

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL DA SALINIDADE EM ÁREA IRRIGADA E DO NÍVEL D'ÁGUA EM ALUVIÃO SOB USO AGRÍCOLA NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

Suzana M^a Gico Lima Montenegro¹; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro²;
Mateus Rosas Ribeiro³; Marcelo Metri Corrêa⁴; Thaísa Alcoforado de Almeida⁵;
Fabiana M^a Vasconcelos Lins Maia⁶

Resumo – Esse trabalho apresenta um estudo a variabilidade espacial da profundidade do lençol (NA) e da condutividade elétrica da água no meio saturado (CEas) em uma planície aluvial caracterizada por Neossolos Flúvicos de textura e salinidade, no Agreste do estado de Pernambuco. Amostras de água foram obtidas de piezômetros com distâncias de separação variando de 5 a 2500m. O NA e CEas foram usados como variáveis em estudos estatístico e geoestatístico. O modelo gaussiano foi ajustado aos semi-variogramas experimentais das variáveis, representando estrutura de dependência espacial. Interpolações através de kriging demonstraram a variabilidade espacial das características hidrossalinas na área. As análises confirmaram que a condutividade elétrica foi influenciada pelas características pedológicas do solo. Não há, no entanto, nenhuma correlação explícita entre a profundidade do nível d'água e as características pedológicas da área. A condutividade elétrica é influenciada por fluxo subterrâneo regional e por contribuições de escoamento das encostas do vale, onde predominam solos rasos com rochas aflorantes.

Abstract – This paper presents the spatial variability analysis for water table depth and electrical conductivity of the water in the saturated porous media of an alluvial plain with saline characteristics located in the semi-arid area of Pernambuco State. Water samples have been extracted from piezometers installed in the area with separation distances ranging from 5 to 2500m. Both statistical and geostatistical analysis have been performed. The Gaussin model has been fitted

¹ UFPE; Prof Adjunto do Depto de Eng. Civil; Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n; 50000-000; Recife; PE; Brasil; (81) 32718223; (81)32718223 ;smglm@npd.ufpe.br

² UFRPE; Prof Adjunto do Depto de Tecnologia Rural; Av. Dom Manuel de Medeiros s/n Dois Irmãos; 50000-000; Recife; PE; (81) 34454418;; monte@hotmail.com.br

³ UFRPE; Prof Adjunto Depto de Agronomia; Av Dom Manuel de Medeiros s/n Dois Irmãos; 50000-000; Recife; PE; Brasil;; rosas@truenet.com.br

⁴ UFRPE; Bolsista DCR Depto de Tecnologia Rural; Av Dom Manuel de Medeiros s/n Dois Irmãos; 50000-000; Recife; PE; (81)32414728;; marcelometri@yahoo.com

⁵ UFPE; Bolsista IC Depto de Eng Civil; Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n; 50000-000; Recife; PE; Brasil; (81) 32718223; (81)32718223 ;thaisaa@terra.com.br

⁶ UFPE; Bolsista IC Depto de Eng Civil; Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n; 50000-000; Recife; PE; Brasil; (81) 32718223; (81)32718223 ;fabianamvln@bol.com.br

to the experimental variograms of the variables, representing the spatial correlation structure. Interpolation through kriging demonstrated the spatial variability of the hydro saline characteristics in the area. Seeking correlations, the spatial distributions of both water table depth and electrical conductivity of groundwater have been compared to the pedological units identified in the area. For the analysed period, the electrical conductivity of the groundwater is related to the pedological units. However, the water table depth does not exist clear relation to the pedology.

Palavras-Chave – aluvião, salinidade, geoestatística.

INTRODUÇÃO

A avaliação da dinâmica hidrossalina em planícies aluviais sob uso agrícola irrigado na região semi-árida é de fundamental importância para a conservação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos, uma vez que esses sistemas apresentam-se vulneráveis à degradação. Essa avaliação deve considerar conjuntamente aspectos edafoclimáticos e variáveis que caracterizam a qualidade, sob o ponto de vista de salinidade, e a quantidade da água do aquífero.

Como os solos são reconhecidamente heterogêneos (Nielsen et al, 1973), a caracterização de suas variáveis deve ser baseada em análise da variabilidade espacial. A análise da variabilidade espacial é possível através de metodologia geoestatística que é capaz de identificar a estrutura de correlação espacial da variável em estudo.

No Nordeste brasileiro, tão frequentemente atingido por eventos de seca, e com distribuição irregular da precipitação, a água armazenada nos aquíferos que se formam nas planícies aluviais é de fundamental importância para a prática da agricultura irrigada (Silva, 2000). O presente trabalho analisa a variabilidade temporal e espacial da salinidade e do nível d'água do lençol em um desses sistemas que se localiza no Agreste do Estado de Pernambuco. A classificação pedológica da área é confrontada com as variáveis analisadas, buscando-se padrões de correlação que possam explicar o comportamento hidrossalino e contribuir para proposições de diretrizes para o manejo adequado da irrigação e o gerenciamento dos recursos subterrâneos desse sistema e de outros similares.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da área e análise geoestatística

O trabalho foi realizado na região semi-árida do Estado de Pernambuco, numa fazenda onde se pratica agricultura irrigada de pequeno porte. Na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, a área irrigável corresponde a cerca de 60 ha e está localizada sobre Neossolos Flúvicos com profundidades do lençol que variam entre 2,0 e 6,0 m, espacial e sazonalmente. O riacho principal, Mimoso, atravessa longitudinalmente o aquífero aluvial em toda sua extensão. A Fazenda é área de assentamento implantada pelo Governo do Estado de Pernambuco com lotes de cerca de 1 ha, distribuídos para famílias. Atualmente cerca de 30 ha são irrigados.

Amostras aleatórias das variáveis foram obtidas num intervalo de distância de 5 a 2500 metros em um conjunto de piezômetros, no mês de maio do ano de 2000, caracterizado pela baixa precipitação de 38,8mm, representando às condições locais do período. No mês em questão, foram medidos em campo o nível de água do lençol e a condutividade elétrica da água (CEas; em dS/m), usados como variáveis numa análise estatística da interdependência espacial dos valores.

Os princípios da geoestatística consideram válidas duas hipóteses: ergodicidade, onde o modelo de probabilidades do conjunto de realizações pode ser gerado a partir de uma única realização experimental; e estacionariedade do campo, assumindo sua homogeneidade estatística, implicando na independência da função de probabilidades das variáveis no espaço. Seguindo tais proposições, é possível descrever a variabilidade espacial das variáveis regionalizadas (VR). O modelo de variabilidade espacial foi estudado a partir de semivariogramas definidos pela equação 1, correlacionando as diferenças dos valores observados $Z(x)$ com a distância de separação entre amostras h da VR.

$$\gamma(h) = 1/2 \text{ var}[Z(x) - Z(x+h)] \quad (1)$$

Para a determinação do variograma experimental, estimações são feitas a partir de dados observados. Pode-se utilizar um estimador clássico (Matheron, 1963), o qual exige a total normalidade para os dados, ou ainda, o estimador robusto (Cressie e Hawkins, 1980) considerando contaminados os valores amostrais, respeitando desvios na distribuição normal (equação 2). Em ambos os casos, os dados são agrupados em pares com distância de separação h , sendo $n(h)$ o número de pares por intervalo de distância média h . Estudos anteriores propostos por Journel e Huijbregts (1978) determinam que para uma maior acurácia na estimação, $n(h)$ deve ser maior ou igual que 30, para cada classe de distâncias do domínio.

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{1}{2[0.457 + 0.494 / n(h)]} \cdot \left[\frac{1}{n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} (|w(\mathbf{x}_i) - w(\mathbf{x}_i + h)|)^{1/2} \right]^4 \quad (2)$$

A parametrização do variograma é normalmente feita ajustando valores experimentais a modelos conhecidos, através de procedimentos específicos. Estudos anteriores propuseram o uso dos modelos exponencial, esférico e gaussiano para o ajuste do variograma. Para todos os modelos citados foram ajustados os parâmetros do variograma teórico a partir do variograma experimental. O primeiro parâmetro a ser verificado é o “efeito pepita”, C_0 , definido como uma constante na equação do semivariograma revelando a descontinuidade do mesmo para distâncias menores que a mínima amostrada. Outro parâmetro de ajuste é o “sill” ou patamar ($C_0 + C_S$), que corresponde à máxima variância da amostra. Outro parâmetro a ser determinado é o *alcance* (a), a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.

Os modelos testados para a amostra estão equacionados em seguida (equações 3, 4 e 5), onde a_g é $a/\sqrt{3}$, para o modelo gaussiano, e a_s é $a/3$, para o modelo esférico. Para o modelo exponencial, o valor a é propriamente o alcance do variograma.

$$\begin{array}{l} \text{Modelo} \\ \text{Gaussiano} \end{array} \quad \gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_S \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a_g^2}\right) \right] & h \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Modelo} \\ \text{Exponencial} \end{array} \quad \gamma(h, C_0, C_S, a_e) = \begin{cases} C_0 + C_S \left[1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a_e}\right) \right] & h \neq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{array}{l} \text{Modelo} \\ \text{Esférico} \end{array} \quad \gamma(h, C_0, C_S, a_s) = \begin{cases} C_0 + C_S \left[\left(\frac{3}{2}\right) \left(\frac{|h|}{a_s}\right) - \left(\frac{1}{2}\right) \left(\frac{|h|}{a_s}\right)^3 \right] & 0 < |h| \leq a_s \\ C_0 + C_S & a_s < |h| \end{cases} \quad (5)$$

Segundo estudos feitos por Cressie (1993), o ajuste de modelos paramétricos deve considerar apenas as ordenadas do variograma até a metade do máximo intervalo de distância. Para facilitar a convergência do processo e garantir indetificabilidade dos parâmetros do modelo de variograma individualmente, foram estabelecidos limites para o parâmetro relacionado ao comprimento de correlação, seguindo a sugestão de Hoeksema e Kitanidis (1985). O limite superior corresponde à máxima distância de separação dos pontos amostrais e o limite inferior é dado pelo maior valor entre a mínima distância de separação e a décima parte da máxima distância de separação.

Uma vez determinados os parâmetros do modelo geoestatístico, é necessário validar o modelo de variograma. O método usado é o da validação cruzada ou ‘*jackknifing*’, que é baseado na técnica

de interpolação de kriging. O procedimento consiste em produzir uma estimativa w^* em um ponto de observação x , através da técnica de interpolação de kriging, utilizando o restante das $(n-1)$ observações nas demais locações. O processo é repetido para cada ponto de observação no espaço. O vetor dos erros produzidos por essas estimativas é calculado na sua forma reduzida, ou seja, considerando a variância do kriging, como:

$$RE(\mathbf{x}_i) = \frac{[w^*(\mathbf{x}_i) - w(\mathbf{x}_i)]}{(\text{var}[w^*(\mathbf{x}_i) - w(\mathbf{x}_i)])^{1/2}} \quad (6)$$

Para o modelo testado ser consistente com o conjunto de observações, $RE(\mathbf{x})$ deve ser normalmente distribuído, com média zero, implicando na não superestimação ou subestimação dos valores, e variância unitária, o que garante a consistência entre a variância do kriging e a variância do erro correspondente $[w^*(x_i) - w(x_i)]$. As equações 7 e 8 correspondem respectivamente à média dos erros reduzidos (ME) e ao erro médio quadrático (MRE). Em seguida, uma aferição do ajuste global à distribuição normal deve ser realizada, para garantir que o modelo de variograma e os parâmetros testados são uma descrição precisa da estrutura de correlação da VR.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N RE(\mathbf{x}_i) \cong 0 \quad (7)$$

$$MRE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [RE(\mathbf{x}_i)]^2 \right]^{1/2} \cong 1 \quad (8)$$

Determinado o modelo de melhor ajuste à amostra, a técnica de interpolação kriging é utilizada para representar a variabilidade espacial e busca de correlações das variáveis CEAs e NA, para diferentes períodos.

Segundo classificação proposta por Cambardella et al (1994) semivariogramas podem ser considerados como caracterizando forte, moderada ou fraca dependência espacial. O critério proposto para classificação é a relação $Co / (Co + Cs) \times 100$. Valores inferiores a 25% caracterizam forte dependência espacial, entre 25% e 75% moderada e acima de 75%, fraca.

Monitoramento para caracterização do comportamento hidro-salino na área

Foram instalados na área 80 piezômetros, distribuídos longitudinalmente e transversalmente (figura 1), objetivando a caracterização hidrossalina do aquífero aluvial (Mackay e Montenegro, 1996).

Com uma periodicidade mensal, foi avaliado o nível d'água nos piezômetros, havendo também a coleta de amostras que permitiram o monitoramento da qualidade salina da água subterrânea, em períodos coincidentes à determinação dos níveis piezométricos, e medição da condutividade elétrica.

Análises conjuntas da profundidade do lençol e da condutividade elétrica da água (CEas) foram realizadas, sendo correlacionadas às características pedológicas da área neste trabalho. São investigados dois meses do período chuvoso com volumes de precipitação distintos. Dessa forma, buscou-se avaliar também a variabilidade temporal das características salinas do neossolo flúvico, sob condição de resposta a eventos de precipitação em termos de recarga do aquífero (Montenegro et al, 1999). A análise da variabilidade espacial e sua correlação com as características pedológicas foi efetuada apenas para um dos períodos.

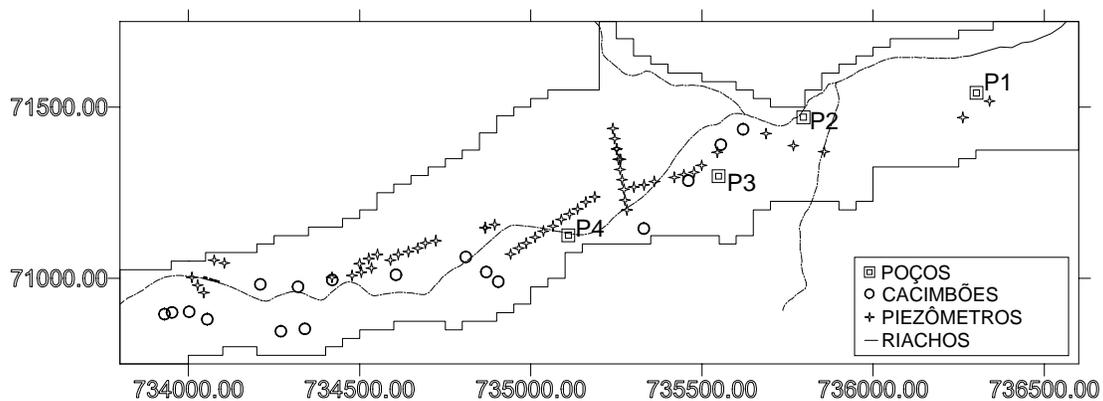


Figura 1. Mapa esquemático da fazenda, indicando os pontos de monitoramento e principais riachos.

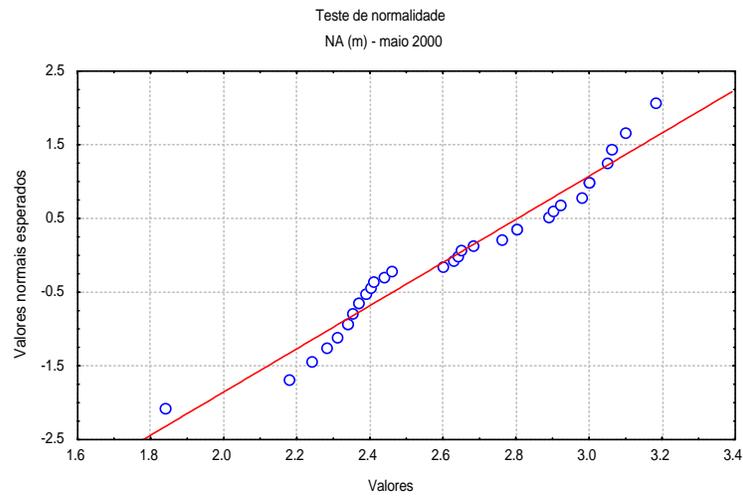
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise estatística e geoestatística das variáveis

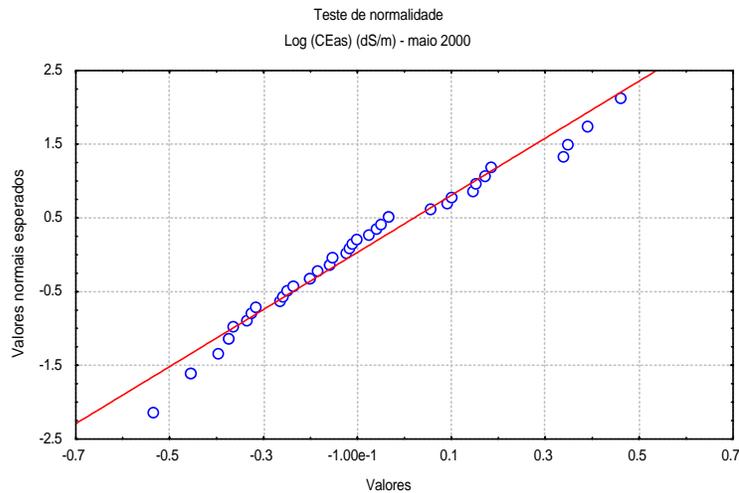
O ajuste das variáveis às distribuições normal e log-normal foi aferido visualmente. A variável CEas foi melhor representada pela distribuição log-normal, enquanto a variável NA

apresentou melhor ajuste à distribuição normal. Os gráficos de normalidade para maio de 2000 são apresentados na figura 2.

A análise da amostra do NA, uma vez admitida sua normalidade, apresenta média e desvio padrão iguais a 266.20 e 34.65, respectivamente. Para a distribuição log-normal da CEas, os valores correspondentes à média e desvio padrão são, -0.13 e 0.27. Para ambos os casos, uma vez que a estrutura de correlação espacial foi avaliada, e os valores foram assumidos independentes, o resultado dessa análise pode ser tendencioso (Montenegro, 1997).



(a)



(b)

Figura 2. Testes gráficos de normalidade para os valores NA (a) e log(CEas) (b), no mês de maio/2000.

Após confirmação da hipótese de normalidade dos valores, foi feita a estimação dos variogramas experimentais através de estimador robusto, constatado previamente na observação dos gráficos a discrepância da normalidade, havendo “contaminação” da amostra.

O conjunto amostral foi ajustado aos modelos propostos (equações 3, 4 e 5), em seguida testados sob a determinação dos parâmetros efeito pepita, sill e alcance, junto à validação cruzada com a ferramenta geoestatística GEO-EAS (Englund e Sparks, 1992). Teste de significância de ME (t-teste; equação 7) e MRE (teste qui-quadrado; equação 8) foram realizados considerando um nível de confiança de 95%. Para as duas variáveis, log(CEas) e NA, o modelo que apresentou melhor ajuste, passando em todos os testes foi o Gaussiano. Os parâmetros ajustados são apresentados na tabela 1. É importante observar que as duas variáveis apresentam comprimento de correlação muito próximos. Segundo critério proposto por Cambardella et al (1994), o variograma do nível d’água exibe forte dependência espacial, enquanto que o variograma de log(CEas) exibe moderada dependência espacial.

Tabela 1. Resultados da análise geoestatística para as variáveis NA e log(CEas), com ajuste ao Modelo de Gauss.

Modelo gaussiano		NA (cm)	log(CEas) (dS/m)
<i>Análise estatística clássica</i>	<i>Média</i>	266.20	-0.13
	<i>Desvio padrão</i>	34.65	0.27
<i>Parâmetros do variograma</i>	<i>Co</i>	0.00001	0.01689
	<i>Co + Cs</i>	0.1678	0.06493
	<i>a (m)</i>	223.7082	276.6646
	<i>Co/(Co+Cs) x 100</i>	5.9×10^{-3}	26.00

O processo de validação garante que o modelo teórico reproduz o comportamento da VR, em termos de variabilidade espacial inferido através dos variogramas experimentais (figura 3 e 4). Os variogramas paramétricos selecionados identificam a estrutura de correlação das variáveis e compõem o modelo de variabilidade espacial do parâmetro. Esse modelo é utilizado para interpolação das variáveis na área em estudo através de Kriging, estimado valores das variáveis em pontos não amostrados. É importante notar que existem estudos destacando que os parâmetros dos variogramas não devem ser considerados como determinísticos. Assim, pode-se assumir que a interpolação através do kriging baseada nos parâmetros do ajuste constituem apenas um possível cenário da variabilidade. A figura 5 apresenta o resultado da interpolação. Observa-se uma marcante variabilidade espacial do nível d’água e da condutividade elétrica na área.

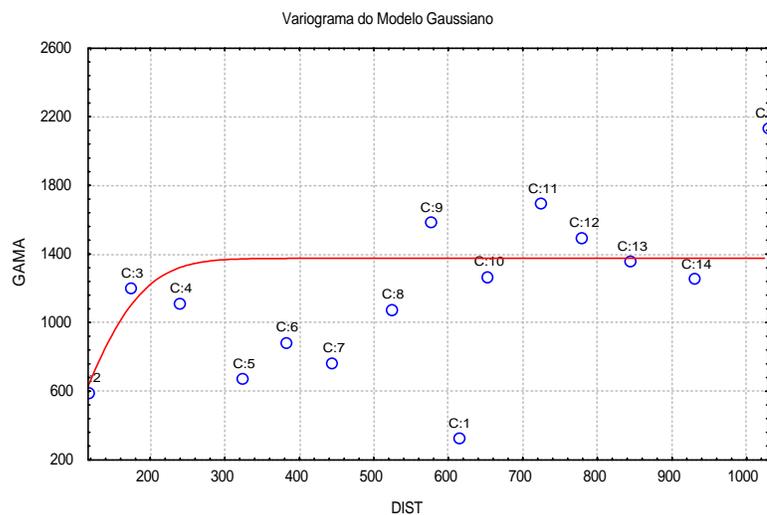


Figura 3. Variogramas, experimental e modelo ajustado (Gaussiano). Variável NA, maio 2000.

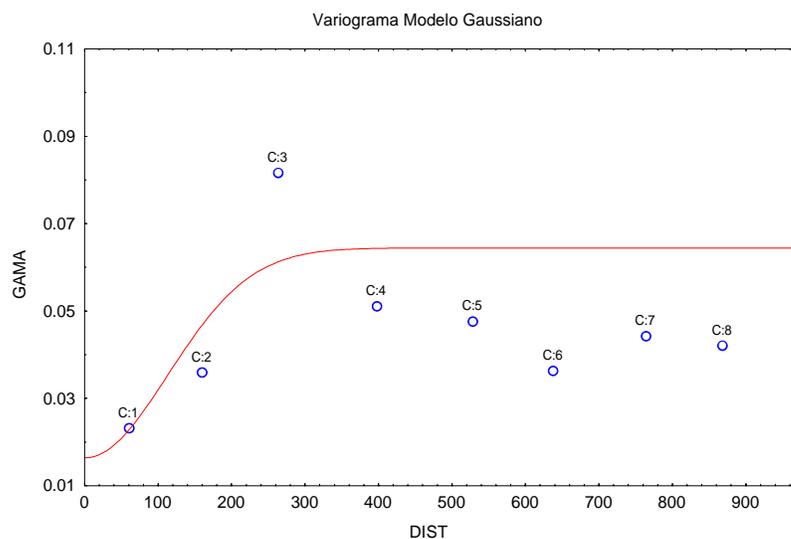
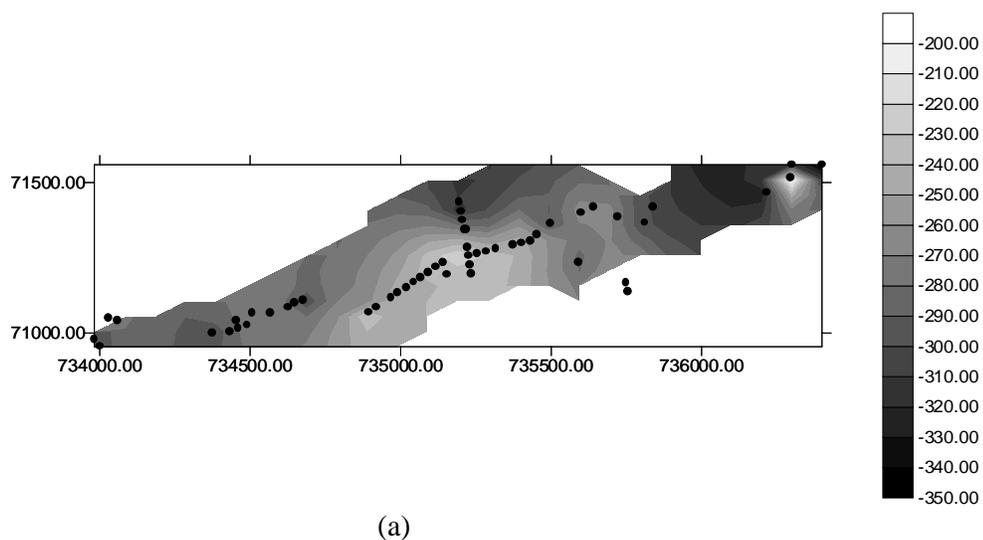


Figura 4. Variogramas, experimental e modelo ajustado (Gaussiano). Variável logCEas, maio 2000.



(a)

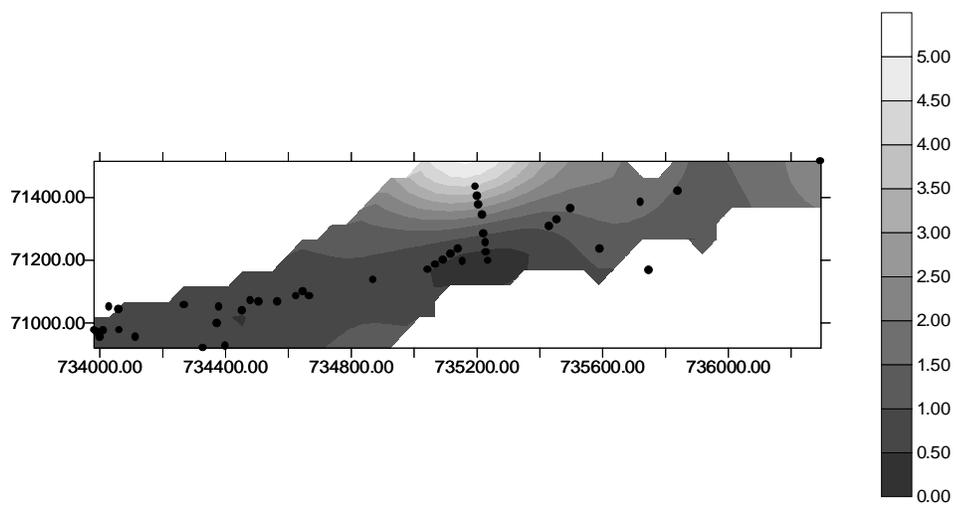


Figura 5a. Possível cenário da profundidade do nível de água (cm) no mês de maio 2000.
5b. Possível cenário da Ceas (log, dS/m), em maio 2000.

Relação entre comportamento hidrossalino da área em estudo e a classificação pedológica

Para análise da resposta da recarga a eventos chuvosos foram tomados três piezômetros localizados no transecto longitudinal ao aquífero aluvial e observado o comportamento do nível d'água e da condutividade elétrica ao longo de um ano, anterior ao mês de maio de 2000. Investigações anteriores (Montenegro et al, 2000; Montenegro et al, 2001) e levantamento pedológico identificaram manchas de solo na área com moderados a altos níveis de salinidade.

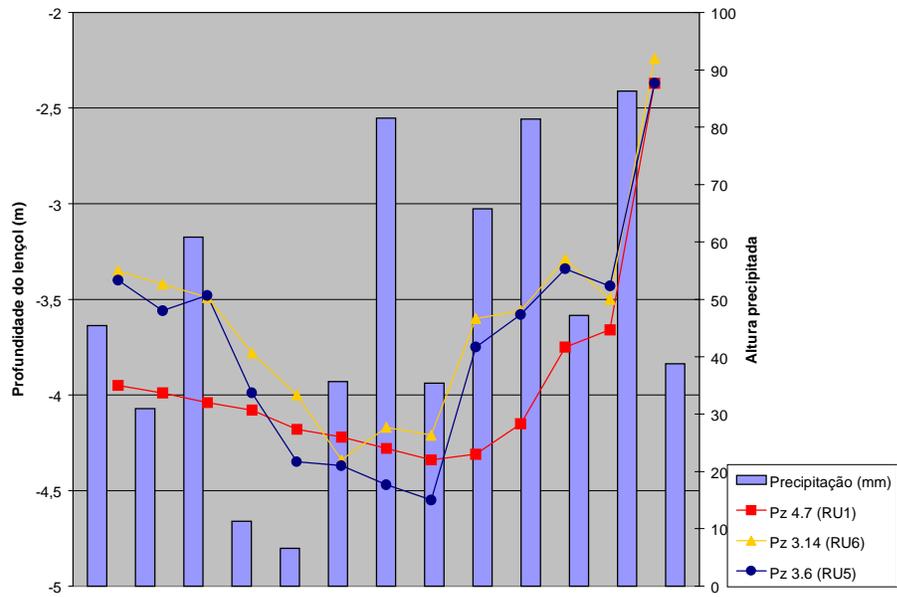
Para o piezômetro Pz 4.7, localizado a montante da área com níveis altos de salinidade (figura 5b), verifica-se relativamente baixa variabilidade salina (figura 6a), além de resposta imediata quanto ao comportamento do nível d'água em consequência de uma precipitação (figura 6b). Reação claramente justificada pela locação do piezômetro em um Neossolo Flúvico Tb. Eutrófico típico de textura arenosa ou média leve, com características de boa drenagem natural (RU1).

Situado num Neossolo Flúvico Sódico Salino de textura média, e baixa permeabilidade (solo RU5), o piezômetro Pz 3.6, localizado a jusante da área salina crítica, retrata a área, apresentando níveis mais elevados da CEas.

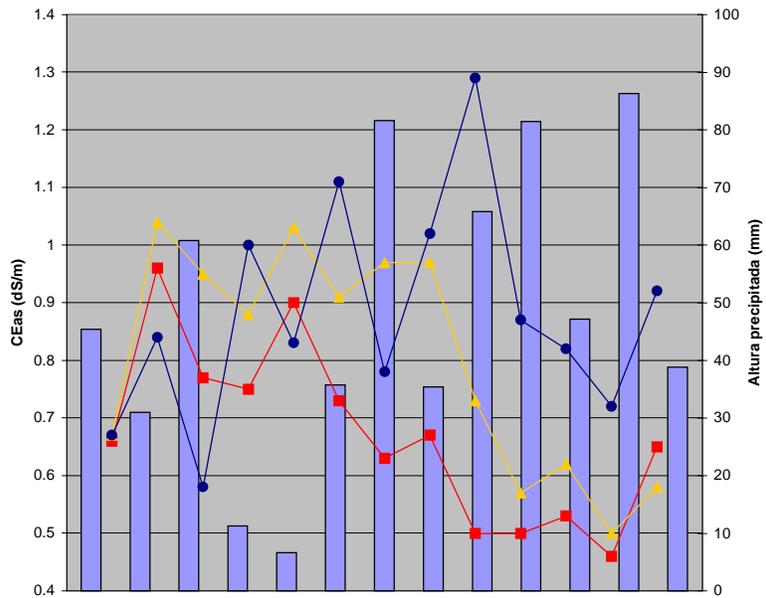
Os piezômetros Pz 4.7 e Pz 3.14 apresentam dinâmica salina no período bastante semelhantes e com respostas evidentes à ocorrência de recarga vertical por precipitação, que não é observado sempre no piezômetro mais a jusante (Pz 3.6). Nesse último caso evidencia-se também efeito da recarga devido ao fluxo regional do aquífero. Assim, em alguns períodos, os piezômetros Pz 4.7 e Pz 3.14 respondem positivamente ao evento da precipitação com diminuição da condutividade elétrica, enquanto o piezômetro 3.6 tem sua condutividade elétrica aumentada pela contribuição do fluxo regional. Nesse aspecto, percebe-se a influência das características pedológicas da área, com a mancha de salinidade mais crítica influenciando a qualidade da água mais a jusante.

Com relação ao nível d'água (figura 6a), os três piezômetros apresentam dinâmica bastante semelhante, com o nível d'água no piezômetro Pz 4.7, mais profundo que os demais na maior parte do período. Além dos períodos de precipitação, o nível d'água nos piezômetros Pz 3.14 e Pz 3.6 são provavelmente influenciados por captações próximas. Não parece haver correlação explícita entre o nível d'água e a classe pedológica do solo.

Próximo ao piezômetro Pz 3.14 está instalado um transecto de piezômetros transversalmente ao riacho Mimoso (figura 1). A condutividade elétrica da água subterrânea nessa seção foi analisada em períodos distintos. Observa-se na figura 7 que para os períodos analisados, o comportamento é genericamente o mesmo, com valores mais elevados no ponto mais distante do riacho, revelando a contribuição das encostas do vale, e diminuição em direção ao riacho Mimoso.



(a)



(b)

Figura 6. Variação temporal do nível d'água (a) e da CEas (b) para os piezômetros Pz 4.7, Pz 3.14 e Pz 3.6, no período de maio/99 a maio/00 e histórico pluviométrico do período.

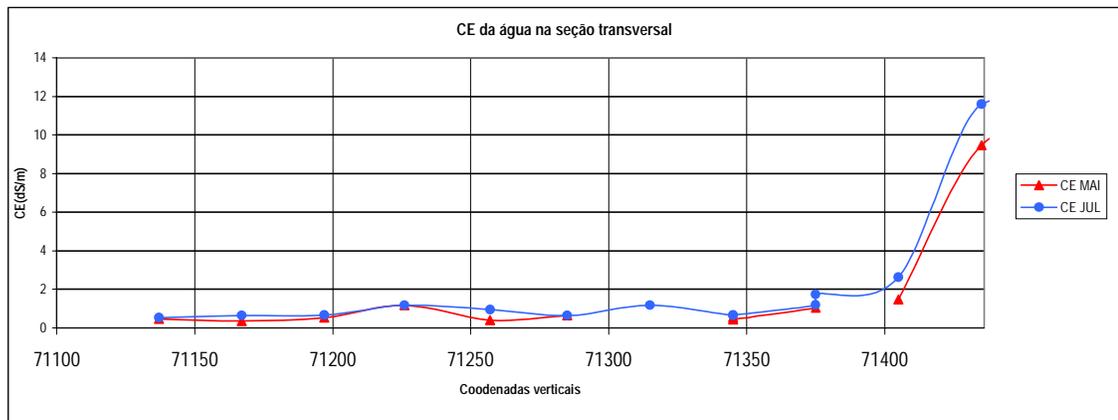


Figura 7. CEAs para dois meses do período chuvoso, maio/2000 e julho/2000 ao longo de seção transversal ao riacho.

CONCLUSÃO

É destacada a importância da geoestatística na caracterização da variabilidade espacial de variáveis relacionadas ao comportamento hidrossalino do solo. A análise pode prosseguir investigando aspectos relacionados à anisotropia da VR.

As análises confirmaram que a condutividade elétrica foi influenciada pelas características pedológicas do solo. Não há, no entanto, nenhuma correlação explícita entre a profundidade do nível d'água e as características pedológicas da área. A condutividade elétrica é influenciada por fluxo subterrâneo regional e por contribuições de escoamento das encostas do vale, onde predominam solos rasos com rochas aflorantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cambardella, C. A.; Moorman T. B.; Novak J. M.; Parkin T. B.; Karlen D. L.; Turco R. F.; Kornopka. Fielscale variability of soils properties in central Iowa Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58 1501-1511. 1994.
- Cressie, N. D. e Hawkins, D. *Robust estimation of the variogram*, I. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 12: 115- 125. 1980.
- Cressie, N. A. C. *Statistics for Spatial Data*. John Willey. 900p. New York. 1993.
- Englund, E. e A. Sparks. *GEO- EAS. Geostatistical Environmental Assessment Software*. International Ground Water Modeling Center. Las Vegas, Nevada. 1992.
- Hoeksema, R. J. e P. K. Kitanidis. *Analysis of the spatial structure of properties of selected aquifers*. *Water Resources Research*, Vol. 21: 563- 572. 1985.
- Journel, A. G. e Ch. J. Huijbregts. *Mining Geostatistics*. Academic Press. 599p. England. 1978.

- Mackay, R. e Montenegro, A. A. A. *Salinity control for sustainable small scale agriculture*, Final Report to the Overseas Development Administration (ODA), UK. 1996. 30pp.
- Matheron, G. *Principles of Geostatistics*. Economic Geology, Vol. 58: 1246- 1266. 1963.
- Montenegro, S. M. G. L. *Stochastic analysis of salt accumulation in heterogeneous irrigated soils: a case study in Northeast Brazil*. Tese de Ph.D. Civil Engineering Department, University of Newcastle. Inglaterra. 1997.
- Montenegro, A. A. A., Montenegro, S. M. G. L. e Mackay, R. *Regularização hídrica em aluviões – Estudo de caso no semi-árido do Nordeste do Brasil*. 9ª conferência Internacional Sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva. Petrolina, PE. 1999. CD.
- Montenegro, S. M. G. L., Montenegro, A. A. A., Almeida, T. A., Corrêa, M. M. Qualidade da água em aquífero aluvial sob uso agrícola no Agreste do Estado de Pernambuco. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, RN. 2000. CD.
- Montenegro A. A. A., Montenegro, S. M. G. L., Mackay, R, Dantas, F. L. *Variabilidade textural, hidráulica e de salinidade em uma planície aluvial irrigada na região semi-árida de Pernambuco*. (Submetido à publicação na Revista Brasileira de Ciência do Solo - RBCS). 2001.
- Nielsen, D. R., Biggar, J. W., Erm, K. T. *Spatial variability of field measured soil water properties*. Hilgardia. 42(7):215-259. 1973.
- Silva, S. M. P. da. *A distribuição espacial das reservas subterrâneas do nordeste e a Transposição do rio São Francisco*. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal, RN. 2000. CD.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo CNPq/PNEPG, BNB e FACEPE, além da cooperação do INMET, no fornecimento de informações. Deve-se destacar o apoio da UFRPE e da UFPE nas atividades de campo e laboratório.