

**EDIVAN RODRIGUES DE SOUZA**

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS E  
QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO FLÚVICO CULTIVADO COM  
CENOURA IRRIGADA COM ÁGUA MODERADAMENTE SALINA**

**RECIFE – PE  
2007**

EDIVAN RODRIGUES DE SOUZA

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS E  
QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO FLÚVICO CULTIVADO COM  
CENOURA IRRIGADA COM ÁGUA MODERADAMENTE SALINA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências do Programa de Pós – Graduação em Ciência do Solo, para obtenção do título de Mestre.

Orientador:

Prof. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, PhD.

Co – Orientadores:

Profa. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, Dra.

Prof. José de Arimatea de Matos, Dr.

RECIFE - PE  
2007

Ficha catalográfica  
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Central – UFRPE

S729v Souza, Edivan Rodrigues de  
Variabilidade espacial de propriedades físicas e químicas  
de um neossolo flúvico cultivado com cenoura irrigada com  
água moderadamente salina / Edivan Rodrigues de Souza. --  
2007.  
84 f. : il.

Orientador : Abelardo Antônio de Assunção Montenegro  
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universi -  
dade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Agro -  
nomia.  
Inclui bibliografia

CDD 631.43

1. Geoestatística
  2. Cobertura morta
  3. Umidade
  4. *Daucus carota*
  5. Salinidade
- I. Montenegro, Abelardo Antônio de Assunção  
II. Título

**VARIABILIDADE ESPACIAL DE PROPRIEDADES FÍSICAS E  
QUÍMICAS DE UM NEOSSOLO FLÚVICO CULTIVADO COM  
CENOURA IRRIGADA COM ÁGUA MODERADAMENTE SALINA**

EDIVAN RODRIGUES DE SOUZA

Dissertação defendida e aprovada em 26 de fevereiro de 2007 pela  
banca examinadora:

Orientador:



Prof. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, PhD.

DTR/UFRPE

Examinadores:



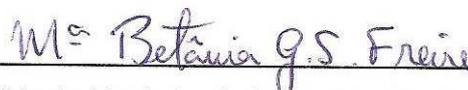
Prof. Alain Marie Bernard Passerat de Silans, PhD.

UFPB



Prof. José de Arimatea de Matos, Dr.

UFERSA



Profª. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, Dra.

DEPA/UFRPE

**Tudo o que um homem é capaz de imaginar, outro é capaz de realizar. (Júlio Verne)**

**Não há nada que esteja só; nada pode estar em completa solidão: o que existe necessita de outro para ser." (Leopoldo Schfer)**

**Acerte em tudo que puder acertar. Mas não se torture com seus erros... (Paulo Coelho)**

Aos meus pais: Maria Salete Rodrigues e Edgar de Souza (*In Memoriam*)

As minhas irmãs: Edivânia, Edilma e Edione

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, fonte de inspiração nos momentos difíceis, companheiro nos momentos de felicidade; presente sempre que eu precisei.

Aos meus avós: Raimunda e Francisco Rodrigues; tios e tias, representados por Francinaldo e Maria da Conceição; primos e primas, pelo depósito de confiança em todos os momentos.

A minha namorada Roberta, pelo amor, companheirismo, carinho e força, sempre.

Ao professor Abelardo Antônio de Assunção Montenegro, pela orientação, amizade, apoio, confiança, estímulo e, principalmente, pelo exemplo de profissionalismo e dedicação ao meio científico, sempre dando o melhor de si.

A professora Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, pelo caráter, profissionalismo, dedicação à área de ciência do solo, repasse de conhecimento e orientações ao longo do curso, aqui representando todo o corpo docente desse estimado Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Ao professor José de Arimatea de Matos pela amizade iniciada na época de Iniciação Científica, em nome do Corpo Docente da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Instituição em que realizei o curso de graduação.

Aos amigos da turma do mestrado, Cícero da Silva Costa, Dagmar Alves de Oliveira, Karina Patrícia Vieira, Maria Daniela Rodrigues, Maria de Fátima da Silva, Marise Caribe e Michelângelo Bezerra Fernandes, pelos momentos de descontração, amizade e ciência que jamais serão esquecidos.

Aos amigos Herbeth Fernando, José Dionísio, Hugo Alexandre (*In Memoriam*), Higo Thayrone, Samara Sibely, Elisângela Santiago, Ubiracira Maria e Ivana Verciane, Eduardo Rodrigues, representando os demais.

Aos companheiros de república, Eriberto Vagner, Hugo Bolsoni, Esmar, José de Arruda, Carlos Eduardo, Michelângelo Oliveira, Deise e Patrícia Maia.

Ao amigo Francisco Xavier dos Santos Freire, pelo total apoio durante a fase experimental de campo e amizade; À Thais Emanuelle pela ajuda incondicional sempre que precisei e pela amizade conquistada; Aos amigos do Laboratório de Hidráulica, Eduardo, José Roberto, Júlio, Manoel, Tafnes, Ana Paula, Júnior e Adriano. À Felizarda Viana Bebê, Valéria e Zilderlânia, pelos momentos de descontração.

Ao técnico agrícola Vivaldo, pela considerável ajuda durante o experimento de campo, tanto pela dedicação disponibilizada quanto pela transmissão das experiências no cultivo da cenoura.

À Socorro, símbolo de simpatia e paciência; Seu Noca, Josué, Anacleto e Luciano, pela ajuda ao longo do curso.

Ao CNPq/CT-Hidro pela concessão da bolsa, sem a qual não teria conseguido realizar este sonho.

Enfim, a todos que fizeram parte destes dois anos de enorme assimilação de conhecimento.

## **BIOGRAFIA**

EDIVAN RODRIGUES DE SOUZA, filho de Edgar de Souza e Maria Salete Rodrigues, nasceu em 22 de setembro de 1981, em Alexandria, Rio Grande do Norte.

Cursou o ensino fundamental e médio na Escola Estadual Governador Walgredo Gurgel na cidade de Antônio Martins – RN.

Em 2000 iniciou o curso de Engenharia Agrônoma na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró – RN, graduando-se em 2004.

Em março de 2005 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo na Universidade Federal Rural de Pernambuco.

## SUMÁRIO

	Página
INTRODUÇÃO GERAL.....	09
<b>CAPÍTULO I: Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo no cultivo de cenoura irrigada em Neossolo Flúvico.....</b>	<b>10</b>
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUÇÃO.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	15
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS.....	37
<b>CAPÍTULO II: Evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico cultivado com cenoura irrigada.....</b>	<b>41</b>
RESUMO.....	42
ABSTRACT.....	43
INTRODUÇÃO.....	44
MATERIAL E MÉTODOS.....	46
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
CONCLUSÕES.....	60
REFERÊNCIAS.....	61
<b>CAPÍTULO III: Variabilidade espacial da produtividade de cenoura irrigada com água moderadamente salina em Neossolo Flúvico no semi-árido.....</b>	<b>64</b>
RESUMO.....	65
ABSTRACT.....	66
INTRODUÇÃO.....	67
MATERIAL E MÉTODOS.....	69
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
CONCLUSÕES.....	80
REFERÊNCIAS.....	81
CONCLUSÕES FINAIS.....	84

## **INTRODUÇÃO GERAL**

A região Nordeste do Brasil apresenta um grande potencial agrícola, em virtude, principalmente, da fertilidade dos seus solos. No entanto, devido à escassez de água ocasionada pelos reduzidos e mal distribuídos eventos pluviométricos, faz-se necessário adotar técnicas de manejo capazes de fornecer água às culturas nos momentos e quantidades oportunos. Por este motivo, a irrigação é um fator de enorme interesse para os produtores da região.

A água utilizada na irrigação pode ser oriunda de diversas fontes hídricas, como açudes, rios e poços. Estes últimos apresentam-se em quantidade significativa. Estudos referentes ao teor salino das águas disponíveis no Nordeste são de grande relevância, já que o processo de salinização dos solos é acelerado, principalmente, pela deposição de sais através da água de irrigação. Pesquisas que abordem a salinidade do solo são de essencial importância, pois os sais, além de ocasionar danos às propriedades físicas e químicas do solo podem gerar perdas significativas de produtividade nas culturas exploradas.

Existem diversas culturas reconhecidamente tolerantes à salinidade. No entanto, devido à grande diversidade de espécies vegetais existentes no Brasil e no mundo, aliada à extensa área afetada pelo acúmulo de sais, bem como ao cultivo disseminado de espécies sensíveis, faz-se necessário que pesquisas sejam efetuadas, visando, principalmente, investigar opções de manejo da irrigação e da eficiência agrônoma de cultivos em geral (tolerantes e sensíveis à salinidade) nas condições de solo e clima do Nordeste.

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.

Esta pesquisa aborda a variabilidade espacial e temporal da umidade do solo, a evolução espacial da salinidade do solo e a produtividade e qualidade de cenoura irrigada com água moderadamente salina em Neossolo Flúvico no semi-árido Pernambucano.

## **CAPÍTULO I**

---

### **VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA UMIDADE DO SOLO NO CULTIVO DE CENOURA IRRIGADA EM NEOSSOLO FLÚVICO**

## RESUMO

SOUZA, E. R, MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; Fevereiro, 2007. **Variabilidade espaço-temporal da umidade do solo no cultivo de cenoura irrigada em Neossolo Flúvico**. Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro. Conselheiros: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire e José de Arimatea de Matos.

Com o objetivo de avaliar o comportamento da umidade do solo, espacial e temporalmente, 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 m<sup>2</sup> (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, geoestatística e estabilidade temporal utilizando a diferença relativa e a correlação de Spearman. O setor 2, para as duas profundidades, apresentou umidade média maior que o setor 1 durante quase todo o ciclo da cultura. Os valores do teste de correlação de Spearman apresentaram-se altos entre as épocas de amostragens, indicando dependência temporal ao longo de todo o ciclo. Através da técnica da diferença relativa foi possível identificar pontos no espaço amostral que representam a média da umidade do solo. A dependência espacial da umidade foi inferida através dos semivariogramas e dos mapas de isolinhas para os dois setores em suas diferentes profundidades.

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

## **ABSTRACT**

SOUZA, E. R, MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; February, 2007.  
**Spatio-temporal variability of soil moisture in an irrigated carrot plot in a Fluvic Neossol.** Advisor: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro. Additional support: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire and José de Arimatea de Matos.

An experiment has been performed aiming to evaluate the spatial-time variation patterns of soil humidity in an irrigated area in Pesqueira – PE. The experiment has been carried out in an irrigated plot with carrot, with duration of 96 days. Two irrigated sectors (1 and 2) with 900 m<sup>2</sup> each (30 m x 30 m) have been monitored in the experiment, using microsprinklers. Dead cover has been used to cover the soil surface after 23 days of sowing, in sector 2. The irrigation water was derived from a nearby Amazon well. The applied irrigation has been estimated considering the crop demand and a leaching fraction of 20%. Neutron probe access tubes have been installed to measure soil moisture at 20 and 40 cm depths, in 49 points in sector 1 and 52 points in sector 2, in a 5 x 5 m grid. The neutron probe readings were performed one hour after irrigation, twice a week, with a total of 20 monitoring days. Data has been analysed using descriptive statistics, geostatistics and temporal stability, based on relative difference and the Spearman correlation. The soil moisture in sector 2, for the two depths, was higher than in sector 1 for the whole cropping period. Temporal dependence for the whole period has been found through high values of the Spearman correlation test throughout the sampling times. It has been possible to identify points in the sampling space representing the average soil moisture content, using the relative difference technique. The spatial dependence of the soil moisture content has been inferred through semi-variograms and contouring maps for the two sectors, at the two different depths.

**Key-words:** neutron probe, geostatistics, dead cover

## INTRODUÇÃO

A água representa um papel extremamente importante na agricultura, de modo a possibilitar ao solo teores de umidade dentro de limites satisfatórios, para que as culturas exploradas venham a atingir desenvolvimento adequado e produtividades economicamente competitivas. 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<sub>o</sub>), do coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) e da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). Estudos de dinâmica da água em condições de campo, dando ênfase a fluxos de água na zona radicular da cultura, são menos freqüentes 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. Muitos trabalhos têm sido publicados sobre a variabilidade espacial da umidade do solo, mas muito pouco se sabe sobre a sua variabilidade temporal (Rocha et al., 2005; Starr, 2005).

Trabalhos abordando a umidade do solo têm sido conduzidos em diferentes escalas espaciais (1 m<sup>2</sup> a km<sup>2</sup>), 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 Fidalski et al. (2006), Jabro et al. (2006), Mello et al. (2006), Montenegro & Montenegro (2006), Motomiya et al. (2006) e Souza et al. (2006).

Como precursores dos estudos referentes à estabilidade temporal podem ser citados Vachaud et al. (1985), que propuseram uma metodologia capaz de reduzir o número de observações requeridas para caracterizar uma determinada propriedade física do solo. Estes autores descrevem duas técnicas, sendo uma delas denominada diferença relativa, onde se faz uma análise dos desvios entre os valores

observados individualmente e a média deles, determinados espacialmente. Como resultado, igualdade ou pequenas variações na diferença relativa entre as posições ao longo do tempo indicam a estabilidade temporal. A outra técnica utiliza o teste não paramétrico de Spearman. Uma das principais vantagens da metodologia de Vachaud et al. (1985) é a redução do número de observações requeridas para se caracterizar uma propriedade física do solo. Conforme Melo Filho & Libardi (2005), a verificação da estabilidade temporal pode ser utilizada para responder às crescentes questões sobre problemas relativos à amostragem para medição de propriedades do solo com alta variabilidade, com equilíbrio entre o econômico e o técnico, e gerando informações científicas mais claras e precisamente analisadas, cujos resultados poderão ser utilizados com baixa incerteza.

Dentre os estudos recentes que tratam da estabilidade temporal, pode ser citado Melo Filho; Libardi (2005) que, avaliando a estabilidade temporal das medidas do teor e do potencial mátrico da água do solo em uma transeção com 50 pontos distanciados entre si por 1 m, possibilitaram, através da técnica da diferença relativa, identificar no campo posições que representavam a média dessas variáveis em qualquer tempo, e concluíram que a técnica representa um avanço em relação aos outros métodos tradicionais, à medida que reduz o número de amostras necessárias para estimar uma média representativa com elevada exatidão e reduzido esforço amostral.

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.

De posse das contribuições da literatura, que retratam a viabilidade de estudos com relação à umidade do solo, este trabalho objetiva estudar a variabilidade espaço-temporal 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.

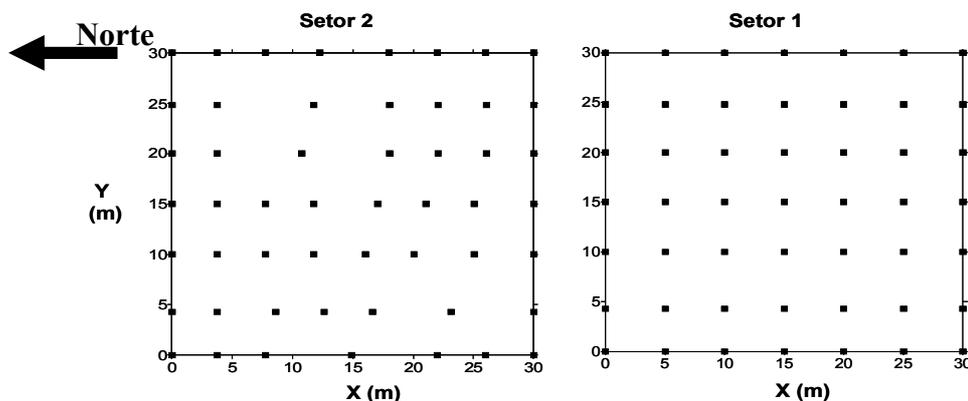
## **MATERIAL E MÉTODOS**

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" e 8° 18' 11" 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, segundo Hargreaves (1974).

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<sup>-1</sup> de N; 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, baseada na análise de solo e nas necessidades da cultura, de acordo com as recomendações para cultura da cenoura no Estado de Pernambuco (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1998). Foram usadas as fontes: Uréia (45% de N), Cloreto de Potássio (58% K<sub>2</sub>O) e Fosfato Mono Amônio-MAP (9% de N e 48 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). 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.

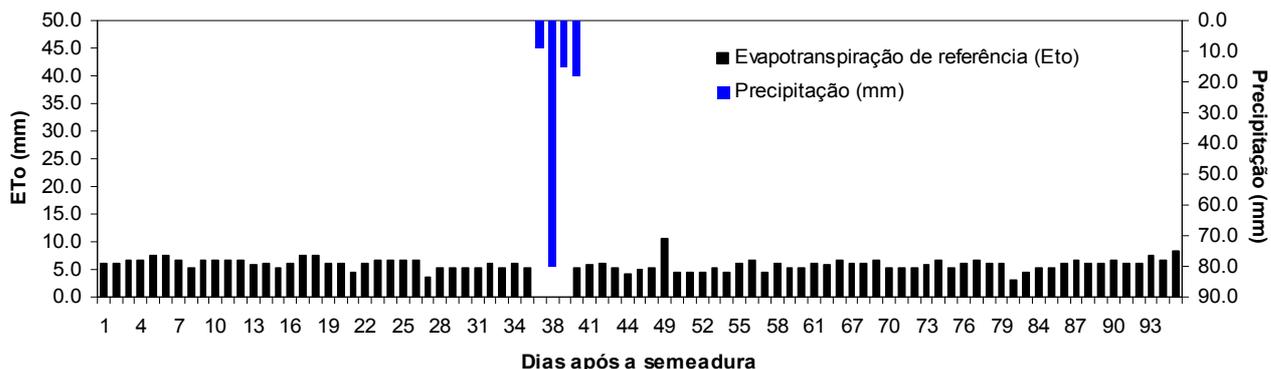
O experimento foi instalado numa área de 1800 m<sup>2</sup> dividida em dois setores com 900 m<sup>2</sup> (30 x 30m) cada, denominados de setores 1 e 2. O sistema de irrigação adotado foi o localizado tipo microaspersão com os emissores espaçados de 4 x 3 m. No setor 1 foram instalados 49 tubos de acesso e no setor 2 esse número foi de 52 (Figura 1). Realizou-se ainda testes de uniformidade de distribuição de água e vazão adotando a metodologia de Merriam & Keller (1978). De acordo com a classificação da ASAE (1996), os coeficientes de uniformidade de vazão e

coeficiente de uniformidade de pressão foram considerados altos, apresentando valores de 93,98 e 97,96% respectivamente.



**FIGURA 1.** Locais de instalação dos tubos de acesso para sonda de nêutrons nos dois setores de irrigação

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<sub>o</sub>) 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<sup>-1</sup>, utilizando-se restos triturados desidratados de plantas de feijão com caule, folhas e cascas de vagens, objetivando verificar a influência desse material na manutenção da umidade.



**FIGURA 2.** Valores da evapotranspiração de referência (ETo) e da precipitação durante o ciclo da cultura

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. Andrade et al. (2001) comentam que para se determinar o conteúdo de água do solo, deve-se fazer uma leitura em cada profundidade, aos 30 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.

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 ( $\text{g g}^{-1}$ ).

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. Uma trincheira foi aberta na área de estudo e coletadas amostras de solo indeformadas para confecção da curva característica de retenção de água do solo.

**TABELA 1.** Valores médios da caracterização granulométrica para os dois setores estudados em suas respectivas profundidades

Setores cm	Argila	Silte	Areia			Classe textural
			Grossa	Fina	Total	
	$\text{g kg}^{-1}$					
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

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 aderência 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 geoestatística 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.

Para avaliação da estabilidade temporal entre as datas em que se amostrou os setores 1 e 2, nas duas profundidades (20 e 40 cm), foram utilizadas duas técnicas propostas por Vachaud et al. (1985). Segundo Melo Filho & Libardi (2005) e Vachaud et al. (1985), para se aplicar o conceito de estabilidade temporal a um conjunto de dados, é necessário que duas condições sejam atendidas: a primeira requer, para determinado tempo, um número suficiente de observações para obtenção de seus parâmetros estatísticos clássicos; na segunda condição, deve ser possível associar a cada posição ou local o seu valor estatístico de densidade de probabilidade de distribuição Normal. A primeira técnica proposta por Vachaud et al. (1985) é denominada de cálculo da diferença relativa, que realiza uma análise dos desvios entre os valores observados individualmente no espaço e a média deles. A segunda técnica é o teste de correlação de Spearman, que é utilizado como uma ferramenta estatística para indicar o grau de concordância da variabilidade espacial obtida em diferentes tempos.

De acordo com Melo Filho & Libardi (2005), o coeficiente de correlação de Spearman possibilita verificar a existência da estabilidade temporal, mas não identifica os locais em que as medidas possam ser realizadas para representar a média da variável em estudo para qualquer tempo e valor. Já as diferenças relativas, quando ordenadas e plotadas, possibilitam identificar os pontos cujos valores sempre estejam próximos da média, e possam ser utilizados como referência amostral.

Com os valores de umidade do solo ( $g\ g^{-1}$ ), determinados para os vinte dias de monitoramento, foram calculadas as diferenças relativas para os dois setores nas duas profundidades, de acordo com a equação 1.

$$DR_{ij}(\theta) = \frac{\theta_{ij} - \bar{\theta}_j}{\bar{\theta}_j} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:  $DR_{ij}$  a diferença relativa entre determinação individual para um local  $i$  no tempo  $j$ ;  $\bar{\theta}_{ij}$  o teor de água no solo no local  $i$  e no tempo  $j$ ;  $\bar{\theta}_j$  o teor médio de água para todas as posições, no momento  $j$ . Ainda foram determinados os desvios-padrão relacionados com as variações espaciais.

Depois de calculadas e ordenadas, as diferenças relativas e seus respectivos desvios-padrão, foram plotados, permitindo identificar os locais que sistematicamente, superestimam ( $DR > 0$ ) ou subestimam ( $DR < 0$ ) as medidas médias da variável em estudo, independentemente do tempo de observação. O local a ser escolhido para a coleta de amostras, cujos valores sejam confiáveis e representativos, deve apresentar uma diferença relativa média igual a zero, ou muito próxima de zero, e estar associada ao menor desvio-padrão (Vachaud et al., 1985; Gonçalves et al., 1999). Para cada gráfico da média da diferença relativa, foi escolhido um ponto, cujo valor fosse mais próximo de zero e que apresentasse desvio-padrão pequeno. Após a identificação dos pontos, foram elaborados gráficos com intuito de validar, ou seja, verificar o comportamento do ponto escolhido durante os tempos de avaliação e comparar os valores individuais dos pontos com a média geral. Foi realizado o teste de correlação de Spearman, correlacionando os dados de umidade gravimétrica os tempos de acompanhamento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta os resultados da estatística descritiva para a umidade do solo realizada nos dois 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 superiores ao setor 1, exceto aos 26, 31, 75 e 94 DAS. A profundidade de 40 cm seguiu a mesma tendência de valores médios de umidade maiores para o setor 2, exceto para 94 DAS.

Embora o setor 2 apresente valores de areia total maiores que o setor 1 (Tabela 1), a areia fina naquele setor corresponde a 81,0% da areia total. Deve-se salientar que no setor 2, ao 23 DAS foi adicionada cobertura morta, o que pode ter colaborado para manter a umidade um pouco mais elevada. Ao analisar os valores dos coeficientes de variação (CV), verifica-se que estes se apresentaram sempre menores para o setor 2, em ambas as profundidades, indicando que com maior umidade no solo, a variação tende a ser menor. Esse comportamento também foi encontrado por Grego et al. (2006) e Timm et al. (2006), trabalhando com a

variabilidade espacial da umidade do solo, como também por Chicota et al. (2006), avaliando a tensão de água no solo, que comentam sobre tal comportamento.

De acordo com a classificação de Warrick & Nielsen (1980), os CV's atingiram os níveis de variação baixo e médio. Um importante pressuposto quando se trabalha com ferramentas estatísticas e geoestatísticas 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 observação. 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.

**TABELA 2.** Estatística descritiva para os dados de umidade ( $\text{g g}^{-1}$ ) durante o ciclo da cenoura para os setores de irrigação, nas profundidades de 20 e 40 cm

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

CV= Coeficiente de variação; N=distribuição Normal; N\*=Distribuição diferente da Normal

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 =  $R^2$ , 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, enquanto que na Figura 4 estão mostrados os semivariogramas para a profundidade de 40 cm.

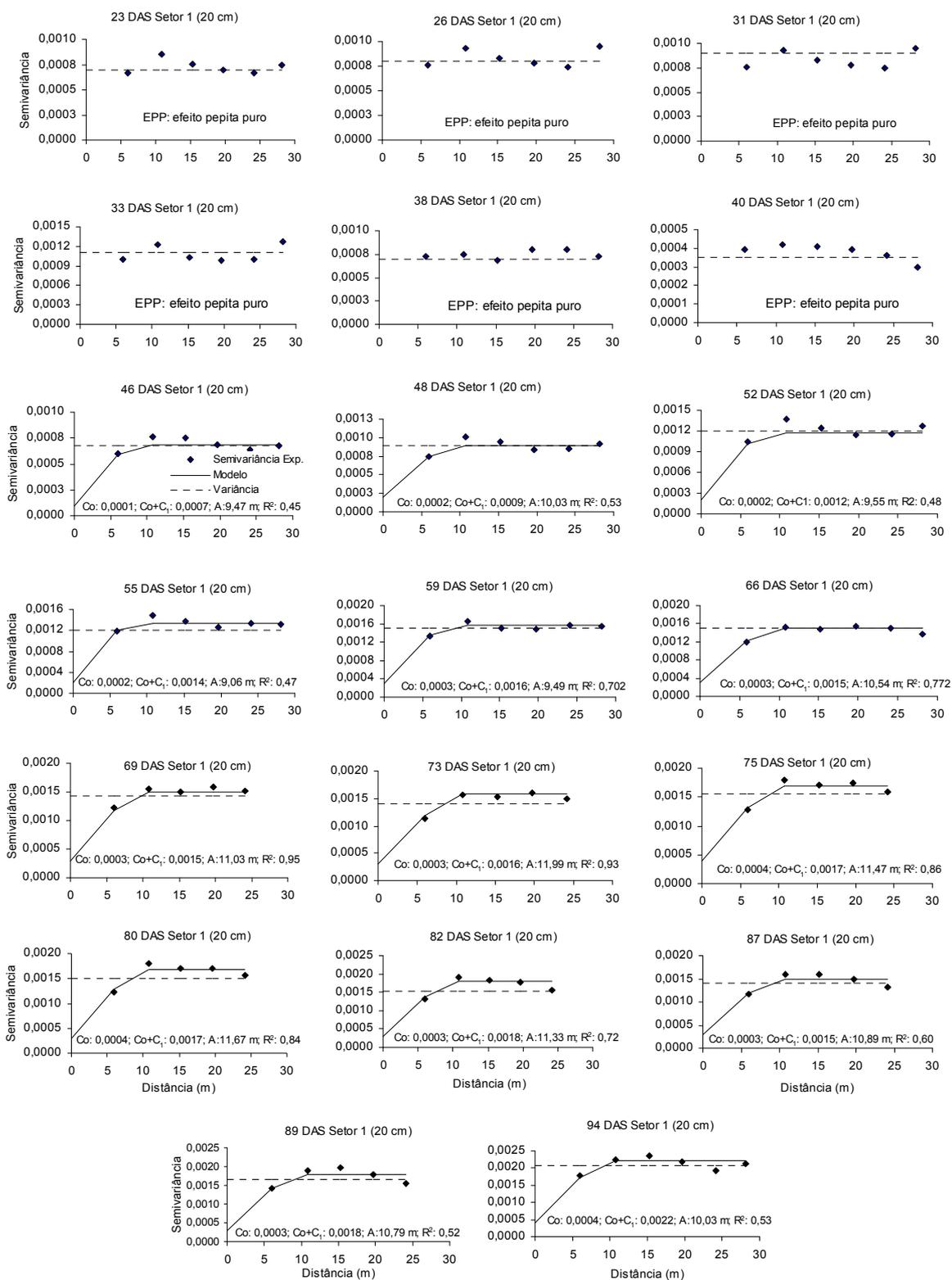
Na Figura 5 pode-se visualizar os mapas dos valores de umidade do solo estimados por krigagem, agrupados numa escala de quatro classes, após a análise de dependência espacial verificada no semivariogramas, onde se percebe que o local com menores valores de umidade está presente na porção mediana do lado direito das imagens. Este padrão manteve-se durante todo ciclo, o que é indicativo de uma possível dependência temporal. Mapas como este 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. Os mapas de isolinhas estão presentes na Figura 6. Comparando-se com a profundidade de 20 cm, nota-se uma semelhança quanto à distribuição espacial da umidade. 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 indício que se necessitaria amostrar uma área maior, caso se objetivasse encontrar esse parâmetro com maior grau de confiabilidade. Mesmo assim, foram confeccionados os mapas de isolinhas, apresentados nas Figuras 7 e 8, onde se verifica uma uniformização dos locais mais úmidos durante todo o ciclo.

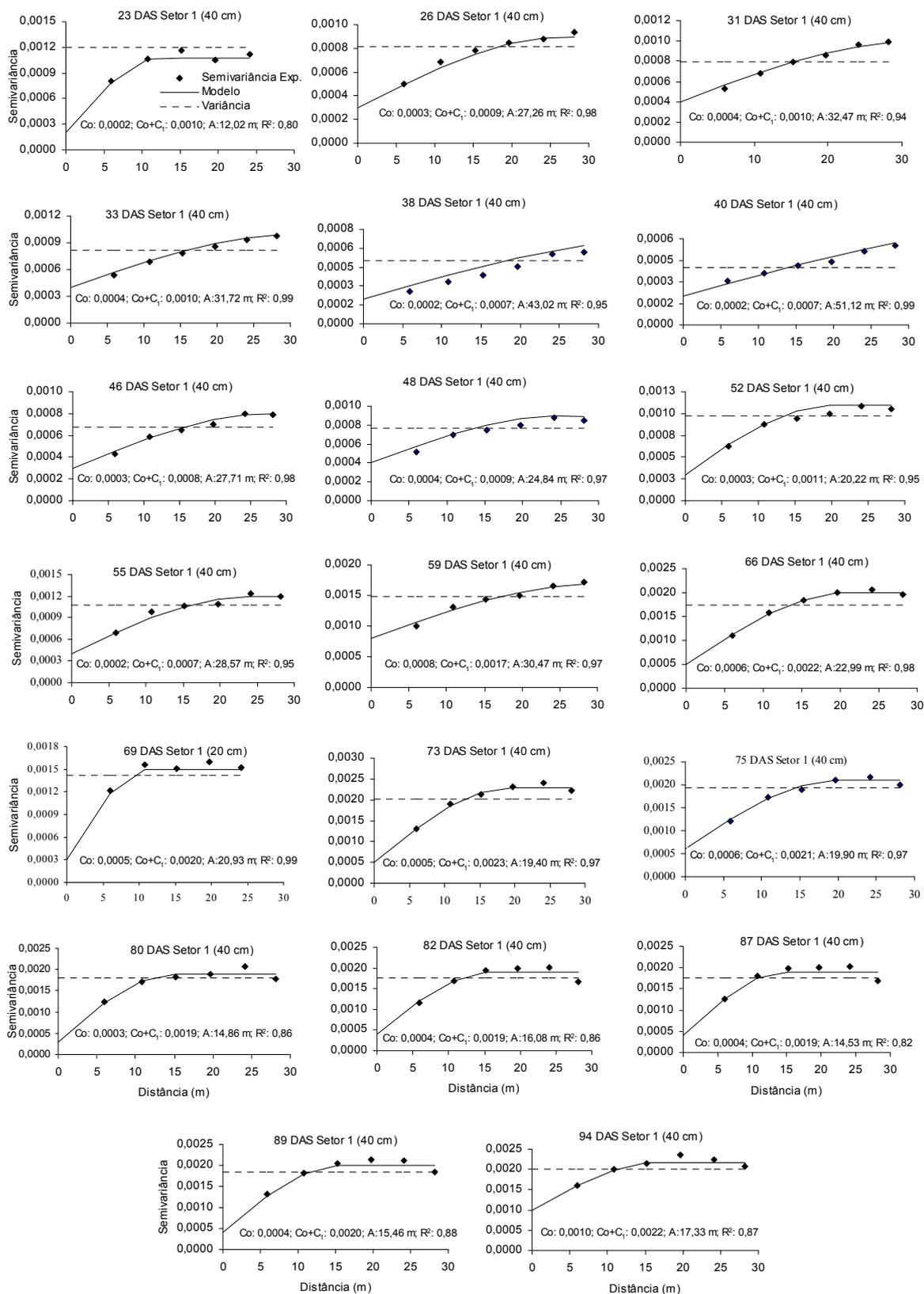
**TABELA 3.** Parâmetros do semivariograma, Co: efeito pepita, Co+C<sub>1</sub>: Patamar, A: alcance, GD: grau de dependência, para os dois setores, nas profundidades de 20 e 40 cm

DAS	Setor 1 (20 cm)						Setor 2 (20 cm)					
	Mod	Co	Co+C <sub>1</sub>	A(m)	GD (%)	R <sup>2</sup>	Modelo	Co	Co+C <sub>1</sub>	A(m)	GD (%)	R <sup>2</sup>
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 <sub>1</sub>	A(m)	GD(%)	R <sup>2</sup>	Modelo	Co	Co+C <sub>1</sub>	A(m)	GD (%)	R <sup>2</sup>
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



**FIGURA 3.** Semivariogramas experimentais e teóricos para o setor 1 (20 cm) com os parâmetros: Co: efeito pepita; Co+C<sub>1</sub>: patamar e A: alcance



**FIGURA 4.** Semivariogramas experimentais e teóricos para o setor 1 (40 cm) com os parâmetros: Co: efeito pepita; Co+C<sub>1</sub>: patamar e A: alcance

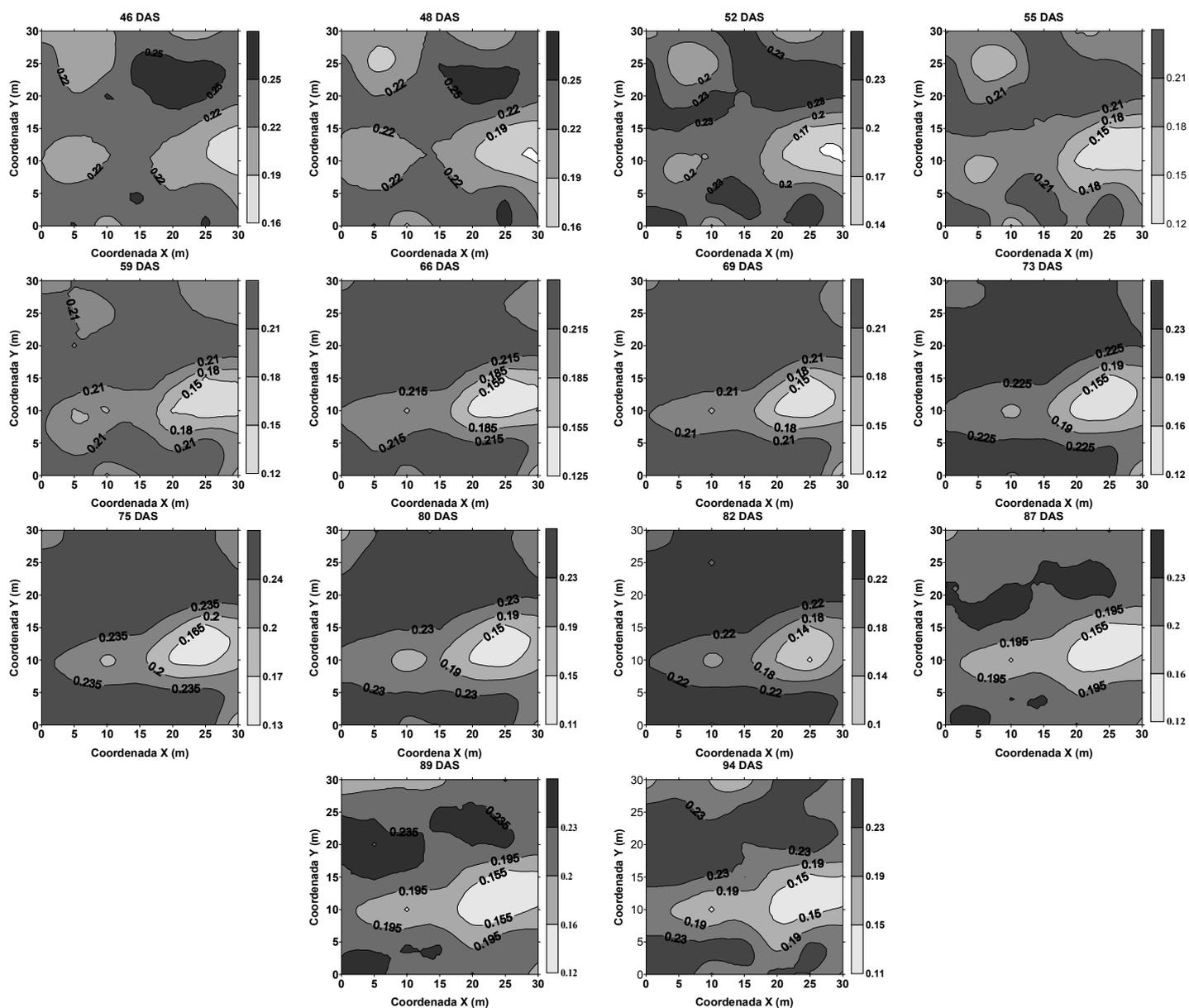
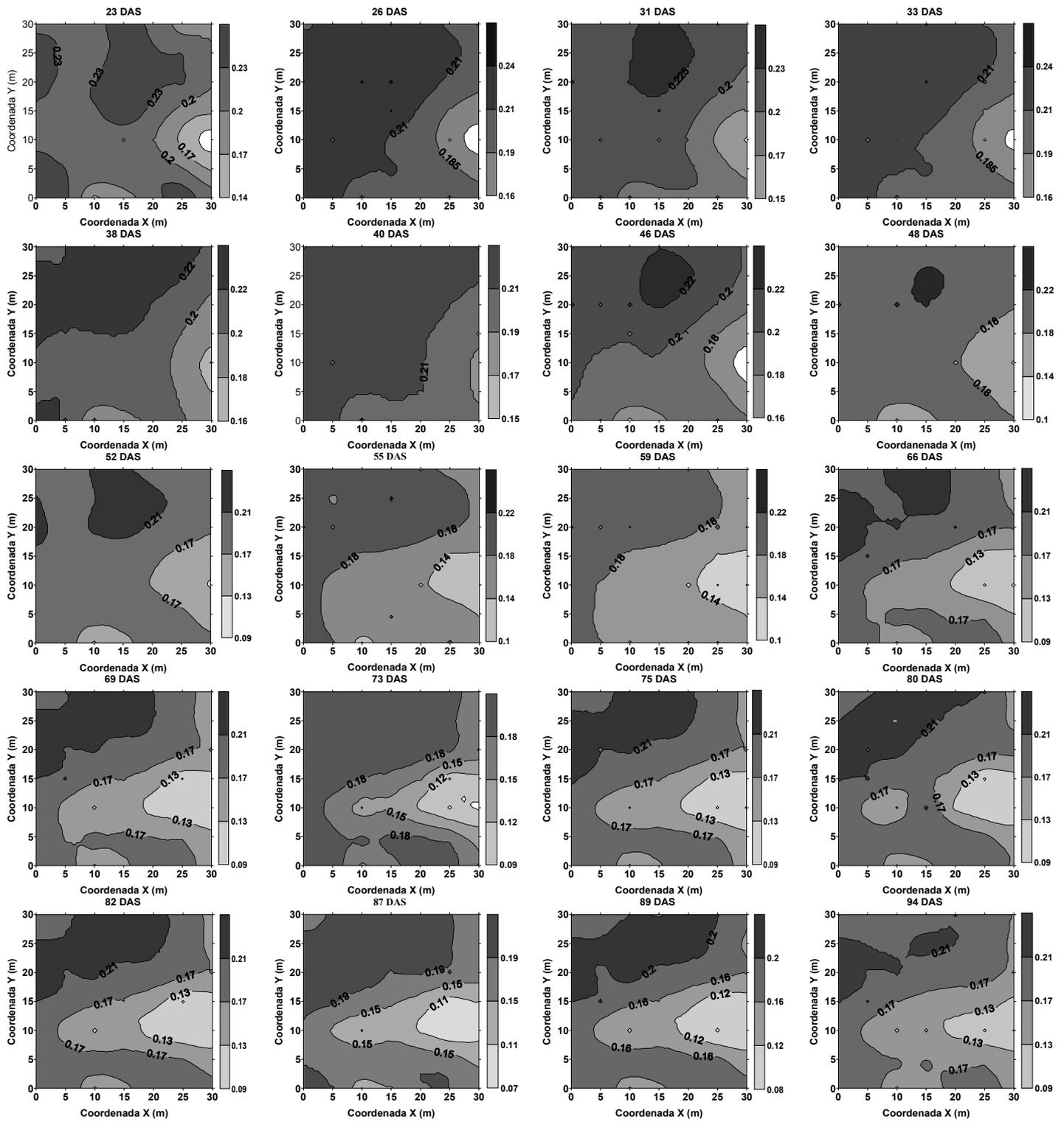


FIGURA 5. Mapas de isolinhas dos valores de umidade do solo ( $g\ g^{-1}$ ) para o Setor 1 (20 cm de profundidade)



**FIGURA 6.** Mapas de isolinhas dos valores de umidade do solo ( $\text{g g}^{-1}$ ) para o Setor 1 (40 cm de profundidade) nos 20 dias de monitoramento

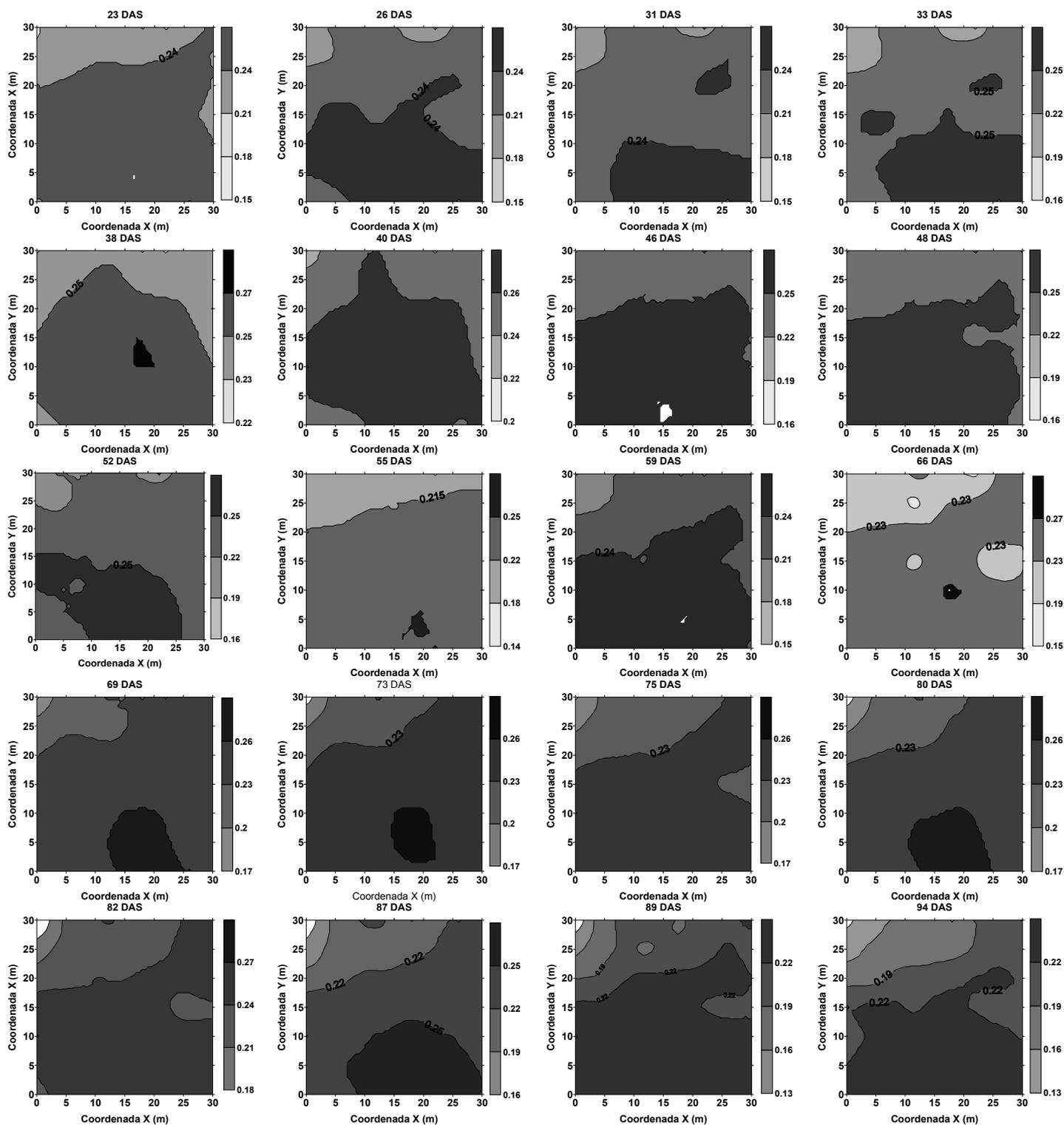
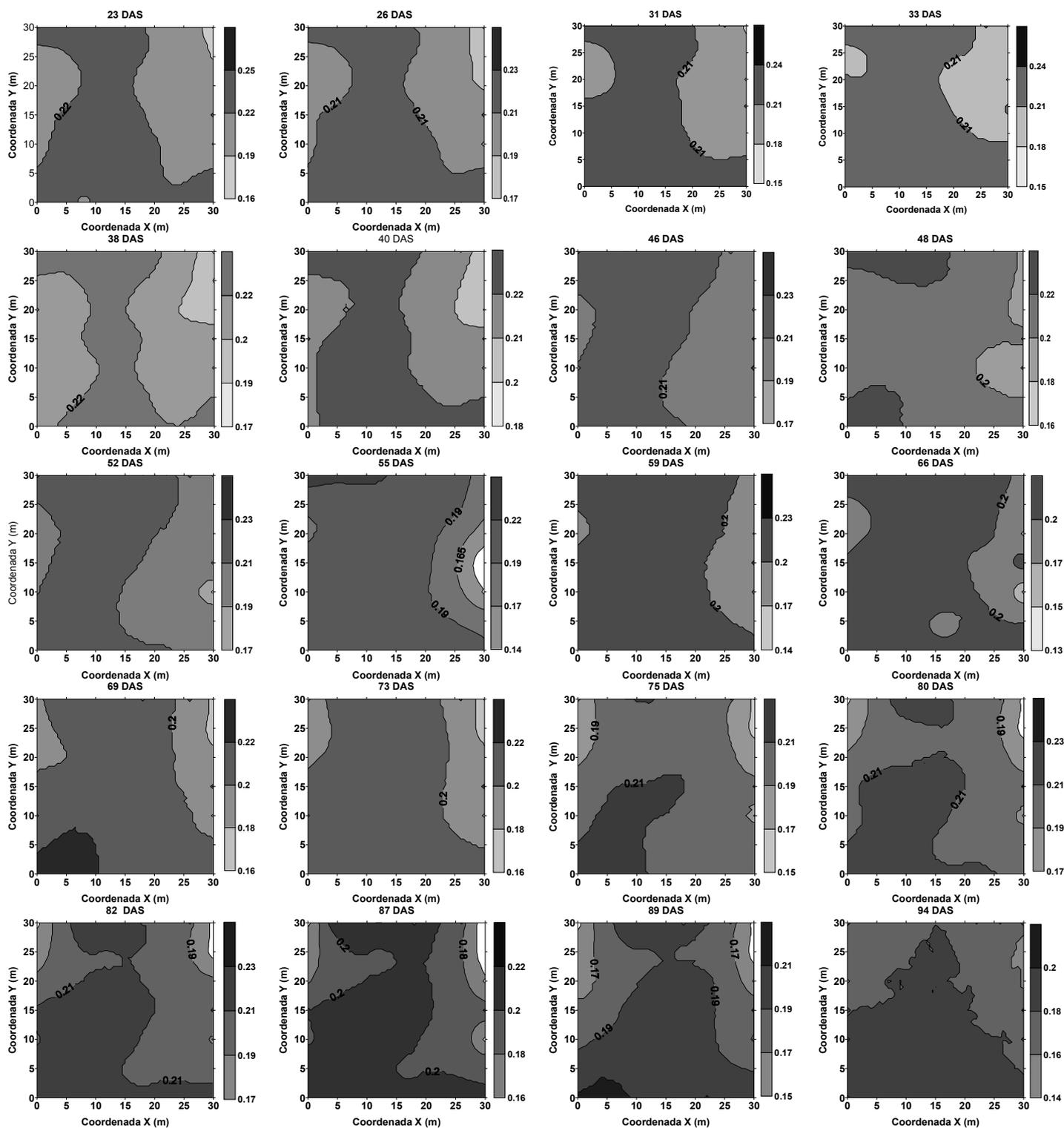


FIGURA 7. Mapas de isolinhas dos valores de umidade do solo ( $g\ g^{-1}$ ) para o Setor 2 (20 cm) nos 20 dias de monitoramento



**FIGURA 8.** Mapas de isolinhas dos valores de umidade do solo ( $g\ g^{-1}$ ) para o Setor 2 (40 cm) nos 20 dias de monitoramento

As Tabelas 4, 5, 6 e 7 apresentam os coeficientes de correlação de Spearman para o teor de água no solo nas 20 datas de monitoramento, nos dois setores e nas duas profundidades. De um modo geral, os índices de correlação diminuíram com o tempo, indicando uma mudança de correlação em alguns locais. No entanto, os valores de tais coeficientes, em sua maioria, foram elevados, com correlação significativa a 0,05 de probabilidade (StatSoft. Inc, 2001), indicando a existência de estabilidade temporal forte nas posições, com coeficientes próximos de 1. O limite crítico de correlação foi de 0,29, para uma significância de 0,05 de probabilidade. Desse modo, todos os tempos apresentaram uma correlação significativa para os setores estudados.

**TABELA 4.** Coeficientes de correlação da umidade do solo entre os dias de monitoramento para o setor 1 na profundidade de 20 cm. Todas as comparações acima de 0,29 foram significativas a  $p < 0,05$

DAS	23	26	31	33	38	40	46	48	52	55	59	66	69	73	75	80	82	87	89	94
23	1,00	0,91	0,94	0,94	0,90	0,85	0,84	0,80	0,77	0,79	0,70	0,61	0,66	0,71	0,72	0,57	0,68	0,58	0,56	0,48
26		1,00	0,96	0,94	0,87	0,85	0,79	0,75	0,73	0,74	0,68	0,59	0,64	0,68	0,69	0,54	0,65	0,55	0,54	0,48
31			1,00	0,97	0,88	0,89	0,86	0,82	0,80	0,79	0,72	0,62	0,66	0,71	0,73	0,57	0,68	0,58	0,56	0,50
33				1,00	0,93	0,88	0,87	0,82	0,82	0,83	0,74	0,64	0,67	0,72	0,74	0,57	0,67	0,59	0,57	0,51
38					1,00	0,88	0,84	0,81	0,79	0,80	0,68	0,59	0,62	0,66	0,68	0,47	0,60	0,52	0,48	0,42
40						1,00	0,84	0,83	0,75	0,75	0,67	0,59	0,61	0,66	0,66	0,51	0,64	0,56	0,51	0,45
46							1,00	0,96	0,93	0,93	0,82	0,72	0,74	0,78	0,79	0,62	0,79	0,72	0,69	0,65
48								1,00	0,91	0,90	0,79	0,70	0,71	0,77	0,76	0,65	0,79	0,73	0,70	0,67
52									1,00	0,98	0,93	0,84	0,84	0,86	0,88	0,71	0,83	0,77	0,74	0,70
55										1,00	0,95	0,86	0,87	0,87	0,89	0,73	0,84	0,79	0,76	0,73
59											1,00	0,95	0,95	0,92	0,93	0,81	0,88	0,84	0,81	0,77
66												1,00	0,98	0,94	0,95	0,84	0,89	0,86	0,83	0,79
69													1,00	0,96	0,96	0,84	0,90	0,85	0,82	0,78
73														1,00	0,98	0,88	0,93	0,86	0,84	0,78
75															1,00	0,85	0,92	0,85	0,82	0,76
80																1,00	0,91	0,91	0,90	0,86
82																	1,00	0,96	0,94	0,91
87																		1,00	0,98	0,96
89																			1,00	0,97
94																				1,00

DAS: Dias após a semeadura AG: Areia grossa; AF: Areia fina; A: argila; S: silte

**TABELA 5.** Coeficientes de correlação da umidade do solo entre os dias de monitoramento para o setor 1 na profundidade de 40 cm. Todas as comparações acima de 0,29 foram significativas a  $p < 0,05$

DAS	23	26	31	33	38	40	46	48	52	55	59	66	69	73	75	80	82	87	89	94
23	1,00	0,88	0,87	0,87	0,73	0,76	0,78	0,80	0,77	0,76	0,75	0,73	0,67	0,66	0,65	0,47	0,62	0,63	0,63	0,62
26		1,00	0,98	0,98	0,90	0,90	0,83	0,83	0,78	0,78	0,75	0,72	0,69	0,66	0,69	0,53	0,67	0,66	0,65	0,61
31			1,00	0,98	0,91	0,91	0,85	0,83	0,78	0,77	0,73	0,69	0,67	0,65	0,68	0,55	0,66	0,65	0,65	0,60
33				1,00	0,90	0,91	0,85	0,84	0,79	0,79	0,75	0,72	0,70	0,66	0,70	0,56	0,68	0,69	0,68	0,64
38					1,00	0,87	0,85	0,81	0,75	0,74	0,67	0,67	0,68	0,71	0,73	0,64	0,74	0,70	0,70	0,64
40						1,00	0,83	0,83	0,72	0,71	0,63	0,60	0,57	0,57	0,61	0,51	0,60	0,59	0,58	0,54
46							1,00	0,95	0,89	0,86	0,79	0,75	0,74	0,74	0,78	0,72	0,77	0,77	0,75	0,70
48								1,00	0,93	0,92	0,85	0,77	0,76	0,73	0,77	0,68	0,77	0,78	0,77	0,74
52									1,00	0,98	0,93	0,84	0,81	0,78	0,80	0,71	0,79	0,80	0,79	0,75
55										1,00	0,95	0,85	0,81	0,76	0,79	0,67	0,77	0,78	0,77	0,73
59											1,00	0,90	0,88	0,82	0,83	0,70	0,82	0,82	0,81	0,79
66												1,00	0,97	0,93	0,95	0,80	0,91	0,90	0,88	0,86
69													1,00	0,95	0,97	0,85	0,95	0,91	0,90	0,86
73														1,00	0,98	0,87	0,96	0,91	0,90	0,86
75															1,00	0,88	0,98	0,94	0,92	0,88
80																1,00	0,89	0,86	0,85	0,79
82																	1,00	0,96	0,96	0,91
87																		1,00	0,98	0,94
89																			1,00	0,96
94																				1,00

DAS: Dias após a semeadura AG: Areia grossa; AF: Areia fina; A: argila; S: silte

**TABELA 6.** Coeficientes de correlação da umidade do solo entre os dias de monitoramento, para o setor 2 na profundidade de 20 cm. Todas as comparações acima de 0,29 foram significativas a  $p < 0,05$

DAS	23	26	31	33	40	46	48	52	55	59	66	69	73	75	80	82	87	89	94
23	1,00	0,92	0,87	0,89	0,64	0,79	0,71	0,73	0,61	0,72	0,75	0,71	0,75	0,72	0,71	0,61	0,67	0,52	0,62
26		1,00	0,92	0,94	0,64	0,80	0,71	0,72	0,60	0,68	0,73	0,69	0,79	0,69	0,71	0,61	0,64	0,49	0,60
31			1,00	0,94	0,50	0,70	0,61	0,65	0,52	0,59	0,62	0,57	0,66	0,59	0,63	0,55	0,58	0,43	0,56
33				1,00	0,51	0,77	0,69	0,73	0,59	0,68	0,70	0,66	0,72	0,65	0,69	0,61	0,66	0,51	0,64
40					1,00	0,54	0,49	0,44	0,38	0,41	0,52	0,50	0,56	0,52	0,51	0,43	0,43	0,29	0,37
46						1,00	0,95	0,92	0,81	0,89	0,86	0,86	0,82	0,82	0,82	0,76	0,80	0,66	0,68
48							1,00	0,91	0,75	0,85	0,81	0,80	0,73	0,74	0,75	0,67	0,72	0,58	0,76
52								1,00	0,86	0,89	0,84	0,83	0,76	0,77	0,79	0,74	0,79	0,64	0,74
55									1,00	0,89	0,83	0,81	0,74	0,78	0,77	0,73	0,77	0,62	0,72
59										1,00	0,93	0,90	0,83	0,88	0,84	0,80	0,85	0,71	0,82
66											1,00	0,95	0,90	0,94	0,91	0,84	0,88	0,74	0,85
69												1,00	0,93	0,97	0,94	0,87	0,91	0,74	0,84
73													1,00	0,92	0,92	0,80	0,87	0,68	0,79
75														1,00	0,97	0,90	0,95	0,79	0,90
80															1,00	0,90	0,96	0,79	0,91
82																1,00	0,91	0,80	0,87
87																	1,00	0,85	0,96
89																		1,00	0,86
94																			1,00

DAS: Dias após a semeadura AG: Areia grossa; AF: Areia fina; A: argila; S: silte

**TABELA 7.** Coeficientes de correlação da umidade do solo entre os dias de monitoramento para o setor 2 na profundidade de 40 cm. Todas as comparações acima de 0,29 foram significativas a  $p < 0,05$

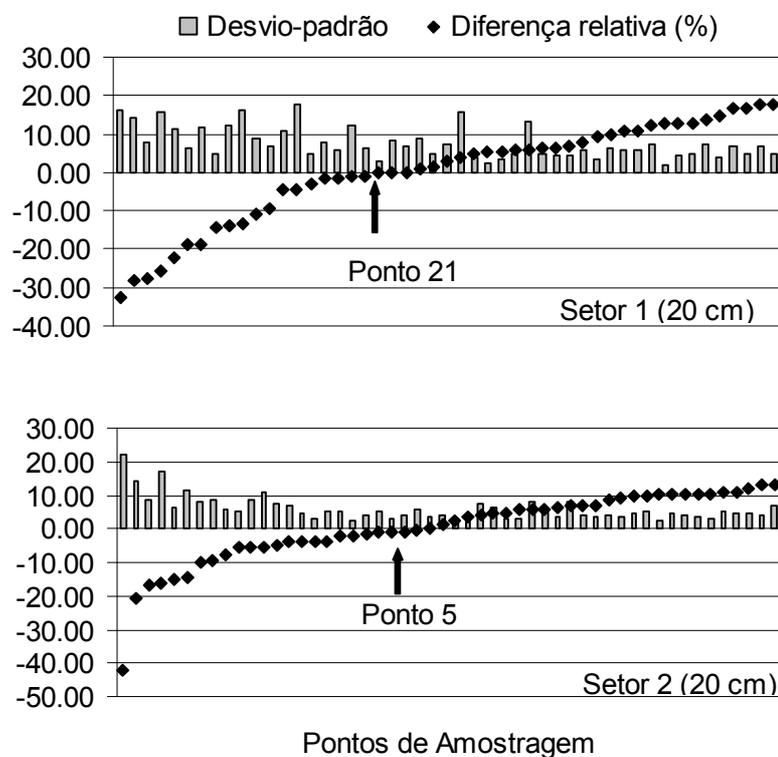
DAS	23	26	31	33	40	46	48	52	55	59	66	69	73	75	80	82	87	89	94	
23	1,00	0,94	0,92	0,93	0,77	0,78	0,76	0,74	0,70	0,75	0,54	0,70	0,69	0,66	0,64	0,64	0,68	0,59	0,54	
26		1,00	0,92	0,96	0,78	0,73	0,70	0,67	0,67	0,70	0,56	0,68	0,69	0,65	0,64	0,66	0,68	0,64	0,56	
31			1,00	0,93	0,79	0,75	0,72	0,69	0,68	0,72	0,51	0,67	0,66	0,64	0,63	0,64	0,66	0,56	0,52	
33				1,00	0,76	0,77	0,76	0,74	0,68	0,72	0,55	0,69	0,70	0,65	0,62	0,68	0,68	0,61	0,53	
40					1,00	0,58	0,55	0,56	0,55	0,60	0,33	0,47	0,51	0,47	0,48	0,54	0,54	0,45	0,40	
46						1,00	0,97	0,93	0,81	0,88	0,70	0,83	0,83	0,78	0,77	0,75	0,79	0,65	0,61	
48							1,00	0,95	0,81	0,89	0,69	0,85	0,83	0,78	0,76	0,75	0,80	0,65	0,61	
52								1,00	0,80	0,89	0,65	0,80	0,79	0,75	0,74	0,72	0,77	0,65	0,57	
55									1,00	0,82	0,57	0,74	0,72	0,68	0,68	0,67	0,76	0,57	0,54	
59										1,00	0,79	0,89	0,84	0,86	0,85	0,82	0,89	0,71	0,73	
66											1,00	0,81	0,84	0,88	0,84	0,80	0,82	0,72	0,83	
69												1,00	0,92	0,95	0,93	0,89	0,92	0,78	0,81	
73													1,00	0,95	0,90	0,92	0,91	0,77	0,80	
75														1,00	0,97	0,92	0,92	0,84	0,87	
80															1,00	0,91	0,90	0,84	0,86	
82																1,00	0,93	0,78	0,83	
87																	1,00	0,83	0,84	
89																		1,00	0,80	
94																				1,00

DAS: Dias após a sementeira AG: Areia grossa; AF: Areia fina; A: argila; S: silte

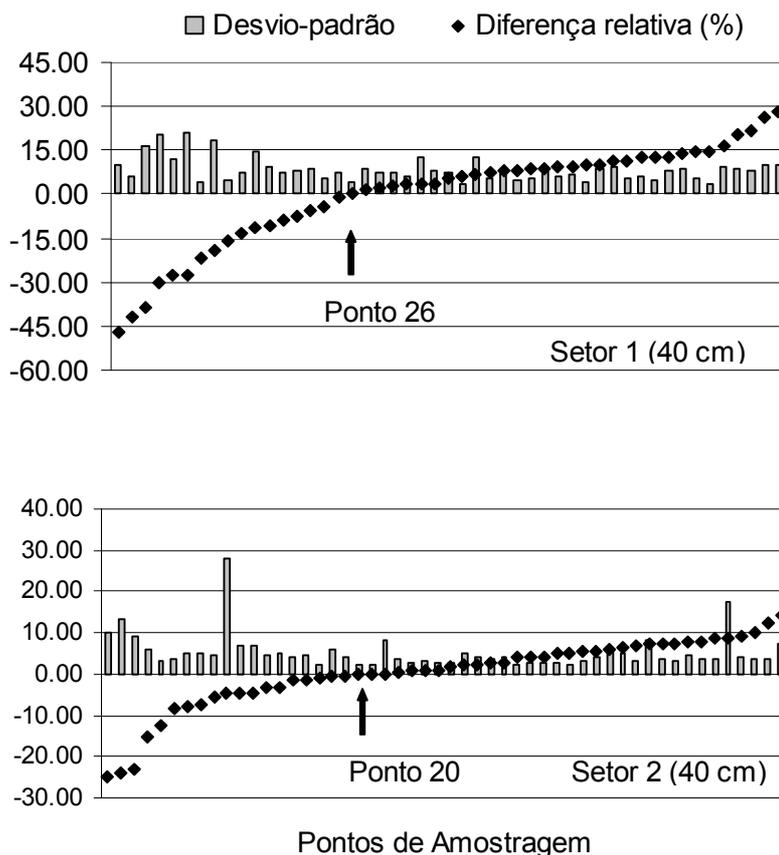
Com relação aos resultados das diferenças relativas médias (DR's), as Figuras 9 e 10 apresentam a diferença relativa média intertemporal e desvio padrão do teor de água no solo ( $g\ g^{-1}$ ), na profundidade de 20 cm, para os setores 1 e 2 (Figura 9) e na profundidade de 40 cm, também para os dois setores (Figura 10), podendo-se visivelmente identificar os locais de amostragem que apresentam os valores mais próximos da média, em qualquer tempo.

O desvio-padrão associado com a DR estima o grau de confiabilidade da medida da diferença relativa. Para o setor 1 (20 cm), o ponto que apresentou a diferença relativa mais próxima de zero, ou seja, o que mais se aproximou do valor médio da umidade no tempo dentro da malha amostral, foi o ponto 21, com um valor de  $-0,28 (\pm 2,86\%)$ . Da mesma forma que se identificou a posição mais próxima da média, pode-se também conhecer os locais em que subestimaram ou superestimaram a média durante o ciclo da cultura, que no caso foram as posições 16 e 31 respectivamente, com valores de DR e desvios-padrão de  $-32,55 (\pm 16,9\%)$  e  $17,64 (\pm 4,67\%)$ . Para o Setor 2 (20 cm), a locação que melhor representou a média ao longo do tempo foi a 5, com valor de 0,21, e desvio padrão (incerteza) de 3,69%. Na profundidade de 40 cm, para o setor 1, o ponto mais representativo foi o 26 e para o setor 2 foi o 20 (Figura 10), com incertezas respectivas de 4,36 e 2,39%. É

possível verificar que as incertezas para os pontos representativos são reduzidas. Vachaud et al (1985), Melo Filho & Libardi (2005) e Rocha et al. (2005) encontraram desvios-padrão semelhantes ao estudarem a estabilidade temporal de umidade do solo. Para este trabalho foram encontradas quatro posições representativas, ou seja, uma para cada setor, e correspondente profundidade, ao contrário de Melo Filho & Libardi (2005), que encontraram mais de uma posição trabalhando em uma transeção. Chicota et al., (2006), utilizando uma transeção de 48 m e avaliando a variabilidade espaço-temporal da tensão de água no solo, adotaram técnicas semelhantes, verificando dependência temporal através dos coeficientes de correlação de Spearman, e identificando locais representativos através das diferenças relativas.

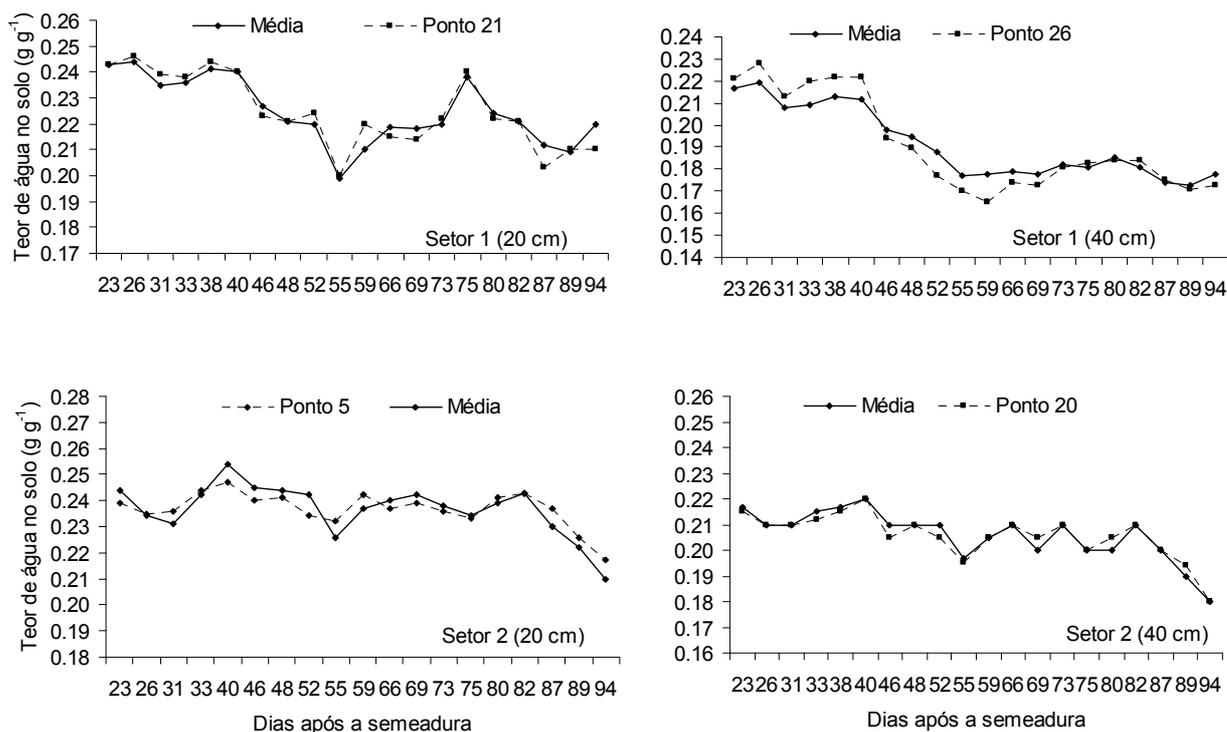


**FIGURA 9.** Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o teor de água no solo ( $\text{g g}^{-1}$ ), na profundidade de 20 cm para os setores 1 (49 pontos) e 2 (52 pontos). Valores em destaque indicam os pontos que devem ser adotados para medidas representativas da umidade média do solo



**FIGURA 10.** Diferença relativa média intertemporal e desvio padrão para o teor de água no solo ( $\text{g g}^{-1}$ ), na profundidade de 40 cm para os setores 1 (49 pontos) e 2 (52 pontos). Valores em destaque indicam os pontos que devem ser adotados para medidas representativas da umidade média do solo

Como forma de comparar a média da umidade durante o tempo (DAS) com os pontos representativos encontrados pela técnica da diferença relativa, a Figura 11 ilustra tal comparação, onde se verifica uma forte semelhança. Embora alguns pontos não coincidam exatamente com a média, as diferenças que ocorrem são mínimas. Percebe-se que a técnica proposta por Vachaud et al (1985) realmente consegue obter resultados satisfatórios, conseguindo identificar as posições no campo que melhor representem a média da umidade durante o tempo, trazendo redução do número de amostras necessárias para estimar uma média representativa com elevada exatidão e esforço amostral.



**FIGURA 11.** Comparação entre os teores médios de água no solo e os teores de água nas posições com estabilidade temporal nas datas de amostragem

### CONCLUSÕES

- O setor 2 (com cobertura morta) apresentou umidade média superior ao setor 1, para as duas profundidades, durante quase todo o ciclo da cultura, 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.
- Os valores do teste de correlação de Spearman apresentaram-se altos entre as épocas de amostragens, indicando dependência temporal ao longo de todo o ciclo.
- Através da técnica da diferença relativa foi possível identificar pontos no espaço amostral que representam a média da umidade do solo com elevado grau de confiabilidade e baixa incerteza ao longo do ciclo.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A. R. S. et al. Influência do tempo de contagem na determinação da densidade de nêutrons. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.411-415, 2001.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - ASAE. **Field evaluation of microirrigation systems**. St. Joseph, 1996, p. 792-797.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Fieldscale variability of soils properties in central Iowa, Soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, n.6, p.1501-1511, 1994.

CHICOTA, R.; HURTADO, A. L. C.; van LIER, Q. J. Spatio-temporal variability of soil water tension in a tropical soil in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.133, n. 1, p. 31-243, 2006.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. **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. et al. **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. et al. 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**, Santa Maria, v.36, n.6, p. 1773-1779, 2006.

GONÇALVES, A.C.A.; FOLEGATTI, M.A.; SILVA, A.P. Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa - MG, v.23, n.2, p.155-164, 1999.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R.; Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 29, n.2, p.169-177, 2005.

GREGO, C. R. et al. Geostatistical analysis for soil moisture content under the no tillage cropping system. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.64, n.4, p.341-350, 2006.

HARGREAVES, G. H. **Climatic zoning for agricultural production in northeast Brazil**. Logan: Utah State University, 1974. 6p.

HUPET, F.; VANCLOOSTER, M. Intraseasonal dynamics of soil moisture variability within a small agricultural maize cropped field. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, 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**, Baltimore, 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**, Campina Grande, v.10, n.2, p.294–305, 2006.

MELO FILHO, J. F.; LIBARDI, P. L.; Estabilidade temporal de medidas do teor e do potencial mátrico da água no solo em uma transeção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa- MG, v.29, n. 4, p.497-506, 2005.

MERRIAN, J. L.; KELLER, J. Farm irrigation systems evaluation: **A guide for management**. Logan: agricultural and irrigation engineering department, Utah State University, 1978. 271p.

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**, Campina Grande, 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**, Viçosa-MG, 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. et al. **Variabilidade espaço temporal de propriedades físico-hídricas**. In: Solo e água: aspectos de uso e manejo com ênfase no semi-árido nordestino. Fortaleza:, UFC, 2004.

ROCHA, G. C. et al. Estabilidade temporal da distribuição espacial da armazenagem de água em um solo cultivado com citrus. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.1, p.41-50, 2005.

SOUZA, Z. M. et al. Otimização amostral de atributos de Latossolos considerando aspectos solo-relevo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p. 829-836, 2006.

STARR, G.C. Assessing temporal stability and spatial variability of soil water patterns with implications for precision water management. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.72, n.2, p.223–243, 2005.

STATSOFT. **STATISTICA**: data analysis software system. Version 6. [S. L.], 2001.

GOLDEN SOFTWARE: **SURFER**. Version 8.0, [S. L.], 2002

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**, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.161-168, 2005.

TIMM, L. C. et al. Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.63, n.1, p.55-64, 2006.

VACHAUD, G. et al. Temporal stability of spatially measured soil water probability density function. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 49, n.4, p.822-827, 1985.

VAUCLIN, M. et al. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, 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. Cap.2, p.319-344.

## **CAPÍTULO II**

---

### **EVOLUÇÃO E VARIABILIDADE ESPACIAL DA SALINIDADE EM NEOSSOLO FLÚVICO CULTIVADO COM CENOURA IRRIGADA**

## RESUMO

SOUZA, E. R, MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; Fevereiro, 2007. **Evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico cultivado com cenoura irrigada.** Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro. Conselheiros: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire e José de Arimatea de Matos.

O estudo da variabilidade espacial das propriedades químicas dos solos é de interesse devido à heterogeneidade encontrada nos mesmos, principalmente em solos afetados por sais. Um dos fatores que impulsionam a salinização dos solos é a adição de sais pela água de irrigação, sendo necessário um manejo eficiente para que haja redução desse processo. Com o objetivo de verificar o efeito do uso da irrigação por microaspersão, utilizando água moderadamente salina, nas propriedades químicas do solo durante o ciclo da cenoura (*Daucus carota* L.), foi desenvolvido um experimento de campo com duração de 96 dias, cultivando-se a variedade de cenoura Brasília em um Neossolo Flúvico. Foram formados dois setores de irrigação (1 e 2), cada um com 900 m<sup>2</sup> (30 x 30m), utilizando-se água com condutividade elétrica média de 1,42 dS m<sup>-1</sup>. No setor 2 foi adicionada cobertura morta a partir dos 23 dias após a semeadura, adotando uma fração de lixiviação de 20%. Foram realizadas duas amostragens de solo, antes e 96 dias após a semeadura nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm em 49 pontos no setor 1 e 52 pontos no setor 2, em nós de uma malha de 5 x 5 m. No extrato da pasta de saturação do solo foram medidos o pH e a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) e determinados os cátions solúveis; determinando-se, também os cátions trocáveis e calculando-se a relação de adsorção de sódio (RAS) e percentagem de sódio trocável (PST). Os dados foram analisados por estatística descritiva e métodos geoestatísticos. Não houve diferença significativa para a CEes entre as épocas de amostragem, exceto para o setor 1 (20-40 cm). Através do mapeamento da CEes verificou-se aumento da área salinizada ao final do ciclo da cultura. Não foram identificadas áreas classificadas como sódicas.

**Palavras-chave:** geoestatística, relação de adsorção de sódio, percentagem de sódio trocável.

## **ABSTRACT**

SOUZA, E. R, MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; February, 2007. **Evolution and soil salinity spatial variability of an irrigated Fluvic Neossol cultivated with carrot.** Advisor: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro. Additional support: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire and José de Arimatea de Matos.

The study of the spatial variability of the soil chemical properties is of interest due to its heterogeneity, mainly in soils affected by salts. One of the factors contributing to soil salinization is the addition of salts through irrigation water, being required an efficient management. With the objective of verifying the effect of the microsprinkler irrigation using saline moderately water on the soil chemical properties during a carrot cycle (*Daucus carota* L.) a field experiment has been developed during 96 days, being cultivated a carrot variety Brasília in a Fluvic Neossol. Two irrigation sectors were implemented (1 and 2), each one with 900 m<sup>2</sup> (30 x 30m), using water with average electrical conductivity of 1,42 dS m<sup>-1</sup>. Dead cover has been used in sector 2. A leaching fraction of 20% was adopted. Two soil sampling were carried out, before and at the 96 days after sowing, in the depths of 0-20 and 20-40 cm, in 49 points in the sector 1, and 52 points in the sector 2, comprising a 5 x 5 m grid. In the saturation extract it has been measured the pH and the electrical conductivity (ECes), and some the soluble cations; being also determined the exchangeable cations and being calculated the sodium adsorption ratio (SAR) and exchangeable sodium percentage (ESP). The data were analyzed by descriptive statistics and geostatistics methods. There was not significant difference for the ECes between the sampling times, except for the sector 1 (20-40 cm). Using the produced maps of ECes increase was verified for the salinized area by the end of the cropping cycle. Sodic areas have not been identified.

**Key-words:** geoestatistics, sodium adsorption ratio, exchangeable sodium percentage

## INTRODUÇÃO

A salinização do solo é um dos problemas mais sérios para agricultura irrigada nas regiões semi-áridas e áridas, podendo ser causada por sais dissolvidos na água de irrigação, depósitos marinhos ou através da própria constituição de minerais do solo através do intemperismo (Horney et al., 2005). Em excesso, os sais prejudicam o crescimento das plantas, em virtude dos efeitos diretos sobre o potencial osmótico e dos íons potencialmente tóxicos presentes em elevadas concentrações na solução do solo (Freire et al. 2003a).

Para prevenção e controle da salinidade nas áreas irrigadas, além de práticas adequadas de manejo, enfatiza-se a importância de estudos de efeitos de irrigação a longo prazo sobre características do solo e do monitoramento do lençol freático (Gheyi, 2000). Ribeiro et al. (2003) comentam que nas regiões semi-áridas, onde as condições climáticas favorecem ao enriquecimento químico dos recursos hídricos, as águas possuem sais dissolvidos que, na ausência de manejo adequado da irrigação, podem comprometer a qualidade do solo a médio e longo prazos. Além disso, para que haja condições de cultivo ao longo do ano, é necessário que se adote a irrigação. Mantovani et al. (2006) comentam que a agricultura irrigada possibilita maior produção (mais de um plantio por ano) e produtividade (otimização no uso de áreas), bem como a geração de empregos permanentes, promovendo o aumento da renda e a diminuição do êxodo rural.

Como em regiões semi-áridas as fontes de água para irrigação são normalmente rios, açudes e poços, e esses apresentam, em sua maioria, um elevado conteúdo de sais dissolvidos na água, a irrigação deve ser manejada de modo a diminuir os impactos referentes ao solo, como a salinização. Caso haja predominância de sódio nas águas utilizadas, além do perigo da salinização, pode ocorrer também a sodificação, bem mais complexa, uma vez que requer um alto custo de recuperação dos solos afetados, tornando a correção muitas vezes impraticável.

Audry & Suassuna (1995), avaliando a qualidade das águas de riachos, açudes e poços do semi-árido do Nordeste Brasileiro, verificaram que tanto a salinidade quanto a sodicidade, esta última expressa segundo a relação de adsorção de sódio (RAS), crescem na ordem de rios, açudes e poços. Oliveira & Maia (1998), realizando o mesmo tipo de levantamento anterior, no estado do Rio Grande do

Norte, também encontraram a maior incidência de água com problemas de salinidade (elevada CE) e sódio nas águas provenientes de poços tubulares. Dias et al. (2004), objetivando verificar a evolução da salinidade em um Argissolo cultivado com melão, utilizaram águas de irrigação com três níveis salinos: 1,2; 2,5 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>, concluindo que a salinidade do solo ao final do ciclo (70 DAS) apresentou um acréscimo, atribuído à aplicação de fertilizantes via fertirrigação, bem como à reduzida fração de lixiviação, que foi de 10%.

O acúmulo de sais no solo depende da qualidade da água de irrigação, das propriedades físicas do solo e, sobretudo, das condições de drenagem e do balanço de água e de sais no subsolo (Dias et al., 2005). Ainda há carência de estudos sobre o tema abordando diferentes tipos de solos e culturas, verificando tanto o comportamento dos solos como a tolerância das culturas exploradas em áreas semi-áridas

Outro aspecto importante quando se trabalha com salinização em áreas irrigadas é a abordagem da heterogeneidade resultante das lâminas aplicadas. Diversos artifícios são adotados, podendo-se trabalhar com métodos estatísticos, onde são formulados tratamentos dispostos em blocos homogêneos. Alternativamente, a geoestatística é outra maneira de avaliar os resultados, requerendo que sejam conhecidas as distâncias de separação entre os pontos monitorados, para identificar a distância de dependência espacial da variável estudada (Vieira et al., 2002). Com os resultados dos parâmetros do semivariograma (efeito pepita, patamar e alcance), é possível através da krigagem, o mapeamento da propriedade de interesse, considerando a correlação existente.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo verificar a evolução da salinidade e sodicidade de um Neossolo Flúvico em cultivo de cenoura irrigada com água moderadamente salina, bem como a dependência espacial dessas variáveis, identificando as áreas afetadas pelo processo de salinização.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área do experimento está localizada na sub-bacia do Rio Ipanema, no Estado de Pernambuco, entre as coordenadas 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul, e 37° 1' 20" de Longitude Oeste, com altitude média de 613 m, no município de Pesqueira, com solo caracterizado como Neossolo Flúvico. De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo BSsh (extremamente quente, semi-árido), com precipitação total anual média de 730 mm e evapotranspiração potencial anual média de 1.683 mm, segundo Hargreaves (1974).

O experimento foi conduzido no período de 29 de outubro de 2005 a 02 de fevereiro de 2006. Após aração e gradagem da área, foi realizada uma adubação de fundação nas quantidades 40 kg ha<sup>-1</sup> de N; 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, baseada na análise de solo e nas necessidades da cultura, de acordo com as recomendações para cultura da cenoura no Estado de Pernambuco (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1998). Foram utilizadas as fontes: Uréia (45% de N), Cloreto de Potássio (58% K<sub>2</sub>O) e Fosfato Mono Amônio- MAP (9% de N e 48 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Após este procedimento, foram confeccionados os canteiros de plantio da cenoura (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 sistema de irrigação adotado foi a microaspersão, com espaçamento entre os emissores de 4 x 3 m, com arranjo triangular. Foram instalados dois setores de irrigação, cada um com área de 900 m<sup>2</sup> (30 x 30 m), denominados setores 1 e 2. Para monitoramento da umidade do solo ao longo do ciclo da cultura, foram instalados tubos de acesso de PVC para sonda de nêutrons. No setor 1 foram instalados 49 tubos, enquanto que no setor 2 esse número foi de 52 tubos de acesso. Os locais de instalação dos tubos coincidiram com os nós de uma malha aproximada de 5 x 5 m, em cada quadrado maior de 30 x 30 m de cada setor explorado. Foram coletadas amostras de solo em todos os nós, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, antes da semeadura, sempre ao redor dos tubos de acesso, com intuito de uniformizar a distância de amostragem. Esse procedimento de coleta foi repetido ao final do ciclo da cultura, ou seja, 96 dias após a semeadura (DAS), para a determinação das características químicas do solo.

O suprimento de água da cultura foi baseado na necessidade hídrica da mesma, com uma fração de lixiviação de 20%, adotando-se os coeficientes de cultivo para cada fase de desenvolvimento, conforme Doorenbos & Pruitt (1977).

Aos 23 DAS, efetuou-se o desbaste e adicionou-se cobertura morta ao setor 2, adotando-se restolhos triturados desidratados de plantas de feijão com caule, folhas e cascas de vagens, em quantidade de 9.000 kg ha<sup>-1</sup>. Aos 40 DAS, foi realizada uma adubação de cobertura com 40 kg ha<sup>-1</sup> de N e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, seguindo a recomendação citada anteriormente.

Após as coletas, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em malha de 2 mm, para serem procedidas as análises físicas e químicas. Para a determinação das frações granulométricas, adotou-se o método da pipeta, descrito pela EMBRAPA (1997), cujos valores médios encontram-se na Tabela 1. Foram medidos a condutividade elétrica (CEes) e determinados os cátions no extrato da pasta saturada, de acordo com Richards (1954). A relação de adsorção de sódio (RAS) foi calculada pela equação (1) abaixo:

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}} \quad (1)$$

A determinação dos cátions trocáveis foi realizada pelo método do acetato de amônio (Thomas, 1982), enquanto que a percentagem de sódio trocável (PST) foi calculada com os resultados de sódio trocável e capacidade de troca de cátions (CTC), pela equação (2):

$$PST = \frac{Na^+}{CTC} \times 100 \quad (2)$$

**Tabela 1.** Médias da composição granulométrica dos dois setores estudados nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

Setores	Argila	Silte	Areia			Classe textural
			Grossa	Fina	Total	
Cm	g kg <sup>-1</sup>					
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

Foi realizada análise de estatística descritiva, através da avaliação de medidas de tendência central (média, mediana e moda) e dispersão (desvio padrão, variância, coeficiente de variação), bem como de aderência à distribuição Normal, segundo o teste de Shapiro & Wilk (1965). Para análise geoestatística, utilizou-se a ferramenta geoestatística GEO-EAS (Englund & Sparks, 1992) e GS+ (Robertson, 1998). Após a obtenção dos semivariogramas experimentais, foram testados os modelos gaussiano, esférico e exponencial, 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 confecção dos mapas de isolinhas trabalhou-se com o software Surfer 8.0

Para caracterização do grau de variabilidade, foram analisados os valores de coeficiente de variação (CV) dos atributos, conforme sugerido por Warrick & Nielsen (1980), os quais consideram baixa variabilidade quando  $CV < 12\%$ ; média para o intervalo 12 - 60%, e alta variabilidade quando  $CV > 60\%$ . 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 adotado o software Surfer 8.0. Para as variáveis que apresentaram efeito pepita puro, ou seja, ausência de dependência espacial, bem como aquelas com alcance reduzido, foi realizado o teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade, com intuito de comparar as médias de tais variáveis entre as duas épocas de amostragem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da estatística descritiva para pH, CEes, cátions solúveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ) e RAS do extrato de saturação do solo para o setor 1 (0-20 e 20-40 cm) antes e aos 96 DAS encontram-se na Tabela 2. Analisando-se a média das variáveis na profundidade de 0-20 cm, verifica-se que a CEes permaneceu praticamente com o mesmo valor, após o cultivo de cenoura irrigada, enquanto que, os elementos  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  apresentaram teores mais elevados ao final do ciclo da cenoura. Para o Mg e K foram observados decréscimos, correspondendo a 31,48% para o  $\text{Mg}^{2+}$  e 52,38 % para o  $\text{K}^+$ , o que pode ter sido ocasionado por lixiviação ou absorção desses elementos pelas plantas. Foi observada a redução de pH ao final do ciclo, o que pode ser indicativo da ocorrência de lixiviação. A RAS, após 96 DAS apresentou um aumento de 9,00 para 11,45  $\text{mmol}_c \text{L}^{-0.5}$ , ocasionado pelo acréscimo do teor de sódio e diminuição nos de Mg e K. Uma provável explicação para a estabilidade do valor da CEes está associada, principalmente, ao manejo da irrigação, onde o turno de rega foi diário e o solo manteve o mesmo padrão de umedecimento durante o ciclo, ou seja, apresentando-se próximo à capacidade de campo.

Quanto aos coeficientes de variação, nota-se que os menores valores foram observados para o pH e os maiores para o  $\text{K}^+$ , resultados comumente encontrados na literatura. As outras variáveis apresentaram média variabilidade pelo critério de Warrick & Nielsen (1980), uma vez que apresentaram valores na faixa de 12 a 60%. Com respeito ao teste de Normalidade, as variáveis que apresentaram aderência a tal distribuição foram pH, Na e RAS (antes da semeadura); pH, CEes,  $\text{Ca}^{2+}$  e RAS (96 DAS).

Na profundidade de 20-40 cm, a CEes aumentou em 0,58  $\text{dS m}^{-1}$  e a RAS passou de 6,49 para 7,93  $\text{mmol}_c \text{L}^{-0.5}$ , sendo também observado pequenos incrementos nos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  e redução nos de  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ . Os valores de CV apresentaram o mesmo comportamento da profundidade 0-20 cm. Os resultados de pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e RAS foram Normais antes da semeadura, bem como, pH e RAS aos 96 DAS. O aumento das RAS após o cultivo seguiu o mesmo padrão de acréscimo da primeira camada avaliada, em virtude do Na também ter aumentado. Isto pode ser devido à predominância do sódio na água utilizada para irrigação, sendo um fator preocupante por contribuir para a sodificação dos solos e degradação de suas propriedades físicas (Freire et al., 2003a e b)



No setor 2 (Tabela 3), com cobertura morta, observou-se que a CEes decresceu para as duas profundidades ao final do ciclo e a RAS teve comportamento contrário, devido ao decréscimo de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  da solução do solo, aumentando a proporção de Na. Os valores de RAS apresentaram-se aderentes à distribuição Normal em todas as épocas e profundidades. Confrontando os valores médios de CEes e RAS para a profundidade de 0-20 cm entre os setores 1 e 2, verifica-se que o setor 1 apresenta maiores valores de CEes e RAS que o setor 2, o que possivelmente está associado a um efeito combinado de cobertura morta e de textura mais arenosa neste último setor. Por outro lado, para a profundidade 20-40 cm, o setor 2 apresentou valores de RAS mais elevados quando comparados ao setor 1, comportamento este já observado antes do plantio da cenoura.

Pode-se afirmar que, após o ciclo da cenoura (96 dias), não houve grandes alterações nos valores de CEes, cátions solúveis e RAS para ambos os setores, o que, de certa forma, pode ser justificado pelo manejo da irrigação, uma vez que o fornecimento de água foi baseado na necessidade da cultura e ainda se adotou uma fração de lixiviação de 20%. Blanco & Folegatti (2002), trabalhando com pepino em estufa e adotando três níveis de salinidade de água de irrigação, verificaram que a lâmina correspondente a 1,25 da evapotranspiração da cultura não foi suficiente para reduzir a salinidade do solo. Vale salientar que estudos mais completos devem ser efetuados no que concerne à profundidade de avaliação da salinidade que, para o presente trabalho, limitou-se a 40 cm, em virtude de ser a profundidade média explorada pela cultura da cenoura.

**Tabela 3.** Estatística descritiva para o pH, CEes (dS m<sup>-1</sup>), Ca, Mg, Na e K (cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) e relação de adsorção de sódio (mmolc L<sup>-1</sup>) do extrato de saturação do setor 2 nas duas profundidades, antes do plantio e 96 dias após a semeadura da cenoura

Parâmetros	Antes do plantio										Após o plantio (92 DAS)										
	pH	CEes	Ca	Mg	Na	K	RAS	pH	CEes	Ca	Mg	Na	K	RAS	pH	CEes	Ca	Mg	Na	K	RAS
Média	7,58	3,51	0,55	0,51	1,90	0,11	8,41	7,54	2,91	0,35	0,31	1,84	0,003	10,22	7,54	2,91	0,35	0,31	1,84	0,003	10,22
Mediana	7,60	3,28	0,51	0,45	1,83	0,08	8,5	7,55	2,48	0,31	0,25	1,69	0,002	10,22	7,55	2,48	0,31	0,25	1,69	0,002	10,22
Moda	7,50	-	-	-	-	-	-	7,50	-	0,22	-	-	0,002	-	7,50	-	0,22	-	-	0,002	-
Desv. Padrão	0,49	0,94	0,20	0,23	0,46	0,08	1,42	0,17	1,45	0,19	0,19	0,72	0,004	1,86	0,17	1,45	0,19	0,19	0,72	0,004	1,86
C. V (%)	6,44	26,63	35,74	45,80	24,40	68,31	16,91	2,21	49,64	54,83	61,94	39,16	143,01	18,17	2,21	49,64	54,83	61,94	39,16	143,01	18,17
Assimetria	-0,67	0,71	1,26	1,71	0,60	1,77	0,21	-0,76	2,24	3,03	3,30	1,68	3,90	-0,29	-0,76	2,24	3,03	3,30	1,68	3,90	-0,29
Curtose	0,53	0,44	1,96	3,90	0,65	3,09	0,80	2,37	2,39	12,35	14,26	3,48	14,89	-0,41	2,37	2,39	12,35	14,26	3,48	14,89	-0,41
1º Quartil	7,40	2,90	0,44	0,37	1,69	0,06	7,42	7,50	2,09	0,24	0,21	1,38	0,0017	8,80	7,50	2,09	0,24	0,21	1,38	0,0017	8,80
3º Quartil	7,90	3,98	0,64	0,62	2,09	0,14	9,19	7,60	3,13	0,39	0,35	2,13	0,0025	11,60	7,60	3,13	0,39	0,35	2,13	0,0025	11,60
Amplit. total	2,20	4,14	0,87	1,11	2,13	0,3	6,92	0,90	6,32	1,07	1,10	3,37	0,024	7,31	0,90	6,32	1,07	1,10	3,37	0,024	7,31
Nº amostras	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Teste W <sup>1</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,90	0,85	0,95 <sup>ns</sup>	0,80	0,98 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,74	0,71	0,68	0,88	0,41	0,97 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	0,74	0,71	0,68	0,88	0,41	0,97 <sup>ns</sup>
P < W	0,24	0,15	0,00	0,00	0,15	0,00	0,72	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50

Setor 2 (20-40 cm)																					
Parâmetros	Antes do plantio										Após o plantio (92 DAS)										
	pH	CEes	Ca	Mg	Na	K	RAS	pH	CEes	Ca	Mg	Na	K	RAS	pH	CEes	Ca	Mg	Na	K	RAS
Média	7,84	2,90	0,48	0,40	1,54	0,06	7,46	7,30	2,53	0,45	0,31	1,62	0,0010	8,46	7,30	2,53	0,45	0,31	1,62	0,0010	8,46
Mediana	8,00	2,82	0,46	0,36	1,43	0,05	7,72	7,30	1,99	0,36	0,22	1,38	0,0009	8,40	7,30	1,99	0,36	0,22	1,38	0,0009	8,40
Moda	8,10	-	-	0,25	1,38	0,05	-	7,20	-	-	-	-	0,0007	-	7,20	-	-	-	-	0,0007	-
Desv. Padrão	0,37	0,59	0,14	0,14	0,29	0,04	1,14	0,28	1,78	0,28	0,25	0,65	0,0010	1,20	0,28	1,78	0,28	0,25	0,65	0,0010	1,20
C. V (%)	4,68	20,37	28,36	35,89	19,11	72,13	15,33	3,87	46,62	62,30	81,29	40,54	91,830	14,14	3,87	46,62	62,30	81,29	40,54	91,830	14,14
Assimetria	-1,01	0,19	0,22	0,83	0,25	1,59	-0,16	-0,11	1,77	2,12	2,22	1,48	1,9600	0,34	-0,11	1,77	2,12	2,22	1,48	1,9600	0,34
Curtose	0,27	-1,21	-0,89	0,33	-0,92	3,58	-0,97	1,27	2,23	4,11	4,38	1,19	4,5400	0,58	1,27	2,23	4,11	4,38	1,19	4,5400	0,58
1º Quartil	7,7	2,42	0,37	0,29	1,34	0,03	6,51	7,20	1,87	0,30	0,17	1,20	0,0004	7,39	7,20	1,87	0,30	0,17	1,20	0,0004	7,39
3º Quartil	8,10	3,45	0,59	0,48	1,83	0,07	8,20	7,50	2,66	0,46	0,32	1,78	0,0020	9,47	7,50	2,66	0,46	0,32	1,78	0,0020	9,47
Amplit. total	1,5	2,09	0,52	0,64	1,20	0,20	4,12	1,50	4,63	1,31	1,11	2,40	0,0060	4,81	1,50	4,63	1,31	1,11	2,40	0,0060	4,81
Nº amostras	43	43	43	43	43	40	43	43	43	43	43	43	42	43	43	43	43	43	43	42	43
Teste W <sup>1</sup>	0,87	0,95 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	0,87	0,96 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,74	0,71	0,67	0,79	0,7900	0,97 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,74	0,71	0,67	0,79	0,7900	0,97 <sup>ns</sup>
P < W	0,00	0,05	0,30	0,03	0,05	0,00	0,21	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,23	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0000	0,23

<sup>1</sup> Valores calculados do Teste Shapiro-Wilk. <sup>ns</sup> não significativo = Distribuição Normal

Com relação aos cátions trocáveis, verifica-se que para todos os elementos houve uma redução de valores ao final do ciclo da cultura, comportamento semelhante para a PST, que foi reduzida em 0,78 unidade, atingindo o valor de 10,36% após o ciclo na profundidade de 0-20 cm, no setor 1 (Tabela 4). Segundo a classificação proposta por Richards (1954), este solo não seria classificado como sódico, uma vez que o valor de PST não ultrapassou 15%, embora para determinados autores este valor já pode estar interferindo nas propriedades físicas do solo (Freire, 2001). Todos os CV's apresentaram média variabilidade e obedeceram à distribuição Normal de probabilidade, pelo teste de Shapiro Wilk, exceto o K para a última amostragem (96 DAS).

Os valores de PST para a profundidade 20-40 cm foram bem menores que na camada superior, e ao final do ciclo houve um acréscimo de 5,89 para 8,74%. Os resultados de Ca, Mg e PST apresentaram sempre distribuição Normal, ao contrário de Na e K. Com exceção do K, que apresentou alta variabilidade, pelo valor do CV de 79,97%, as demais variáveis apresentaram-se como de média variabilidade.

**Tabela 4.** Estatística descritiva para o Ca, Mg, Na, K trocáveis ( $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) e percentagem de sódio trocável (PST - %) do setor 1 nas duas profundidades, antes do plantio e aos 96 dias após a semeadura (DAS)

Parâmetros	Setor 1 (0-20 cm)										
	Antes da semeadura					96 DAS					
	Ca	Mg	Na	K	PST	Ca	Mg	Na	K	PST	
Média	8,11	3,80	1,58	0,99	11,14	7,78	3,68	1,38	0,60	10,36	
Mediana	8,18	3,79	1,58	0,96	11,27	7,66	3,58	1,39	0,57	10,28	
Moda	-	-	1,58	0,42	-	6,33	-	1,49	-	-	
Desv. Padrão	1,14	0,61	0,28	0,48	2,15	1,26	0,65	0,25	0,35	1,97	
C. V (%)	13,74	16,00	17,58	47,96	19,27	16,15	17,66	17,95	58,03	19,00	
Assimetria	0,21	-0,21	0,47	0,29	0,11	0,13	-0,07	-0,32	0,90	0,64	
Curtose	-0,61	-0,52	-0,007	-1,11	-0,78	-0,46	-0,87	-0,13	0,14	0,82	
1º Quartil	7,16	3,48	1,42	0,61	9,18	7,01	3,15	1,19	0,29	9,09	
3º Quartil	8,19	4,22	1,74	1,40	12,94	8,74	4,16	1,74	0,82	11,01	
Nº amostras	45	45	45	45	48,00	45	45	45	45	49,00	
Teste W <sup>1</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>s</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,91	0,96 <sup>ns</sup>	
P < W	0,55	0,77	0,20	0,02	0,23	0,57	0,40	0,43	0,00	0,08	
Parâmetros	Setor 1 (20-40 cm)										
	Média	9,20	4,36	0,90	0,79	5,89	6,91	3,24	1,00	0,64	8,74
	Mediana	9,15	4,32	0,89	0,68	6,08	6,92	3,25	0,99	0,53	8,55
	Moda	9,72	-	0,73	0,17	-	-	-	-	-	-
	Desv. Padrão	1,19	0,68	0,27	0,63	1,78	0,99	0,52	0,30	0,52	1,83
	C. V (%)	12,90	15,61	29,65	80,12	30,22	14,34	16,04	29,54	79,97	20,94
	Assimetria	-0,15	0,34	-0,03	0,92	-0,19	0,25	0,84	0,02	1,05	0,67
	Curtose	-0,08	-0,07	-1,48	-0,24	-1,16	0,98	0,54	3,60	0,54	0,30
	1º Quartil	8,51	3,79	0,67	0,24	4,50	6,17	2,85	0,89	0,21	7,52
	3º Quartil	10,05	4,84	1,15	1,05	7,33	7,53	3,54	1,15	0,91	9,87
	Nº amostras	41	41	47	41	47	41	41	47	41	45
	Teste W <sup>1</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,92	0,88	0,95 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,93	0,89	0,97 <sup>ns</sup>
	P < W	0,77	0,69	0,00	0,00	0,05	0,49	0,04	0,00	0,00	0,24

<sup>1</sup> Valores calculado do Teste Shapiro-Wilk. <sup>ns</sup> não significativo = Distribuição Normal

Para o setor 2, os valores de PST foram aumentados ao final do ciclo, em virtude do aumento de Na no complexo de troca para as duas profundidades (Tabela 5). Ao se comparar o setor 1 com setor 2, nota-se que este último setor apresentou valores de PST inferiores àquele, o que pode ser explicado pelos teores de argila que eram mais elevados no setor 1, para as duas profundidades (Tabela 1). Um fato importante a ser verificado é que a CEes, bem como a RAS, mantiveram-se sempre em valores mais elevados na camada superficial do solo (0-20 cm). Este fato também foi observado por Dias et al. (2004), trabalhando com melão e utilizando águas de irrigação com três níveis de salinidade (1,2; 2,5 e 4,5 dS m<sup>-1</sup>). Os autores verificaram que a camada de 0-15 cm de profundidade exibiu os maiores valores de CEes, quando comparada com 15-30 e 30-45 cm. Blanco & Folegatti (2002), trabalhando com pepino em estufa, também constataram comportamento semelhante. Ambos os trabalhos adotaram sistema de irrigação por gotejamento.

**Tabela 5.** Estatística descritiva para o Ca, Mg, Na, K trocáveis (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), percentagem de sódio trocável (PST - %) do setor 2 nas duas profundidades, antes do plantio e aos 96 dias após a semeadura (DAS)

Parâmetros	Setor 2 (0-20 cm)									
	Antes da semeadura					96 DAS				
	Ca	Mg	Na	K	PST	Ca	Mg	Na	K	PST
Média	5,82	2,41	0,71	0,41	7,59	4,91	1,69	0,75	0,34	9,74
Mediana	5,98	2,42	0,68	0,40	7,45	4,94	1,69	0,71	0,31	9,60
Moda	6,14	-	0,58	0,40		4,71	-	0,57	0,25	-
Desv. Padrão	0,78	0,40	0,23	0,14	2,17	0,77	0,37	0,21	0,20	2,33
C. V (%)	13,32	16,75	31,73	32,92	28,55	15,73	21,81	28,11	58,37	23,94
Assimetria	-0,25	0,30	0,50	1,00	0,80	-0,18	0,30	0,57	3,51	0,18
Curtose	-0,53	-0,58	-0,92	2,07	1,10	-0,18	-0,58	-0,47	13,81	-0,68
1º Quartil	5,30	2,12	0,53	0,34	5,60	4,45	1,39	0,56	0,25	7,79
3º Quartil	6,30	2,65	0,90	0,49	8,86	5,27	1,89	0,92	0,38	11,41
Nº amostras	45	45	45	45	46	45	45	45	45	50
Teste W <sup>1</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,93	0,94 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,59	0,98 <sup>ns</sup>
P < W	0,41	0,43	0,00	0,01	0,05	0,83	0,30	0,02	0,00	0,61
Setor 2 (20-40 cm)										
Média	5,87	2,24	0,53	0,23	5,94	5,43	1,87	0,65	0,24	8,51
Mediana	5,79	2,25	0,47	0,22	5,66	5,68	2,06	0,62	0,22	7,86
Moda	6,79	2,44	0,47	-		6,40	-	0,51	-	-
Desv. Padrão	0,86	0,37	0,18	0,09	1,62	1,14	0,34	0,02	0,006	2,45
C. V (%)	14,60	16,62	34,61	37,74	27,35	21,01	31,26	22,38	34,27	28,80
Assimetria	0,59	0,10	1,08	0,41	0,70	-0,60	-0,35	0,60	0,82	0,71
Curtose	3,48	1,76	1,48	-0,43	0,72	-0,63	-1,25	-0,03	0,87	-0,06
1º Quartil	5,55	2,02	0,42	0,16	4,91	4,61	1,36	0,55	0,18	6,49
3º Quartil	6,16	2,44	0,63	0,29	7,04	6,40	2,40	0,73	0,30	10,12
Nº amostras	46	46	46	46	47,00	46	46	46	46	51
Teste W <sup>1</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	0,92	0,96 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	0,92	0,96 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>
P < W	0,12	0,31	0,00	0,09	0,15	0,02	0,00	0,15	0,05	0,04

<sup>1</sup> Valores calculado do Teste Shapiro-Wilk. <sup>ns</sup> não significativo = Distribuição Normal

Na Tabela 6 estão expressos os parâmetros dos semivariogramas para CEes, RAS e PST, nos dois setores, e nas duas profundidades. Percebe-se que, para o setor 1, nas duas profundidades e épocas de amostragem, a CEes apresentou efeito pepita puro, o que indica ausência de dependência espacial, ou seja, o uso da estatística clássica seria adequado. Para o setor 2, a CEes apresentou efeito pepita puro somente para a profundidade de 0-20 cm e na 2ª coleta, embora os alcances encontrados para as demais profundidades tenham sido relativamente baixos, variando de 7,95 a 11,00 m, o que indica a distância a partir da qual as amostras são consideradas independentes.

Comportamento semelhante ao da CEes foi observado para a RAS, tendo predominado ausência de dependência espacial, embora tal dependência tenha sido observada para a primeira coleta do setor 1 (0-20 cm), e para a profundidade de 20-40 cm no setor 2, para as duas coletas. Este comportamento de ausência de dependência espacial pode estar associado ao tipo de variável, uma vez que, tanto a CEes como a RAS, são medidas a partir de extrato de saturação do solo que, além de variações no método de preparo da pasta saturada, a própria solução do solo apresenta-se de forma bastante dinâmica.

Com relação à PST, observa-se um comportamento diferenciado, uma vez que, para ambos os setores, profundidades e épocas de amostragem, esta variável apresenta dependência espacial, exceto para a profundidade de 0-20 cm e na segunda coleta do setor 1. Este comportamento pode estar relacionado com a estabilidade que a fração trocável tende a manter ao longo do tempo.

**Tabela 6.** Parâmetros dos semivariogramas da CEes, RAS e PST nos dois setores, profundidades e épocas de amostragem

Setores e profundidades	Modelo	Co	Co+C <sub>1</sub>	A(m)	GD (%)	R <sup>2</sup>
CEes						
Setor 1						
0-20 1ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
0-20 2ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
20-40 1ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
20-40 2ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
Setor 2						
0-20 1ª Coleta	EXP	0,256	0,891	10,17	28,732	0,953
0-20 2ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
20-40 1ª Coleta	ESF	0,075	0,364	7,950	20,604	0,801
20-40 2ª Coleta	ESF	0,001	1,680	11,00	0,060	0,896
RAS						
Setor 1						
0-20 1ª Coleta	ESF	0,445	2,947	19,97	15,100	0,882
0-20 2ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
20-40 1ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
20-40 2ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
Setor 2						
0-20 1ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
0-20 2ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
20-40 1ª Coleta	ESF	0,706	1,413	17,75	49,965	0,986
20-40 2ª Coleta	ESF	0,001	1,542	9,770	0,0649	0,836
PST						
Setor 1						
0-20 1ª Coleta	ESF	0,980	5,273	20,270	18,590	0,951
0-20 2ª Coleta	EPP	-	-	-	-	-
20-40 1ª Coleta	ESF	0,954	3,815	23,940	25,010	0,950
20-40 2ª Coleta	ESF	1,387	4,303	19,200	32,230	0,978
Setor 2						
0-20 1ª Coleta	ESF	2,430	5,48	33,910	44,343	0,824
0-20 2ª Coleta	ESF	0,970	5,273	7,670	18,396	0,719
20-40 1ª Coleta	EXP	0,444	2,465	33,130	18,012	0,556
20-40 2ª Coleta	ESF	1,170	6,089	8,400	19,215	0,865

1ª coleta=antes da semeadura; 2ª coleta= 96 DAS; GD= Grau de dependência de Cambardella  
EPP=efeito pepita puro; ESF= modelo esférico; EXP=modelo exponencial;

Como forma de expressar, em termos significativos, as diferenças ocorridas entre as duas épocas de amostragem para os dois setores, realizou-se teste de Tukey para as variáveis CEes, RAS e PST (Tabela 7). Para tal, foram adotados valores sempre a distâncias maiores que o alcance, visando manter a característica de independência entre as amostras. Com relação a CEes, os dois setores e respectivas profundidades não diferiram estatisticamente, exceto o setor 1 (20-40 cm), em que a segunda coleta de solo apresentou média estatisticamente diferente da primeira coleta. Para a RAS, houve aumento significativo ao final do ciclo para ambos os setores e profundidades, exceto para o setor 2 (20-40 cm), que apesar de não exibir diferença estatística, apresentou uma tendência de aumento. Esse

acréscimo pode ter ocorrido, provavelmente, pela constante adição do elemento sódio através da água de irrigação.

Para a PST, só se efetuou o teste de média no setor 1, uma vez que no setor 2 foram encontrados alcances altos, inviabilizando-se a escolha de amostras independentes. Verifica-se que o setor 1 (20-40 cm) apresentou valor médio de PST ao final do ciclo estatisticamente superior à primeira coleta. Pode-se observar claramente que houve movimentação de sais da camada de 0-20 cm do setor 1 para a camada de 20-40 cm, uma vez que todas as variáveis avaliadas apresentaram valores estatisticamente superiores ao final do ciclo para o setor 1 (20-40 cm), quando se compara com o início do ciclo.

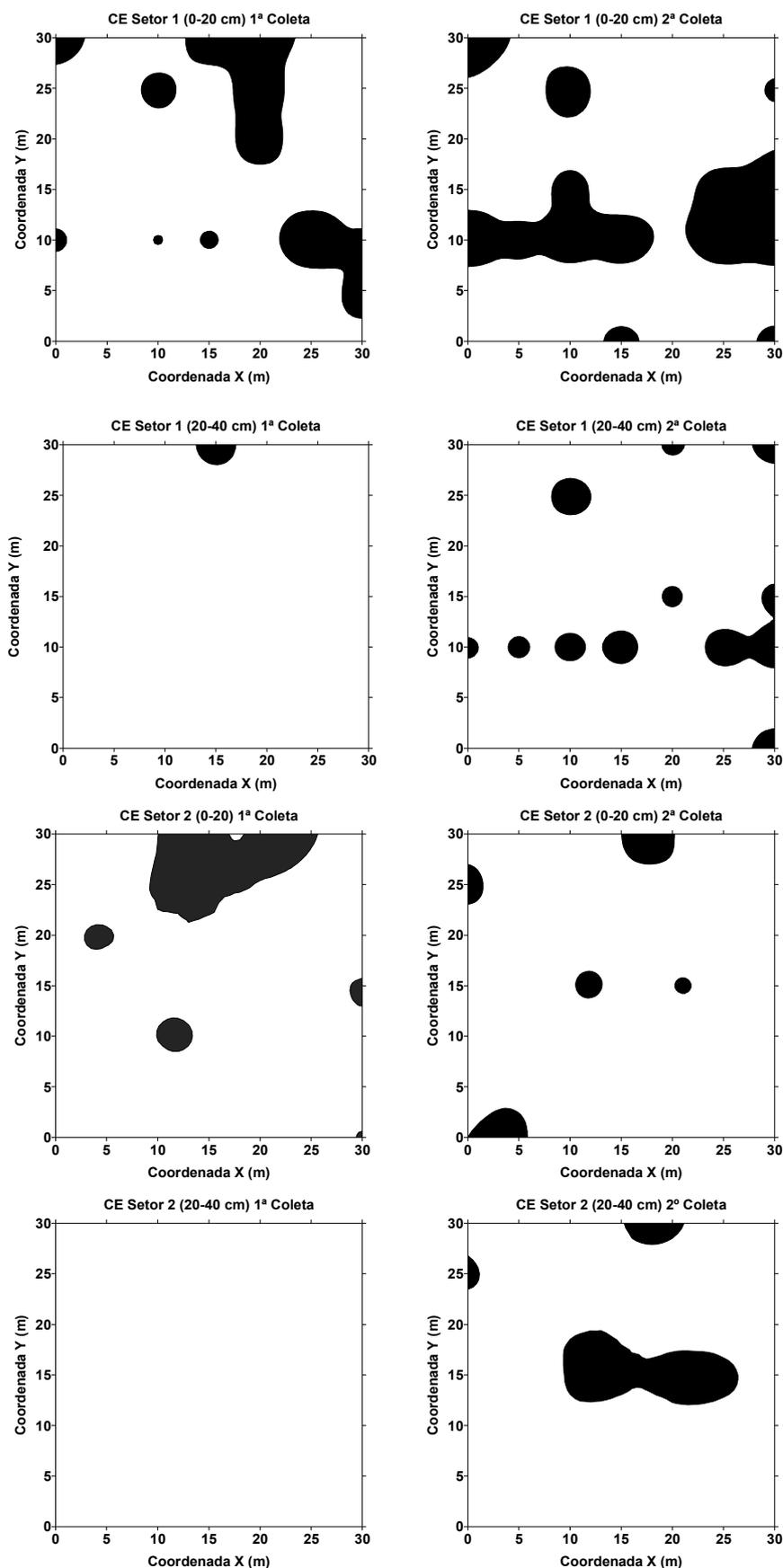
**Tabela 7.** Teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade para a CEes, RAS e PST nos setores de irrigação, profundidades e épocas de amostragem

	S1 (0-20)		S1 (20-40)		S2 (0-20)		S2 (20-40)	
	1ª C	2ª C	1ª C	2ª C	1ª C	2ª C	1ª C	2ª C
CEes	3,62 a	3,60 a	2,52 b	3,08 a	3,57 a	2,92 a	3,04 a	2,48 a
RAS	9,07 b	11,65 a	6,52 b	7,94 a	8,41 b	10,22 a	7,77 a	8,33 a
PST	11,01 a	10,31 a	6,19 b	8,98 a	*	*	*	*

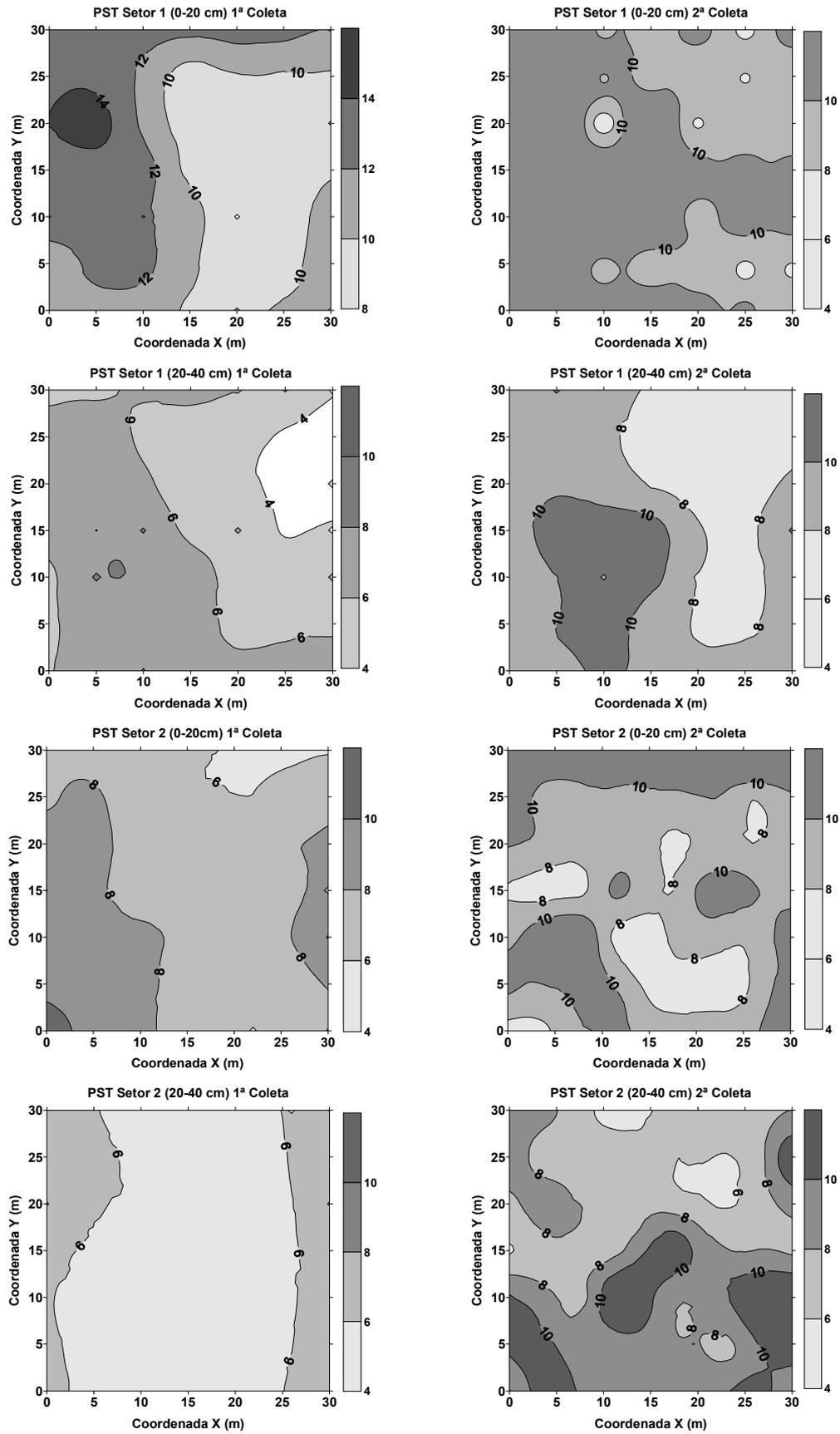
1ª C: primeira coleta de solo; 2ª C: segunda coleta de solo (96 DAS); Médias seguidas de mesma letra entre linhas e dentro de cada setor e profundidade não difere estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey; \*: não pôde ser realizado, uma vez que não foi encontrado, através dos semivariogramas, o alcance, ou seja, a distância a partir da qual as amostras seriam independentes

Visando observar a distribuição espacial da CEes e da PST foram confeccionados mapas de isolinhas, adotando-se a técnica da krigagem, quando foi possível o ajuste de semivariogramas, e utilizando-se a interpolação através do inverso do quadrado da distância para as variáveis que apresentaram efeito pepita puro. A Figura 1 exibe os mapas dos dois setores e nas duas profundidades, representando através das áreas escuras os locais em que o solo apresenta-se salino, ou seja, com CEes  $\geq 4$  dS m<sup>-1</sup>. O setor 1 (0-20 e 20-40 cm) apresentaram áreas salinas de 15,28 e 0,67% na primeira coleta de solo, respectivamente. Aos 96 DAS os valores subiram, respectivamente, para 22,77 e 7,40%. Para o setor 2 (0-20 e 20-40 cm), os valores iniciais foram de 11,94 e 0,00% e ao, final do ciclo, apresentaram percentagens de 4,09 e 10,55% respectivamente. Fica evidenciado que, mesmo adotando uma fração de lixiviação de 20% e água com salinidade média de 1,42 dS m<sup>-1</sup>, não foi possível evitar o aumento da área inicialmente salina, exceto para o setor 2 (0-20 cm).

A Figura 2 ilustra os mapas de isolinhas para PST, onde não se verifica áreas sodificadas, uma vez que não foram encontrados valores de PST iguais ou maiores de 15%.



**Figura 1.** Mapas de isolinhas para condutividade elétrica do extrato de saturação para os setores 1 e 2 nas duas profundidades e épocas de coleta, onde as áreas escuras representam condutividade elétrica  $\geq 4,0 \text{ dS m}^{-1}$



**Figura 2.** Mapas de isolinhas para percentagem de sódio trocável nos setores 1 e 2 nas duas profundidades e épocas de coleta

## CONCLUSÕES

- Os valores médios da relação de adsorção de sódio foram maiores na segunda amostragem (96 DAS), nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm nos dois setores;
- Os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação, RAS e percentagem de sódio trocável foram mais elevados na camada de 0-20 cm para os dois setores, nas duas épocas de amostragens;
- A fração de lixiviação aplicada possibilitou a manutenção da CEes média do solo ao final do ciclo na zona radicular, uma vez que não houve diferença estatística quando se compara com a média da condição inicial, exceto para o setor 1 (20-40 cm);
- Através do mapeamento da CEes, verificou-se aumento da área salinizada ao final do ciclo da cultura; embora a salinidade média não tenha variado significativamente
- A variável que apresentou maiores condições de correlação no espaço amostral foi a PST, enquanto que a CEes e RAS apresentaram, em sua maioria, efeito pepita puro.

## REFERÊNCIAS

AUDRY, P.; SUASSUNA, J. **A salinidade das águas disponíveis para pequena irrigação no Sertão Nordestino: caracterização, variação sazonal, limitação de uso.** Recife; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1995. 128 p.

BLANCO. F. F.; FOLEGATTI, M. V. Salt accumulation and distribution in a greenhouse soil as affected by salinity of irrigation water and leaching management. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.6, n.3, p.414-419, 2002.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Fiel-scale variability of soils properties in central Iowa Soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.58, p.1501-1511. 1994.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco.** (2ª aproximação) 2. ed. Recife, Instituto de Pesquisa Agropecuária, 1998. 198p

DIAS, N. S. et al. Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.240-246, 2004.

DIAS, N. S. et al. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, p.496-504, 2005.

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.

FREIRE, M.B.G. dos S. Saturação por sódio e qualidade da água de irrigação na degradação de propriedades físicas de solos do Estado de Pernambuco. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. 66p. Tese Doutorado

FREIRE, M. B. G. S. et al. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.1, p.45-52, 2003a.

FREIRE, M. B. G. S. et al. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.227-232, 2003b.

GHEYI, H. R. **Problemas de salinidade na agricultura irrigada**, *In*: OLIVEIRA, T. G; ASSIS JÚNIOR, R. N; ROMERO, R. E; SILVA, J. R. C. Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. 406p.:il . p. 340.

HARGREAVES, G. H. **Climatic zoning for agricultural production in northeast Brazil**. Logan: Utah State University, 1974. 6p.

HORNEY, R. D. et al. Development of practical site-specific management methods for reclaiming salt-affected soil. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.46, p.379–397, 2005.

MANTOVANI, E. C; BERNARDO, S; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa- MG: Ed. Da UFV, 2006. 318 p.

OLIVEIRA, M; MAIA, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.1, p.17-21, 1998.

RIBEIRO, M. R; FREIRE, F. J; MONTENEGRO, A. A. A. **Solos halomórficos no Brasil**: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. *In*: Tópicos em Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa Volume III, 2003.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory. 1954 (USDA: Agriculture Handbook, 60)

ROBERTSON, G.P. **Geostatistics for the environmental sciences** - GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete sample). **Biometrika**, London, v.52, n.3/4, p.591-611, 1965.

GOLDEN SOFTWARE: **SURFER**. Version 8.0, [S. L.], 2002

THOMAS, G. W. Exchangeable cations. *In*: PAGE, A. L. (ed). **Methods of soil analysis**. Part-2 chemical methods. Madison, American Society of Agronomy, 1982.

VAUCLIN, M. et al. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, n.1, p.175-184, 1983.

VIEIRA, S. R et al. **Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data**. *In*: Tópicos em ciência do solo, volume II, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. 692 p.

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. Cap.2, p.319-344.

### **CAPÍTULO III**

---

## **VARIABILIDADE ESPACIAL DA PRODUTIVIDADE DE CENOURA IRRIGADA COM ÁGUA MODERAMENTE SALINA EM NEOSSOLO FLÚVICO NO SEMI- ÁRIDO**

## RESUMO

SOUZA, E. R, MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; Fevereiro, 2007.

**Variabilidade espacial da produtividade de cenoura irrigada com água moderadamente salina em Neossolo Flúvico irrigado no semi-árido.** Orientador: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro. Conselheiros: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire e José de Arimatea de Matos.

Visando verificar a evolução e variabilidade espacial das variáveis de crescimento, da produtividade e da qualidade da cenoura irrigada em Neossolo Flúvico foi desenvolvido um experimento de campo no município de Pesqueira – PE com duração de 96 dias. Foram formados dois setores de irrigação (1 e 2), cada um com 900 m<sup>2</sup> (30 x 30 m), totalizando uma área de 1800 m<sup>2</sup>, irrigada por microaspersão, usando-se água de um poço Amazonas, com condutividade elétrica média de 1,42 dS m<sup>-1</sup>, sendo aplicada cobertura morta no setor 2. O suprimento de água foi baseado na necessidade da cultura acrescida de uma fração de lixiviação de 20%. Foram realizadas cinco coletas de plantas ao longo do ciclo em 49 locações no setor 1 e 52 no setor 2, em nós de uma malha de 5 x 5 m. Foram medidas as variáveis: altura da planta (AP), comprimento da raiz (CR), diâmetro da raiz (DR) e determinadas a massa seca da parte aérea (MSPA) e da raiz (MSR) aos 41, 52, 70, 83 e 96 dias após a semeadura (DAS). Aos 96 DAS, foi realizada a colheita, quando se determinou a produtividade total e a classificação da cenoura nos dois setores. O setor 1 apresentou ao final do ciclo valores médios para a AP, MSPA, MSR, DR e CR superiores ao setor 2, repercutindo na maior produtividade total encontrada para o Setor 1, que foi de 43.494 kg ha<sup>-1</sup> e, para o setor 2, de 36.309 kg ha<sup>-1</sup>. No tocante à classificação da cenoura, verificou-se que não houve grandes diferenças entre os setores, em que o setor 2, com cobertura morta, apresentou qualidade levemente superior ao setor 1. Técnicas geoestatísticas possibilitaram a observação de dependência espacial para os dois setores e através dos mapas de isolinhas identificaram-se as áreas mais produtivas

**Palavras-chave:** crescimento, salinidade, classificação da cenoura.

## ABSTRACT

SOUZA, E. R, MSc., Universidade Federal Rural de Pernambuco; February, 2007.

**Spatial variability of irrigated carrot with productivity with saline moderately water in a Fluvic Neossol in the semi-arid.** Advisor: Abelardo Antônio de Assunção Montenegro. Additional support: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire and José de Arimatea de Matos.

Aiming to verify the development and spatial variability of the growth variables, and productivity of the irrigated carrot in a Fluvic Neossol, a field experiment was developed in Pesqueira - PE during 96 days. Two irrigation sectors were implemented (1 and 2), each one with 900 m<sup>2</sup> (30 x 30m), and total area of 1800 m<sup>2</sup>, irrigated by microsprinklers, using groundwater from an Amazon well with average electric conductivity of 1,42 dS m<sup>-1</sup>. Dead cover has been applied in sector 2. The water supply was based on the crop requirement and a leaching fraction of 20%. Five plants sampling were carried out during the cycle, in 49 locations in the sector 1 and 52 in the sector 2, comprising a 5 x 5 m grid. The measured variables were: crop height (CH), root length (RL), root diameter (RD) and the dry mass of the aerial part (DMAP) and of the root (DMR) to the 41, 52, 70, 83 and 96 days after sowing (DAS). In the 96 DAS, the crop was harvested, when it was evaluated the total productivity and the carrot classification in the two sectors. Sector 1 presented, by the end of the cycle, medium values for CH, RL, DMAP, DMR and RD higher than the sector 2, contributing to the high productivity found for the sector 1, of 43.494 kg ha<sup>-1</sup>, whereas for sector 2, it was 36.309 kg ha<sup>-1</sup>. Concerning to the carrot classification, it was verified that there were no significant differences between the sectors. Nevertheless, the section 2, with dead cover, presented slightly better quality than sector 1. Geostatistical techniques allowed spatial dependence to be identified for the two sectors and, using the contouring maps, it was identified the most productive areas

**Key-words:** growth, salinity, carrot classification

## INTRODUÇÃO

A cenoura (*Daucus carota* L.) é uma hortaliça da família Apiácea, do grupo das raízes tuberosas, cultivada em larga escala nas regiões Sudeste, Sul e Nordeste do Brasil. Os maiores produtores são os municípios de Carandaí, Maria da Fé, São Gotardo e Rio Paranaíba no Estado de Minas Gerais; Piedade, Ibiúna e Mogi das Cruzes no Estado de São Paulo; Ponta Grossa no Paraná e Irecê na Bahia (Oliveira et al., 2003). As hortaliças são espécies vegetais de ciclo curto, sendo seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do ambiente (Silva & Marouelli, 1998).

O cultivo da cenoura, além de contribuir com a economia brasileira no ramo de produção de hortaliças, tem sua relevância também no fornecimento de uma vitamina essencial para o desenvolvimento saudável do homem, a vitamina A, uma vez que contém elevado teor do precursor daquela, o betacaroteno.

No Brasil, a cenoura é cultivada durante todo o ano, havendo cultivares específicas para o outono, inverno, primavera e verão. No cultivo de verão comumente ocorrem intempéries climáticas que pode prejudicar, tanto a germinação das sementes, como o desenvolvimento da planta e qualidade das raízes.

Mesquita Filho et al. (2005) afirmam que, sem os resultados da análise de solo, os produtores de hortaliças frequentemente realizam um manejo inadequado. Uma prática complementar que deve ser aliada ao cultivo de cenoura é o suprimento de água capaz de atender à demanda atmosférica e da planta, ou seja, um manejo racional da irrigação. Montenegro et al. (2004) destacam que o pequeno agricultor, de forma geral, pratica a irrigação de maneira empírica, sem gerenciamento em situações de escassez, nem controle dos teores de sais.

O número de experimentos de salinidade do solo realizados em campo é ainda limitado, principalmente no que diz respeito à cultura da cenoura. Ayers & Westcot (1991) classificam a cenoura como sensível à salinidade, com uma condutividade elétrica do extrato saturado (CEes) limitante de  $1,0 \text{ dS m}^{-1}$  e condutividade elétrica da água de irrigação (CEa) de  $0,70 \text{ dS m}^{-1}$ . Valores acima dos mencionados tendem a provocar redução do rendimento potencial da cultura. Com uma CEes de  $2,8 \text{ dS m}^{-1}$  e CEa de  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$  por exemplo, haveria perdas de 25% na produtividade. Diante disto, dependendo da salinidade da água utilizada, é recomendável que se adote uma fração de lixiviação associada a um sistema de drenagem adequado.

Visando a economia de água, principalmente na região Nordeste, onde prevalece uma alta demanda da atmosfera, em face das condições climáticas prevalentes, técnicas que mantenham a umidade do solo são necessárias. Segundo Resende et al. (2005), a utilização de cobertura morta de solo não é uma prática tradicional na cultura da cenoura, mas se considera que essa técnica possa ser vantajosa em pequenas áreas em função das condições de solo exigidas para o cultivo desta espécie, supondo-se atendidos critérios de economicidade.

Segundo a FAO-FAOSTAT (2006), a área de cenoura plantada no Brasil em 2005 correspondeu a 26.000 hectares, com produção de 765.800 toneladas e produtividade média de 29.453 kg/ha, correspondendo a uma geração de empregos de 234.000 postos de trabalho, com safra no valor de 710,26 milhões de reais. É importante salientar que, dentre as regiões produtoras no Brasil, o nível tecnológico adotado é variado, ocorrendo desta forma uma grande oscilação entre as produtividades encontradas. No Agreste Pernambucano, especificamente na cidade de Pesqueira, os agricultores familiares cultivam cenoura em solos predominantemente aluviais e em sua grande maioria com problemas de salinidade. Nesta região, a produtividade média varia em torno de 25.000 a 30.000 kg ha<sup>-1</sup>, provavelmente por problemas no manejo da irrigação e da fertilização dos solos explorados.

O consumidor brasileiro, principalmente dos grandes centros, prefere cenouras que apresentam formato cilíndrico, lisas, bem desenvolvidas, com ausência de raízes laterais, com diâmetro de 3,5 cm, comprimento de 15-20 cm, coloração alaranjada intensa, sem ombro verde ou arroxeadado na parte superior (Vieira et al., 1997).

A geoestatística, que considera a correlação entre observações vizinhas, tem sido utilizada para analisar variáveis de solo e planta que exibam dependência espacial, ou seja, variam de um lugar para outro com aparente continuidade (Vieira, 2000). Pode-se analisar diversas variáveis referentes às plantas, sendo a produtividade uma das mais exploradas, possivelmente por ser o resultado final do processo produtivo, possibilitando aos produtores a identificação de áreas que necessitam de um manejo mais eficiente. Miranda et al. (2005a e b) utilizaram técnicas geoestatísticas para identificar a dependência espacial da produtividade e qualidade do melão irrigado no semi-árido do Rio Grande do Norte, bem como para mapear as áreas, identificando problemas e propondo alternativas de manejo.

Este trabalho tem como objetivo avaliar as variáveis de crescimento da cultura da cenoura ao longo do ciclo, como altura da planta, diâmetro e comprimento da raiz, massa seca da raiz e da parte aérea, bem como a produtividade e qualidade da cenoura em sistema de cultivo irrigado com água moderadamente salina, com e sem cobertura morta, em Neossolo Flúvico no Semi-Árido Pernambucano, considerando a variabilidade espacial dessas características.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área do experimento está localizada na sub-bacia do Rio Ipanema, no Estado de Pernambuco entre as coordenadas 8° 34' 17" e 8° 18' 11" de Latitude Sul, e 37° 1' 20" de Longitude Oeste, no município de Pesqueira, com solo caracterizado como Neossolo Flúvico. De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo BSsh (extremamente quente, semi-árido), com precipitação total anual média de 730 mm e evapotranspiração potencial anual média de 1.683 mm, segundo Hargreaves (1974).

O experimento foi realizado no período de 29 de outubro de 2005 a 02 de fevereiro de 2006. Após aração e gradagem, foi realizada adubação de fundação nas quantidades 40 kg ha<sup>-1</sup> de N; 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 60 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, baseada na análise de solo e nas necessidades da cultura, de acordo com as recomendações para cultura da cenoura no Estado de Pernambuco (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1998). Foram utilizadas as fontes: Uréia (45% de N), Cloreto de Potássio (58% K<sub>2</sub>O) e Fosfato Mono Amônio - MAP (9% de N e 48 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Após este procedimento, foram confeccionados os canteiros de plantio com dimensões de 30 x 1,0 x 0,2 m, e espaçamento de 0,40 m entre canteiros. Foi utilizada a variedade de cenoura Brasília, recomendada para as condições do Nordeste brasileiro e adotada pelos agricultores da região de estudo, sendo caracterizada pela folhagem verde escura, raízes cilíndricas com coloração laranja-clara e baixa incidência de ombro verde ou roxo, resistente ao calor, à requeima por *Alternaria* e ao pendoamento prematuro.

O sistema de irrigação adotado foi a microaspersão, com espaçamento entre emissores de 4 x 3 m, segundo arranjo triangular. Foram montados dois setores independentes, cada um com área de 900 m<sup>2</sup> (30 x 30 m), denominados setores 1 e 2. Para acompanhamento da umidade do solo ao longo do ciclo da cultura foram instalados tubos de acesso de PVC para sonda de nêutrons. No setor 1 foram

instalados 49 tubos, e no setor 2 esse número foi de 52, segundo uma malha aproximada de 5 x 5 m, em cada quadrado maior de 30 x 30 m dos dois setores. O suprimento de água da cultura foi baseado em sua necessidade, conforme a evapotranspiração de referência, obtida por Tanque Classe A, e os coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) para cada fase de desenvolvimento da cultura, conforme Doorenbos & Pruitt (1977), cujos valores foram de: 0,95 (20-30 DAS), 1,00 (31-40 DAS), 1,10 (41-80 DAS) e 0,80 (81-96 DAS). Adotou-se um coeficiente de tanque ( $K_t$ ) de 0,75. Utilizou-se um turno de rega diário, com fração de lixiviação de 20%. A caracterização granulométrica do solo foi realizada pelo método da Pipeta (EMBRAPA, 1997) e encontra-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Caracterização média das frações granulométricas dos dois setores estudados nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm

Setores cm	Argila	Silte	Areia			Classe textural
			Grossa	Fina	Total	
			g kg <sup>-1</sup>			
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

Aos 23 dias após a semeadura (DAS), efetuou-se o desbaste, deixando-se um espaçamento de 0,20 x 0,10 m, e adicionou-se cobertura morta no setor 2, em quantidade de 9.000 kg ha<sup>-1</sup>, utilizando-se restos triturados desidratados de plantas de feijão com caule, folhas e cascas de vagens, objetivando verificar a influência do material na manutenção da umidade do solo. Aos 40 DAS, foi realizada adubação de cobertura com 40 kg ha<sup>-1</sup> de N e 30 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Cinco coletas de planta foram realizadas durante o ciclo da cultura, aos 40, 51, 68, 82 e 96 DAS. Em cada coleta foram colhidas 101 plantas (49 no setor 1 e 52 no setor 2). As coletas das plantas se deram em um raio de 40 cm ao redor dos tubos de acesso, de modo a uniformizar a distância de separação e manter uma mesma malha amostral adotada para determinação da umidade e coleta do solo.

Após as coletas, as plantas foram armazenadas em sacolas plásticas e analisadas no laboratório de Química do Solo da UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco, onde foram medidos: comprimento da raiz (CR), diâmetro da

raiz (DR), altura da planta (AP) e pesagem, após permanência em estufa de circulação forçada a 65 °C, da massa seca da raiz (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA). A balança eletrônica utilizada apresentava precisão de centésimos de grama. Para caracterização da produtividade, ao final do ciclo, ao redor de cada tubo de acesso e dentro do raio estipulado, foram colhidas 7 plantas de cenoura, totalizando 707 plantas (101 x 7), tendo-se pesado individualmente cada raiz. Para cálculo da produtividade em cada ponto amostral, considerou-se a média aritmética das sete raízes de cada ponto, obtendo-se a média por planta; através de extrapolação, foi obtida a produtividade total em kg ha<sup>-1</sup>.

A classificação da produção das raízes seguiu as Normas de Classificação de Cenoura para o Programa Brasileiro para Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros (2006), a qual classifica a cenoura em grupos, classes, tipos ou categorias. O grupo é de acordo com o tipo varietal, no presente experimento, o grupo Brasília. As classes variam de acordo com o comprimento da raiz, sendo 10 ( $\geq 10 < 14$  cm); 14 ( $\geq 14 < 18$  cm); 18 ( $\geq 18 < 22$  cm) e 22 ( $\geq 22 < 26$  cm). O Tipo ou Categoria é de acordo com as porcentagens toleráveis de defeitos que podem ser encontrados nas raízes contidas na embalagem de comercialização, considerando-se como defeitos graves: rachadura, ombro verde ou arroxeadado acima de 10%, e perfuração maior que 3 mm; e defeitos leves: ombro verde ou arroxeadado menor que 10% e perfuração menor que 3 mm. A determinação da categoria foi realizada com o total de cenouras colhidas para cada setor, uma vez que não foi efetuada a embalagem com capacidade de no máximo dezoito quilogramas, conforme exige a Norma.

Foi realizada análise estatística descritiva dos dados, através da avaliação de medidas de tendência central (média, mediana e moda) e dispersão (desvio padrão, variância, coeficiente de variação), bem como de aderência à distribuição Normal, segundo o teste de Shapiro-Wilk (1965). A análise geoestatística foi aplicada aos dados de produtividade, onde se utilizou as ferramentas geoestatísticas GS<sup>+</sup> (Robertson, 1998) e Geo-eas (Englund & Sparks, 1992) para obtenção dos semivariogramas teóricos e experimentais, além do programa computacional Surfer 8.0 para confecção dos mapas de isolinhas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados da estatística descritiva das variáveis de crescimento para o setor 1 nas cinco épocas de amostragem encontram-se na Tabela 2, onde se verifica que, para a altura da planta, a época com maior média foi a de 83 DAS, correspondendo a 57 cm . Aos 96 DAS, data em que ocorreu a colheita, o valor médio encontrado foi de 54,08 cm, inferior ao valor de 66,10 cm ao final do ciclo, encontrado por Bezerra Neto et al. (2005), trabalhando com cenoura Brasília em Mossoró- RN . Outro ponto a destacar é que, no período entre a segunda (52 DAS) e a terceira amostragem (70 DAS), ocorreu um maior crescimento da planta, correspondendo a 15,24 cm.

A massa seca da raiz ao final do ciclo ultrapassou a MSPA, obtendo-se um valor médio de 9,63 g, enquanto que o maior ganho de peso coincidiu com o das variáveis descritas anteriormente. O diâmetro médio da raiz apresentou um valor médio final de 42,00 mm, e o comprimento da raiz alcançou um valor médio de 19,55 cm. Salgado et al. (2006), trabalhando com cenoura Brasília em dois ciclos consecutivos de plantio orgânico, em Seropédica – RJ, encontraram valores de 31,9 mm e 15,1 cm para o diâmetro e comprimento, respectivamente, no segundo ano de cultivo consecutivo. Resende et al. (2005), utilizando a mesma cultivar, encontraram comprimento médio da raiz de 16,95 cm. A massa seca da parte aérea apresentou ao final do ciclo um valor de 9,06 g, com maior ganho de peso em média entre os 52 e 70 DAS, correspondente a 3,04 g.

**Tabela 2.** Estatística descritiva das variáveis de crescimento: altura da planta (cm), massa seca da parte aérea (g), massa seca da raiz (g), diâmetro da raiz (mm), comprimento da raiz (cm), nas cinco amostragens de plantas: 41, 52, 70, 83 e 96 dias após a semeadura (DAS), para o setor 1

	Variáveis de crescimento									
	Altura da Planta (cm)					Massa seca da parte aérea (g)				
	41	52	70	83	96	41	52	70	83	96
Média	22,81	36,40	51,64	57,00	54,08	0,84	2,38	5,42	8,22	9,06
DP	2,74	3,93	7,97	7,78	7,24	0,24	0,89	2,89	3,47	3,33
C.V.	12,01	10,79	15,43	13,65	13,40	29,05	37,25	52,28	42,15	36,82
Assim	-0,29	0,59	0,23	-0,20	-0,04	-0,29	0,67	1,78	0,83	0,59
Curt.	0,16	-0,08	0,12	-0,94	0,15	0,16	-0,17	5,16	1,30	0,19
W	0,98	0,96	0,98	0,97	0,98	0,98	0,95	0,86	0,95	0,97
P	0,53 <sup>DN</sup>	0,14 <sup>DN</sup>	0,62 <sup>DN</sup>	0,17 <sup>DN</sup>	0,38 <sup>DN</sup>	0,53 <sup>DN</sup>	0,06 <sup>DN</sup>	0,00	0,03 <sup>DN</sup>	0,16 <sup>DN</sup>
	Massa seca da raiz (g)					Diâmetro da raiz (mm)				
	41	52	70	83	96	41	52	70	83	96
	Média	0,15	1,32	5,21	8,14	9,63	6,10	15,00	28,00	38,00
DP	0,09	0,59	2,11	2,59	2,50	1,83	3,46	4,87	5,72	5,53
C.V.	58,80	44,50	40,53	31,76	25,98	29,97	23,05	17,39	15,06	13,18
Assim	1,90	0,45	0,41	-0,21	0,39	0,25	-0,42	-0,11	0,27	0,03
Curt.	6,34	-0,12	0,19	-0,91	0,06	-0,07	0,10	-0,23	-0,13	-0,69
W	0,86	0,97	0,97	0,96	0,98	0,96	0,98	0,98	0,96	0,97
P	0,00	0,31 <sup>DN</sup>	0,36 <sup>DN</sup>	0,07 <sup>DN</sup>	0,60 <sup>DN</sup>	0,07 <sup>DN</sup>	0,40 <sup>DN</sup>	0,53 <sup>DN</sup>	0,06 <sup>DN</sup>	0,35 <sup>DN</sup>
	Comprimento da raiz (cm)									
	41	52	70	83	96					
	Média	12,02	16,00	20,00	18,00	19,55				
DP	1,92	2,39	2,75	2,60	2,26					
C.V.	15,97	14,92	13,76	14,42	11,58					
Assim	-0,49	-0,26	0,39	0,33	-0,75					
Curt.	-0,86	-0,74	-0,57	-0,78	-0,23					
W	0,92	0,96	0,94	0,95	0,89					
P	0,00	0,10 <sup>DN</sup>	0,02 <sup>DN</sup>	0,03 <sup>DN</sup>	0,00					

DN: Distribuição Normal

Com exceção da MSPA, aos 70 DAS, e MSR, aos 41 DAS, as demais variáveis nas respectivas amostragens apresentaram distribuição dos dados normalizada pelo teste de Shapiro-Wilk. É importante frisar que foram nessas variáveis que ocorreram os maiores coeficientes de variação (CV's), provavelmente pela sensibilidade dessas variáveis, uma vez que são submetidas a duas pesagens, aliado à imprecisão inerente aos equipamentos de pesagem.

No tocante ao setor 2, os dados das variáveis de crescimento encontram-se na Tabela 3. Aos 96 DAS foram observados valores de 46,95 cm; 7,75 g; 8,69g; 40,40 mm e 17,96 cm, respectivamente para AP, MSPA, MSR, DR e CR. Todos esses valores são inferiores aos encontrados no setor 1, indicando claramente um menor desenvolvimento daquele setor. No setor 2, além da diferença textural (Tabela 1), foi adicionada cobertura morta aos 23 DAS, o que provocou uma maior umidade do solo e provavelmente uma condição menos favorável à planta, por excesso hídrico. Outro ponto a ser focado é que no setor 2 ocorreu uma forte incidência de ervas daninhas, com predominância da tiririca (*Cyperus rotundus* L.), que mesmo com aplicações de herbicidas registrados para a cultura, não foi possível a sua completa erradicação, ocasionando assim uma maior competição com a cultura principal. Semelhante ao comportamento das variáveis do setor 1, a época de maior desenvolvimento deu-se entre os 52 e 70 DAS, período em que se deve dar maior atenção ao manejo da cultura, principalmente, na região onde se realizou o experimento. Os maiores CV's encontrados também foram na MSPA e MSR.

**Tabela 3.** Estatística descritiva das variáveis de crescimento: altura da planta (cm), massa seca da parte aérea (g), massa seca da raiz (g), diâmetro da raiz (mm), comprimento da raiz (cm), nas cinco amostragens de plantas: 41, 52, 70, 83 e 96 dias após a semeadura (DAS) para o setor 2

	Variáveis de crescimento									
	Altura da Planta (cm)					Massa seca da parte aérea (g)				
	41	52	70	83	96	41	52	70	83	96
Média	20,73	31,30	41,06	45,59	46,95	0,68	1,79	4,22	5,82	7,75
DP	3,11	3,41	5,30	8,86	7,45	0,33	0,65	1,75	2,51	2,90
C.V.	15,01	10,90	12,90	19,44	15,86	49,18	36,44	41,37	43,04	37,41
Assim	-0,10	0,17	0,02	1,97	0,30	0,81	0,63	1,03	1,12	0,53
Curt.	0,23	-0,50	0,25	7,52	-0,07	0,46	0,09	1,61	1,11	-0,25
W	0,97	0,99	0,98	0,86	0,98	0,94	0,96	0,94	0,91	0,96
P	0,33 <sup>DN</sup>	0,75 <sup>DN</sup>	0,59 <sup>DN</sup>	0,00	0,85 <sup>DN</sup>	0,02 <sup>DN</sup>	0,12 <sup>DN</sup>	0,01 <sup>DN</sup>	0,00	0,11 <sup>DN</sup>
	Massa seca da raiz (g)					Diâmetro da raiz (mm)				
	41	52	70	83	96	41	52	70	83	96
	Média	0,12	0,88	4,07	6,19	8,69	4,21	12,31	25,52	34,57
DP	0,09	0,46	1,65	1,61	3,00	2,01	3,72	5,40	4,75	5,79
C.V.	69,16	52,11	40,40	26,03	34,47	47,68	30,21	21,17	13,73	14,33
Assim	0,89	0,82	0,09	0,76	0,53	0,35	-0,23	-0,51	-0,19	0,36
Curt.	-0,35	0,47	-0,02	0,77	-0,35	-0,91	-0,67	-0,55	-0,67	0,52
W	0,87	0,95	0,97	0,96	0,96	0,93	0,98	0,95	0,97	0,97
P	0,00	0,03 <sup>DN</sup>	0,27 <sup>DN</sup>	0,07 <sup>DN</sup>	0,10 <sup>DN</sup>	0,01 <sup>DN</sup>	0,39 <sup>DN</sup>	0,03 <sup>DN</sup>	0,19 <sup>DN</sup>	0,28 <sup>DN</sup>
	Comprimento da raiz (cm)									
	41	52	70	83	96					
	Média	10,65	14,79	18,62	16,76	17,96				
DP	2,18	2,16	3,73	2,66	2,38					
C.V.	20,50	14,63	20,05	15,85	13,23					
Assim	-0,13	0,14	0,48	0,18	0,11					
Curt.	-0,27	-0,27	-0,72	-0,63	-0,93					
W	0,97	0,98	0,94	0,97	0,95					
P	0,28 <sup>DN</sup>	0,51 <sup>DN</sup>	0,01 <sup>DN</sup>	0,14 <sup>DN</sup>	0,03 <sup>DN</sup>					

DN: Distribuição Normal

Os valores médios de produtividade total em  $\text{kg ha}^{-1}$  encontram-se na Tabela 4, bem como os parâmetros e ajuste do semivariograma teórico para os dois setores estudados. O setor 1 apresentou uma produtividade total de  $43.494 \text{ kg ha}^{-1}$ , enquanto para o setor 2 o valor foi de  $36.309 \text{ kg ha}^{-1}$ , ou seja, 16,52% inferior àquele setor. No entanto, para Vieira et al. (1997), a produtividade comercial é obtida do peso total menos o peso das raízes livres de defeitos como rachaduras, bifurcações, nematóides e danos mecânicos, ou seja, dos defeitos graves. Sendo assim, baseado na classificação da cenoura presente na Tabela 5, que apresenta 9,91% e 9,77% de defeitos graves para os setores 1 e 2 respectivamente, a produtividade comercial seria de  $39.184 \text{ kg ha}^{-1}$  para o setor 1, e de  $32.762 \text{ kg ha}^{-1}$  para o setor 2.

Com relação ao estudo da variabilidade espacial, a Tabela 4 apresenta os parâmetros de ajuste do semivariograma, onde se verifica alcances de 14,25 e 18,00 m para os setores 1 e 2, respectivamente. O alcance representa a distância de correlação espacial, ou seja, em que há dependência entre as leituras. Verifica-se também, semelhante aos valores de alcance, que os semivariogramas dos setores 1 e 2 apresentaram graus de dependência muito próximos, sendo de 28,95% para o setor 1, e 28,16% para o setor 2.

**Tabela 4.** Estatística descritiva da produtividade total ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) dos setores 1 e 2 e os parâmetros do ajuste do semivariograma para os respectivos setores

Produtividade	Média	DP	C.V.	A	C	W	P
	— $\text{kg ha}^{-1}$ —						
Setor 1	43.494	7.075	16,266	0,181	-0,360	0,980	0,620 <sup>DN</sup>
Setor 2	36.309	9.653	26,586	0,755	1,191	0,980	0,090 <sup>DN</sup>
Parâmetros do ajuste do semivariograma teórico							
	Modelo	Co	Co+C1	A(m)	GD (%)	R <sup>2</sup>	
Setor 1	Exp	15.200.000	52.500.000	14,250	28,950	0,971	
Setor 2	Exp	32.500.000	115.400.000	18,000	28,160	0,962	

DP: Desvio padrão, C.V.: Coeficiente de variação, A: assimetria, C: curtose, W : Teste de Shapiro & Wilk, P: probabilidade do teste, DN: Distribuição Normal, Co: efeito pepita, Co+C1: Patamar, A: alcance, GD: Grau de dependência de Cambardella, R<sup>2</sup>: coeficiente de determinação.

**Tabela 5.** Classificação da cenoura dada em percentagem para os dois setores de acordo com a Norma de Classificação de Cenoura para o Programa Brasileiro para Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros

Setores	Ombro verde		Perfuração		Bifurcação	Rachadura	TDL	TDG
	< 10%	>10%	< 3 mm	> 3 mm				
Setor 1	20,99	1,75	2,62	2,33	2,04	3,79	23,61	9,91
Setor 2	18,30	1,26	0,32	2,52	1,89	4,10	18,62	9,77
Classificação por Classes								
	10 (≥ 10 < 14cm)		14 (≥ 14 < 18 cm)		18 (≥ 18 < 22 cm)		22 (≥ 22 < 26 cm)	
Setor 1	7,85		48,55		38,37		5,23	
Setor 2	16,08		62,15		18,93		2,84	

TDL: Total de defeitos leves; TDG: Total de defeitos graves.

A oscilação dos valores de produtividade entre os setores pode ter ocorrido pela diferença textural, adição de cobertura morta e pelo ataque de ervas daninhas, notadamente a tiririca. Os valores médios de produtividade obtidos são superiores aos encontrados na região, cuja média situa-se entre 25.000 e 30.000 kg ha<sup>-1</sup>. Assim, constata-se que com um manejo eficiente da irrigação, baseado no fornecimento adequado de água e nutrientes, é possível alcançar produtividades satisfatórias. Vale ressaltar que a única fonte de nutrientes utilizada foi de origem mineral, muito embora seja recomendada aplicação de esterco, o que, provavelmente, iria aumentar ainda mais as produtividades encontradas nesse trabalho. Salgado et al. (2006), trabalhando com cultivo orgânico, em Seropédica – RJ, encontraram produtividade comercial de 45.900 kg ha<sup>-1</sup>. Resende et al. (2005), cultivando cenoura nas condições de Marília – SP, encontraram produtividade total de 64.600 kg ha<sup>-1</sup>. Enquanto Bezerra Neto et al. (2005), nas condições de Mossoró – RN, encontraram produtividade de 37.300 kg ha<sup>-1</sup> para a cultivar para Brasília.

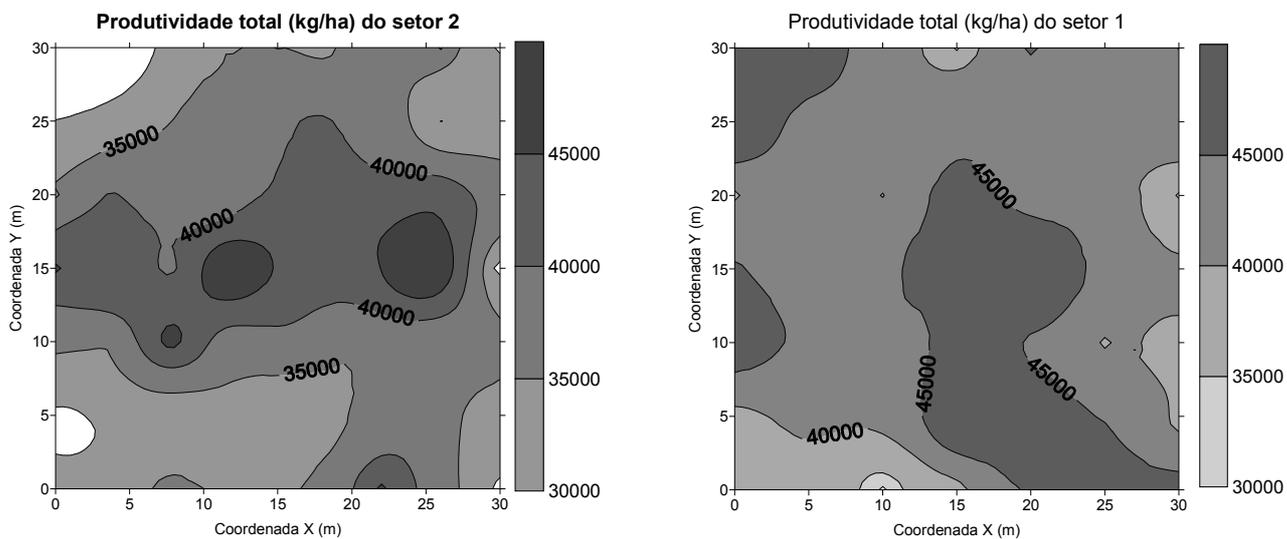
Os trabalhos encontrados na literatura que abordam o cultivo de cenoura em áreas com problemas de salinidade, bem como adotando águas com elevados níveis de sais, são escassos, talvez pelo conhecimento prévio de ser esta cultura susceptível à salinidade. Através desse trabalho, é possível afirmar que pode-se trabalhar com a cultura da cenoura em áreas aluviais do Estado de Pernambuco e obter produtividades satisfatórias, obedecendo a um manejo eficiente de água, solo e adubação.

Resende & Cordeiro (2007), trabalhando com três níveis de salinidade de água: 0,1 dS m<sup>-1</sup>, 4,0 dS m<sup>-1</sup> e 8,0 dS m<sup>-1</sup>, no cultivo de cenoura Brasília nas

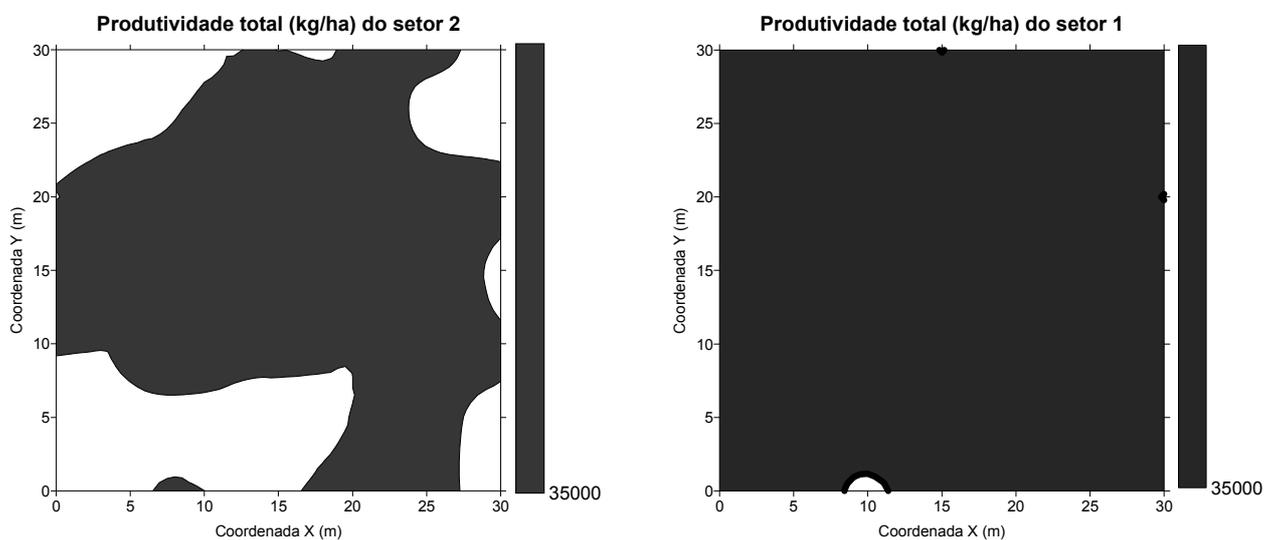
condições de Petrolina – PE, encontraram produtividades comerciais para os respectivos níveis de salinidade de 82.300, 61.000 e 33.100 kg ha<sup>-1</sup>, demonstrando que é possível produzir cenoura no semi-árido brasileiro com as águas disponíveis, sendo necessário observar ainda a condição do solo após um cultivo adotando águas com alta salinidade, para evitar problemas de salinização e possível sodificação dos solos.

A Tabela 5 apresenta os valores em percentagem da classificação da cenoura ao final do ciclo para os dois setores. Percebe-se, com relação ao total de defeitos leves e graves, que o setor 2 apresentou valores menores que o setor 1, embora com pequenas diferenças. Com relação à classificação por classes, verifica-se que a classe 14 (  $\geq 14 < 18$  cm) foi predominante para os dois setores. Para este trabalho não foi possível realizar a embalagem ao final do ciclo; sendo assim, esse tipo de classificação por embalagem não pôde ser realizada. No entanto, com intuito de classificar de uma forma geral, chegou-se a uma classificação da categoria II, haja vista que os limites máximos de defeitos leves e graves para esta categoria são de 25 e 10% respectivamente, e observando-se a Tabela 5 verifica-se que tais percentagens encontram-se abaixo desses limites. É importante lembrar que a classificação da categoria anterior é generalizada, podendo ocorrer, caso tivesse procedida a embalagem, de se encontrar embalagens com a categoria extra, I, II e III.

O semivariograma ajustado foi validado através da técnica de Jack-Knifing (Vauclin et al., 1983), como forma de verificar a coerência do mapeamento através da krigagem. Os mapas de isolinhas para os dois setores encontram-se nas Figuras 1 e 2, nas quais é possível identificar os locais que apresentaram as maiores e as menores produtividades, tendo importância, principalmente, na identificação de possíveis problemas, por exemplo, devido ao manejo inadequado. Como forma de identificar a percentagem de área, nos dois setores, em que se obteve produtividade acima de 35.000 kg ha<sup>-1</sup>, produtividade bem superior a encontrada pelos agricultores da região de estudo, destacou-se este nível nos mapas produzidos, onde se constata que 897,41 m<sup>2</sup> dos 900 m<sup>2</sup> do setor 1 apresentam produtividade superior a 35.000 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto para o setor 2, encontram-se 629,08 m<sup>2</sup>, o que representa 69,90% da área.



**Figura 1.** Mapas de isolinhas da produtividade total (kg/ha) dos setores 1 e 2



**Figura 2.** Mapas de isolinhas dos setores 1 e 2, representando as áreas com produtividades superiores a 35.000 kg ha<sup>-1</sup>

## CONCLUSÕES

- O setor 1 apresentou ao final do ciclo valores médios de AP, MSPA, MSR, DR e CR superiores ao setor 2
- A produtividade total encontrada para o Setor 1 foi de 43. 494 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que para o setor 2 foi de 36.309 kg ha<sup>-1</sup>.
- Através da classificação da cenoura com relação aos defeitos e qualidade, percebeu-se que não houve grandes diferenças entre os setores, apresentando-se o setor 2, com cobertura morta, levemente superior ao Setor 1.
- As produtividades dos dois setores foram bem superiores às encontradas na região de estudo.
- Através de técnicas geoestatísticas foi possível verificar que os dados de produtividade apresentaram correlação espacial, e que níveis superiores a 35.000 kg ha<sup>-1</sup> ocorreram em 99,71 e 69,90% das áreas dos setores 1 e 2 respectivamente.

## REFERÊNCIAS

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Traduzido por H.R. Gheyi, J.F. de Medeiros, F.A.V. Damasceno. Campina Grande: UFPB/FAO, 1991. 218 p. (FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29).

BEZERRA NETO, F. et al. Associação de densidades populacionais de cenoura e alface no desempenho agrônômico da cenoura em cultivo consorciado em faixa. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.2, p.233-237, 2005.

COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. **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.

FAO-FAOSTAT. Disponível em <<http://apps.fao.org>> acesso em 18/12/2006

HARGREAVES, G. H. **Climatic zoning for agricultural production in northeast Brazil**. Logan: Utah State University, 1974. 6p.

MESQUITA FILHO, M.V.; SOUZA, A.F.; SILVA, H.R. Nível crítico de boro em cenoura cultivada em um solo sob cerrado. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.68-71, 2005.

MIRANDA, N. O. et al. Variabilidade espacial da produtividade do meloeiro em áreas de cultivo fertirrigado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.2, p.260-265, 2005 a.

MIRANDA, N.O. et al. Variabilidade espacial da qualidade de frutos de melão em áreas fertirrigadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.2, p.242-249, 2005 b.

MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, K.C.M.; MONTENEGRO, A.A.A. Avaliação do manejo da irrigação por microaspersão da cultura do repolho em região semi-árida. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7. 2004, São Luís. **Anais...** São Luís: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2004. 1 CD-ROM.

Norma de Classificação de Cenoura para o Programa Brasileiro para Melhoria dos Padrões Comerciais e Embalagens de Hortigranjeiros. Disponível em < <http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/cenoura/arquivos/norma.html> > acesso em 07 de janeiro de 2007.

OLIVEIRA, R. A. et al. Coeficientes de cultura da cenoura nas condições edafoclimáticas do Alto Parnaíba, no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.280-284, 2003.

RESENDE, F. V. et al. Uso de cobertura morta vegetal no controle da umidade e temperatura do solo, na incidência de plantas invasoras e na produção da cenoura em cultivo de verão. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.1, p.100-105, 2005.

RESENDE, G. M.; CORDEIRO, G. G. Produtividade da cenoura em função da qualidade da água e condicionador de solo no Vale do São Francisco. **Caatinga**, Mossoró, v.20,n.1, p.100-104, 2007.

ROBERTSON, G.P. **Geostatistics for the environmental sciences** - GS+ User's Guide. Plainwell, Gamma Design Software, 1998. 152p.

SALGADO, A. S. et al. Consórcios alface-cenoura e alface-rabanete sob manejo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1141-1147, 2006.

SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998, Manejo de irrigação. Poços de Caldas: SBEA-UFLA, 1998. p.311-348.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete sample). **Biometrika**, London, v.52, n.3/4, p.591-611, 1965.

GOLDEN SOFTWARE: **SURFER**. Version 8.0, [S. L.], 2002

VAUCLIN, M. et al. The use of cokriging with limited field soil observations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, n.1, p.175-184, 1983.

VIEIRA, J.V.; PESSOA, H.B.S.V.; MAKISHIMA, N. **Cultivo da cenoura** (*Daucus carota L.*). Brasília: Embrapa Hortaliças, 1997. 19 p. (Instruções Técnicas, 13).

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: **Tópicos em ciência do solo**, vol. 1, Viçosa - MG: SBCS, 2000.

## CONCLUSÕES FINAIS

Através do monitoramento da umidade gravimétrica do solo verificou-se dependência espacial para os dois setores, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, durante o ciclo da cultura, exceto dos 23 aos 40 dias após a semeadura para o setor 1 (0-20 cm). Em função da adição de cobertura morta no setor 2, este apresentou umidade superior ao setor 1 para as duas profundidades, mesmo sendo o setor 1 de textura mais fina. Através da técnica da diferença relativa foi possível identificar pontos no espaço amostral que representam a média da umidade do solo com elevado grau de confiabilidade e baixa incerteza ao longo do ciclo.

A fração de lixiviação aplicada possibilitou a manutenção da CEEs média do solo ao final do ciclo na zona radicular, uma vez que não houve diferença estatística quando se compara com a média da condição inicial, exceto para o setor 1 (20-40 cm). De qualquer modo, através do mapeamento da CEEs, verificou-se aumento da área salinizada ao final do ciclo da cultura para os dois setores.

No tocante ao crescimento e produtividade, verificou-se que o setor 1 apresentou ao final do ciclo valores médios de AP, MSPA, MSR, DR e CR superiores ao setor 2, o que repercutiu em produtividade total de 43.494 kg ha<sup>-1</sup> para o setor 1 e 36.309 kg ha<sup>-1</sup> para o setor 2. O menor valor de produtividade do setor 1 pode estar associado ao efeito conjunto do excesso de umidade, presença de ervas daninhas, bem como a diferença textural quando comparado com o setor 1. É importante salientar que as produtividades dos dois setores foram bem superiores às encontradas na região de estudo, o que evidencia que a cultura da cenoura pode ser cultivada em solos com problemas de salinização, desde que o manejo seja adequado.