

## MONITORAMENTO DE AQUIFERO FREÁTICO NUM PERFIL DE SOLO POR MEIO DE GEOESTATÍSTICA

ÉDSON L. BOLFE<sup>1</sup>, AURELIR N. BARRETO<sup>2</sup>, ANA A. G. DA SILVA<sup>3</sup>,  
EVANDRO A. TUPINAMBÁ<sup>4</sup>, LUANA S. ALMEIDA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Eng. Fltal, Doutorando, Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas - SP, Fone: (0 xx 19) 35214653, CP 6152, CEP.13083-870, [bolfe@ige.unicamp.br](mailto:bolfe@ige.unicamp.br).

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Doutorando, Pesquisador, Embrapa Algodão, Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Campina Grande - PB.

<sup>3</sup>Meteorologista, Doutora, Pesquisadora, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju -SE.

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, Mestre, Pesquisador, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju - SE.

<sup>5</sup>Geógrafa, Estagiária, Embrapa Tabuleiros Costeiros, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão - SE.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 02 a 05 de julho de 2007 -  
Aracaju - SE

**RESUMO:** A intensidade do fluxo de água na subsuperfície do solo depende de alguns atributos físicos do solo como a granulometria, estrutura, porosidade e isocargas. O conhecimento da hidrodinâmica no solo auxilia na definição da utilização de uma área agrícola. As oscilações espaço-temporais da superfície freática podem contribuir para o suprimento da água na zona de ocupação das raízes das plantas cultivadas. Com o objetivo de monitorar as variações da profundidade do aquífero freático num segmento geoambiental representativo da Baixada Litorânea do Nordeste, instalou-se uma rede poços de observações em área de cultivo de coco, onde as leituras da profundidade da água foram realizadas durante 24 meses. Os dados foram analisados utilizando-se técnicas de geoestatística, onde geoespacializou-se as variações da profundidade da água na área demonstrando as tendências espaço-temporais. Verificou-se que as maiores elevações e amplitudes da superfície freática não corresponderão às maiores precipitações mensais, o que sugere um estudo de “tábuas de maré” para verificar a sua influência sobre essas oscilações nos solos estuarinos.

**PALAVRAS-CHAVE:** água subterrânea, coco, geoprocessamento.

## MONITORING THE WATER SURFACE IN LAND SOIL PROFILE THROUGH OF GEOESTATISTICS

**ABSTRACT:** The intensity of the water flow in the subsurface of soil depends on some physics attributes of the soil as the particle size, structure, porosity and iso charges. The hydrodynamics knowledge in the soil assists in the definition of the use of an agricultural area. The space-temporary oscillations of the water surface can contribute for the suppliment of the water in the zone of occupation of the of roots the cultivated plants. With the objective to monitor the variation of the depth of the water surface in a representative environment geo segment of the Northeast Coastal Land in area of coconut culture, a network was installed of estation of observation, where the readings of the depth of the water had been carried through during 24 months. The data had been analyzed using geoestatistics, representing variaility of the depth of the water in the area, demonstrating itself the space-temporary trends. It was verified that the biggest rises and amplitude of the water surface will not correspond to biggest monthly precipitations, what suggests a study of "tide boards" to verify its influence on the oscillations in coastal low land soil.

**KEYWORDS:** underground water, coconut, geoprocessing.

**INTRODUÇÃO:** A competitividade dos produtos agrícolas e a sustentabilidade ambiental direcionam o setor agrícola na busca de alternativas tecnológicas que visam maior eficiência na utilização de insumos, serviços e recursos naturais. A utilização da Baixada Litorânea para o agronegócio sob regime de irrigação, em especial a cultura do coco (*Cocos nucifera* L.) torna necessários estudos que envolvam a hidrodinâmica no perfil de solo para auxiliar na estimativa da contribuição de umidade ao sistema radicular através do fluxo capilar ascendente. Segundo Malano (1985), citado por Barreto & Oliveira (1999), o entendimento do fluxo de água no solo representa um ponto básico para análise dos distintos processos hidro-físicos de ocorrência comum num perfil de solo. Trabalhos realizados por Krige (1966), Matheron (1971) e Vieira et al. (1981), demonstram que a variabilidade das propriedades do solo são dependentes espacialmente, ou seja, em certo domínio, a diferença dos valores de determinada propriedade pode ser expressa como uma função da distância de separação dos pontos mensurados. Portanto, quando determinada propriedade do solo varia de um local para outro com algum grau de continuidade ou organização, expresso pela dependência espacial, a estatística clássica deve ser substituída pela geoestatística. Conforme Queiroz et al. (1997), a modelagem geoespacial permite a descrição quantitativa da variação espacial no solo e a estimativa não-tendenciosa da variância mínima de valores das propriedades, em locais não-amostrados, subsidiando a construção de mapas de valores e esquemas de amostragens eficientes. Dessa forma, objetiva-se modelar e analisar a variabilidade espacial por meio de geoestatística, permitindo representar e monitorar aspectos hidrodinâmicos na área de estudo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O estudo foi desenvolvido no Campo Experimental de Itaporanga d'Ajuda, SE (C.E.I - Embrapa Tabuleiros Costeiros). O Campo possui 1032 ha e está localizado entre as coordenadas S 11°06'12" / W 37°11'38" e S 11°06'06" / W 37°11'03". A área faz parte do corpo do estuário do rio Vasa-Barris, constituindo um segmento geoambiental representativo da Baixada Litorânea, em que a gênese, formação e evolução formaram um solo classificado como Espodossolo cárbico e Espodossolo fenocárbico. A altitude do local varia de 2 a 25m nM. O clima é do tipo As' (Köppen), com período chuvoso de março a julho e seco de agosto a fevereiro, a temperatura média anual é de 25°C e a precipitação média anual de 1200 mm. Na área de monitoramento, está implantada desde setembro de 2000 a cultura do coqueiro. Para a obtenção dos dados foi definida área amostral de 8 ha onde instalou-se uma rede de 15 (quinze) poços com 4 m de profundidade em relação à superfície, revestidos em PVC de 40 mm de diâmetro. A distribuição desses poços obedeceu à configuração de uma malha de 100 m x 100 m com cruzamentos ortogonais, sendo obtidas as coordenadas geográficas por meio de GPS. As leituras das alturas do aquífero freático foram efetuadas pelo processo de medição direta por meio de trena graduada acoplada a um sonarizador metálico. A periodicidade foi semanal durante 24 meses, totalizando 96 (noventa e seis) leituras. Os dados de precipitação pluviométrica do período foram obtidos de pluviômetros, sendo tomadas às medidas acumuladas em cada mês. De posse dos dados realizou-se uma análise prévia onde foram inseridos num sistema de geoestatística, Surfer 7.0, (Golden Software, 1999). Após, para identificar e definir a estrutura de dependência espacial entre os pontos (poços) amostrados utilizou-se método de semivariograma clássico de Matheron (1971). Assim, os pontos de amostragem nos poços de observação ( $x_1, x_2, \dots, x_{15}$ ) cujas coordenadas  $X$  e  $Y$  estão relacionadas à posição dos poços e a coordenada  $Z$  com a variável de interesse – profundidade do aquífero freático – obtido a partir da média aritmética das medições semanais, foram processadas e ajustadas dentro do modelo teórico, esférico, exponencial e gaussiano, ao semivariograma experimental calculado. Com objetivo de estimar os valores nos locais não amostrados na área de estudo efetuou-se a próxima etapa por meio da técnica de *Krigagem* universal (Krige, 1966; Matheron, 1971 e Vieira et al., 1981).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Observa-se na tabela 1 que os meses de maio de 2002 e 2003 apresentaram os maiores índices pluviométricos no período, 320 e 231 mm e suas amplitudes de variação do aquífero foram 1,13 e 2,12 m, respectivamente, atingindo o nível máximo de 2,57 e 3,64 m. Já entre janeiro e abril de 2003 a precipitação mensal ficou abaixo da observada em maio de 2002 e suas amplitudes e valores máximos foram superiores a esse mesmo mês. Já no mês de outubro de 2002 a precipitação acumulada foi de 1 mm e a amplitude medida foi de 1,00 m tendo o nível máximo de 2,52 m. Assim, percebe-se que os valores máximos do aquífero e suas amplitudes não estão diretamente relacionados com o regime pluviométrico, indicando que a “tábua de maré” pode estar influenciando essas oscilações e contribuindo de forma positiva no consumo de água em certa camada de solo acima do nível em relação à superfície.

Tabela 1. Mês e ano observado, nível do aquífero freático (mínimo e máximo), amplitude de variação e precipitação acumulada por mês (C.E.I., SE. 2002 - 2004).

Mês	Ano	Mín. (m)	Máx. (m)	Amp. (m)	Prec.(mm)
Fevereiro	2002	1,39	2,40	1,01	121
Março	2002	1,50	2,53	1,03	56
Abril	2002	1,60	2,71	1,11	60
Maio	2002	1,44	2,57	1,13	320
Junho	2002	1,19	2,07	0,88	181
Julho	2002	1,02	1,88	0,86	88
Agosto	2002	1,21	2,12	0,91	67
Setembro	2002	1,41	2,32	0,91	35
Outubro	2002	1,52	2,52	1,00	01
Novembro	2002	1,69	2,74	1,05	75
Dezembro	2002	1,81	2,94	1,13	09
Janeiro	2003	1,80	3,04	1,24	32
Fevereiro	2003	1,88	3,09	1,21	100
Março	2003	1,83	3,59	1,76	77
Abril	2003	1,77	3,64	1,87	48
Maio	2003	1,52	3,64	2,12	231
Junho	2003	1,30	2,89	1,59	158
Julho	2003	0,96	1,90	0,94	162
Agosto	2003	0,85	1,88	1,03	150
Setembro	2003	1,06	2,00	0,94	59
Outubro	2003	1,24	2,17	0,93	106
Novembro	2003	1,12	2,01	0,89	152
Dezembro	2003	1,31	2,12	0,81	62
Janeiro	2004	1,24	2,25	1,01	225

Na tabela 2 apresenta-se resultados da dinâmica espaço-temporal, os valores observados comprovam a ocorrência de movimento ascendente na zona saturada e, conseqüentemente ascensão capilar na zona não saturada do perfil de solo. Nos poços 3 e 11 visualiza-se os desvios extremos de 0,20 m e 0,57 m, respectivamente. Segundo Millar (1988), um conjunto especial de condições edafoclimáticas naturais (relevo plano, superfície paralela ao aquífero, baixa capacidade de armazenamento de água, transmissividade alta, baixa sensibilidade de oscilação da superfície freática) pode favorecer a contribuição do aquífero freático no suprimento hídrico das culturas para permitir a estabilidade em relação à superfície do terreno. Esse movimento ascendente é função direta da textura e estrutura do solo, da profundidade da superfície freática e do gradiente termo atmosférico. Considerando-se um potencial matricial na superfície do solo igual a -160 kPa e um nível freático a 1,5 m de profundidade, o fluxo capilar

equivale a 0,3; 2,5 e 5,0 mm.dia<sup>-1</sup> para as classes texturais franco-argilosa, franco e franco-siltosa, respectivamente. De acordo com Barreto & Oliveira (1999), a ascensão capilar é mais significativa em solos com elevados teores de silte, podendo resultar numa contribuição de até 5 mm.dia<sup>-1</sup>, teoricamente disponíveis em parte da zona radicular, nas condições citadas.

Tabela 2. Poços de observação, localização, valores médios, desvio padrão, mínimos e máximos da profundidade do aquífero freático (C.E.I., SE. 2002 - 2004).

Poços	Coord. (mN)	Coord. (mE)	Méd. (m)	D. P. (m)	Mín. (m)	Máx. (m)
1	698529	8772008	1,62	0,25	1,25	2,02
2	698562	8771922	2,15	0,28	1,76	2,74
3	698598	8771820	2,02	0,20	1,70	2,42
4	698500	8771801	1,40	0,30	0,85	1,88
5	698458	8771893	1,74	0,27	1,32	2,22
6	698427	8771989	1,56	0,30	1,09	2,04
7	698336	8771977	2,09	0,36	1,57	2,70
8	698360	8771882	1,61	0,34	1,12	2,16
9	698401	8771786	1,82	0,33	1,35	2,38
10	698297	8771775	2,08	0,39	1,54	2,73
11	698267	8771866	2,43	0,57	1,77	3,64
12	698228	8771961	2,01	0,40	1,48	2,86
13	698135	8771947	2,26	0,41	1,69	2,91
14	698166	8771858	2,30	0,41	1,76	3,17
15	698198	8771757	2,42	0,40	1,88	3,08

A figura 1 apresenta as curvas de nível e o relevo da área de estudo obtido a partir de levantamento topográfico e interpoladores geoestatísticos, onde verifica-se que o relevo se apresenta de forma plana, variando de 1 a 3 m de altitude em relação ao nível do mar (nM).

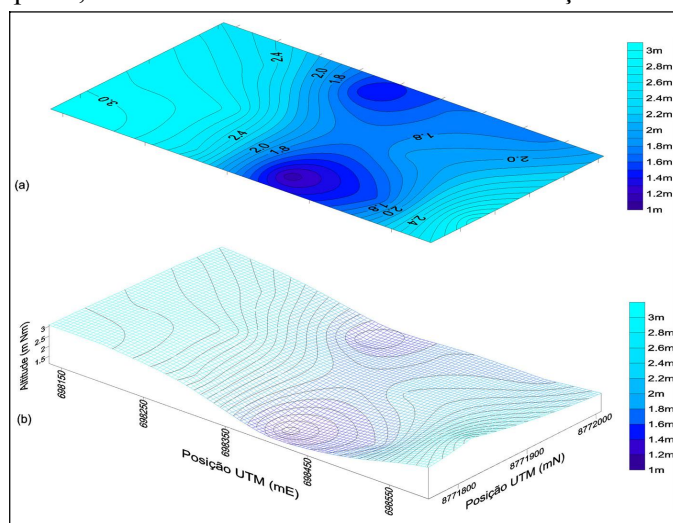


Figura 1. Representação das: (a) curvas de nível e (b) relevo da área de estudo..

A Figura 2 exemplifica a oscilação vertical do aquífero em 24 meses. Visualiza-se o aspecto da superfície de valores do hidrograma espacial sob zonas de profundidade em relação à superfície do terreno, mostrando ainda, as isocargas ou linha equipotenciais. Observa-se que tanto nos meses de menor amplitude (junho e julho de 2002) quanto nos de maior amplitude (abril e maio de 2003) o comportamento espacial apresenta duas áreas distintas no que tange a proximidade da água disponível à cultura implantada. Esse padrão de variabilidade (tendência) demonstra que

mesmo em uma área relativamente pequena (8 ha), com relevo plano, uniforme e com a superfície aproximadamente paralela ao aquífero, existe a necessidade de implantar-se um sistema de manejo de água diferenciado (por zonas), possibilitando assim, amparar ações gerenciais, maximizando os recursos naturais e a minimizando os custos de produção das culturas irrigadas.

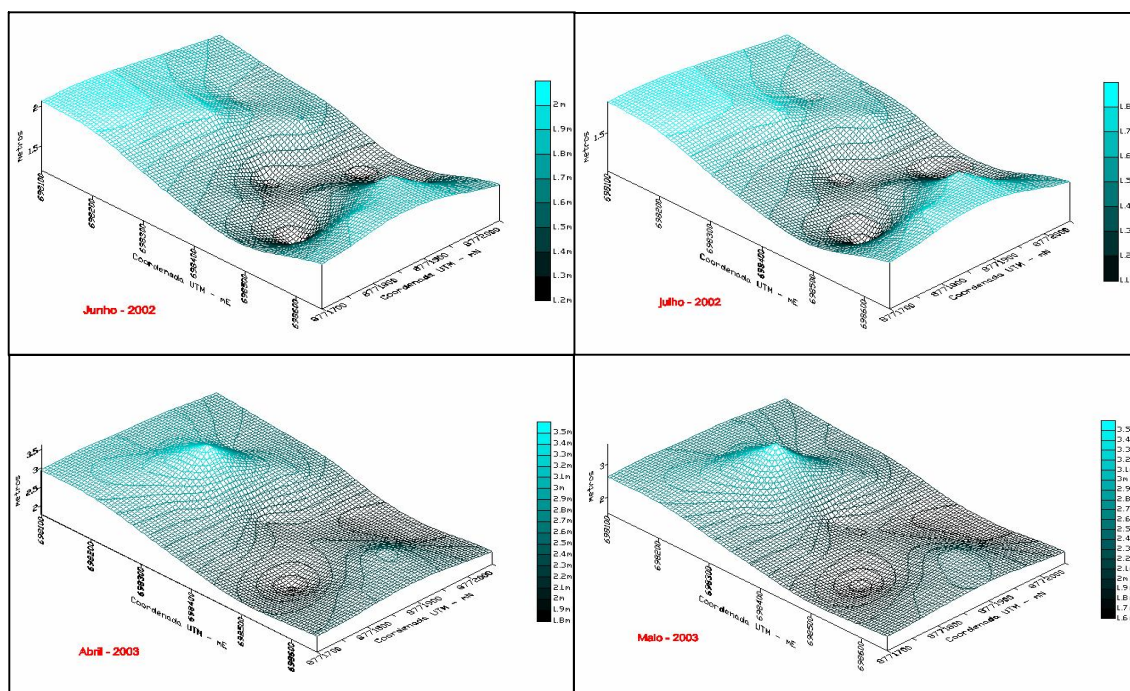


Figura 2. Exemplificação da oscilação vertical do aquífero freático na área de estudo.

**CONCLUSÕES:** Ocorreram oscilações médias mensais de amplitude significativa no aquífero freático da área. As oscilações e amplitudes medidas não estão diretamente relacionadas com o regime pluviométrico medido, o que indica que a “tábua de maré” poderá estar influenciando. Os modelos gerados por meio geostatística permitiram uma efetiva análise do comportamento hidrodinâmico no aquífero freático e sua distribuição espacial, demonstrando potencial no gerenciamento e manejo de recursos hídricos e do solo.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BARRETO, A. N.; OLIVEIRA, G. R. DE. **Importância da drenagem agrícola**. In: Beltrão, N. E. de M. (org.). O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília: Embrapa, 1999. Cap.2, p.683-713.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surface mapping system: user guide**. Colorado: Golden, 1999. 328p.
- KRIGE, D.G. Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation. *Journal of the African Institute of Mining and Metallurgy*. v.66, p.13-38, 1966.
- MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris: Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fountoinebleau. 1971.
- MILLAR, A. A. **Drenagem de terras agrícolas**. São Paulo: Editora, 1988. 360p.
- QUEIROZ, J. E.; GONÇALVES, A. C.; SOUTO, J. S.; FOLEGATTI, M. V. **Avaliação e monitoramento da salinidade do solo**. In: Gheyi, H. R. et. al. (org.). Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. Cap. 3, p.69-101.
- VIEIRA, S.R.; NIELSEN, D.R.; BIGGAR, J.W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*. Oxford, v.45, p.1040-1048, 1981.