivas gerais e espaciais. Esta análise servirá de base para orientar na decisão de se assumir algum tipo de correlação espacial dos dados, o que é de fundamental importância nas análises geoestatísticas (QUEIROZ et al., 1997).

Segundo Reis et al. (2005), a melhoria da uniformidade de água aplicada pode ser obtida através da adoção de práticas de manejo, como limpeza periódica mais criteriosa do sistema de filtragem, possibilitando maior pressão nos pontos de emissão,

assim como desentupimento dos gotejadores e limpeza das tubulações laterais.

De acordo com Albuquerque (2000), o dimensionamento do sistema de irrigação deve ser realizado observando-se critérios hidráulico, físico-biológico, climatológico e econômico. Para que a uniformidade seja a máxima possível, os equipamentos de irrigação devem, também na medida do possível, funcionar nas faixas de vazão e pressão para os quais foram dimensionados.

O objetivo do trabalho foi avaliar a aplicação de água na superfície do solo e sua redistribuição no perfil do solo mediante a utilização de técnicas geoestatísticas, como ferramenta, visando a uma avaliação melhor em relação aos procedimentos usualmente empregados.

## MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em área cultivada com graviola, localizada em uma propriedade do sertão paraibano na região da cidade de Sousa, cujo clima é do tipo BSh, ou seja, semiárido quente. A temperatura média do ar anual é de 27,8 °C, com precipitação média anual de 894 mm, concentrada nos meses de janeiro a maio. A umidade relativa média do ar é de 58% e a velocidade média do vento é de 2,5 m s<sup>-1</sup>.

A subunidade de irrigação localizada era de 4.320 m<sup>2</sup> possuindo 168 pontos de emissão com um microaspersor por planta, da marca EINDOR modelo 861, com o espaçamento entre plantas de 6,0 x 5,0 m e tubulações de derivação de PVC de 144 m que davam origem às tubulações laterais de polietileno de 30 m de comprimento. Para o presente estudo foram escolhidos 28 pontos de emissão de água, com espaçamento de 10 x 24 m, formando uma malha retangular de 4 x 7 m, onde foram coletados os valores de vazão e a pressão dos microaspersores que estavam na subunidade há dois anos, utilizando-se proveta, cronômetro e manômetro digital. O tempo de coleta de água foi de 30 segundos, com três repetições para cada microaspersor. Visando à avaliação da distribuição da água na superfície do solo, determinou-se a uniformidade de emissão, segundo as metodologias de Merriam e Keller (1978) e ASAE (1996).

Para a avaliação da redistribuição da água no perfil do solo foram utilizados os mesmos pontos de emissão d'água acima descritos, onde se instalaram-se 28 tubos de PVC com 80 mm de diâmetro e 80 cm de comprimento, distando 50 cm da planta e do emissor, servindo de acesso para uma sonda de nêutrons, a qual foi usada para determinação da umidade volumétrica do solo, calibrada em relação à umidade do solo definida pelo método gravimétrico, tomando-se medições em dez pontos e se obtendo, assim, a curva de calibração. As leituras do conteúdo de água no perfil do solo nas camadas de 0-20 cm, 20-40 cm e

40-60 cm, foram realizadas uma e vinte e quatro horas após a aplicação de água na superfície do solo.

Os dados do conteúdo de água no perfil do solo foram monitorados durante quatro meses e interpretados com a estatística descritiva e espacial (geoestatística). Com a finalidade de verificar a aderência dos dados à distribuição normal, aplicou-se o teste de KOMOLGOROV-SMINOV, a nível de 1% de probabilidade, o qual consiste, segundo Costa Neto (1997), no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normal reduzida e as probabilidades acumuladas dos dados experimentais. Se o valor calculado em módulo for menor que o tabelado, a distribuição experimental é aceita como aderente à distribuição normal. Para um número de amostras ( $n$ ) maior que 50, calcula-se a diferença máxima admitida entre a curva experimental e a teórica (KS), através da Equação 1.

$$KS = \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{p}{2}\right)}{2n}} \quad (1)$$

em que:

- p - nível de significância escolhido
- n - número de dados amostrados

A eventual existência da estrutura espacial e sua caracterização foram verificadas a partir da análise dos semivariogramas para o conteúdo de água no perfil do solo, que foram calculados a partir das pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca. A função semivariância foi calculada através da Equação 2 (JOURNAL; HUIJBREGTS, 1978):

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N_i(h)} \sum_{j=1}^{N_i(h)} [z(s_i) - z(s_i + h)]^2 \quad (2)$$

em que:

$N_i(h)$  é o número de pares de valores medidos  $Z(s_i)$  e  $Z(s_i + h)$  separados por uma distância  $h$ , informando quão diferentes se tornam os valores em função de  $h$  (COUTO et al., 2000).

O semivariograma foi representado pelo gráfico de  $\gamma^*(h)$  versus  $h$ . Para variáveis com dependência espacial espera-se que o semivariograma comece com um baixo valor, denominado efeito pepita ( $C_0$ ) e seja crescente com a distância, até um valor denominado alcance ( $a$ ), correspondente ao limite da dependência espacial. A partir do alcance, a variável se apresenta espacialmente dependente e a semivariância tende a se estabilizar em torno de um valor denominado patamar ( $C+C_0$ ), em que  $C$  é a componente estrutural. Para se analisar o grau de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a classi-

ficação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm efeito pepita  $\leq 25\%$  do patamar, de dependência espacial moderada quando o efeito pepita está entre 25% a 75% e de dependência espacial fraca, quando o efeito pepita é  $>75\%$ .

Os semivariogramas foram ajustados a modelos matemáticos, cuja decisão pelo melhor modelo e respectivos coeficientes, foi tomada com base no maior coeficiente de determinação  $R^2$  e menor resíduo. Os semivariogramas foram confeccionados na direção da coordenada  $x$ , ou seja, direção da tubulação de derivação. Assim sendo, os semivariogramas em estudo são do tipo unidirecional (GUERRA, 1988).

Fez-se a interpolação dos dados através da krigagem, assim denominada por Matheron (1962). Segundo Vieira e Lombardi Neto (1995), a estimativa de valores medidos, considerando que a mesma deva ser uma combinação linear dos valores observados, foi feita pela Equação 3.

$$Z^*(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (3)$$

em que:

- $Z(s_i)$  - valor medido na posição  $s_i$
- $\lambda_i$  - peso associado ao valor medido na posição  $s_i$
- $N$  - número de valores medidos usados na estimativa do valor  $Z^*(s_0)$

Os mapas de isolinhas foram elaborados de acordo com Souza et al. (2000), utilizando-se as informações provenientes dos semivariogramas durante o processo de krigagem, na interpolação dos dados.

Na ocasião em que o experimento foi instalado, coletaram-se amostras com estrutura deformada ao longo do perfil do solo, objetivando-se a determinação de características relevantes para o desenvolvimento da pesquisa. As amostras foram coletadas nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, cujos dados de análise estão apresentados na Tabela 1. As curvas de retenção de água no solo foram determinadas utilizando-se uma câmara de pressão e se submetendo o solo nas tensões de 0,01 MPa; 0,033 MPa; 0,05 MPa; 0,1 MPa; 0,5 MPa; 0,8 MPa e 1,5 MPa, para fins de determinação da tensão em relação à lâmina de água no solo; as tensões relativas à capacidade de campo (CC) e ao ponto de murcha (PM), foram, respectivamente, 0,033 e 1,5 MPa.

**Tabela 1.** Resultados das análises físico-hídricas do solo da subunidade de irrigação avaliada.

Camada (cm)	0-20	20-40	40-60
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	381,0	507,8	635,7
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	348,5	253,9	159,4
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	270,5	238,3	204,9
Densidade real (g cm <sup>-3</sup> )	2,57	2,69	2,76
Densidade aparente (g cm <sup>-3</sup> )	1,27	1,30	1,31
Porosidade total (%)	50,58	51,67	52,53
CC (0,033 MPa) mm	54,87	46,04	27,52
PM (1,5 MPa) mm	25,10	20,81	10,26
Água Disponível (mm)	29,77	25,23	17,26
Classificação Textural	Franco-Argilosa	Franco-Argilo-Arenosa	Franco-Argilo-Arenosa

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Encontrou-se, quando da avaliação da distribuição da água na superfície do solo, um coeficiente de uniformidade de irrigação de 84,69%, além de uma eficiência de aplicação de 76,22%. Os resultados referentes à análise descritiva para os dados de vazão e pressão são apresentados na Tabela 2. A variação de vazão verificada nos 28 microaspersores avaliados em condições reais de campo, foi de 36,3% com valores máximo e mínimo de 40 e 25 L h<sup>-1</sup>, respectivamente, apresentando um coeficiente de variação de 11,39% e uma vazão média de 32,93 L h<sup>-1</sup>.

Na subunidade de irrigação avaliada houve variação de pressão de 28,2%, constatando-se pressão média de 112 kPa, máxima de 131 kPa e mínima de 94 kPa, muito abaixo do exigido de 200 kPa para uma vazão no emissor de 35 L h<sup>-1</sup>, considerando-se que a pressão influencia diretamente no diâmetro médio das gotas d'água ao qual estão relacionadas as perdas por evaporação e arrastamento pelo vento. Ressalta-se, também, a influência da pressão no raio de alcance do jato d'água que, de certa forma, define a maior ou menor intensidade de precipitação (RODRIGUES et al., 2001).

Os dados mostram que a grande parte das maiores frequências se concentra perto da média, com valores máximo e mínimo de pressão influenciando a distribuição normal dos dados, a nível de 1% de probabilidade pelo teste de KOMOGOROV-SMINOV (KS). Com base nisto, as médias aritméticas de vazão e pressão podem ser usadas para inferir sobre a variabilidade das amostras.

Os resultados da variabilidade espacial da disponibilidade de água nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade da superfície do solo, são apresentados na Tabela 3.

Na camada de 0-20 cm, uma hora após a irrigação, o conteúdo máximo de água no solo foi 56,3 mm e o mínimo 23,2 mm. Constatou-se que, mesmo depois da irrigação, houve pontos que não atingiram uma lâmina aceitável de disponibilidade de água para a cultura, ficando abaixo dos 25,10 mm referentes ao ponto de murcha. A média das lâminas na camada de 0-20 cm, uma hora após a irrigação, foi de 40,06 mm; verifica-se, portanto, que a média pode ser usada como valor representativo da área, para se inferir sobre a variabilidade das amostras cujo valor está na faixa de água disponível para as plantas.

O conteúdo médio de água 24 horas após a irrigação na camada de 0-20 cm foi de 34,94 mm diminuindo em média 5,12 mm em 24 horas; a variação do conteúdo de água é mostrada pelos valores máximo de 51,8 mm e mínimo de 17,5 mm. O coeficiente de variação (CV) foi de 21% e 26%, respectivamente, uma e vinte e quatro horas após a irrigação, sendo este aumento, no coeficiente de variação 24 horas após a aplicação de água, justificado pela redistribuição da água no perfil do solo. A proximidade dos valores entre média e mediana sugere aderência dos dados à distribuição normal. O teste de KOLMOGOROV-SMIRNOV (KS), a nível de 1% de significância, confirma este comportamento para valores das lâminas de água no solo na camada de 0-20 cm, uma e vinte e quatro horas após a irrigação.

Na camada de 20-40 cm, os valores máximo e mínimo foram 60,31 e 20,91 mm, uma hora após a irrigação, com média de 42,20 mm. Para 24 horas após a irrigação, o conteúdo médio de água no solo é 38,63 mm, 3,57 mm menor que o valor uma hora após a irrigação estando, assim, o conteúdo de água no solo satisfatório para uma produção da cultura de graviola sem perdas, no que se refere à disponibilidade de água no solo.

Verifica-se, na Tabela 3, que em todas as camadas do perfil do solo estudadas a disponibilidade

**Tabela 2.** Estatística descritiva e teste de KOMOGOROV-SMINOV (KS), para os dados amostrados.

Parâmetros	Vazão (L h <sup>-1</sup> )	Pressão (kPa)
Média	32,93	112
Mediana	34,0	115
Desvio Padrão	3,7	10
Coefficiente de Variação (%)	11,39	8,76
Variância	14,07	95,84
Mínimo	25,00	94
Máximo	40,00	131
Teste KS	0,257**	0,133**

\*\* significativo a 1% de probabilidade no teste F

**Tabela 3.** Valores médios estimados do conteúdo de água nas camadas 0-20, 20-40 e 40-60 cm do solo, uma e vinte e quatro horas após a irrigação.

Camada	0-20 cm		0-40 cm		40-60 cm	
	1 hora	24 horas	1 hora	24 horas	1 hora	24 horas
Parâmetros						
Média (mm)	40,0	34,9	42,2	38,6	46,1	42,8
Mediana (mm)	38,8	34,9	39,8	37,7	44,4	41,9
Variância	71,3	83,0	100	107,2	158	172,5
Desvio Padrão	8,4	9,1	10,0	10,3	12,6	13,1
Coefficiente de Variação %	21,0	26,0	23,7	26,8	27,3	30,6
Mínimo (mm)	23,2	17,5	26,7	20,9	25,9	22,8
Máximo (mm)	56,3	51,8	63,2	60,3	72,3	69,9
Teste KS	0,131**	0,09**	0,23**	0,20**	0,25**	0,14**

\*\*Significativo a nível de 1% de probabilidade no teste F.

de de água uma hora após a irrigação aumenta e os coeficientes de variação diminuem; apenas na camada de 40-60 cm o conteúdo médio de água no solo, tanto uma hora como vinte e quatro horas após a irrigação, foi maior que o valor correspondente à capacidade de campo, de 27,52 mm, com mínimo de 22,8 mm, estando esta camada, portanto, com excesso de umidade.

A Tabela 4 mostra os parâmetros da geoestatística para as disponibilidades de água nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, uma e vinte e quatro horas após a irrigação. Observa-se, para todas as camadas do perfil do solo, que os modelos foram lineares, o efeito pepita variou de 37,13 a 122 e ocorreu uma variação de 89,27 a 146,86 para o patamar; nota-se que o alcance na camada de 20-40 cm, uma hora após a irrigação, foi de 98,9 m. A razão entre o efeito pepita e o patamar, mostra um grau de dependência espacial de 40,7% classificado moderado, de acordo com Cambardella et al. (1994), sendo justificado por ser o sistema de irrigação localizada dependente de componentes hidráulicos. A aleatoriedade se mostra muito significativa para todas as camadas, uma e vinte e quatro horas após a irrigação.

Observam-se, na Figura 1A, os semivariogramas da disponibilidade de água, na camada de 0-20 cm, uma hora após a irrigação; verifica-se que o melhor ajuste foi com o modelo linear. O efeito pepita foi 37,13 mm, patamar 89,27 mm e o alcance 98,9

m. A dependência espacial moderada de 41,6%, é justificada por se tratar de uma lâmina de água aplicada por um sistema de irrigação localizada, portanto, uma eficiência de aplicação de 76,22%, consequentemente com variações na sua uniformidade.

Na mesma camada de solo, de 0-20 cm 24 horas após a irrigação (Figura 1B), o efeito pepita ficou em 42,3 mm; já o patamar sugere que a variância dos dados onde atingiria a estabilidade, é de 103,8 mm; desta maneira, o valor do alcance do conteúdo de água do solo, na camada de 0-20 cm, possui dependência de 98,90 m e garante que todos os valores vizinhos situados na malha, são semelhantes, podendo ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre essa distância. Vieira e Lombardi Neto (1995) confirmam que o alcance de dependência espacial também é importante no estudo do semivariograma, significando a distância máxima que em uma variável está correlacionada espacialmente, considerando-se para esse estudo, que os pontos de amostragem foram nos pontos de emissão de água.

Na camada de 20-40 cm uma hora após a irrigação (Figura 1C), o modelo foi linear, com efeito pepita de 65,7 mm, patamar de 111 mm e alcance permanecendo em 98,9 m, a dependência espacial de 38,8%, classificada moderada, e o grau de aleatoriedade muito significativo em 0,63.

O semivariograma, a seguir, da disponibilidade de água 24 horas após a irrigação na camada de 20-40 cm (Figura 1D) teve um ajuste melhor com o

**Tabela 4.** Parâmetros dos semivariogramas para a disponibilidade de água no solo, uma e vinte e quatro horas após a irrigação, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

Parâmetros		Efeito pepita	Patamar	Alcance	Dependência espacial %	Aleatoriedade
Variáveis	Modelo	Co	Co+C	a	$(Co/(Co+C)).100$	$E=(Co/C)$
0-20 cm 1 h	Linear	37,13	89,27	98,9 m	41,6 md	0,71 ms
0-20 cm 24 h	Linear	42,29	103,83	98,9 m	40,7 md	0,68 ms
20-40 cm 1 h	Linear	65,7	111,00	98,9 m	59,1 md	1,45 ms
20-40 cm 24 h	Linear	71,61	115,14	98,9 m	62,2 md	1,64 ms
40-60 cm 1 h	Linear	114,04	135,50	98,9 m	84,1 f	5,31 ms
40-60 cm 24 h	Linear	122,49	146,86	98,9 m	83,4 f	5,02 ms

m – metro; md - moderada; f - fraca; ms - muito significativa; Co – efeito pepita; C – efeito espacial; E – aleatoriedade.

modelo linear, efeito pepita de 71,6 mm, patamar de 115,0 mm, alcance permanecendo em 98,9 m, com dependência espacial moderada de 62,2% e o grau de aleatoriedade muito significativo de 1,64, de acordo com Guerra (1988).

No semivariograma para as lâminas na camada de 40-60 cm uma hora após a irrigação (Figura 1E), o modelo que melhor se ajustou foi o linear, com os valores de efeito pepita e patamar de 114,0 e 135,5 mm, respectivamente, enquanto o alcance foi 98,9. Para esta camada a dependência espacial foi fraca, diminuindo assim a contribuição do sistema de irrigação para o conteúdo de água.

Na camada de 40-60 cm 24 após a irrigação (Figura 1F), o modelo continuou sendo o linear, com uma variabilidade maior não explicada, efeito pepita de 122,5 mm, patamar de 146,8 mm e um alcance de 98,90 m. A dependência espacial permaneceu fraca e a aleatoriedade muito significativa, sendo justificada pela variabilidade da distribuição de água e pelas características do solo.

Na mesma camada de solo, de 0-20 cm 24 horas após a irrigação (Figura 1B), o efeito pepita ficou em 42,3 mm; já o patamar sugere que a variância dos dados onde atingiria a estabilidade, é de 103,8 mm; desta maneira, o valor do alcance do conteúdo de água do solo, na camada de 0-20 cm, possui dependência de 98,90 m e garante que todos os valores vizinhos situados na malha, são semelhantes, podendo ser usados para estimar valores para qualquer ponto entre essa distância. Vieira e Lombardi Neto (1995) confirmam que o alcance de dependência espacial também é importante no estudo do semivariograma, significando a distância máxima que em uma variável está correlacionada espacialmente, considerando-se para esse estudo, que os pontos de amostragem foram nos pontos de emissão de água.

Na camada de 20-40 cm uma hora após a irrigação (Figura 1C), o modelo foi linear, com efeito pepita de 65,7 mm, patamar de 111 mm e alcance permanecendo em 98,9 m, a dependência espacial de 38,8%, classificada moderada, e o grau de aleatoriedade muito significativo em 0,63.

O semivariograma, a seguir, da disponibilidade de água 24 horas após a irrigação na camada de 20-40 cm (Figura 1D) teve um ajuste melhor com o modelo linear, efeito pepita de 71,6 mm, patamar de 115,0 mm, alcance permanecendo em 98,9 m, com

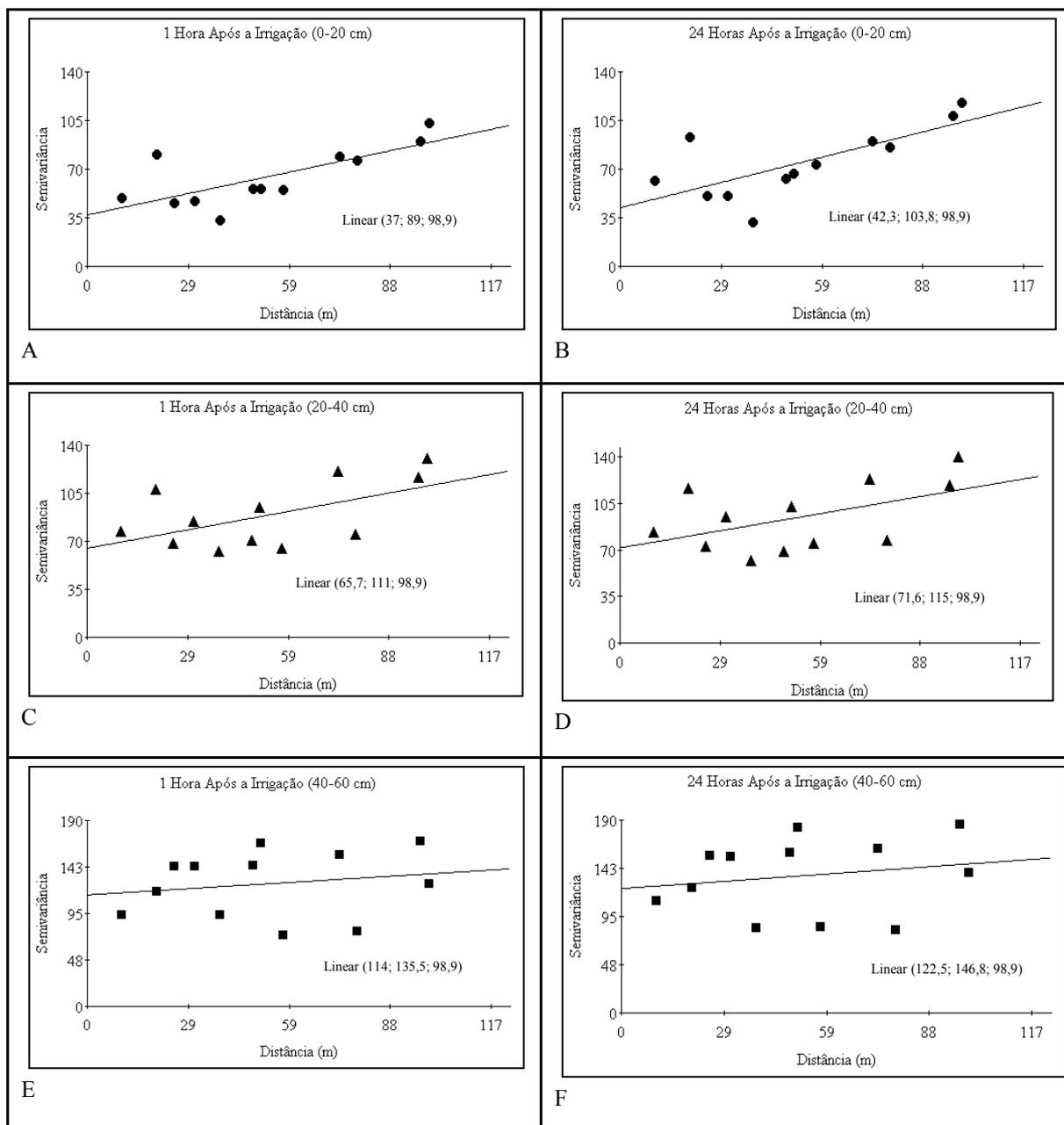
dependência espacial moderada de 62,2% e o grau de aleatoriedade muito significativo de 1,64, de acordo com Guerra (1988).

No semivariograma para as lâminas na camada de 40-60 cm uma hora após a irrigação (Figura 1E), o modelo que melhor se ajustou foi o linear, com os valores de efeito pepita e patamar de 114,0 e 135,5 mm, respectivamente, enquanto o alcance foi 98,9. Para esta camada a dependência espacial foi fraca, diminuindo assim a contribuição do sistema de irrigação para o conteúdo de água.

Na camada de 40-60 cm 24 após a irrigação (Figura 1F), o modelo continuou sendo o linear, com uma variabilidade maior não explicada, efeito pepita de 122,5 mm, patamar de 146,8 mm e um alcance de 98,90 m. A dependência espacial permaneceu fraca e a aleatoriedade muito significativa, sendo justificada pela variabilidade da distribuição de água e pelas características do solo.

Os mapas de isolinhas do conteúdo de água no solo uma e vinte e quatro horas após a irrigação, para a camada de 0-20 cm, são mostrados na Figura 2. Observa-se que uma hora após a irrigação o mapa de isolinhas (Figura 2A), mostra diminuição na variabilidade da umidade, e lâmina máxima de 52 mm no início da área, uma média em toda a subunidade de 40,06 mm e, no final da tubulação de derivação, uma diminuição da lâmina aplicada, chegando a 10% a menos do valor mínimo permitido (conteúdo de umidade no ponto de murcha igual a 25,10 mm). No entanto, 24 horas após a irrigação (Figura 2B), existe uma grande variação do conteúdo de água na camada de 0-20 cm do perfil do solo em toda a área, com valor máximo de 46 mm. O conteúdo de água foi maior no início da tubulação secundária diminuindo gradativamente com o aumento da distância chegando, ao final da área, com lâminas menores que a mínima permitida para o ponto de murcha (25,1 mm).

Essa variabilidade da disponibilidade de água, tanto uma como vinte e quatro horas após as irrigações ao longo da tubulação de derivação, é explicada pela variação na aplicação de água pelos microaspersores e frequentemente pode ser atribuída à variabilidade espacial na capacidade do solo, em reter água. É possível notar que até três amostragens ao acaso não seriam suficientes, em virtude de não se identificar com exatidão trechos da área cultivada



**Figura 1.** Semivariogramas do conteúdo de água no perfil do solo nas camadas de 0–20, 20–40 e 40–60 cm, uma hora (A, C e E) e 24 horas (B, D e F) após a irrigação, mostrando os modelos ajustados aos dados, em função da distância.

com déficit ou com excesso de água, pois se teriam variações ou não, dependendo do local amostrado.

No mapa de isolinhas para a camada de 20–40 cm uma hora após a irrigação (Figura 3A), observa-se que do início para o meio da tubulação de derivação está praticamente uniforme com uma lâmina média de 42,2 mm.

Decorridos 24 horas após a irrigação e de acordo com o mapa de isolinhas (Figura 3B), verifica-se que os maiores conteúdos de água estão do início até 120 m da tubulação de derivação, com variabilidade maior do que no final da área, quando se constata diminuição no conteúdo de água no solo, indicada pela tonalidade mais escura da escala de cinza; o valor mínimo de 20,9 mm está no limite de

água não mais disponível para as plantas que, para esta camada, é de 20,81 mm para o ponto de murcha.

Para a camada de 40–60 cm uma hora depois da aplicação de água (Figura 4A), é possível verificar lâminas maiores no início, com valor médio de 46,11 mm estando, assim, esta camada, com excesso de água, evidenciado pela própria textura com teor de areia de 635,7g kg<sup>-1</sup> de solo (Tabela 1).

Na camada de 40–60 cm 24 horas após a irrigação verifica-se, através do mapa de isolinhas (Figura 4B), que o maior conteúdo de água se encontra no início da tubulação de derivação e no meio da subunidade de irrigação até uma distância de 120 m do início, com valor médio em torno de 42,87 mm; percebe-se que as menores lâminas se encontram no

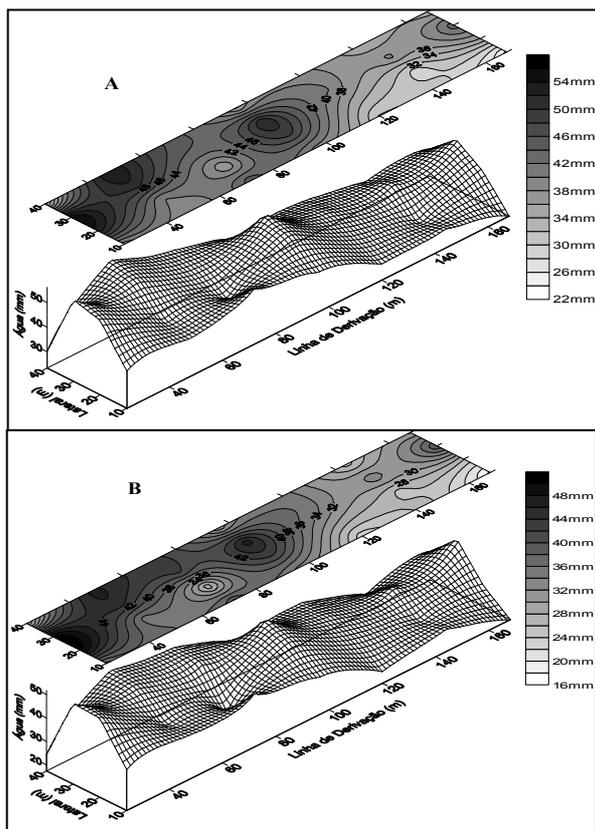


Figura 2. Mapa de isolinhas para as lâminas de água no solo na camada de 0-20 cm, uma hora após a irrigação (Figura 2A) e vinte e quatro horas após a irrigação (Figura 2B).

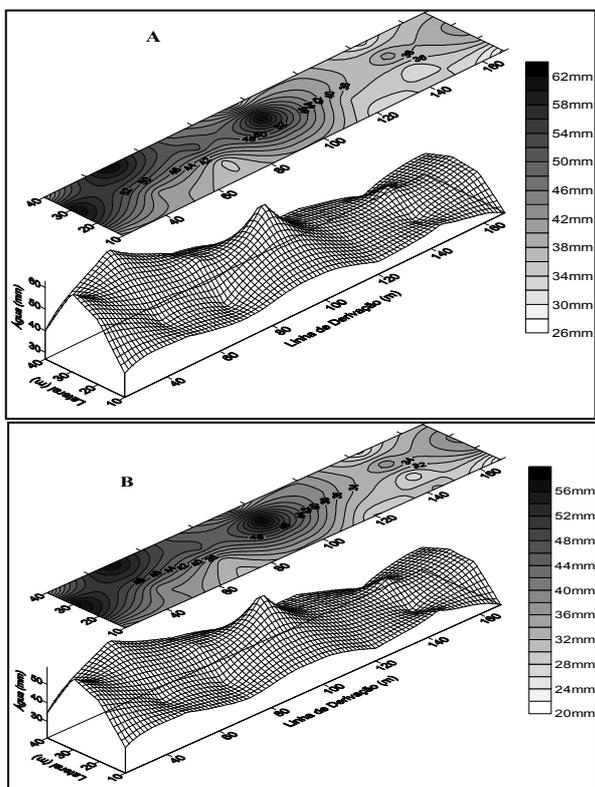


Figura 3. Mapa de isolinhas da disponibilidade de água no solo na camada de 20-40 cm uma (Figura 3A) e vinte e quatro horas (Figura 3B) após a irrigação.

final da área, com valor mínimo de 22,80 mm e que mesmo 24 horas após a irrigação o solo se encontra com uma umidade adequada para o bom desenvolvimento da cultura de graviola

## CONCLUSÃO

Constata-se que, vinte e quatro horas após a irrigação, o conteúdo de água nas camadas mais superficiais do perfil do solo está abaixo do correspondente ao ponto de murcha, enquanto nas camadas mais profundas este conteúdo supera a capacidade máxima de retenção de água do solo, ou seja, umidade superior à capacidade de campo.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P. E. P. **Requerimento de água das culturas para fins de manejo e dimensionamento de sistemas de irrigação localizada**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2000. 54 p. (Circular Técnica, 1).

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Field evaluation of microirrigation systems. In: ASAE. **Standard engineering practices data**: EP 458. St. Joseph: ASAE, 1996. p. 792-797.

BARRETO FILHO, A. A. et al. Desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão, instalado a nível de campo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 309-314, 2000.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2008. 625 p.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa Soils. **Journal of Soil Science Society of America**, v. 58, n. 4, p. 1240-1248, 1994.

COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 15. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 468 p.

COUTO, E. G.; KLAMT, E.; STEIN A. Estimativa do teor de argila e do potássio trocável em solos esparsamente amostrados no sul do Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 129-139, 2000.

CUNHA, F. F. et al. Manejo de micro-irrigação baseado em avaliação do sistema na cultura do meloeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 3, p. 147-155, 2008.

FRIZZONE, J. A. et al. Produtividade do feijoeiro sob diferentes uniformidades de distribuição de água na superfície e na subsuperfície do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 414-425, 2007.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia/ Departamento Nacional de Produção Mineral, 1988. 145 p.

JOURNAL, A. G.; HUIJBREGTS, C. H. J. **Mining geostatistics**. London: Academic Press, 1978. 600 p.

MATHERON, G. **Traité de géostatistique appliquée**, Tome I. Mémoires du bureau de recherches géologiques et minières principes. Paris: Editions Technip, 1962. 333 p.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah State University, 1978. 271 p.

PAULINO, M. A. de O. et al. 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.

QUEIROZ, J. E. et al. Avaliação e monitoramento da salinidade do solo. In: GHEYI, H. H.; QUEIROZ, J. E.; MEDEIROS, J. F. **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB, 1997. p. 69-111.

REIS, E. F. dos. et al. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 2, p. 74-81, 2005.

RESENDE, R. et al. Resposta da cultura do feijoeiro à uniformidade da irrigação por aspersão convencional. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 22, n. 4, p. 1129-1133, 2000.

RODRIGUES, L. N. et al. Modelo para simulação do desempenho de sistema de irrigação tipo pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 397-402, 2001.

SANTOS, M. A. L. et al. Influencia da altura e distancia de barreiras físicas na distribuição de água de microaspersores. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 1, p. 104-114. 2009.

SOUZA, L. C.; QUEIROZ, J. E.; GHEYI, H. R. Variabilidade espacial da salinidade em um solo aluvial no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de En-**

**genharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 35-40, 2000.

VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 405-412, 1995.