



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## VARIABILIDADE ESPACIAL DA SALINIDADE DO SOLO NO PERÍMETRO IRRIGADO ENGENHEIRO ARCOVERDE, CONDADO, PB<sup>1</sup>

Armindo Bezerra Leão<sup>2</sup>; Lúcia Helena Garófalo Chaves<sup>3</sup>; Iêde de Brito Chaves<sup>4</sup>; Hugo  
Orlando Carvalho Guerra<sup>5</sup>; Antonio Ricardo Santos de Andrade<sup>6</sup>

### RESUMO

O conhecimento da variação espacial de atributos de solo pode contribuir para o planejamento de lavouras comerciais, objetivando a agricultura de precisão. O presente trabalho teve por objetivo estudar a variabilidade espacial da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), do pH do extrato de saturação (pHes) e da porcentagem de sódio trocável (PST) de um Neossolo Flúvico, no Perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, município de Condado, PB. Amostras de terra foram coletadas em 53 pontos a intervalos irregulares de 100 m, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade. Os dados foram avaliados por estatística descritiva e pela análise da dependência espacial, com base no ajuste de semivariogramas. Observou-se alto coeficiente de variação para CEes e PST e baixo para pHes, tendo estes coeficientes diminuído com o aumento da profundidade. Ajustou-se os modelos exponencial e esférico para CEes e PST e modelo exponencial para pHes. A CEes e a PST revelaram dependência variando de fraca a moderada, enquanto o pHes apresentou fraca dependência espacial, com alcances variando de 45 a 1.301 m para CEes; 61 a 1.431 m para PST e 30 a 80 m para pHes.

**Palavras-chave:** Estatística descritiva, geoestatística, krigagem

### SPATIAL VARIABILITY OF SOIL SALINITY OF THE PERIMETER IRRIGATED ENGENHEIRO ARCOVERDE OF CONDADO, PARAIBA STATE

### ABSTRACT

Knowledge of spatial variation of soil attributes may contribute to the planning of commercial agriculture aiming at precision agriculture. The objective of this work was to study the spatial variability of electrical conductivity of saturation extract (ECse), potential ionic hydrogen in the saturated soil (pHse) and the exchangeable sodium percentage (ESP) of a Fluvic Neossol, in the Irrigated Perimeter Engenheiro Arcoverde, district of Condado-PB, Brazil. Soil samples were collected in a irregular grid with a spacing of 100 m, at layers depth of 0 to 0.20 m, 0.20 to 0.40 m and 0.40 to 0.60. The data was analyzed with descriptive statistics and geostatistics, by fitting semivariogram models. It was observed high coefficient of variation for ECse and ESP and low for pHse; these coefficients decreased with increasing depth. The exponential and spherical models were fitted to CEes and PST and exponential model for pHes. The ECse and ESP presented from weak to moderate spatial dependence and pHse a weak spatial dependence, ranging from 45 to 1.301 m for CEes; 61 to 1.431 m for PST and 30 to 80 m for pHes.

**Keywords:** Descriptive statistics, geostatistics, kriging

Trabalho recebido em 21/08/2009 e aceito para publicação em 08/12/2009.

<sup>1</sup> Parte de dissertação de mestrado apresentada ao curso de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola – UFCG, pelo primeiro autor.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo M. Sc. Eng. Agric., doutorando em Fitotecnia DFT/UFV, Viçosa – MG. e-mail: armindoleao@yahoo.com.br;

<sup>3</sup> Professora Dra. Titular da Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Agrícola. Campina Grande-PB. e-mail: lhgarofalo@hotmail.com;

<sup>4</sup> Professor Dr. Associado da Universidade Federal da Paraíba. Departamento de Solos e Engenharia Rural. Areia-PB. e-mail: iedebchaves@hotmail.com;

<sup>5</sup> Professor Dr. Titular da Universidade Federal de Campina Grande. Departamento de Engenharia Agrícola. Campina Grande-PB. e-mail: hugo\_carvalho@hotmail.com;

<sup>6</sup> Professor Dr. da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Unidade Acadêmica de Garanhuns. Garanhuns-PE. e-mail: arsauag@uag.ufrpe.br.

## 1. INTRODUÇÃO

O manejo de áreas irrigadas, principalmente nas regiões semi-áridas, que envolve além de fornecimento de água, a drenagem e o controle da salinidade do solo, quando mal conduzido pode causar degradação dos solos o que implica na deterioração de suas propriedades físicas, química e biológica (CHAVES et al., 2005). Segundo Ribeiro et al. (2003), as condições climáticas nessas regiões favorecem o enriquecimento químico dos recursos hídricos, as águas contêm sais dissolvidos passíveis de comprometer a qualidade do solo a médio e longo prazo.

Os sais quando em excesso, 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. Além disso, restringem a absorção de nutrientes pelas plantas, interferindo no desenvolvimento das mesmas podendo, assim, reduzir a produção agrícola a níveis antieconômicos (FREIRE et al., 2003). Por outro lado, o aumento do teor do elemento sódio nos solos em relação aos demais cátions, no complexo de troca, pode promover a dispersão e migração dos colóides no perfil do solo, com obstrução de poros e redução na movimentação de ar e água, também dificultando o crescimento das plantas (CHAVES et al., 2005).

As propriedades químicas inerentes à salinidade e/ou sodicidade do solo como condutividade elétrica (CE), pH e porcentagem de sódio trocável (PST), assim como outras propriedades físicas e químicas do solo, apresentam variabilidade espacial, tanto vertical como horizontalmente (BECKETT & WEBSTER, 1971), e variabilidade temporal natural em função das práticas de manejo utilizadas, da profundidade do lençol freático, da permeabilidade do solo, da taxa de evapotranspiração, das chuvas, da salinidade da água subterrânea e de outros tantos fatores hidrogeológicos (SILVA FILHO et al., 2000; D'ALMEIDA et al., 2005).

Segundo Prevedello (1987) as propriedades químicas dos solos, após sofrerem sucessivas alterações provocadas por atividades agrícolas, comportam-se de forma bastante diferenciada ao longo da paisagem, tornando a utilização de amostragem aleatória incapaz de representar o solo em sua extensão.

Com o desenvolvimento da agricultura de precisão, o conhecimento da distribuição espacial de variáveis de solo e planta tornou-se indispensável para o planejamento e otimização da agricultura de uma forma geral. Assim sendo, a determinação da variabilidade espacial destas propriedades, inclusive em diferentes profundidades, é fundamental,

principalmente na tomada de decisão sobre o manejo e recuperação de áreas com problemas de sais. Neste contexto a geoestatística, por levar em consideração as distribuições espaciais das amostras, se apresenta como uma ferramenta adicional de análise permitindo definir o raio de correlação espacial entre elas. Essa dependência ou correlação espacial entre amostras pode ser verificada através das semivariâncias (ZIMBACK, 2001; CARVALHO et al., 2003) e através dos resultados dos parâmetros dos semivariogramas (efeito pepita, patamar e alcance) é possível, através da krigagem, o mapeamento da propriedade de interesse considerando-se a correlação existente.

A produção agrícola do perímetro irrigado Engenheiro Arcoverde, localizado no Estado da Paraíba, em anos anteriores, foi expressiva para a economia da região onde o mesmo se encontra inserido. No entanto, devido a diversos fatores ligados a produção que influenciam no equilíbrio do meio, como irrigação e adubação excessivas acarretaram no colapso do perímetro, onde são observados sinais de degradação dos solos e parcelas improdutivas decorrente de sua salinização e/ou sodificação.

Objetivou-se com este trabalho caracterizar os atributos condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), pH do extrato de saturação (pHes) e

porcentagem de sódio trocável (PST) de um Neossolo Flúvico, predominante no perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde e analisar a variabilidade espacial dos mesmos, utilizando procedimentos de técnicas estatísticas (clássica e geoestatística) com a finalidade de proceder ao mapeamento desses atributos na área estudada e contribuir com informações adicionais para um manejo e recuperação do solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em área pertencente ao perímetro Irrigado Engenheiro Arcoverde, localizado no município de Condado, PB, o qual se situa na Bacia do Alto Piranhas, sertão Paraibano (6°54'30" de latitude sul e 37°35'50" de longitude oeste, com altitude em torno de 200 a 250 m). Na área experimental, correspondente a 42 hectares, o solo predominante é um Neossolo Flúvico. Nesta área foram coletadas amostras de solo em 53 pontos, espaçados de 100 m entre si, nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm, totalizando 159 amostras de solo.

Estas amostras após serem secas ao ar e peneiradas com malha de 2 mm de abertura foram caracterizadas quimicamente tendo sido determinados os cátions totais de acordo com Embrapa

(1997), cátions solúveis, condutividade elétrica (CEes) e pH (pHes) do extrato de saturação, segundo os procedimentos descritos por Richards (1954); os cátions trocáveis foram obtidos pela diferença entre os totais e os solúveis.

A capacidade de troca de cátions (CTC) foi obtida através da soma dos cátions trocáveis e utilizada no cálculo da PST, obtida da relação:  $N_{\text{trocável}} \times 100/CTC$ .

Os dados de CEes, pHes e PST foram analisados através da estatística descritiva calculando-se as medidas de posição (média e mediana), de dispersão (valor máximo, valor mínimo e coeficiente de variação, CV e desvio padrão, DP) e da forma da distribuição dos dados (coeficiente de assimetria e de curtose). Os dados discrepantes foram eliminados por meio de gráficos Box-plot, onde são considerados valores discrepantes aqueles abaixo do limite inferior (Li) ou acima do limite superior (Ls), estimados por  $Li = Qi - 1,5Ai$  e  $Ls = Qs + 1,5Ai$ , sendo que Qi e Qs são os quartis inferior e superior, respectivamente (BUSSAB; MARETTIN, 2004).

De acordo com os valores de CV, a variabilidade dos dados foi classificada, segundo Warrick & Nielsen (1980) em baixa ( $CV < 12\%$ ), média ( $12 < CV < 62\%$ ) e alta ( $CV > 62\%$ ). Avaliou-se, também, a distribuição de frequência dos dados,

verificando se seguiam a distribuição normal. Para verificar a aderência ou não dos dados à distribuição normal, aplicou-se o teste de Komolgorov-Smirnov (KS) com nível de 5% de probabilidade, o qual consiste, segundo Costa Neto (1997) no cálculo das diferenças entre as probabilidades da variável normal reduzida e as probabilidades acumuladas dos dados experimentais.

A variação espacial das amostras de solo foi determinada pela análise geoestatística tendo como base a obtenção de semivariogramas experimentais (ANDRADE, 2002), onde a dependência espacial foi avaliada com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca, pela análise de semivariogramas estimados pela seguinte expressão:

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

em que  $\gamma^*$  é o valor da semivariância estimada a partir dos dados experimentais;  $N(h)$  é o número de pares de observações  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i + h)$  separados por uma distância  $h$  (COUTO et al., 2000).

Aos semivariogramas experimentais, que apresentaram estrutura de dependência espacial foram ajustados os seguintes modelos matemáticos (ZIMBACK, 2001):

Modelo Esférico

$$\gamma(h) = C_o + C \left[ \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad 0 < h \leq a \quad (2)$$

#### Modelo Exponencial

$$\gamma(h) = C_o + C \left[ 1 - \exp\left(\frac{-3h}{a}\right) \right], h \geq 0 \quad (3)$$

Após o ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\gamma^*(h)$  foram definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma, ou seja, o efeito pepita,  $C_o$ , o patamar,  $C_o + C$ , e o alcance de dependência espacial, "a" (Couto et al., 2000). Para se analisar o grau de dependência espacial da variável em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994) em que são considerados de dependência espacial forte, moderada e fraca os semivariogramas que têm efeito pepita  $\leq 25\%$  do patamar, entre 25 e 75% do patamar e  $>75\%$  do patamar, respectivamente.

Os mapas de isolinhas, representativos da distribuição espacial, foram elaborados com o auxílio do software Surfer for Windows versão 8.0 (SURFER, 2002), utilizando-se as informações provenientes dos semivariogramas durante o processo de krigagem na interpolação dos dados.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das médias e medianas do atributo pHes foram aproximadamente iguais em todas as profundidades estudadas, enquanto que para a CEes e PST houve maiores diferenças entre estas medidas (Tabela 1), corroborando Souza et al. (2000). Segundo Cambardella et al. (1994), a proximidade desses valores para o pHes, pode ser um indicativo de que as

medidas de tendência central não são dominadas por valores atípicos na distribuição. A aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a 5% de probabilidade, confirmou que os dados de pHes podem ser considerados provenientes de uma população com distribuição normal (Tabela 1).

A normalização dos dados é importante no estudo geoestatístico uma vez que a estimativa de valores por meio da krigagem apresenta melhores resultados quando a normalidade dos dados é satisfeita (PAZ-GONZALES et al., 2001).

Para que um conjunto de dados seja considerado aderente à normalidade é necessário que os valores dos coeficientes de assimetria e curtose estejam próximas dos valores 0 e 3, respectivamente, e, os valores da média e mediana sejam próximos entre si. De acordo com esses pressupostos e o uso do teste KS, os resultados referentes à análise descritiva para os atributos CEes e PST, nas três profundidades (Tabela 1), indicaram distribuição não normal corroborando com Souza et al. (2000) e Montenegro; Montenegro (2006). Devido a isto, foi necessária a transformação dos dados desses atributos, o que se deu por meio da função logarítmica. A partir dos gráficos "box-plot" dos dados, foram identificados e eliminados os valores discrepantes (BUSSAB & MARETTIN, 2004).

O desvio padrão, DP, indica o afastamento dos valores observados em relação à média aritmética da amostra estudada, sinalizando uma possível existência de variabilidade dos dados; o DP dos valores de pHes foi menor em relação àqueles correspondentes aos valores obtidos para CEes e PST, sendo estes com variações mais pronunciadas na profundidade de 40-60 cm.

Com base na classificação de Warrick; Nielsen (1980) para o coeficiente de variação (CV), verificou-se alta variação para os atributos CEes e PST, corroborando com Souza et al. (2000) e Chaves et al. (2004), discordando, no entanto, de Montenegro; Montenegro

(2006) que encontraram média variação para a CEes. Em relação ao pHes, nas três profundidades foi baixo o CV corroborando, neste caso, Souza et al. (2000), Corá et al. (2004), Montenegro; Montenegro (2006) e Costa (2008). Tais resultados podem indicar heterogeneidade do solo em estudo, o que é próprio de solos aluvionais, concordando com Oliveira (1998) e Souza et al. (2000). A heterogeneidade é característica inerente aos Neossolos Flúvicos, devido principalmente ao seu processo de formação que ocorre pela acumulação e distribuição desuniformes de sucessivos depósitos de materiais oriundos de outros locais.

**Tabela 1.** Resumo da estatística descritiva das propriedades condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), pH do extrato de saturação (pHes) e porcentagem de sódio trocável (PST) nas profundidades 0-20, 20-40 e 40-60 cm.

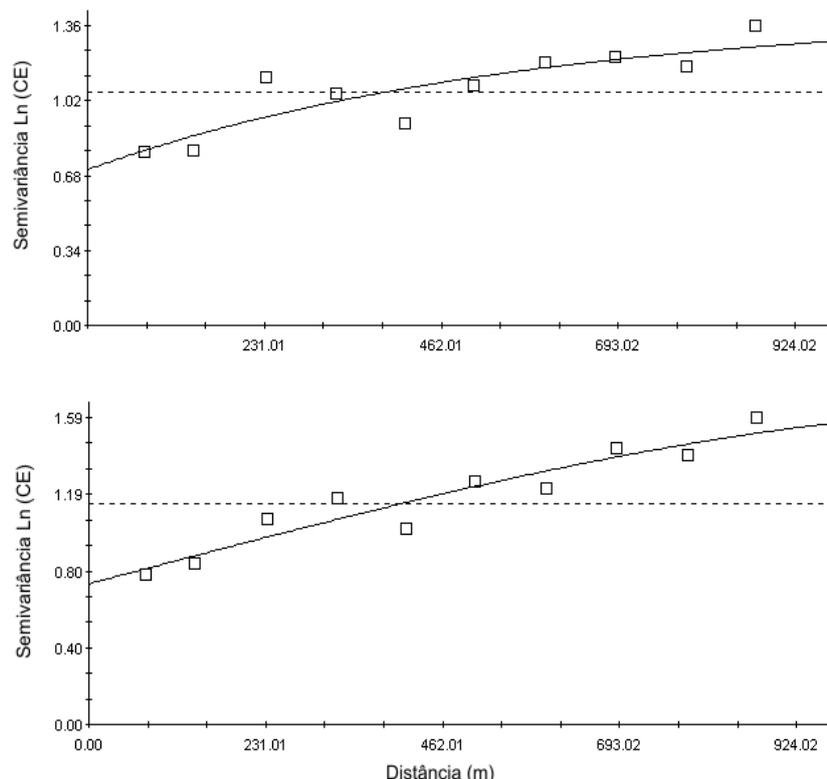
Atributo	Média	Med.	Mín.	Máx.	CV %	D P	Coeficiente		KS
							Assimetria	Curtose	
Profundidade de 0 – 20 cm									
CEes (dS m <sup>-1</sup> )	1,56	0,59	0,25	6,95	130,76	1,96	2,1	6,52	0,309 <sup>m</sup>
pHes	6,92	7,00	6,00	8,88	8,43	0,58	0,04	3,21	0,107*
PST (%)	12,75	4,42	1,58	78,74	156,39	19,96	2,29	7,23	0,317 <sup>m</sup>
Profundidade de 20 – 40 cm									
CEes(dS m <sup>-1</sup> )	1,45	0,59	0,26	5,80	110,18	1,60	1,35	3,53	0,244 <sup>m</sup>
pHes	7,28	7,30	5,77	9,02	7,74	0,56	0,09	3,09	0,181*
PST (%)	15,57	4,86	2,18	88,63	140,05	24,61	1,70	4,52	0,335 <sup>m</sup>
Profundidade de 40 – 60 cm									
CEes(dS m <sup>-1</sup> )	1,63	0,62	0,28	8,90	119,64	2,04	1,49	3,88	0,306 <sup>m</sup>
pHes	7,99	7,87	7,00	9,55	7,81	0,62	0,05	2,96	0,110*
PST (%)	19,41	4,98	2,40	79,09	136,82	26,55	1,63	3,93	0,356 <sup>m</sup>

m: rejeita a normalidade; \*: aceita a normalidade

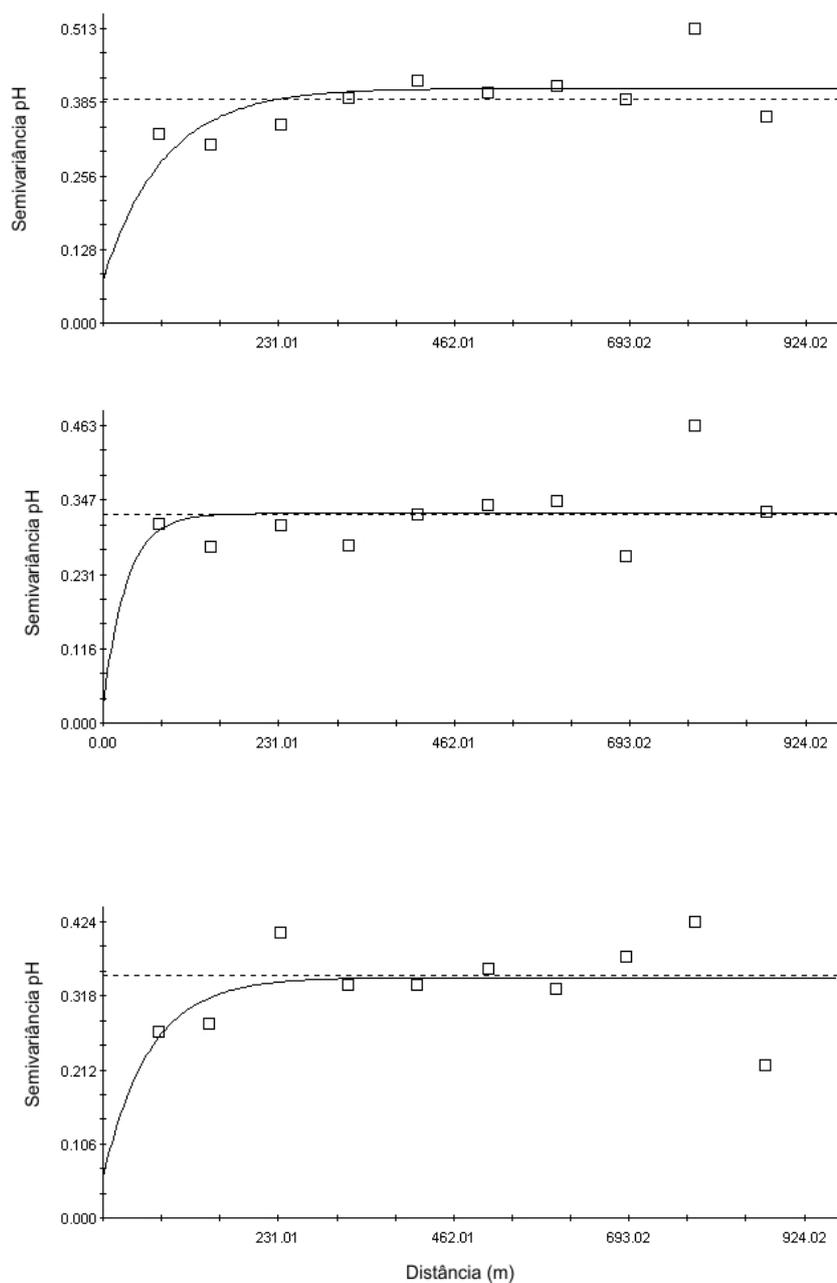
O estudo de dependência espacial da CEes, pHes e PST nas três profundidades, foram realizados com eliminação dos dados considerados atípicos, no sentido de que esses valores não pudessem afetar a distribuição.

A análise geoestatística mostrou que os atributos analisados apresentaram estrutura de dependência espacial para as profundidades estudadas, conforme observado por meio dos semivariogramas e seus respectivos modelos teóricos ajustados (Figuras 1, 2 e 3), juntamente

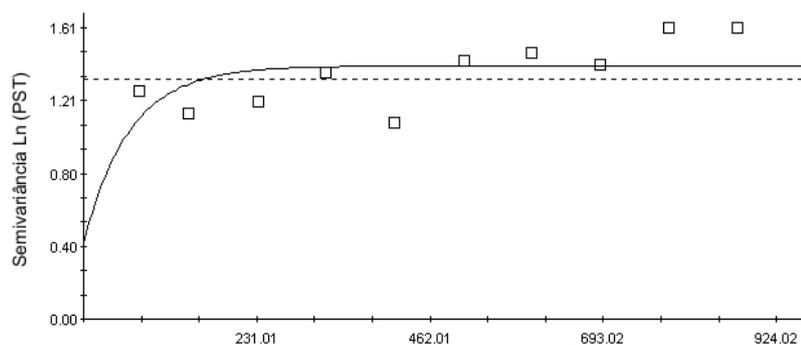
com os parâmetros efeito pepita ( $C_0$ ), patamar ( $C + C_0$ ), variância estrutural ( $C$ ) e o alcance da dependência espacial ( $a$ ) (Tabela 2). Através da técnica de validação cruzada foram definidos os melhores ajustes aos semivariogramas teóricos, conforme o melhor coeficiente de correlação entre os dados originais e os dados estimados pelo semivariograma escolhido.

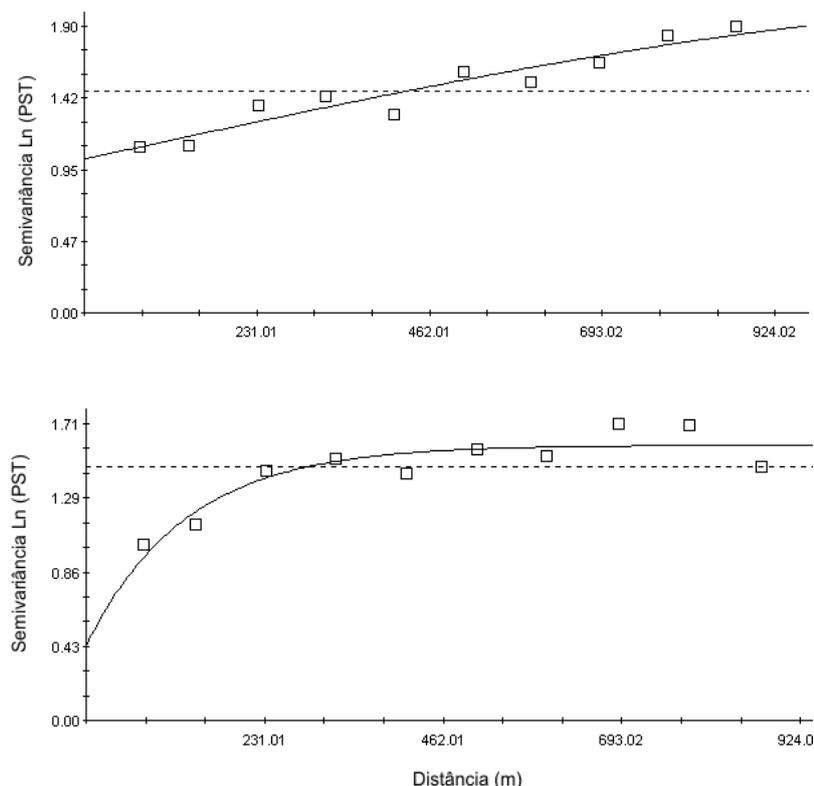


**Figura 1.** Semivariogramas experimentais e teóricos da Condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) em  $\text{dS m}^{-1}$  nas três profundidades estudadas, 0 – 20 cm; 20 - 40 cm e 40 – 60 cm, respectivamente.



**Figura 2.** Semivariogramas experimentais e teóricos do pH do extrato de saturação (pHes) nas três profundidades estudadas, 0 – 20 cm; 20 - 40 cm e 40 – 60 cm, respectivamente.





**Figura 3.** Semivariogramas experimentais e teóricos da Porcentagem de sódio trocável (PST) - % nas três profundidades estudadas, 0 – 20 cm; 20 - 40 cm e 40 – 60 cm, respectivamente.

O modelo de semivariograma teórico isotrópico exponencial “Exp” foi o que permitiu o melhor ajuste dos dados da CEes para profundidades 0-20 e 20-40 cm e esférico “Esf” na profundidade de 40-60 cm, corroborando Souza et al. (2000) e Souza et al. (2008); a PST, nas profundidades 0-20 e 40-60

cm, teve um melhor ajuste com o modelo “Exp”, enquanto que para a profundidade de 20-40 cm ajustou-se melhor ao modelo “Esf”, corroborando Souza et al. (2000) e Souza et al. (2008); já para o atributo pHes, verifica-se um ajuste ao modelo isotrópico exponencial “Exp” nas três profundidades estudadas (Tabela 2).

**Tabela 2.** Parâmetros do modelo teórico ajustado aos semivariogramas experimentais da CEes, pHes e PST nas três profundidades.

Atributo	Modelo	Co	Patamar	a	Co/(Co+C)
Profundidade de 0 – 20 cm					
CEes (dS m <sup>-1</sup> )	Exp.	0,168	0,876	45	80,82
pHes	Exp.	0,057	0,344	61	83,43
PST (%)	Exp.	0,418	1,399	61	70,12
Profundidade de 20-40 cm					

CEes (dS m <sup>-1</sup> )	Exp.	0,708	1,417	567	70,90
pHes	Exp.	0,024	0,326	30	92,64
PST (%)	Esf.	0,430	1,592	128	79,98
Profundidade de 40-60 cm					
CEes (dS m <sup>-1</sup> )	Esf.	0,730	1,643	1301	55,56
pHes	Exp.	0,075	0,409	80	81,66
PST (%)	Exp.	1,019	2,046	1431	50,19

Esf: Esférico; Exp: Exponencial; Co: efeito pepita; a: alcance prático; C: variância estrutural; GDE: grau de dependência espacial.

Os atributos do solo apresentaram diferentes alcances (a) de dependência espacial (Tabela 2). O alcance indica o limite de dependência espacial da variável, ou seja, determinações realizadas à distâncias maiores que o alcance tem distribuição espacial aleatória e, por isso, são independentes entre si, podendo ser aplicada estatística clássica. O valor do alcance foi maior na profundidade 40-60 cm e menor na profundidade 0-20 cm, para os atributos estudados, indicando uma menor continuidade espacial nesta profundidade, corroborando Souza et al. (2000).

O efeito pepita (Co), parâmetro de grande importância para o variograma, representa a variância não explicada ou ao acaso, frequentemente causada por erros de medições ou variações dos atributos que não podem ser detectados na escala de amostragem (TRAGMAR et al., 1985; VIEIRA, 2000). Os menores e maiores valores de Co foram observados para as amostras de solo coletadas na camada de 0-

20 cm e 40-60 cm de profundidade, respectivamente (Tabela 3). Esse mesmo comportamento foi observado com os valores de patamar (C + Co) que indicam quando a variância (C) se torna constante com o aumento da distância entre as amostras (Tabela 3).

A relação em porcentagem entre o efeito pepita e o patamar do semivariograma pode indicar o grau de dependência espacial (TRANGMAR et al., 1985). Neste estudo observou-se que a CEes apresentou fraco grau de dependência espacial na profundidade de 0-20 cm (80,82%) e moderado grau nas demais profundidades (70,90 e 55,56 %); o pHes apresentou nas três profundidades, fraco grau de dependência espacial (83,43; 92,64 e 81,66%); e a PST apresentou moderado grau de dependência espacial nas profundidades de 0-20 e 40-60 cm (70,12 e 50,19 %, respectivamente) e fraco grau na profundidade de 20-40 cm (79,98%) (Tabela 3). Segundo Cambardella et al. (1994), os atributos que

apresentaram forte dependência espacial são mais influenciados por propriedades intrínsecas do solo, enquanto os que apresentam fraca dependência são os mais influenciados por fatores externos.

Estes resultados refletem uma menor variabilidade dos dados para maiores profundidades, indicando maior descontinuidade na distribuição espacial em camadas mais superficiais. Essa variabilidade pode ser decorrente da translocação e distribuição dos elementos químicos no solo, devido à água de irrigação, chuvas irregulares e intensas, evaporação, drenagem ineficiente ou a própria natureza dos fatores responsáveis pela formação dos Neossolos Flúvicos, como deposição de materiais oriundos de diversos locais em camadas sobrepostas.

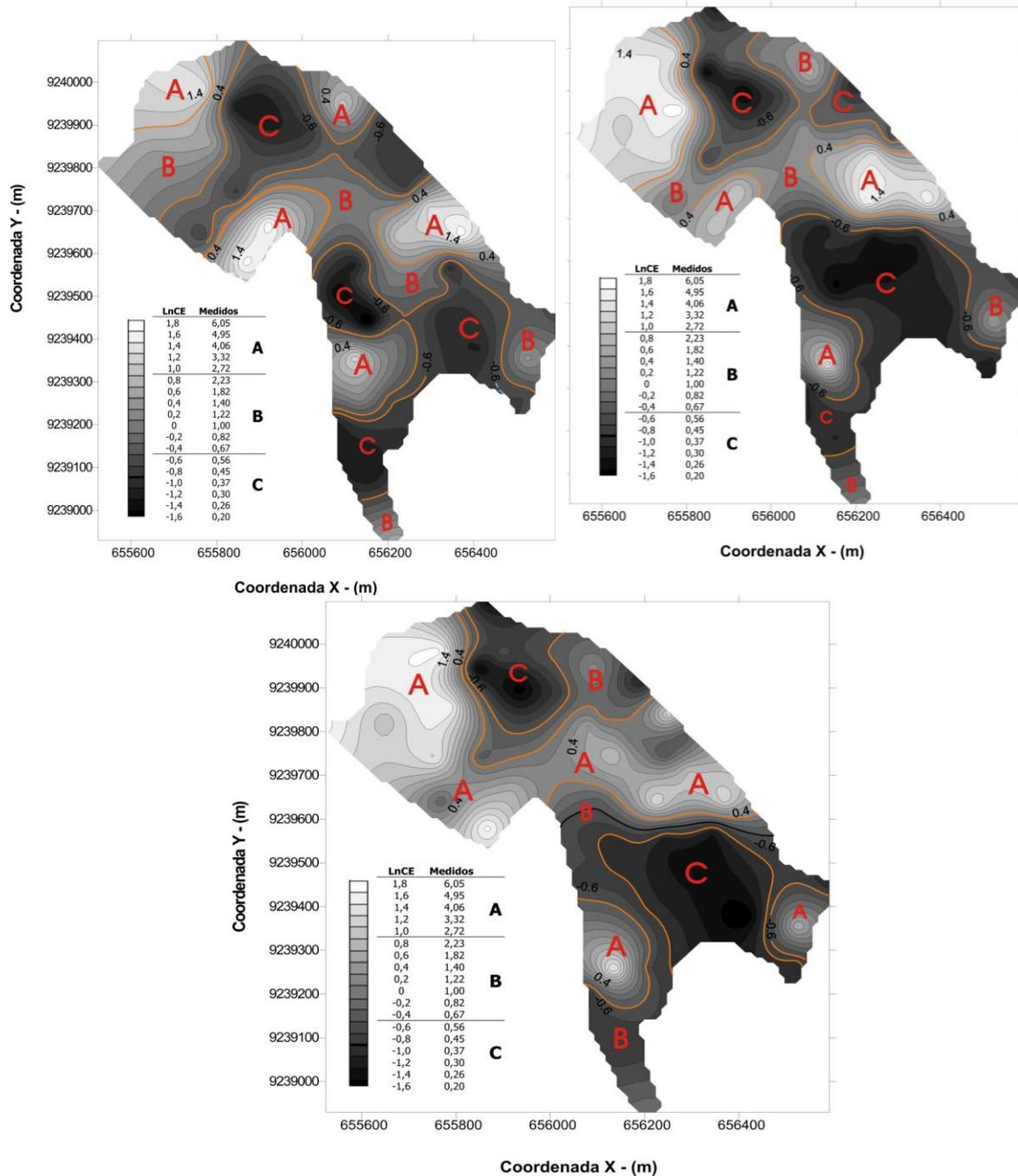
Para o entendimento das causas da variabilidade dos sais no solo, é necessário conhecer os problemas que operam em locais específicos. Esses podem estar ligados ao fluxo de água sub superficiais que por sua vez, é controlado pelo relevo, drenabilidade ou pelo método de irrigação empregado. Neste sentido, os mapas de isolinhas (Figuras 4, 5 e 6) permitiram identificar e mapear as regiões na área de

estudo com diferentes níveis de salinidade. Dessa forma, a área representada pelos mapas, foi dividida em três sub área, A, B e C de acordo com os resultados de cada variável, tendo a sub área A, valores mais elevados, sub área B, valores intermediários e sub área C, menores valores. Pelas figuras, pode-se observar o aumento da salinidade (CEes, pHes e PST) com o aumento da profundidade principalmente no lado esquerdo da área, o qual é evidenciado pela escala de tonalidades cinza mais claro. Resultados semelhantes ao comportamento da variabilidade espacial da salinidade do solo foram encontrados por Souza et al. (2000).

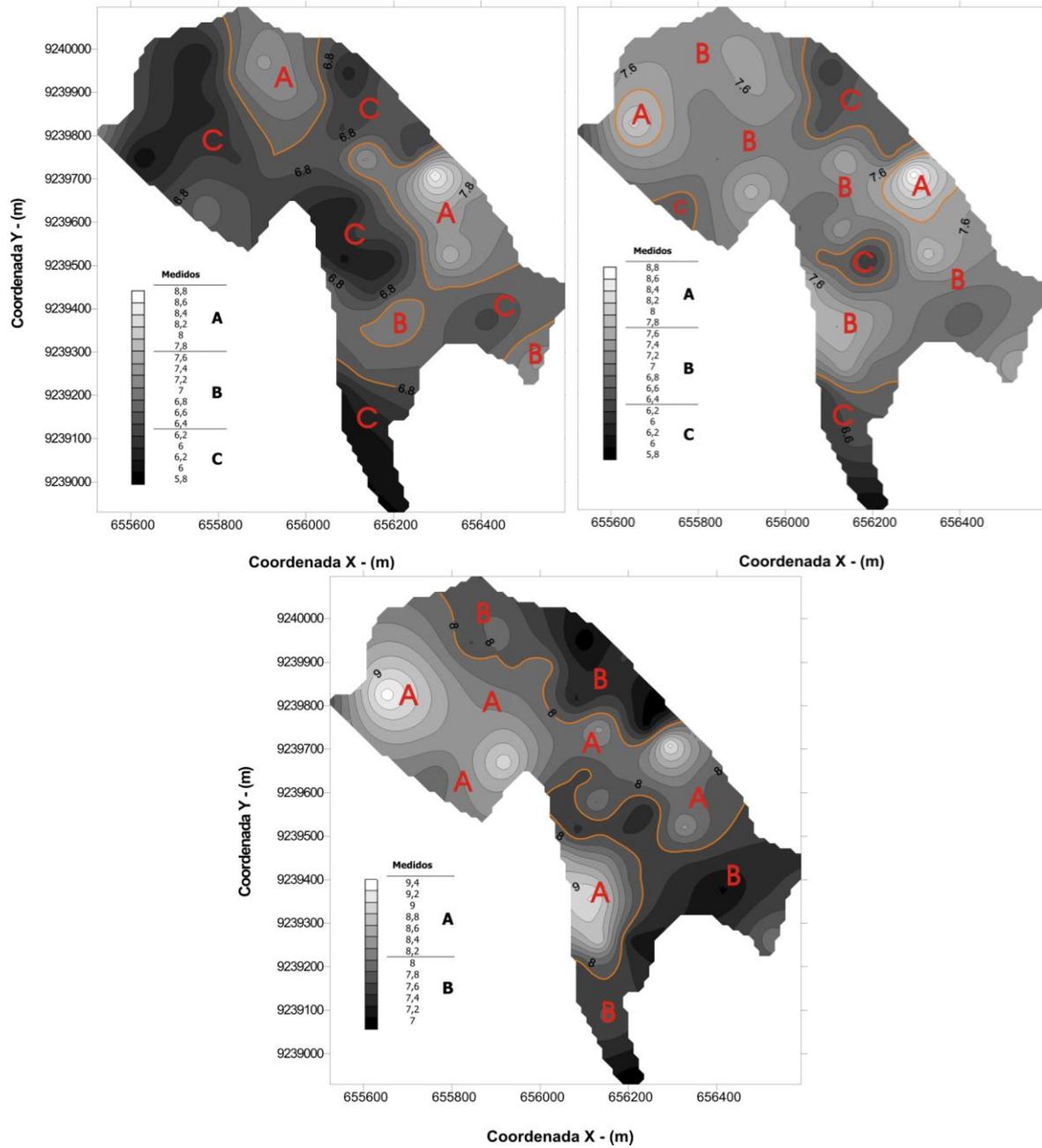
De acordo com os resultados obtidos, tendo como base o escalonamento das sub áreas, a área pode ser mapeada quanto a sua salinidade, levando-se em consideração a classificação proposta por Richards (1954). Verifica-se a presença de caráter salino sódico e sódico para a sub área A nas três profundidades; presença de solos sódicos, sendo a maior quantidade representada por solos normais para a sub área B, e, solos normais na sub área C (Tabela 3).

**Tabela 3.** Classificação da salinidade do solo para as sub áreas A, B e C da área em estudo.

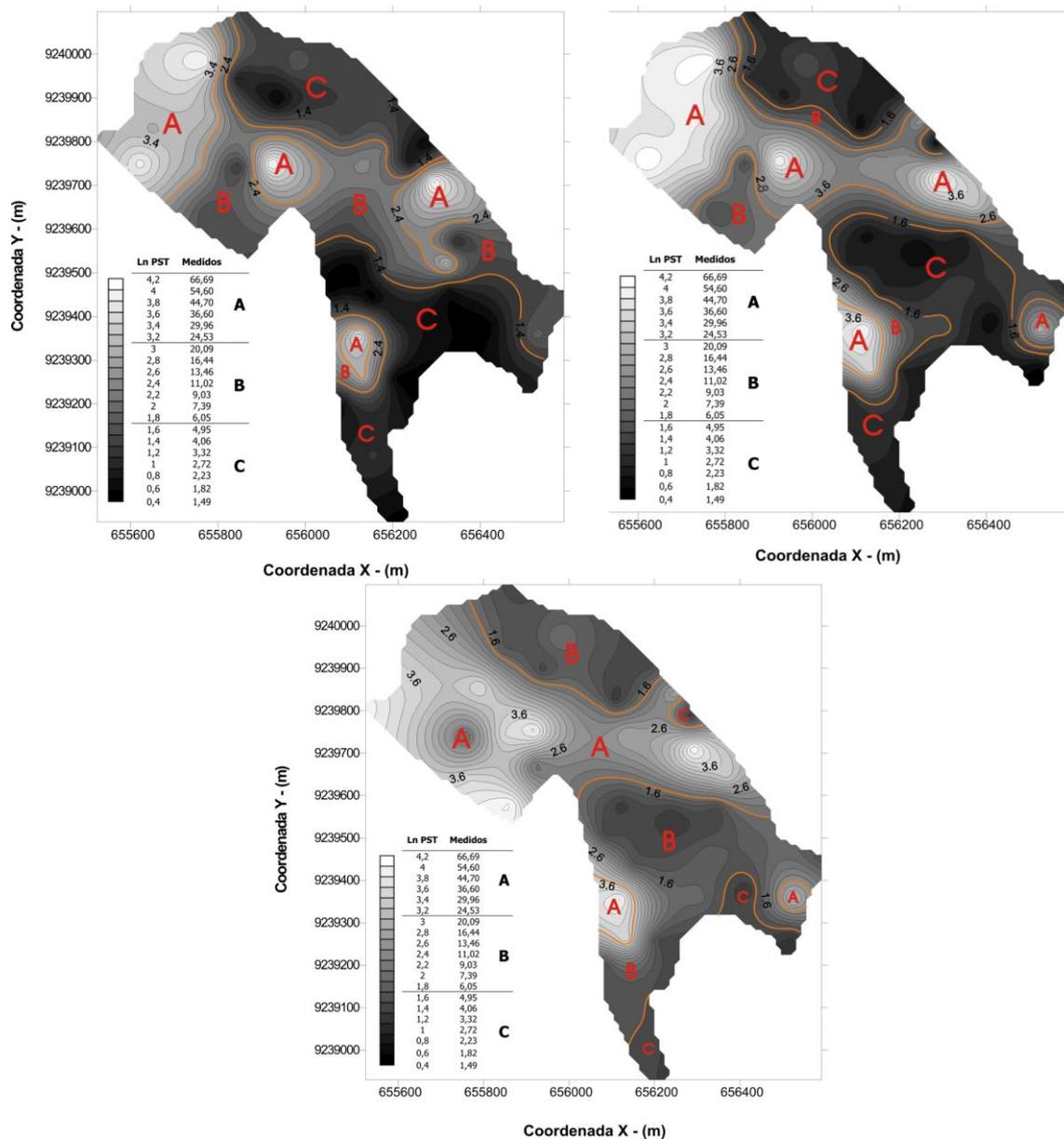
Sub-regiões	CE dS.m <sup>-1</sup>	PST (%)	pH	Classificação
<b>A</b>	> 6,05	66,69	9,1	Salino Sódico
	6,05	54,60	8,9	Salino Sódico
	4,95	44,70	8,7	Salino Sódico
	4,06	36,60	8,5	Sódico
	3,32	29,96	8,3	Sódico
	2,72	24,53	8,1	Sódico
	2,23	20,09	7,9	Sódico
<b>B</b>	1,82	16,44	7,7	Sódico
	1,40	13,46	7,5	Normais
	1,22	11,02	7,3	Normais
	1,00	9,03	7,1	Normais
	0,82	7,39	6,6	Normais
	0,67	6,05	6,4	Normais
	0,56	4,95	6,2	Normais
<b>C</b>	0,45	4,06	6,0	Normais
	0,37	3,32	6,2	Normais
	0,30	2,72	6,0	Normais
	0,26	2,23	5,8	Normais
	0,20	1,82	> 5,8	Normais
	> 0,20	1,49	> 5,8	Normais



**Figura 4.** Mapas de isolinhas da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes) em  $\text{dS m}^{-1}$  nas três profundidades estudadas, 0 – 20 cm; 20 - 40 cm e 40 – 60 cm, respectivamente.



**Figura 5.** Mapas de isolinhas do pH do extrato de saturação (pHes) nas três profundidades estudadas, 0 – 20 cm; 20 - 40 cm e 40 – 60 cm, respectivamente.



**Figura 6.** Mapas de isolinhas da porcentagem de sódio trocável (PST) - % nas três profundidades estudadas, 0 – 20 cm; 20 - 40 cm e 40 – 60 cm, respectivamente.

#### 4. CONCLUSÕES

Das variáveis estudadas, apenas o pH do extrato de saturação apresentou distribuição normal, em todas as profundidades estudadas.

Foi observada alta variabilidade para a condutividade elétrica do extrato de saturação e porcentagem de sódio trocável e baixa para o pH do extrato de saturação,

tendo os coeficientes de variação diminuído com o aumento da profundidade.

Para os valores de condutividade elétrica do extrato de saturação e porcentagem de sódio trocável foram ajustados modelos exponencial e esférico e para os valores de pH do extrato de saturação, modelo exponencial.

Com o exame dos semivariogramas foi detectada de fraca a moderada dependência espacial para a condutividade elétrica do extrato de saturação e porcentagem de sódio trocável e fraca dependência espacial para o pH do extrato de saturação.

Os mapas de isolinhas mostraram que os problemas de salinidade e sodicidade aumentaram com a profundidade.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. R. S. **Aplicação da teoria fractal e da geostatística na estimativa da condutividade hidráulica saturada e do espaçamento entre drenos**. 2002. 198 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus de Botucatu-SP, 2002.
- BECKETT, P. H. T.; WEBSTER, R. **Soil variability: a review**. Soil Fertility, Farnham Royal, v.34, n.1, p.1-15, 1971.
- BUSSAB, W.O.; MARETTIN, P.A. **Estatística básica**. 5a ed. São Paulo: Saraiva, 2004. 120p.
- CAMBARDELLA, C.A., MOORMAN, T.B., NOVAK, J.M., PARKIN, T.B. KARLEN, D.L., TURCO, R.F., KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 58, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, M. P.; TAKEDA, E. Y.; FREDDI, O. S. Variabilidade espacial de atributos de um solo sob videira em Vitória Brasil (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.4, p.695-703, 2003.
- CHAVES, L. H. G.; TITO, G. A.; CHAVES, I. B.; LUNA, J. G.; SILVA, P. C. M. Propriedades químicas do solo aluvial da Ilha de Assunção - Cabrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 431-437, 2004.
- CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; VASCONCELOS, A. C. F.; LEÃO, A. B. Avaliação da salinidade dos Neossolos dos perímetros irrigados de São Gonçalo e Engenheiro Arcoverde, PB. **Agropecuária Técnica**, v.26, n.1, p.15-21, 2005.
- CORÁ, J. E.; ARAUJO, A. V.; PEREIRA, G. T.; BERALDO, J. M. G. Variabilidade espacial de atributos do solo para adoção do sistema de agricultura de precisão na cultura de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n. 6, p. 1013-1021, 2004.

- COSTA, D. M. A. Impactos da irrigação na variabilidade espacial e temporal da salinidade de um solo aluvial no semi-árido potiguar. **Holos**, v. 2, p. 62-71, 2008.
- COSTA NETO, P. L. O. **Estatística**. 15. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 468p.
- COUTO, E. G.; KLAMT, E.; STEIN, A. Estimativa do teor de argila e de potássio trocável em solo esparsamente amostrado no sul do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 129-140, 2000.
- D'ALMEIDA, D. B. A.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; NESS, R. L. L. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na chapada do Apodi, Ceará. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.615-621, 2005.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo, 1997. 212p.
- FREIRE, M. B. G. S.; RUIZ, H. A.; RIBEIRO, M. R.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V. H.; FREIRE, F. J. Condutividade hidráulica de solos de Pernambuco em resposta à condutividade elétrica e RAS da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.45-52, 2003.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.30-37, 2006.
- OLIVEIRA, J. J. **Variabilidade de características químicas de um solo salino-sódico**.1998. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande. 1998.
- PAZ-GONZALEZ, A.; TABOADA CASTRO, M. T.; VIEIRA, S. R. Geostatistical analysis of heavy metals in a one-hectare plot under natural vegetation in a serpentine area. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 81, p. 469-479, 2001.
- PREVEDELLO, B. M. S. **Variabilidade espacial de parâmetros de solo e planta**. 1987. 166 f. Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, 1987.

- 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. Viçosa: SBCS, v.3, 2003. 430p.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington: US Department of Agriculture, 1954. 160p. USDA Agricultural Handbook, 60
- SILVA FILHO, S. B.; CAVALCANTE, L. F.; OLIVEIRA, F. A; LIMA, E. M; COSTA, J. R. M. Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação. **Irriga**, v.5, n.2, p.112-25, 2000.
- SOUZA, E. R., MONTENEGRO, A. A.; FREIRE, M. B. G. S. Evolução e variabilidade espacial da salinidade em Neossolo Flúvico cultivado com cenoura sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.6, p.584-592, 2008.
- SOUZA, J. R.; QUEIROZ, J. L.; GHEY, H. R. Variabilidade espacial da salinidade de um solo aluvial no semi-árido Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, n.1, p.35-40, 2000.
- SURFER. Surfer 8.0. **Contouring and 3d surface mapping for scientists and engineers. User's Guide.** New York: Golden Software, 2002. 619p.
- TRANGMAR, B. B.; YOST, R. S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, v. 38, p. 45-93, 1985.
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V. V. H., SCHAEFER, C. E. G. R. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo.** Viçosa: SBCS, 2000. p.1-54
- 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 Press, 1980. p. 319-344.
- ZIMBACK, C.R.L. **Análise espacial de atributos químicos de solo para fins de mapeamento da fertilidade do solo.** Botucatu, 2001. 114p. Tese (Livre Docência) - UNESP, Universidade Estadual Paulista, 2001.