

ANÁLISE TEMPORAL DA ESTRUTURA DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL DA SALINIDADE EM ALUVIÃO NO SEMI-ÁRIDO

**EDIVAN R. DE SOUZA¹, ABELARDO A. A. MONTENEGRO², TAFNES DA S. ANDRADE³,
SUZANA M. G. L. MONTENEGRO⁴**

¹Engº Agrônomo, bolsista do CNPq CT-Hidro, DTR/UFRPE, Recife – PE. E-mail: edivanrs@hotmail.com

²Engenheiro civil, Prof. Doutor, Depto de Tecnologia Rural, DTR/UFRPE, Recife – PE.

³Graduanda em Engº Agrícola e Ambiental, Depto. de Tecnologia Rural, DTR/UFRPE, Recife – PE.

⁴Engenheira civil, Prof. Doutor, Depto de Engenharia civil, DEC/UFPE, Recife – PE.

**Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 04 de agosto de 2006 – João Pessoa - PB**

RESUMO: O estudo de dependência espacial de variáveis hidrológicas relacionadas às águas subterrâneas tem grande importância para a gestão eficiente dos recursos hídricos. A água deve ser manejada de modo a garantir a preservação de sua qualidade, e a manutenção da oferta. Em face da relevância dos reservatórios subterrâneos em vales aluviais na região semi-árida do Nordeste do Brasil, é de suma importância o seu monitoramento sistemático da salinidade e do nível potenciométrico. O presente trabalho analisa a existência de dependência espacial da condutividade elétrica do lençol freático, tendo-se verificado que essa dependência se comportou de maneira semelhante ao longo de diferentes condições climáticas, para o período de dezembro de 2004 a novembro de 2005.

PALAVRAS-CHAVE: geoestatística, condutividade elétrica, piezômetro.

TEMPORAL ANALYSIS OF SALINITY SPATIAL DEPENDENCE STRUCTURE IN A SEMI-ARID ALLUVIUM

ABSTRACT: The study of spatial dependence of hydrologic variables related to groundwater has a great importance for an efficient management of the water resources. The water must be managed in order to ensure the preservation of its quality, and the maintenance of the supply. In face of the relevance of groundwater in alluvial valleys in the northeast semi-arid region of Brazil, it is of utmost importance its systematic monitoring of salinity and groundwater level. The present work analyzes the existence of spatial dependence of the groundwater electrical conductivity. It has been verified that this dependence presents similar behavior throughout different climate conditions, for the period from December 2004 to November 2005.

KEYWORDS: geostatistics, electric conductivity, piezometer.

INTRODUÇÃO: Os aquíferos aluvionais representam importante reserva explorável em regiões de cristalino, eles apresentam a vantagem de serem pouco susceptíveis ao fenômeno da evaporação, em períodos sem precipitação (MONTENEGRO et al., 2002). No Nordeste brasileiro, com distribuição temporal irregular da precipitação, a água armazenada nos aquíferos freáticos aluviais é de fundamental importância para a agricultura irrigada; porém, quando essa prática é realizada sem o manejo adequado, pode incorrer em impactos adversos nos recursos naturais, dentre eles o processo de salinização da água e do solo. O monitoramento da condutividade elétrica do lençol freático em solos

sob uso agrícola na região semi-árida é de fundamental importância para a conservação do solo e da água. Como os solos são reconhecidamente heterogêneos, a caracterização de suas variáveis deve ser baseada em análise da variabilidade espacial. A análise da variabilidade espacial é possível através de metodologia geoestatística, baseada na estrutura de correlação espacial da variável em estudo (MONTENEGRO et al., 2001). O presente trabalho analisa a variabilidade temporal e espacial da salinidade do lençol em vale aluvial do Estado de Pernambuco.

MATERIAL E MÉTODOS: A área de estudo está localizada na Fazenda Nossa Senhora do Rosário (Bacia do Rio Ipanema), na zona rural do município de Pesqueira, situado no Agreste Pernambucano a aproximadamente 220 Km do Recife, exibindo clima semi-árido quente tipo estepe, segundo Koeppen. Foram instalados, na área, 80 piezômetros, para fins de caracterização da dinâmica hidro-salina (MACKAY e MONTENEGRO et al., 1996). O número de piezômetros efetivamente disponíveis para monitoramento foi levemente alterado, devido à destruição de alguns, ao mesmo tempo em que novos pontos foram instalados (SILVA JÚNIOR et. al., 2005). Os piezômetros possuem profundidades que oscilam entre 5 e 8 m. O monitoramento da qualidade da água subterrânea ocorre com periodicidade mensal e compreende a medição dos níveis piezométricos e coleta de amostras para medição da condutividade elétrica da água, que é efetuada no ato da coleta com condutivímetro portátil. Foram adotados os dados de condutividade elétrica ($CE-\mu S m^{-1}$) dos meses de dezembro de 2004 a novembro de 2005. Para fim de caracterização temporal da salinidade, foram formados três grupos de quatro meses, ou seja, realizou-se a média dos meses de dezembro de 2004 a março de 2005; de abril a julho de 2005 e de agosto a novembro de 2005, classificados como período seco final, chuvoso e seco inicial respectivamente, conforme proposto por MONTENEGRO et. al., (2005). Este procedimento se baseou no comportamento pluviométrico da região, devido às incidências pluviométricas se darem principalmente nos meses de abril a julho. Os dados foram transformados em logaritmo e procedeu-se a uma análise estatística descritiva geral para verificação do comportamento dos dados quanto às medidas estatísticas de posição e de variabilidade, bem como a aderência à distribuição Normal pelo Teste de Kolgomorov-Smirnov. A dependência espacial foi avaliada por meio de recursos geoestatísticos, utilizando-se o semivariograma construído a partir das semivariâncias experimentais calculadas através do programa computacional desenvolvido por MONTENEGRO (1997). Foi então ajustado o modelo de semivariograma, fazendo uso do Programa Statistica (STATSOFT, 1999), e utilizando a estimativa de correlação através do método dos mínimos quadrados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Através da Tabela 1 é possível verificar os parâmetros estatísticos para os dados avaliados, onde a média, mediana e moda permanecem próximas, o que é indicador de uma distribuição de frequência Normal. O teste de Kolgomorov-Smirnov, cujo resultado também está presente na referida Tabela, ratifica a afirmação acima.

Tabela 1. Resumo da estatística descritiva para as condutividades elétricas agrupadas.

Estatística descritiva	Logaritmo dos Valores de Condutividade elétrica		
	Dez 2004/Mar 2005	Abr/Jul de 2005	Ago/Nov de 2005
Média	3,06	3,14	3,03
Mediana	2,99	3,05	2,96
Moda	3,19	3,07	2,72
Desvio padrão	0,34	0,32	0,34
Variância	0,12	0,10	0,12
C. V (%)	11,00	10,21	11,35
Coef. Assimetria	2,50	2,07	2,07
Coef. Curtose	4,53	1,66	2,83
D (KS)*	0,179**	0,168**	0,178**
n° de piezômetros	74	77	79

*D (KS) = máx [F(X) - G(X)], em que F(X) = P(X < x) e G(X) são as frequências relativas acumuladas dos valores observados. Valores críticos do teste KS para n = 74 e $\alpha = 1\%$: d = 0,189 ; n = 77 e $\alpha = 1\%$: d = 0,186 ; n = 79 e $\alpha = 1\%$: d = 0,183. (Costa Neto, 1997); ** Distribuição normal pelo teste de KS a nível de 1% de probabilidade

As Figuras 1, 2 e 3 apresentam os semivariogramas escalonados para os três períodos estudados. Em todas as figuras C_0 representa o efeito pepita, C_1 a soleira e o A caracteriza o alcance, onde a variável estudada se correlaciona espacialmente. Verifica-se que o modelo de melhor ajuste para todos os semivariogramas foi o Gaussiano, de acordo com a modelagem efetuada pelo Statistica, o qual exibe persistência e uniformização da semivariância para as distâncias iniciais, o que indica uma maior correlação para pequenas distâncias de separação. Tal estrutura gaussiana para condutividade elétrica, foram também obtidas por PESSOA (2006), analisando a condutividade elétrica do solo, no mesmo domínio de estudo. CAMBARDELLA et al., (1994) classifica a dependência espacial dos semivariogramas através da relação $C_0/(C_0 + C_1)$, podendo ser forte (< 25 %), moderada (25 a 75 %) ou fraca (> 75%). Para o período de dezembro de 2004 a março de 2005 o valor da relação descrita acima é de 17,45%; para abril a julho de 2005, é de 13,68%, e para agosto a novembro de 2005 o valor é de 36,44%. Portanto, para as duas épocas iniciais a dependência espacial é caracterizada como forte e, para a terceira época é caracterizada como moderada. Observando-se os coeficientes de determinação (R^2) apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, nota-se que o modelo Gaussiano se ajustou satisfatoriamente em todos os períodos. Os valores de alcance oscilaram entre 248 a 316 metros, indicando uma área de dependência espacial considerável. MONTENEGRO et al., (2001) trabalhando na mesma área deste estudo e com valores de CE dos piezômetros para o mês de maio de 2000, verificou semivariograma com moderada dependência espacial e com alcance de 276 m, semelhante à encontrada neste trabalho. A importância de se caracterizar a condutividade elétrica ao longo do ano é possibilitar a verificação de qual época apresenta uma maior variabilidade. O menor coeficiente de variação dos dados foi para o período de abril a julho, quando se encontrou também a maior relação de dependência espacial. Uma provável explicação para este fato pode ser devido à recarga do lençol freático e possível uniformização da condutividade elétrica do mesmo, já que neste período (abril a julho de 2005) ocorreram precipitações que totalizaram 322,86 mm, enquanto que para dezembro de 2004 a março de 2005 ocorreram 245,36 mm e para agosto a novembro de 2005 foram contabilizados 146,06 mm. Outro fato relevante é que a época em que ocorreu a menor precipitação foi à mesma que produziu o maior coeficiente de variação e a menor dependência espacial. Ou seja, a menor precipitação está associada a uma maior variação na CE dos piezômetros. Deve-se destacar também o aumento do efeito pepita, com a diminuição das precipitações.

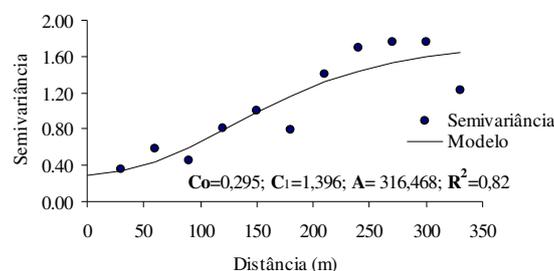


Figura 1. Semivariogramas experimental e teórico da média da CE nos meses de dezembro de 2004 a março de 2005

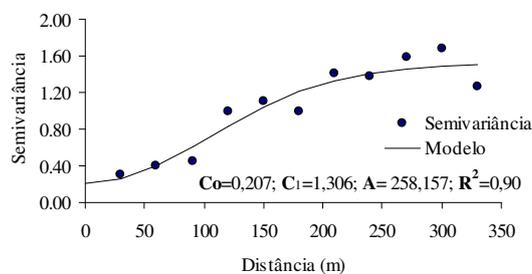


Figura 2. Semivariogramas experimental e teórico da média da CE nos meses de abril a julho de 2005

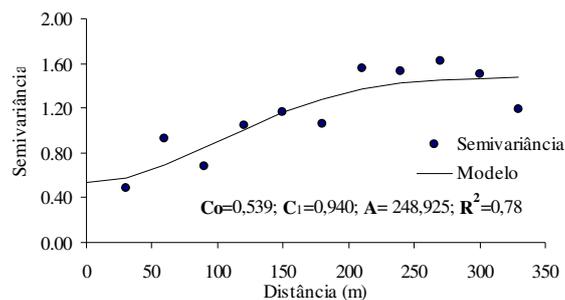


Figura 3. Semivariogramas experimental e teórico da média da CE nos meses de agosto a novembro de 2005

CONCLUSÕES

A condutividade elétrica da água subterrânea exhibe estrutura de dependência espacial, podendo ser ajustada a uma função gaussiana para todos os períodos.

A estrutura de dependência espacial foi verificada para todas as épocas estudadas, sendo mais forte na época onde ocorreram as maiores precipitações.

Apesar de ter-se detectado a variabilidade temporal na estrutura de dependência espacial, esta variação não foi muito pronunciada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KORNOPKA, A.E.. Field scale variability of soils properties in central Iowa Soils. Soil Science Society American Journal, v.58, p.1501-1511, 1994.
- COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. 15 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997. 264p.
- MACKAY, R.; MONTENEGRO, A.A.A. Salinity control for sustainable small scale agriculture. Final Report to the Overseas Development Administration (ODA), GB, University of Newcastle Upon Tyne. 1996. 30p.
- MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, R.; SANTOS, F.X.; ANDRADE, T.S.; SILVA, J. R. Manejo de Irrigação. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2005. 32p. (Relatório Técnico, 3).
- MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; OLIVEIRA, O.F.; TAVARES, F.; LEAL, I. Variação Sazonal e influência da irrigação na salinidade da água de aquífero aluvial no semi-árido. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2002, Florianópolis. **Anais ...** São Paulo-SP: ABAS, 2002.
- MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A.; RIBEIRO, M.R.; CORREA, M.M.; ALMEIDA, T.A de; LINS, F. V. 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. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2001, Aracaju-SE. **Anais ...** Porto Alegre-RS: ABRH, 2001.
- MONTENEGRO, A.A.A. **Stochastic Hydrogeological Modelling of Aquifer Salinization from Small- Scale Agriculture in Northeast Brazil**. Newcastle, Inglaterra, 1997. Tese de Ph. D. Civil Engineering Department, University of Newcastle, 1997.
- PESSOA, A.L. **Uma abordagem bayesiana para estudo estatístico e geoestatístico de estimativas de salinidade do solo utilizando sensor de indução eletromagnética**. 2006. 101f. Dissertação (Mestrado em Biometria) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2006.
- SILVA JÚNIOR, A.N.; NORMANDIA, A.A; MONTENEGRO, A.A.A. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em aluvião no semi-árido nordestino. In: XXX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2005, Recife-PE. **Anais...** Recife-PE: CD-ROM
- Statsoft, **Statística**, version 6, Tulsa, 1999: CD-ROM.