

Variabilidade Espacial da Umidade do Solo em Neossolo Flúvico

Edivan Rodrigues de Souza, Abelardo Antônio de Assunção Montenegro

Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE

edivanrs@hotmail.com , monte@hotlink.com

Suzana Maria Gico Lima Montenegro

Universidade Federal de Pernambuco- UFPE

suzanam@ufpe.br

Recebido: 27/09/07 – revisado: 10/01/08 – aceito: 25/03/08

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a variabilidade espacial da umidade do solo, foi realizado um experimento em Pesqueira – PE, durante um cultivo de cenoura (*Daucus carota L.*) com duração de 96 dias. Dois setores de irrigação (1 e 2), cada um com 900 m² (30 x 30 m) foram instalados, adotando um sistema de irrigação por microaspersão, utilizando água oriunda de poço Amazonas. Aos 23 dias após a semeadura foi adicionada cobertura morta no setor 2. O suprimento de água foi baseado na necessidade da cultura acrescida de uma fração de lixiviação de 20%. Foram instalados tubos de acesso para sonda de nêutrons para medição de umidade do solo, nas profundidades de 20 e 40 cm, em 49 pontos no setor 1, e 52 pontos no setor 2, em nós de uma malha de 5 x 5 m. As leituras com a sonda de nêutrons foram realizadas uma hora após o término da irrigação, com frequência de duas vezes por semana, totalizando durante o ciclo da cultura 20 dias de monitoramento. Os dados foram avaliados adotando-se métodos de estatística descritiva e geoestatística. O setor 2, para as duas profundidades, apresentou umidade média significativamente maior que o setor 1 durante quase todo o ciclo da cultura. A dependência espacial da umidade foi verificada em todas as datas de monitoramento, setores e profundidades, exceto para o setor 1 (20 cm) dos 23 aos 40 DAS.

Palavras-chave: Sonda de nêutrons, geoestatística, cobertura morta.

INTRODUÇÃO

Os solos são naturalmente heterogêneos e suas propriedades variam continuamente no espaço e no tempo. Dentre os fatores responsáveis pela variabilidade, pode-se citar os processos de formação natural, envolvendo as características físicas e químicas, interações com o sistema biológico e interferências antrópicas. Os custos de estudos de campo podem ser significativamente reduzidos através de técnicas apropriadas. Dentre estas, destaca-se a geoestatística, a qual considera a distância de separação entre as amostras e suas interdependências.

Em regiões onde a pluviometria não é capaz de satisfazer a demanda atmosférica, é necessária a adoção da irrigação. Além disso, são requeridas, também, medidas que quantifiquem a água exigida pela cultura e pela atmosfera, ou seja, que se tenha conhecimento da evapotranspiração de referência (ET_o), do coeficiente de cultivo (K_c) e da evapotranspiração da cultura (ET_c). Estudos de dinâmica

da água em condições de campo, dando ênfase a fluxos de água na zona radicular da cultura, são menos frequentes e muitas vezes incompletos, devido à grande complexidade dos procedimentos experimentais necessários (Rocha et al., 2004). O conhecimento detalhado do comportamento da água, durante o desenvolvimento de uma cultura, fornece elementos essenciais ao estabelecimento ou aprimoramento de práticas de manejo agrícola que visem à otimização da produtividade.

Trabalhos abordando a umidade do solo têm sido conduzidos em diferentes escalas espaciais (1 m² a km²), temporais (dias a anos), com diferentes técnicas de determinação (gravimetria, TDR, sensores) e em grande variedade de condições hidrológicas e climáticas (Hupet & Vancloster, 2002). O estudo da variabilidade espacial se destaca na ciência do solo, em virtude das características de heterogeneidade, principalmente devido aos processos de formação dos mesmos. Dentre os trabalhos recentes que abordam a variabilidade espacial em propriedades físico-químicas do solo, pode-se citar

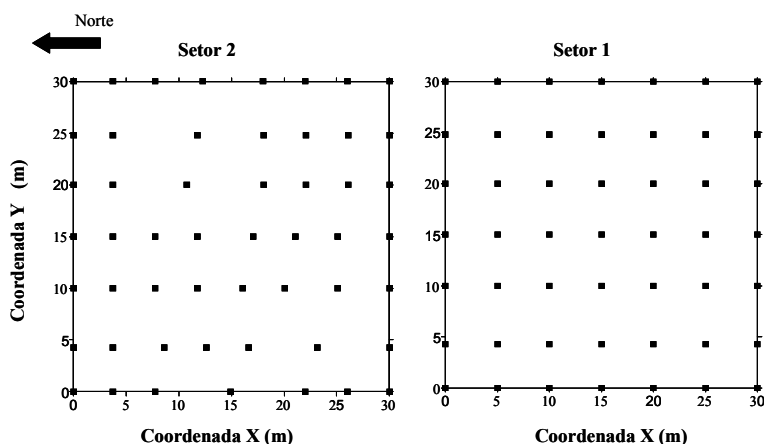


Figura 1 - Locais de instalação dos tubos de acesso para sonda de nêutrons nos dois setores de irrigação

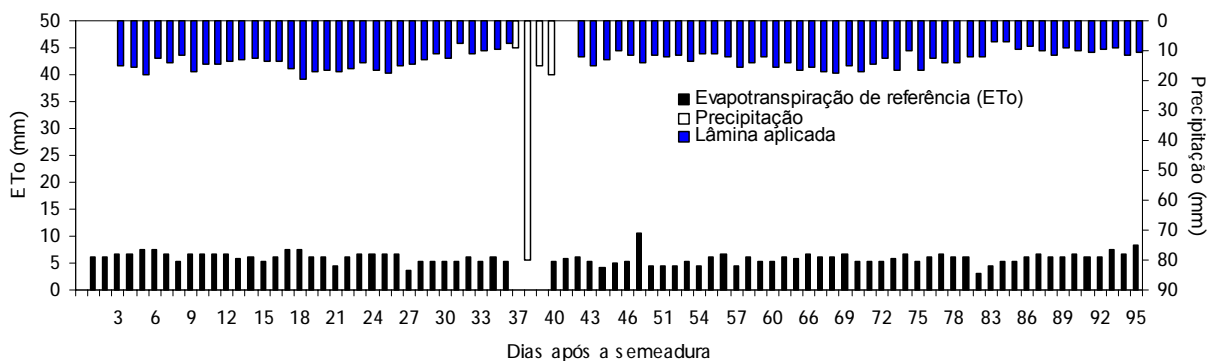


Figura 2 - Valores da evapotranspiração de referência (ETo) e da precipitação durante o ciclo da cultura

Fidalski et al. (2006), Jabro et al. (2006), Mello et al. (2006), Montenegro & Montenegro (2006), Motomiya et al. (2006) e Souza et al. (2006).

Faz-se necessário também que as determinações de umidade para tais estudos se dêem de forma adequada. Para isto, existem métodos diretos e indiretos para quantificar o conteúdo de água no solo. Dentre eles, destaca-se o método gravimétrico, considerado como o padrão, sendo, porém, demorado, destrutivo, além de impedir a repetição da amostragem no mesmo local. De acordo com Teixeira et al. (2005), a técnica da moderação de nêutrons pode ser utilizada para determinar o conteúdo de água no solo, apresentando como grande vantagem a sua natureza não-destrutiva. O material recomendado para a confecção dos tubos de acesso é o alumínio. No entanto, pesquisas realizadas por Ferreira et al. (1998) encontraram resultados positivos quando se utilizou tubo de PVC com espessura de parede de 2 mm, tendo-se obtido resultados semelhantes ao tubo de alumínio. Outra consideração relevante é no que

concerne ao adequado dimensionamento do sistema de irrigação adotado, sendo recomendável, porém, testes de uniformidade de distribuição de água.

Este trabalho objetiva estudar a variabilidade espacial da umidade do solo durante um cultivo de cenoura em Neossolo Flúvico, irrigado com água moderadamente salina, em dois setores de irrigação, com presença de cobertura morta em um dos setores, usando ferramentas estatísticas e geoestatísticas para análise dos dados.

MATERIAL E MÉTODOS

A área onde foi realizado o experimento localiza-se na sub-bacia do Rio Ipanema no Estado de Pernambuco entre as coordenadas 8° 34' 17" de Latitude Sul, e 37° 1' 20" de Longitude Oeste, com altitude média de 613 m, em Pesqueira - PE, com solo caracterizado como Neossolo Flúvico. De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo BSh (extremamente quente, semi-árido),

com precipitação total anual média de 730 mm, e evapotranspiração potencial anual média de 1683 mm.

O experimento foi realizado no período de 29 de outubro de 2005 a 02 de fevereiro de 2006, totalizando 96 dias. Após aração e gradagem da área, foi realizada uma adubação de fundação nas quantidades 40 kg ha⁻¹ de N; 60 kg ha⁻¹ de K₂O e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅, baseada na análise de solo e nas necessidades da cultura, de acordo com as recomendações para cultura da cenoura no Estado de Pernambuco (Cavalcanti, 1998). Foram usadas as fontes: Uréia (45% de N), Cloreto de Potássio (58% K₂O) e Fosfato Mono Amônio- MAP (9% de N e 48 de P₂O₅). Após este procedimento, foram confeccionados os canteiros de plantio da cenoura, com dimensões de 30 x 1,0 x 0,20 m. A variedade de cenoura utilizada foi a Brasília, recomendada para as condições do Nordeste brasileiro e adotada pelos agricultores da região de estudo.

O experimento foi instalado numa área de 1800 m² dividida em dois setores com 900 m² (30 x 30m) cada, denominados de setores 1 e 2. O sistema de irrigação adotado foi o localizado tipo microaspersão com os emissores espaçados de 4 x 3 m. No setor 1 foram instalados 49 tubos de acesso e no setor 2 esse número foi de 52. A localização dos tubos está apresentada na Figura 1.

Os tubos de acesso foram confeccionados a partir de material de PVC com 50 mm de diâmetro e espessura de parede de 2 mm. Cada tubo apresentou um comprimento de 1,0 m, sendo que apenas 0,7 m foi introduzido no solo, ficando 0,3 m acima da superfície. Utilizou-se na instalação do tubo trado com diâmetro semelhante, de modo a produzir adequada aderência entre a parede do tubo e o solo. Vale salientar que o suprimento de água da cultura foi baseado na necessidade da mesma, tomando-se como base a evapotranspiração de referência obtida a partir de Tanque Classe A. Os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) e das precipitações pluviométricas ocorridas no período do experimento podem ser visualizados na Figura 2. Os coeficientes de cultivo para cada fase de desenvolvimento da cultura foram os recomendados por Doorenbos & Pruitt (1977). Para o cálculo da lâmina total a ser aplicada diariamente adotou-se uma eficiência do sistema de irrigação de 85% e uma fração de lixiviação de 20%. Aos 23 dias após a semeadura - DAS (21-11-2005), efetuou-se o desbaste e adicionou-se cobertura morta no setor 2, em quantidade de 9.000 kg ha⁻¹, utilizando-se restos triturados desidrata-

dos de plantas de feijão com caule, folhas e cascas de vagens, objetivando verificar a influência desse material na manutenção da umidade.

As leituras com a sonda de nêutrons foram realizadas sempre uma hora após o término da irrigação, iniciando-se pelos pontos no setor 1. Antes de se iniciar as leituras nos tubos instalados em campo, procediam-se três leituras em um tambor de 200 litros de água a fim de verificar a contagem em um meio totalmente saturado, para que, com o valor padrão obtido, houvesse uma normatização com as leituras do campo (para isso, dividiu-se as leituras obtidas nos tubos em campo pela média do valor obtido no tambor). O tempo de contagem de cada leitura foi de 30 segundos, próximo ao recomendado pela literatura. Andrade et al. (2001) comentam que para se determinar o conteúdo de água do solo, deve-se fazer uma leitura em cada profundidade, aos 32 s, uma vez que realizaram um trabalho com vários tempos de contagem e verificaram que repetições das leituras em um mesmo ponto podem ser dispensadas quando o tempo de contagem for igual ou superior a 32 s. Ao longo do ciclo da cultura foram contabilizados vinte dias de monitoramento com a sonda de nêutrons, nas seguintes datas: 21-11-05 (23 DAS); 26 DAS; 31 DAS; 33 DAS; 38 DAS; 40 DAS; 46 DAS; 48 DAS; 52 DAS; 55 DAS; 59 DAS; 66 DAS; 69 DAS; 73 DAS; 75 DAS; 80 DAS; 82 DAS; 87 DAS; 89 DAS e 94 DAS, sempre nos 101 pontos (49 + 52), e em duas profundidades (20 e 40 cm).

Durante o experimento, foi reservado um canteiro extra e instalados 5 tubos de acesso com intuito de coletar amostras com umidades variadas, para confecção de uma curva de calibração para sonda de nêutrons. Foram coletadas amostras deformadas de solo nas duas profundidades estudadas em uma faixa de umidade variando da saturação ao ponto de murcha permanente, para com isso obter uma equação de regressão linear, cujas equações e coeficientes de determinação foram: $y = -0,089 + 0,6752x$ ($r^2:0,85$) e $y = 0,0156 + 0,5148x$ ($r^2:0,77$) para as profundidades de 20 e 40 cm respectivamente.

Ao final do experimento, foi coletado um total de 20 amostras aleatórias para cada setor estudado, como forma de validar a equação encontrada com as coletas ao longo do ciclo. As amostras foram acondicionadas em recipientes de alumínio, levadas para o laboratório e colocadas em estufa a 105 °C para obtenção da umidade gravimétrica (g g⁻¹).

Tabela 1 - Valores médios da caracterização granulométrica para os dois setores estudados em suas respectivas profundidades

Setores	Argila	Silte	Areia			Classe textural
			Grossa	Fina	Total	
cm	g kg ⁻¹					
S1 (0-20)	149,39	515,68	61,16	273,77	334,93	Franco siltoso
S1 (20-40)	169,79	492,02	74,36	271,02	345,38	Franco
S2 (0-20)	124,04	340,17	101,54	434,24	535,78	Franco
S2 (20-40)	87,02	391,22	135,82	385,94	521,76	Franco

Tabela 2 - Estatística descritiva e teste de média para os dados de umidade (g g⁻¹) durante o ciclo da cenoura para os setores de irrigação, nas profundidades de 20 e 40 cm

DAS	Profundidade											
	20 cm						40 cm					
	Média (g g ⁻¹)		CV (%)		Distrib.		Média (g g ⁻¹)		CV (%)		Distrib.	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2
23	0,243a	0,244a	11,037	9,542	N	N	0,217a	0,217a	15,776	8,555	N	N
26	0,244a	0,234a	8,117	10,643	N	N	0,210a	0,210a	13,571	8,140	N	N
31	0,235a	0,231a	13,009	11,095	N	N	0,208a	0,210a	13,498	7,982	N	N
33	0,236a	0,242a	13,953	11,031	N	N	0,209a	0,216a	13,642	8,633	N	N
38	0,241a	0,251a	11,385	6,014	N	N	0,213a	0,215a	10,124	6,330	N	N
40	0,240b	0,254a	7,797	6,603	N	N	0,212b	0,222a	9,697	6,584	N	N
46	0,227b	0,245a	11,450	9,304	N	N	0,198b	0,212a	13,112	8,876	N	N
48	0,221b	0,244a	13,532	9,877	N	N	0,195b	0,213a	14,231	8,757	N	N
52	0,215b	0,242a	15,979	11,054	N	N	0,188b	0,211a	16,548	8,940	N	N
55	0,199b	0,226a	17,679	12,342	N	N	0,177b	0,196a	18,428	13,766	N	N
59	0,210b	0,237a	18,377	13,073	N	N	0,178b	0,205a	21,745	9,527	N	N
66	0,219b	0,240a	17,638	10,195	N*	N	0,179b	0,208a	24,309	8,632	N	N
69	0,218b	0,242a	17,324	12,604	N*	N*	0,178b	0,201a	23,462	10,762	N	N
73	0,220b	0,238a	17,006	12,585	N*	N*	0,182b	0,205a	24,756	10,632	N*	N
75	0,238a	0,234a	16,628	12,961	N*	N	0,181b	0,200a	24,264	11,235	N*	N*
80	0,224b	0,239a	17,357	13,259	N*	N*	0,185b	0,203a	22,900	12,840	N	N
82	0,221b	0,243a	17,792	13,420	N*	N*	0,181b	0,206a	23,303	12,972	N	N
87	0,212b	0,230a	17,768	16,019	N*	N*	0,174b	0,197a	24,12	14,785	N	N
89	0,209b	0,222a	19,429	19,202	N	N	0,173b	0,187a	24,936	15,628	N	N
94	0,215a	0,210a	21,117	20,817	N	N	0,178a	0,177a	24,174	18,000	N	N

CV= Coeficiente de variação; N=distribuição Normal; N*=Distribuição diferente da Normal. Médias seguidas de mesma letra entre linhas (dentro de cada profundidade) não difere estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey.

A sonda de nêutrons utilizada foi do tipo 503 DR HYDROPROBE®. Como a profundidade de localização do emissor de nêutrons rápidos ficava exatamente aos 20 e 40 cm de profundidade, a umidade encontrada era representativa das camadas de 10-30 e de 30-50 cm de profundidade, uma vez que a sonda tem um raio de abrangência em torno de 10 cm.

Para a determinação das frações granulométricas em 202 amostras de solo coletadas no início

do experimento (101 amostras para a profundidade de 0-20 cm e 101 para 20-40 cm), adotou-se o método da Pipeta descrito pela EMBRAPA (1997). Os valores médios da caracterização das frações granulométricas encontram-se na Tabela 1.

Com o objetivo de verificar o comportamento dos dados, foi realizada análise estatística descritiva, através da avaliação de medidas de tendência central (média, mediana e moda), dispersão (desvio padrão, variância e coeficiente de variação) e ade-

rência à distribuição Normal, segundo o teste de Kolgomorov-Smirnov, utilizando-se o programa Statistica (StatSoft Inc., 2001). Para análise de variabilidade espacial, empregou-se a ferramenta geostatística GEO-EAS (Englund & Sparks, 1992) e software *GS** (Robertson, 1998). Após a obtenção dos semivariogramas experimentais, foram testados os modelos gaussiano, esférico e exponencial, escolhendo-se aquele com adequado ajuste aos valores experimentais, bem como apresentando erros padronizados com média próxima a zero e desvio-padrão próximo à unidade, segundo a técnica de Jack-Knifing (Vauclin et al., 1983).

Para caracterização do grau de variabilidade, foram analisados os valores de coeficiente de variação (CV), conforme sugerido por Warrick & Nielsen (1980), os quais consideram baixa variabilidade quando $CV < 12\%$; média para o intervalo de 12 a 60%, e alta variabilidade para $CV > 60\%$. No tocante ao grau de dependência espacial, utilizou-se a classificação proposta por Cambardella et al. (1994), na qual um determinado atributo pode ser considerado como exibindo forte, moderada ou fraca dependência espacial, em função da relação entre o efeito pepita e o patamar de seu semivariograma ajustado. Valores inferiores a 25% caracterizam forte dependência espacial, entre 25 e 75% moderada, enquanto que acima de 75%, fraca dependência. Para confecção dos mapas de isolinhas foi utilizado o software Surfer 8.0 (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 2 é apresentado os resultados da estatística descritiva e teste de média para a umidade do solo nos setores 1 e 2, nas profundidades de 20 e 40 cm. Percebe-se, através dos valores médios que, para a profundidade de 20 cm, o setor 2 apresentou valores de umidade gravimétrica significativamente maiores do que o setor 1 pelo teste Tukey ($P < 0,05$), exceto aos 23, 26, 31, 33, 38, 75 e 94 DAS. Resultados semelhantes foram observados para a profundidade de 40 cm, exceto para os 75 DAS, que apresentou média significativamente maior para o setor 2. Percebe-se que dos 20 dias de monitoramento da umidade do solo, o setor 2, apresentou, em sua maioria, valores superiores ao setor 1, para as duas profundidades, o que é indicativo de um efeito positivo da cobertura morta na manutenção da umidade do solo.

De acordo com a classificação de Warrick &

Tabela 3 - Parâmetros do semivariograma, Co: efeito pepita, Co+C₁: Patamar, A: alcance, GD: grau de dependência (%), para os dois setores, nas profundidades de 20 e 40 cm

Nielsen (1980), os CV's atingiram os níveis de variação baixo e médio. Um importante pressuposto quando se trabalha com ferramentas estatísticas e geostatísticas é a obediência dos dados à distribuição Normal de probabilidade que, para a variável umidade gravimétrica do solo, foi verificada para a grande maioria dos períodos de avaliação da umidade. Aqueles períodos em que não foi observada a aderência à distribuição Normal, optou-se por não se realizar transformação de dados, de modo a evitar mudanças de escala..

Na tabela 3 pode ser visualizado o resultado da análise semivariográfica com o modelo de melhor ajuste e seus respectivos parâmetros (efeito pepita - Co; patamar - Co + C₁ e alcance= A), grau de dependência (GD) e coeficiente de determinação = R², para a variável umidade do solo nos dois setores e para as duas profundidades (20 e 40 cm), nas respectivas datas de monitoramento. Para o setor 1 (20 cm) verifica-se efeito pepita puro, ou seja, ausência de dependência espacial dos 23 aos 40 DAS. A partir dos 69 até 94 DAS, ocorreu dependência espacial com ajuste de modelos esféricos e alcances variando de 9,06 (55 DAS) a 11,99 m (73 DAS), com alto grau de dependência espacial, uma vez que os graus de dependência mantiveram-se inferiores a 25%, limite superior determinado por Cambardella et al (1994) para que ocorra alta dependência.

Uma provável explicação para ausência de dependência espacial até os 40 DAS deve-se ao fato que, no início do experimento, as condições estruturais dessa camada do solo, devido às operações de mecanização, plantio e desenvolvimento inicial da cultura apresentavam-se desuniformes. A uniformização pode ter ocorrido com o umedecimento gradual e formação de bulbos úmidos, como efeito das irrigações diárias, bem como com a ocorrência de eventos pluviométricos dos 37 aos 40 DAS, conforme pode ser visualizado na figura 2. Em virtude destes fatores, a partir dos 46 até os 94 DAS, a profundidade de 20 cm apresentou dependência espacial, cujo padrão mostrou-se similar com relação aos parâmetros do semivariograma, especialmente o alcance. Como forma de melhor visualização dos semivariogramas, na figura 3 está apresentada estrutura variográfica para o setor 1, na profundidade de 20 cm para 23, 46, 80 e 94 DAS, enquanto que na figura 4 estão mostrados os semivariogramas para a profundidade de 40 cm nas mesmas datas de monitoramento.

DAS	Setor 1 (20 cm)						Setor 2 (20 cm)					
	Mod	Co	Co+C ₁	A(m)	GD	R ²	Mod	Co	Co+C ₁	A(m)	GD	R ²
23	EPP	0,0007	-	-	-	-	ESF	0,0002	0,0007	34,34	28,57	0,816
26	EPP	0,0008	-	-	-	-	ESF	0,0002	0,0012	62,49	16,67	0,912
31	EPP	0,0009	-	-	-	-	ESF	0,0003	0,0017	87,95	17,65	0,844
33	EPP	0,0011	-	-	-	-	ESF	0,0002	0,0014	65,78	14,29	0,914
38	EPP	0,0007	-	-	-	-	ESF	0,0001	0,0003	21,86	33,33	0,974
40	EPP	0,0004	-	-	-	-	ESF	0,0001	0,0003	29,60	33,33	0,757
46	ESF	0,0001	0,0007	9,47	14,29	0,447	ESF	0,0003	0,0010	74,66	30,00	0,851
48	ESF	0,0002	0,0009	10,03	22,22	0,526	EXP	0,0003	0,0009	99,39	33,33	0,825
52	ESF	0,0002	0,0012	9,55	16,67	0,484	EXP	0,0003	0,0009	50,43	33,33	0,693
55	ESF	0,0002	0,0014	9,06	14,29	0,472	ESF	0,0004	0,0010	36,82	40,00	0,876
59	ESF	0,0003	0,0016	9,49	18,75	0,702	ESF	0,0005	0,0015	67,07	33,33	0,944
66	ESF	0,0003	0,0015	10,54	20,00	0,772	ESF	0,0001	0,0007	13,63	14,29	0,869
69	ESF	0,0003	0,0015	11,03	20,00	0,949	ESF	0,0004	0,0016	66,88	25,00	0,925
73	ESF	0,0003	0,0016	11,99	18,75	0,931	ESF	0,0003	0,0023	89,41	11,54	0,817
75	ESF	0,0004	0,0017	11,47	23,53	0,855	ESF	0,0004	0,0022	91,00	18,18	0,851
80	ESF	0,0003	0,0017	11,67	17,65	0,841	ESF	0,0003	0,0025	88,83	12,00	0,873
82	ESF	0,0003	0,0018	11,33	16,67	0,702	ESF	0,0003	0,0030	88,55	10,00	0,829
87	ESF	0,0003	0,0015	10,89	20,00	0,596	ESF	0,0004	0,0035	84,82	11,43	0,900
89	ESF	0,0003	0,0018	10,79	16,67	0,522	ESF	0,0005	0,0047	86,39	10,64	0,919
94	ESF	0,0004	0,0022	10,03	18,18	0,525	ESF	0,0007	0,0037	54,48	18,92	0,943

DAS	Setor 1 (40 cm)						Setor 2 (40 cm)					
	Mod	Co	Co+C ₁	A(m)	GD	R ²	Mod	Co	Co+C ₁	A(m)	GD	R ²
23	ESF	0,0002	0,0010	12,02	20,00	0,799	ESF	0,0001	0,0009	85,65	11,11	0,872
26	ESF	0,0003	0,0009	27,26	33,33	0,982	ESF	0,0001	0,0004	31,8	25,00	0,976
31	ESF	0,0004	0,0010	32,47	40,00	0,994	ESF	0,0001	0,0007	82,74	14,29	0,911
33	ESF	0,0004	0,0010	31,72	40,00	0,997	ESF	0,0001	0,0004	26,70	25,00	0,873
38	ESF	0,0002	0,0007	43,02	28,57	0,950	ESF	0,0001	0,0005	78,52	20,00	0,871
40	ESF	0,0002	0,0007	51,12	28,57	0,988	ESF	0,0001	0,0004	62,97	25,00	0,908
46	ESF	0,0003	0,0008	27,71	37,50	0,978	ESF	0,0002	0,0006	66,66	33,33	0,869
48	ESF	0,0004	0,0009	24,84	44,44	0,968	ESF	0,0002	0,0006	74,17	33,33	0,871
52	ESF	0,0003	0,0011	20,22	30,00	0,946	ESF	0,0002	0,0006	74,17	33,33	0,898
55	ESF	0,0004	0,0012	24,26	33,33	0,944	ESF	0,0002	0,0012	70,6	16,67	0,719
59	ESF	0,0008	0,0017	30,47	47,06	0,973	ESF	0,0002	0,0006	57,09	33,33	0,875
66	ESF	0,0006	0,0022	22,99	27,27	0,977	ESF	0,0002	0,0006	67,02	33,33	0,780
69	ESF	0,0005	0,0020	20,93	25,00	0,990	ESF	0,0002	0,0008	60,80	25,00	0,865
73	ESF	0,0005	0,0023	19,40	21,74	0,972	ESF	0,0002	0,0009	65,08	22,22	0,911
75	ESF	0,0006	0,0021	19,90	28,57	0,966	ESF	0,0002	0,0012	84,12	16,67	0,917
80	ESF	0,0003	0,0019	14,86	15,79	0,860	ESF	0,0002	0,0011	63,46	20,00	0,919
82	ESF	0,0004	0,0019	16,08	21,05	0,861	ESF	0,0003	0,0013	60,59	23,08	0,874
87	ESF	0,0004	0,0019	14,53	21,05	0,828	ESF	0,0002	0,0019	73,37	10,53	0,907
89	ESF	0,0004	0,0020	15,46	20,00	0,883	ESF	0,0003	0,0017	68,03	17,64	0,960
94	ESF	0,0010	0,0022	17,33	45,45	0,871	GAU	0,0006	0,0018	93,68	33,33	0,968

EPP: Efeito pepita puro; EXP: modelo exponencial; .GAU: modelo gaussiano; ESF: esférico; Mod: modelo

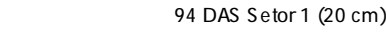
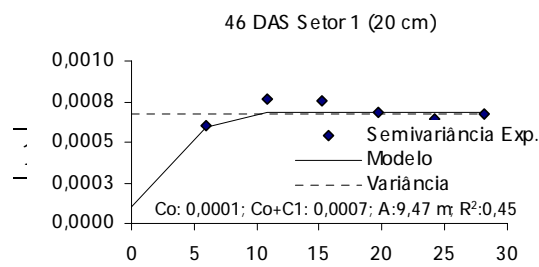
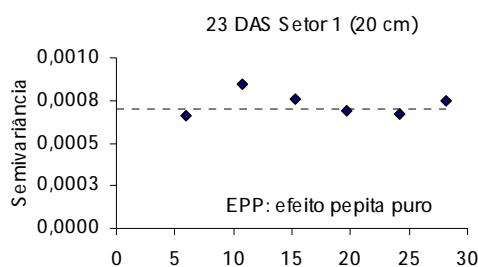


Figura 3 - Semivariogramas experimentais e teóricos para o setor 1 (20 cm) com os parâmetros: Co: efeito pepita; Co+C₁: patamar e A: alcance

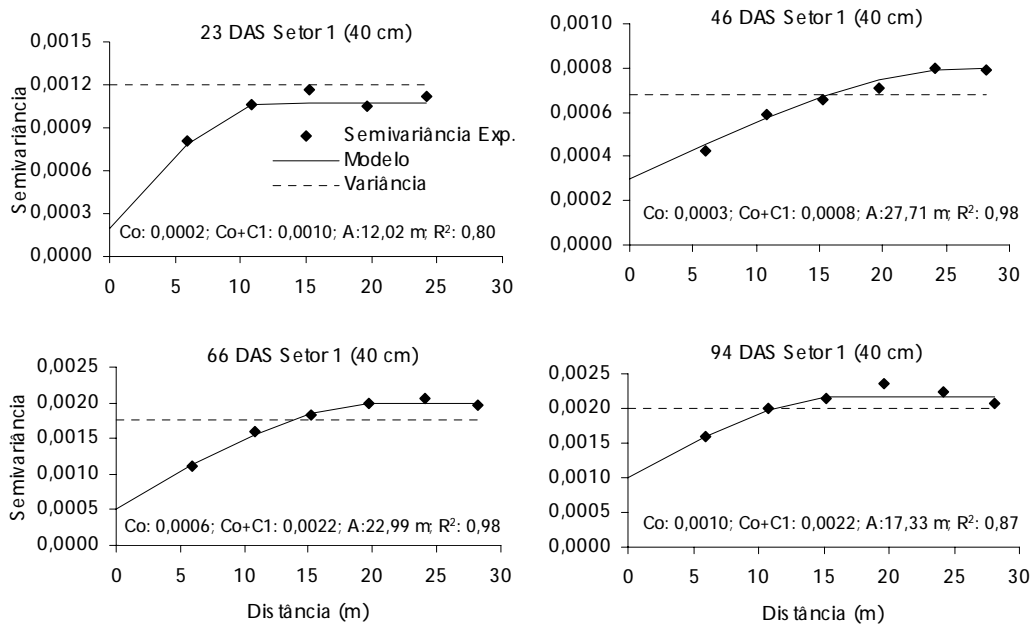


Figura 4 - Semivariogramas experimentais e teóricos para o setor 1 (40 cm) com os parâmetros: Co: efeito pepita; Co+C₁: patamar e A: alcance

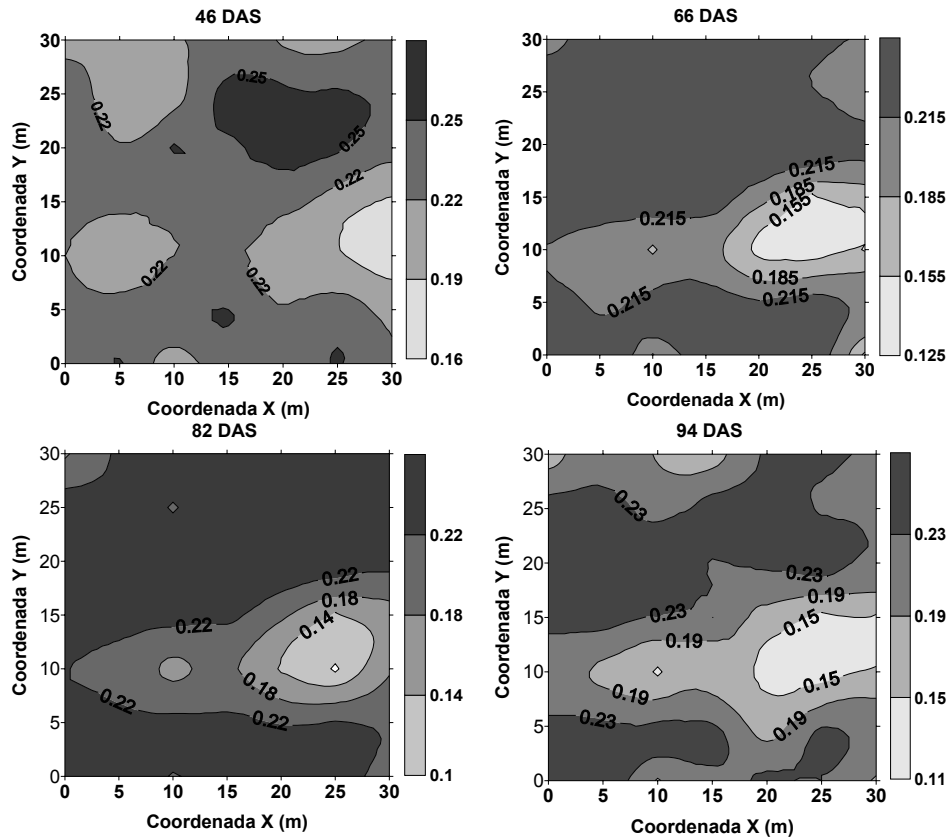


Figura 5 - Mapas de isolinhas dos valores de umidade do solo (g g^{-1}) para o setor 1 (20 cm de profundidade)

Na figura 5 podem-se visualizar os mapas dos valores de umidade do solo aos 46, 66, 82 e 94 DAS estimados por krigagem, agrupados numa escala de quatro classes. Após a análise de dependência espacial verificada no semivariogramas, percebe-se que o local com menores valores de umidade está presente na porção mediana do lado direito das imagens, o que pode ser devido a diferenças na granulometria e/ou desuniformidade do sistema de irrigação. Este padrão manteve-se durante todo ciclo, o que é indicativo de uma possível dependência temporal. Dentre os trabalhos que vem abordando a estabilidade temporal podem ser citados Grego et al. (2006) e Timm et al. (2006). Os mapas de isolinhas são de grande importância, pois de posse dessa informação pode-se examinar as regiões sistematicamente com baixa umidade, e daí verificar o sistema de irrigação ou a existência de uma possível "mancha de solo" presente. Grego & Vieira (2005), trabalhando em malha amostral semelhante (30 x 30 m), utilizaram mapas de isolinhas para interpretar os resultados de diversas características do solo, inclusive o teor de umidade gravimétrica.

Ao contrário do observado para o setor 1 (20 cm) nas datas iniciais de monitoramento da umidade, no setor 1 (40 cm) a dependência espacial foi verificada durante todo o ciclo de acompanhamento da umidade (Tabela 3) em virtude, principalmente, da estabilidade da variável umidade do solo na camada de 40 cm. Comparando-se com a profundidade de 20 cm, nota-se uma semelhança quanto à distribuição espacial da umidade (Figura 6). Este resultado evidencia que o padrão de umedecimento manteve-se semelhante para a profundidade de 40 cm, sendo importante ainda que estudos que avaliem profundidades maiores possam ser realizados. Em virtude de se cultivar cenoura e a profundidade radicular atingir em média 40 cm, profundidades maiores não foram avaliadas. No setor 2 (tabela 3) nas duas profundidades (20 e 40 cm) para a maioria das datas de monitoramento, o modelo de semivariograma ajustado forneceu alcances superiores à maior distância amostrada, não se podendo, desse modo, especificar com confiança esse parâmetro. Esse comportamento é um indicio que se necessitaria amostrar uma área maior, caso se objetivasse encontrar esse parâmetro com maior

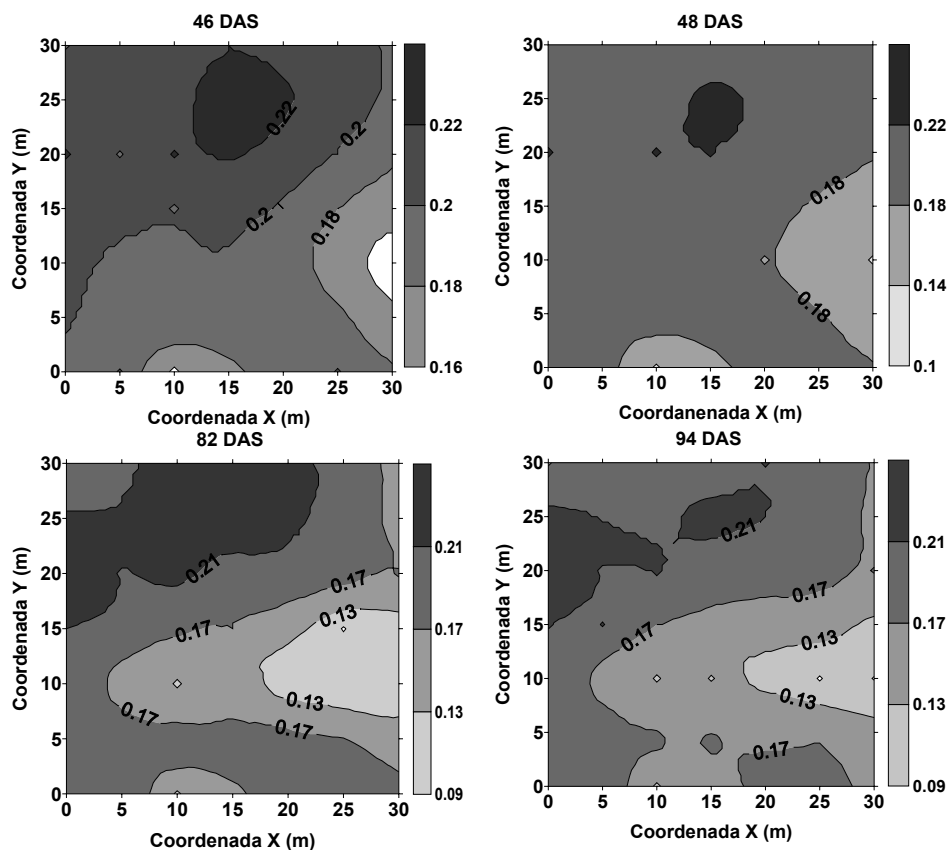


Figura 6 - Mapas de isolinhas dos valores de umidade do solo (g g^{-1}) para o setor 1 (40 cm de profundidade)

grau de confiabilidade.

CONCLUSÕES

O setor 2 (com cobertura morta) apresentou umidade média significativamente superior ao setor 1, para as duas profundidades, durante a maioria dos cenários de monitoramento, bem como coeficientes de variação menores.

Os valores de umidade apresentaram-se, em sua maioria, aderentes à distribuição Normal, nas respectivas épocas de determinação, profundidades e setores de irrigação.

Verificou-se, através dos semivariogramas, dependência espacial da umidade do solo para os dois setores e profundidades nas épocas de amostragem, exceto para o setor 1 (20 cm), dos 23 aos 40 DAS.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. R. S.; JADOSKI, S. O.; GUERRA, H. C.; GUERRINI, I. *Influência do tempo de contagem na determinação da densidade de nêutrons*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.5, n.3, p.411-415, 2001.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KORNOPKA, A. E. *Fieldscale variability of soils properties in central Iowa*, Soils. Soil Science Society of American Journal, v.58, n.6, p.1501-1511, 1994.
- CAVALCANTI, F. J. A. *Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco*. (2ª aproximação) 2.ed. Recife, Instituto de Pesquisa Agropecuária, 1998. 198p.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. Rome, FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and drainage, paper n. 24).
- EMBRAPA - *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- ENGLUND, E.; SPARKS, A. *Geostatistical Environmental Assessment Software*. GEO- EAS. International

- Ground Water Modeling Center. Las Vegas, Nevada. 1992. 1 CD-ROM
- FERREIRA, E.; RESENDE, A. S. de; BALIEIRO, F.; ZOTARELLI, L.; SILVA, L. A. da; BACIS, M.; ALFARO, M. A.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. *Avaliação de diferentes tubos de acesso para medição da umidade do solo através do uso de sonda de nêutrons*. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 1998. 12p. (Embrapa-CNPAB). Série Documentos, 59).
- FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. S. *Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da taxa de estratificação de carbono orgânico do solo em um Latossolo Vermelho eutroférico*. *Ciência Rural*, v.36, n.6, p. 1773-1779, 2006.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. *Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, n.2, p.169-177, 2005.
- GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; ANTÔNIO, A. M.; ROSA, S. C. D. *Geostatistical analysis for soil moisture content under the no tillage cropping system*. *Scientia Agrícola*, v.64, n.4, p.341-350, 2006.
- HUPET, F.; VANCLOOSTER, M. *Intraseasonal dynamics of soil moisture variability within a small agricultural maize cropped field*. *Journal of Hydrology*, v.261, p. 86-101, 2002.
- JABRO, J. D. STEVENS, B. W.; EVANS, R. G. *Spatial relationships among soil physical properties in a grass-alfalfa hay field*. *Soil Science*, v.71, n.9, p.719-727, 2006.
- MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. *Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.294-305, 2006.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. *Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.1, p.30-37, 2006.
- MOTOMIYA, A. V. A.; CORÁ, J. E.; PEREIRA, G. T. *Uso da krigagem indicatriz na avaliação de indicadores de fertilidade do solo*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, n.3, p.485-496, 2006.
- ROBERTSON, G.P. *Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide*. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.
- ROCHA, G. C.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A.; CRUZ, A. C. R.; ASSIS JÚNIOR, R. N. *Variabilidade espaço-temporal de propriedades físico-hídricas*. In: MENDONÇA, E. S.; XAIVER, F. A. S.; LIBARDI, P. L.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; OLIVEIRA, T. S., eds. *Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino*. Fortaleza., UFC, 2004.p.400-426.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. MONTANARI, R. *Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo*. *Ciência Rural*, v.36, n.3, p. 829-836, 2006.
- STATSOFT. *STATISTICA: data analysis software system*. Version 6. [S. L.], 2001.
- SURFER. *Surfer 8.0: Contouring and 3d surface mapping for scientists and engineers*. User's Guide. New York: Golden Software, 2002. 619p.
- TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. *Desempenho do tensiômetro, TDR e sonda de nêutrons na determinação da umidade e condutividade hidráulica do solo*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.2, p.161-168, 2005.
- TIMM, L. C.; PIRES, L. F.; ROVERATTI, R.; ARTHUR, R. C. J.; REICHARDT, K.; OLIVEIRA, J. C. M.; BACCHI, O. O. S. *Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes*. *Scientia Agrícola*, v.63,n.1, p.55-64, 2006.
- VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VAUCHAUD, G.; NIELSEN, D. R. *The use of cokriging with limited field soil observations*. *Soil Science Society of America Journal*, v. 47, n.1, p.175-184, 1983.
- WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. *Spatial variability of soil physical properties in the field*. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic, 1980. p.319-344.

Spatial Variability of Soil Humidity in Fluvic Neosol

ABSTRACT

Aiming to evaluate the spatial variability of soil moisture, an experiment was performed in the town of Pesqueira, Pernambuco State, on a carrot (Daucus carota L.) totalizing 96 days. Two irrigation sectors (1 e 2) were formed, each one with 900 m² (30 x 30 m), adopting microsprinkler irrigation, using water of an "Amazonas well". Twenty-three days after sowing (DAS) dead cover was added in sector 2. Water supply was based on the crop needs adding a leaching fraction of 20%. Access tubes for a neutron probe were installed to measure the soil moisture at the depths of 20 and 40 cm, at 49 points in sector 1 and 52 points in sector 2, in 5 x 5 m grid. The reading were performed an hour after the end of irrigation, twice a week, totalizing 20 days of monitoring during the crop. The data were evaluated for statistics and geostatistical methods. Sector 2 presented significantly higher moisture for

two depths in almost all cycles. Spatial dependence was observed on all monitoring dates, sectors and depths except sector 1 (20 cm) from 23 to 40 DAS.

Keywords: *neutron probe; geostatistics; dead cover.*