

VARIABILIDADE ESPACIAL DO pH E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM SOLO CULTIVADO COM ARROZ IRRIGADO NO RIO GRANDE DO NORTE

Herlon Bruno Ferreira Barreto

Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, Bolsista CAPES, Depto. de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, UFRSA, Mossoró-RN, e-mail: foboca@hotmail.com

Vital Paulino do Amaral Júnior

Eng. Agrônomo, DCAT-UFRSA, Mossoró-RN

Priscila de Melo Evangelista Maia

Eng. Agrônomo, Mestrando em Irrigação e Drenagem, Bolsista CAPES, DCAT-UFRSA, Mossoró-RN.

Samuel José da Silva Neto

Graduando em Agronomia, Bolsista PIBIC, DCAT-UFRSA, Mossoró-RN.

RESUMO - A cultura do arroz irrigado é a principal atividade agrícola da região do Vale do Apodi, sendo cultivados com irrigação por inundação, nos mais diversos sistemas de plantio, consumindo grandes quantidades de água, adubos químicos e agrotóxicos. O objetivo deste trabalho foi o de estudar a variabilidade espacial das variáveis de pH e CE na pasta de saturação, em um solo cultivado com arroz no Rio Grande do Norte. A coleta de solo foi realizada em área de produção de arroz vermelho no município de Apodi, na região conhecida como várzea do rio Apodi. Foi realizada análise exploratória dos dados, aplicação de teste de normalidade, os dados analisados por uso da estatística descritiva. Foram gerados semivariogramas e mapas de isozonas baseados no algoritmo da Krigagem, para cada variável e profundidade avaliada. O modelo esférico foi o que melhor se ajustou aos dados de CE e pH em ambas as profundidades, e representando uma moderada dependência espacial para variável CE na profundidade 15-30 cm, e uma forte dependência espacial para as demais variáveis estudadas. Os valores de CE estão autocorrelacionados no espaço até uma distância de 41 e 71 m para as profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm respectivamente. Os valores de pH estão autocorrelacionados no espaço até uma distância de 31.2 e 42.9 m para as profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm respectivamente.

Palavras chave: geoestatística, krigagem, dependência espacial.

SPATIAL VARIABILITY OF pH AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN SOIL CULTIVATED WITH RICE CROP IN RIO GRANDE DO NORTE

ABSTRACT - The rice crop is the main agricultural activity in the region of Vale do Apodi being grown with flood irrigation, in several cropping systems, consuming large amounts of water, fertilizers and pesticides. The objective of this work was to study the spatial variability of the variables of pH and EC in saturation paste in a soil cultivated with rice in Rio Grande do Norte. The collection of soil was held in the area of production of red rice in the city of Apodi, the region known as the river floodplain Apodi. We performed exploratory data analysis, application of the normality test, the data were analyzed using descriptive statistics. We generated maps and semivariograms isozonas based Kriging algorithm, for each variable and depth measured. The spherical model was the best fit to the data of pH and EC at both depths, representing a moderate spatial dependence variable EC 15-30 cm in depth, and a strong spatial dependence for all variables. The EC values are autocorrelated space to a distance of 41 m and 71 to the depth of 15-30 cm and 0-15 cm, respectively. The pH values are autocorrelated space to a distance of 31.2 and 42.9 m for the depths of 15-30 cm and 0-15 cm, respectively.

Keywords: geostatistics, kriging, spatial dependence.

INTRODUÇÃO

A cultura do arroz irrigado é a principal atividade agrícola da região do Vale do Apodi, sendo cultivados com irrigação por inundação, nos mais diversos sistemas

de plantio, consumindo grandes quantidades de água, adubos químicos e agrotóxicos.

A irrigação tem grande importância na produção de alimentos, principalmente, nas regiões áridas e semi-áridas, como no Nordeste brasileiro. Nestas regiões, o

bom desenvolvimento das culturas e a qualidade da produção são diretamente dependentes da irrigação (VIANA et al., 2001).

Para obtenção de resultados positivos, o manejo da irrigação deve priorizar o uso de tecnologias apropriadas, controle da qualidade e quantidade de água aplicada. Caso contrário, a irrigação pode resultar em poluição e contaminação dos solos pela salinização e sodificação (SILVA et al., 2007).

Os atributos químicos do solo são alguns dos possíveis responsáveis pela influência na oscilação da produtividade em áreas consideradas homogêneas. Porém, antes de buscar qualquer relação destes elementos com a cultura, é importante avaliar a extensão e a intensidade da dependência espacial desta variação, isoladamente ou em conjunto com outros atributos (GANDAH et al., 2000).

O objetivo deste trabalho foi o de estudar a variabilidade espacial das variáveis de pH e CE na pasta de saturação, em um solo cultivado com arroz no Rio Grande do Norte, utilizando a estatística descritiva e geoestatística para identificação dos padrões de variabilidade e dependência espacial das variáveis estudadas, visando o mapeamento e fornecimento de subsídios para um manejo mais adequado do solo e água na área analisada.

MATERIAL E MÉTODOS

A coleta de solo foi realizada em área de produção de arroz vermelho no município de Apodi, na região conhecida como várzea do rio Apodi, o clima

predominante é do tipo BSw h', segundo Koppen, caracterizado por um clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa compreendida entre verão e o outono, as chuvas médias anuais em torno de 700 mm, as temperaturas máximas ocorrem no período de novembro a dezembro, 28,3 °C, e temperaturas mínimas de 23,5 °C ocorrendo em agosto, a umidade relativa média anual em torno de 68% (LIMA, 2007).

O solo é Neossolo Flúvico, a coleta realizada em 15 pontos compondo um Grid de 20x20 m (FIGURA 1), nas profundidades de 0-15 e 15-30 cm, as amostras de solo foram secas ao ar e passadas em peneira de abertura 2 mm, posteriormente analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, onde foram realizadas as análises de pH e CE na pasta de saturação, a pasta saturada foi preparada seguindo-se a metodologia descrita por Richards (1954). No extrato da pasta saturada determinaram-se a condutividade elétrica (CE) e o pH, obtidos mediante utilização de potenciômetros com eletrodo combinado, sendo a leitura realizada diretamente no aparelho.

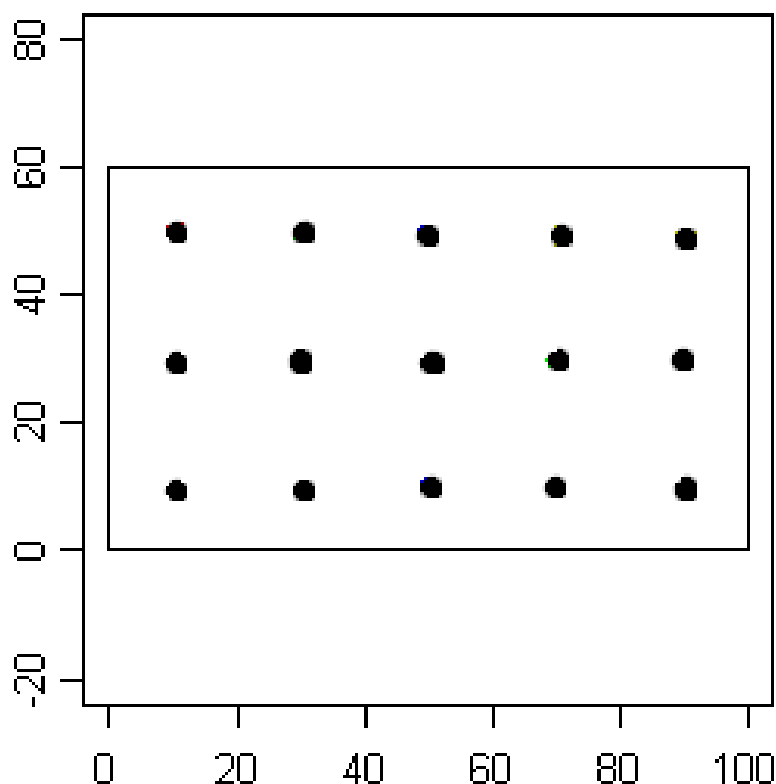


Figura 1 – Grid amostral de 20x20 m.

Foi realizada análise exploratória dos dados, que se constituíram na geração de gráficos de tendência, gráficos de dispersão e análise de outliers por meio de gráficos boxplot, aplicação de teste de normalidade, os dados analisados por uso da estatística descritiva, com valores de: Média, Desvio Padrão (DP), Coeficiente de Variação (CV), Coeficiente de Curtose, Coeficiente de Assimetria, Máximo e Mínimo.

Foram gerados semivariogramas e mapas de isozonas baseados no algoritmo da Krigagem, para cada variável e profundidade avaliada.

O ajuste do modelo espacial ao semivariograma experimental é desenvolvido por métodos matemáticos, estimando-se os parâmetros característicos de cada modelo. A semivariância é, por definição, dada por:

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

sendo $N(h)$ o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$, $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $g(h)$ é denominado semivariograma.

O grau de dependência (GD), que consiste na razão entre a variação aleatória e o patamar e permite classificar o grau de dependência espacial. Segundo Cambardella et al. (1994), este parâmetro pode ser calculado por:

$$GD(\%) = \frac{C_0}{(C_0 + C)} * 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

onde: C_0 : efeito pepita (representa a variação aleatória do fenômeno estudado); C : Variância estruturada (variância explicada pela componente espacial); $C_0 + C$: patamar (variação total do fenômeno avaliado).

Segundo os critérios de Cambardella et al. (1994) quando a razão entre o efeito pepita e o patamar, expressa em porcentagem, é $< 25\%$, a dependência espacial dessa variável é considerada forte, entre 25 e 75% é moderada e se a razão for $> 75\%$ é considerada fraca.

Os programas utilizados foram o GeoR (RIBEIRO JUNIOR E DIGGLE, 2001), GS+ versão Beta (1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk para normalidade dos dados ao nível de 5% de significância verificou-se que os dados seguem a distribuição normal, para as variáveis analisadas nas respectivas profundidades. Segundo Goovaerts (1997), distribuições normais ou próximas a normal resultam em melhores ajustes do semivariogramas.

Na Figura 2 apresenta-se, o gráfico boxplot que permite estudar a simetria das distribuições e detectar pontos amostrados no espaço cujos valores são discrepantes dos demais (outliers). Os outliers podem afetar a variância aleatória existente no processo, porém não ser limitante a análise geoestatística (RIBEIRO JÚNIOR & DIGGLE, 2001).

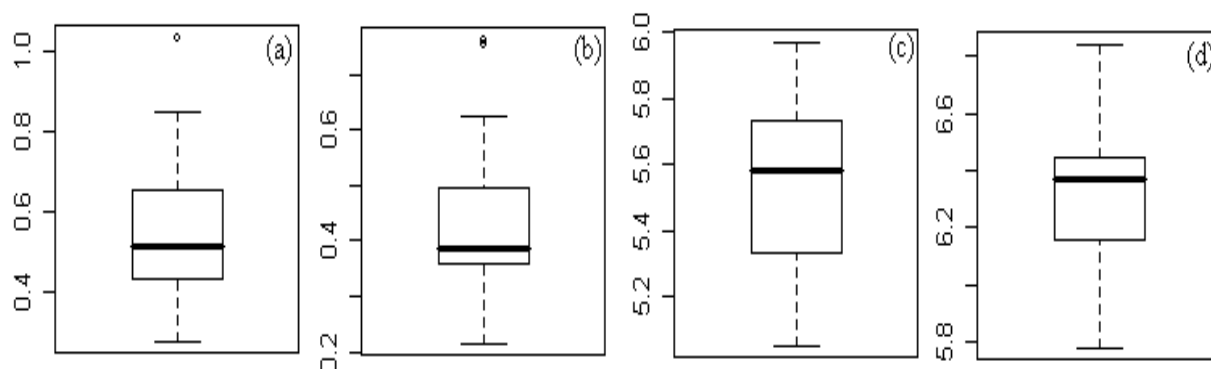


Figura 2 – Gráfico entre pares de pontos “boxplot”, (a) CE (dS/m^1) na profundidade de 0-15 cm, (b) CE (dS/m^1) na profundidade de 15-30 cm, (c) pH na profundidade de 0-15 cm, (d) pH na profundidade de 15-30 cm.

A Figura 3 mostra histogramas de frequência dos dados, para ambas as profundidades e variáveis analisadas. A condutividade elétrica é um parâmetro muito utilizado em regiões que apresentam baixos índices pluviométricos, como as regiões de clima árido e semi-

árido, ou áreas litorâneas que possuem influências do sal do mar, principalmente, porque podem apresentar concentração de sais em solução a níveis que prejudiquem o desenvolvimento dos cultivos.

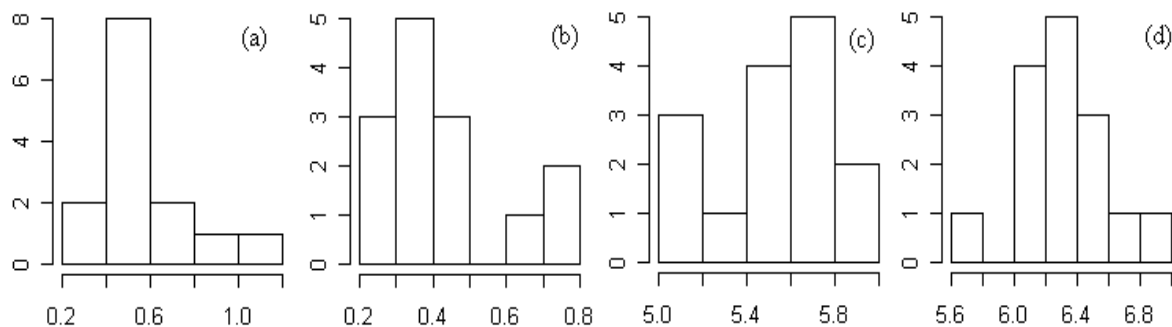


Figura 3 – Histograma de frequência dos dados, (a) CE (dS/m^1) na profundidade de 0-15 cm, (b) CE (dS/m^1) na profundidade de 15-30 cm, (c) pH na profundidade de 0-15 cm, (d) pH na profundidade de 15-30 cm.

Observa-se na Tabela 1 valores de pH próximos a neutralidade em ambas profundidades analisadas, que favorecem o desenvolvimento da maioria das culturas, segundo Ernani (2008) baixos valores de pH ($<5,5$) diminuem a decomposição da matéria orgânica, aumentando o alumínio trocável e também a solubilidade

dos compostos de ferro e alumínio. Brady (1983) e Tomé Júnior (1997), estudando sobre acidez do solo concluíram que o pH abaixo de 4,5 normalmente interfere na disponibilidade de nutrientes e conseqüentemente, por si só, essa acidez indica condições desfavoráveis ao crescimento vegetal.

TABELA 1 – Resumo da estatística descritiva para as variáveis analisadas nas respectivas profundidades.

Variavel	CE (dS/m ¹)	pH	CE (dS/m ¹)	pH
	0-15 cm		15-30 cm	
Média	0.63	5.53	0.55	6.33
DP	0.33	0.3	0.44	0.27
CV	52.38	5.42	80	4.27
Curtose	5.09	-1.03	10.26	0.57
Assimetria	2.09	-0.27	3.03	-0.09
Máximo	1.61	5.97	2.02	6.84
Mínimo	0.28	5.05	0.22	5.78

DP: Desvio Padrão; CV: Coeficiente de Variação.

Observa-se na Tabela 1 que os valores de CE são em média baixos porém chegando a níveis mais elevados como na profundidade 15-30 cm onde atinge o máximo de 2.02 dS/m¹. Os sais em excesso no solo, na água de irrigação ou na solução nutritiva, prejudicam o comportamento germinativo, vegetativo e produtivo das plantas, pela ação direta sobre o potencial osmótico e íons potencialmente tóxicos (CAVALCANTE, 2000; FREIRE et al., 2003).

Ainda na Tabela 1 com base na classificação de Warrick e Nielsen (1980) o CV é considerado baixo para a variável pH e elevado para CE em ambas profundidades avaliadas, atribuindo caráter heterogêneo ao solo da área, o que é próprio de solos aluvionais, concordando com Oliveira (1998). Esta heterogeneidade pode ser atribuída aos processos de formação inerentes a esses solos, que ocorre pela acumulação e distribuição desuniformes de

sucessivos depósitos de materiais oriundos de outros lugares, proporcionados pela posição topográfica que ocupam, além do manejo a que são submetidos, entre outros.

O comportamento do alcance do semivariograma está associado à existência de estrutura de dependência espacial e aplicação dos princípios da correlação espacial. O valor de Patamar e o efeito pepita mostram a extensão da estrutura de dependência espacial e representa a variação aleatória do fenômeno.

O modelo esférico (TABELA 2) foi o que melhor se ajustou aos dados de CE e pH em ambas as profundidades, e representando uma moderada dependência espacial (>25%) para variável CE na profundidade 15-30 cm, e uma forte dependência espacial (<25%) para as demais variáveis estudadas.

Tabela 2 – Modelos ajustados, grau de dependência espacial e alcance, para as variáveis CE e pH nas respectivas profundidades.

Variavel	Modelo	C0/(C0+C)	Dependencia espacial	Alcance (m)
CE (dS/m ¹) (0-15 cm)	Esférico	21%	Forte	41
CE (dS/m ¹) (15-30 cm)	Esférico	27%	Moderada	71
pH (0-15 cm)	Esférico	14%	Forte	31.2
pH (15-30 cm)	Esférico	24%	Forte	42.9

C0: efeito pepita, (C0+C): patamar

O comportamento do alcance do semivariograma está associado à existência de estrutura de dependência espacial e aplicação dos princípios da correlação espacial. O comportamento do Alcance (TABELA 2) foi de 41 e 71 m para CE respectivamente nas profundidades de 0-15cm e 15-30 cm, já para o pH foi de 31.2 e 42.9 m para as

respectivas profundidades, mostrando a extensão da estrutura de dependência espacial

Na Figura 3 temos a representação gráfica dos valores de CE e pH nas profundidades analisadas, gerado por krigagem.

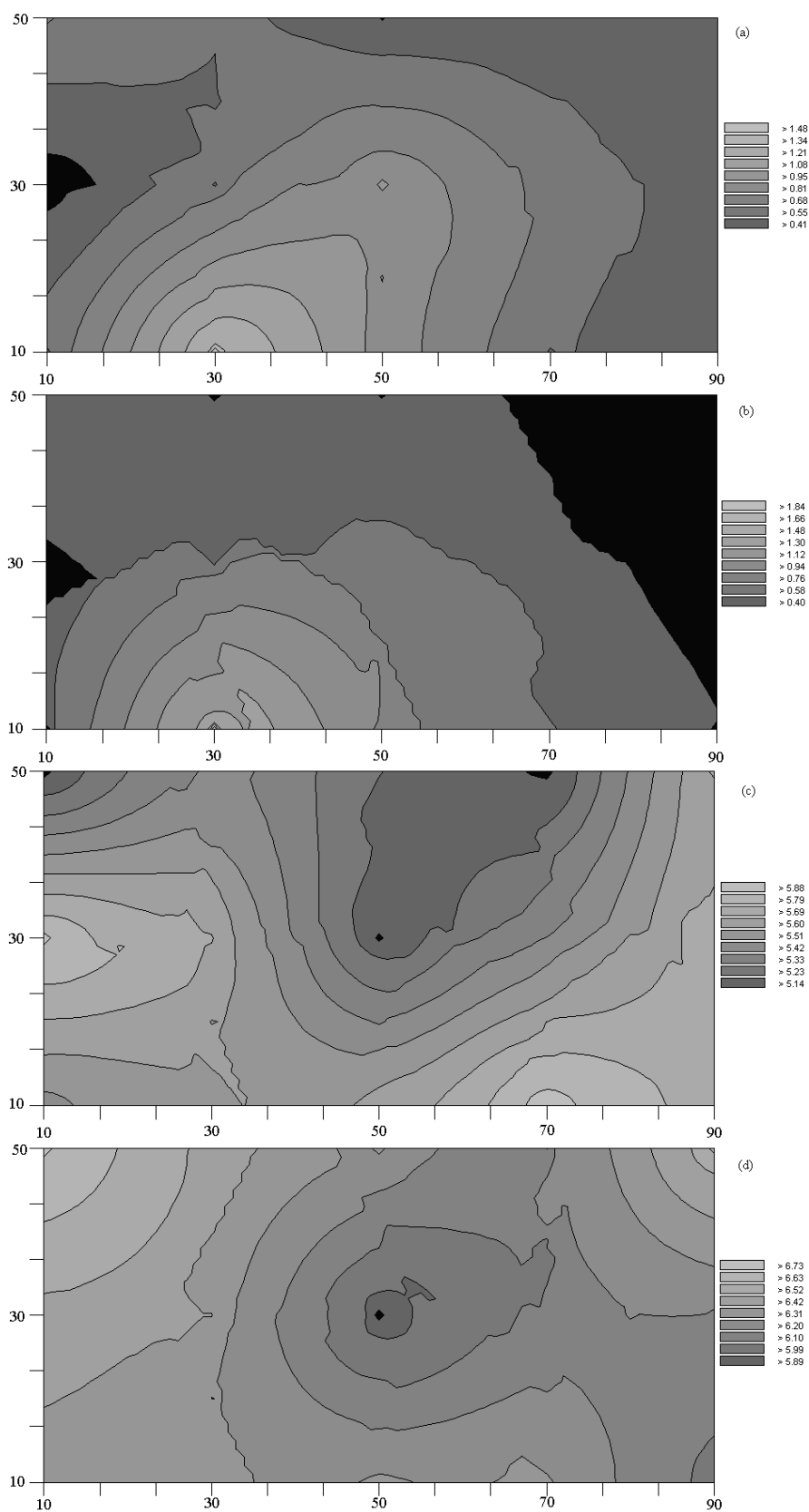


Figura 3 – Mapa de Krigagem para as variáveis analisadas: (a) CE (dS/m¹) na profundidade de 0-15 cm, (b) CE (dS/m¹) na profundidade de 15-30 cm, (c) pH na profundidade de 0-15 cm, (d) pH na profundidade de 15-30 cm.

CONCLUSÕES

Os valores de CE e pH apresentam-se autocorrelacionados no espaço em ambas profundidades analisadas.

A CE apresenta um forte grau de dependência (21%) espacial para a profundidade de 0-15 cm e moderado (27%) para profundidade de 15-30 cm. O pH apresenta forte (14 e 24% respectivamente) grau de dependência espacial para os dados analisados nas respectivas profundidades.

Os valores de CE estão autocorrelacionados no espaço até uma distancia de 41 e 71 m para as profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm respectivamente. Os valores de pH estão autocorrelacionados no espaço até uma distancia de 31.2 e 42.9 m para as profundidades de 0-15 cm e 15-30 cm respectivamente.

REFERÊNCIAS

- BRADY, N. C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. Ed. Biblioteca Universitária Freitas Bastos. 1983. 6a edição.
- 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 Sci. Soc. Am. J.* v.58 p. 1501-1511, 1994.
- CAVALCANTE, L. F. Sais e seus problemas nos solos irrigados. 2000. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas). Centro de Ciências Agrícolas – Universidade Federal da Paraíba. Areia.
- ERNANI, P. R. *Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes*. 1. ed. Lages: UDESC 2008. 230 p.
- FREIRE, M. B. G. dos S. *et al.* Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 07, n. 02, p. 227-232, 2003.
- GANDAH, M.; STEIN, A.; BROUWER, J.; BOUMA, J. Dynamics of spatial variability of millet growth and yields at three sites in Niger, west Africa and implications for precision agriculture research. *Agricultural Systems*, v. 63, n. 2, 2000, p. 123-140.
- GOOVAERTS, P., *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford Univ. Press, New York, NY. 1997. 483p.
- LIMA, K. S. D. de. Alterações dos parâmetros climáticos no município de Apodi-RN, antes e após a construção da Barragem Santa Cruz do Apodi, e formação do lago. Natal, 2007. 931. (Dissertação de Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.
- OLIVEIRA, J.J. de. Variabilidade de características químicas de um solo salino-sódico. Campina Grande: Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. 1998. 101p. Dissertação Mestrado.
- RIBEIRO JUNIOR, P. P.; DIGGLE, P. P. GeoR: a package for geoestatistical analysis. *R News*, Rochester, v. 1, n. 2, p. 15-18, 2001.
- RICHARDS, L. A. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U. S. Dep. Agric. Handbook 60 Washington,. U. S. Government Printing, Office, D. C., 1954. 160 p.
- ROBERTSON, G.P. GS+: *Geostatistics for the environmental sciences*. Michigan: Gamma Design Software Plainwell, 1998. 152 p.
- SILVA, M. O. *et al.* Risco de salinização em quatro solos do Rio Grande do Norte sob irrigação com águas salinas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 02, n. 01, p. 08-14, 2007.
- TOMÉ Jr., J. B. *Manual para Interpretação de Análise de Solo*. Editora Guaíba: Agropecuária, 1997.
- VIANA, S. B. A. *et al.* Produção de alface em condições de salinidade a partir de mudas produzidas com e sem estresse salino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 05, n. 01, p. 60-66, 2001.
- 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.

Recebido em 16 01 2012

Aceito em 29 03 2012