

DESEMPENHO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO NA ESPACIALIZAÇÃO DE VARIÁVEIS EDÁFICAS

Onair M. de Oliveira¹, Kennedy R. da Silva¹, Elter Martins dos Santos¹
Alexandre R. dos Santos¹

¹Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, onairemendes@yahoo.com.br, kennedyfloresta03@hotmail.com, elterms@hotmail.com; mundogeomatica@yahoo.com.br.

RESUMO

O presente estudo foi realizado a partir de dados de análises de solo provenientes de amostras retiradas na área de preservação permanente do lago da UHE Rosal, localizada no Município de Guaçuí-ES. A partir destes dados, utilizando-se da metodologia proposta por Caruso e Quarta (1998), automatizada no *software* Matlab versão 6.5, foram efetuados testes com vistas a determinar o melhor interpolador será utilizado na espacialização das concentrações de algumas variáveis edáficas. Para tanto foram testados diversas metodologias e modelos de interpolação, tais como, inverso do quadrado da distância (IDW); “kriging” (KRG), com modelo de semi-variograma “spherical” e “spline” (SPL) tipo regularizado. Com os melhores modelos foram confeccionados mapas de distribuição espacial das concentrações dos valores de Fósforo disponível (P), Cálcio (Ca), Alumínio (Al) e pH. Os melhores resultados foram obtidos pelo método kriging de interpolação, sendo os melhores para cada variável os seguintes modelos: modelo exponencial para pH, P e Ca; modelo esférico para Al.

PALAVRAS-CHAVE: Sig, Krigagem, Matlab.

PERFORMANCE OF DIFFERENT INTERPOLATION TECHNIQUES IN SPATIALIZATION OF SOIL CHARACTERISTICS

ABSTRACT

This study was conducted from data analysis of soil samples taken from the area of preservation of the Lake of Hydroelectric Rosal, located in the city of Guaçuí-ES, Brazil. From these data, using the methodology proposed by Caruso e Quarta (1998) automated in Matlab version 6.5, tests were performed in order to determine the best interpolation is used for the spatial distribution of concentrations of some soil characteristics. Therefore, we tested several methods and models of interpolation such as inverse distance squared (IDW); kriging (KRG), to model semi-variogram spherical and spline (SPL) type rectified. With the best models were made maps of spatial distribution of the values of available phosphorus (P), calcium (Ca), Aluminum (Al) and pH. The best results were obtained using kriging interpolation, and the best for each variable the following models: exponential model for pH, P and Ca; spherical model for Al.

Keywords: Gis, Kriging, Matlab.

INTRODUÇÃO

As Áreas de Preservação Permanente (APP) são definidas pelo Código Florestal como sendo certas áreas públicas, ou particulares, nas quais a supressão total ou parcial da vegetação natural só é permitida, mediante prévia autorização do Poder Executivo Federal, quando necessária à execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou de interesse social. As APP demandam atenção especial porque estão voltadas para a preservação da qualidade das águas, vegetação e fauna, bem como para a dissipação de energia erosiva (BARCELOS et al., 1995).

Segundo o CONAMA (2006), a função ambiental da APP inclui aspectos como o de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas. Dentre as APP, definidas pelo Código Florestal, estão também às margens de reservatórios de água, naturais ou artificiais, localizados no ambiente urbano ou rural.

O estabelecimento e a manutenção da vegetação nas APP é um processo de suma importância, visto que a cobertura vegetal nestas áreas irá atenuar os efeitos erosivos e a lixiviação dos solos, contribuindo também para regularização do fluxo hídrico e redução do assoreamento dos cursos d'água e reservatórios (COSTA et al., 1996). Entretanto para que esta atividade seja realizada de maneira correta, é necessário um conhecimento detalhado da distribuição da fertilidade do solo, dentre outros fatores edáficos. Dentre estes fatores, foram escolhidas para a realização deste estudo as concentrações de Fósforo disponível (P) no solo, Cálcio (Ca), Alumínio (Al) e pH do solo.

Vários trabalhos têm utilizado métodos para estimativa da espacialização de variáveis, utilizando-se de interpoladores presentes nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) (ASSAD, 2001; CARVALHO, 2003; BARBOSA, 2006). Os interpoladores são ferramentas matemáticas que atribuem valores relativos a alguma variável em pontos inseridos num campo de valores já existente, transformando dados discretos em contínuos (SURFER, 1999). Entretanto é necessário definir, para cada situação qual interpolador é mais exato. A escolha de um modelo apropriado é essencial para se obter resultados aceitáveis (Aranoff, 1989). Mediante este fato é importante avaliar o desempenho dos interpoladores para cada variável estudada.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar as principais técnicas de interpolação, utilizando-as para a espacialização das concentrações das variáveis edáficas: concentração de Fósforo disponível (P) e Cálcio (Ca), Alumínio (Al) e pH na APP do reservatório da Usina Hidrelétrica Rosal (UHE Rosal).

MATERIAL E MÉTODOS

A Usina Hidrelétrica (UHE) Rosal localiza-se no Sul do Estado do Espírito Santo e Norte do Estado do Rio de Janeiro e é uma usina a fio d'água, aproveitando o potencial hidráulico do rio Itabapoana, no trecho situado entre as divisas dos municípios de Guaçuí (ES), São José do Calçado (ES) e Bom Jesus do Itabapoana (RJ), sendo que as coordenadas centrais aproximadas, no Sistema e Projeção

Cartográfica UTM, Datum SAD 69, Zona 24S são: 217.000m e 7.686.100m (Figura 1).

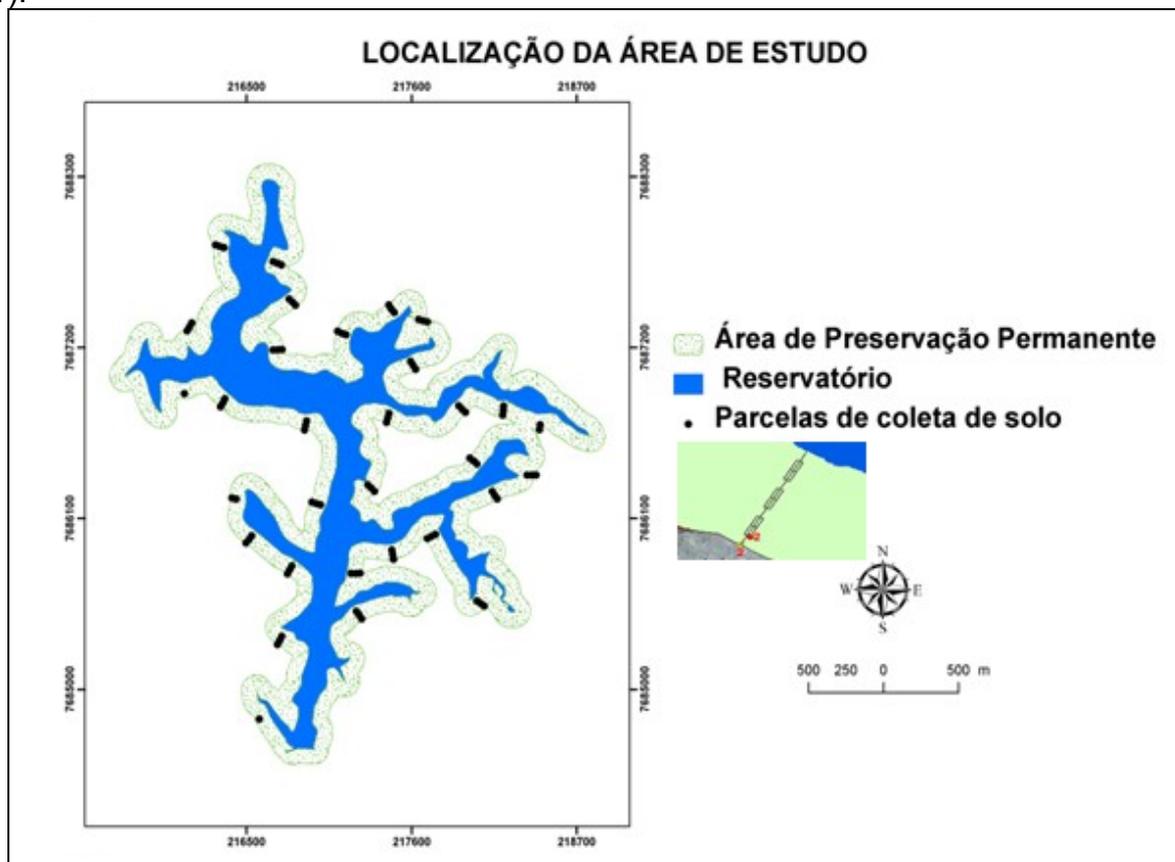


Figura 1. Localização e esquema de distribuição dos pontos de amostragem de solo na APP do reservatório da UHE Rosal, Guaçuí-ES.

Os procedimentos de interpolação foram realizados a partir dos dados de análise das amostras de solo retiradas na área da APP. Para tanto, foram determinados 38 pontos de acesso (PA) na área da APP do reservatório. Em cada ponto de acesso foram coletadas sistematicamente três amostras, de maneira que cada amostra ficou separada 40 metros umas das outras, acompanhando a declividade do terreno. Entretanto sete pontos (ponto 5, 10, 13, 14, 30, 31 e 37) não foram amostradas devido a dificuldade de acesso ao local. Desta forma foram utilizados nos procedimentos de interpolação, os dados referentes a 93 amostras de solo, retiradas na profundidade de 20 centímetros.

Todas as análises de solo foram realizadas no LAFARSOL - Laboratório de Análises de fertilizantes, águas, minérios, resíduos, solos e plantas, da UFES.

A metodologia utilizada para estimativa dos valores dos interpoladores em cada amostra é semelhante àquela proposta Caruso e Quarta (1998) e Robinson e Metternicht (2006), onde a interpolação é realizada por meio da extração de um ponto específico. Dessa forma é possível obter o valor estimado do posto retirado e posteriormente compará-lo com o valor real da variável.

A espacialização das variáveis edáficas foi realizada por meio dos interpoladores: inverso do quadrado da distância (IDW); "kriging" (KRG), com modelo de semi-variograma "spherical" e "spline" (SPL) tipo regularizado. Todo o processo descrito acima pelos autores acima foi automatizado por meio de um

programa desenvolvido por Xavier (2007) no *software* Matlab versão 6.5, garantindo assim maior agilidade nas operações. Assim, no presente estudo as coordenadas de campo utilizadas foram as UTM (universal transversa de Mercator), materializados em campo pelos pontos de amostragem de solo, sendo que o valor da variável (z) foi o valor de cada um dos elementos estudados.

A avaliação de desempenho dos interpoladores foi realizada utilizando-se dos valores reais e estimados das variáveis em estudo para cada ponto. Para esta avaliação foi utilizado o índice de confiança (c), proposto por Camargo e Sentelhas (1997), que permite analisar conjuntamente a precisão e a exatidão dos resultados obtidos. Este índice é calculado pelo produto do coeficiente de correlação (r) e do índice de concordância (d), proposto por Willmott (1981) (Tabela 1).

Tabela 1. Estimadores dos parâmetros Índice de concordância (d) e Raiz do erro quadrático médio (REMQ).

Índice de concordância	Raiz do erro quadrático médio
$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^N (E_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2}$	$REMQ = \frac{\sqrt{(O_i - E_i)^2}}{N}$

Onde:
 N = número total de parcelas;
 O_i = valor da variável na parcela;
 E_i = valor da variável estimada para a parcela.

Os critérios de avaliação do desempenho de modelos quanto ao seu índice de confiança (c) estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Indicador de desempenho dos interpoladores utilizados segundo valores de (c). Fonte: CAMARGO e SENTELHAS (1997).

Valor de c	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Através dos índices estatísticos fornecidos pela validação cruzada dos dados, foi possível realizar a avaliação do desempenho dos interpoladores e seleção do modelo, utilizando como um dos critérios de decisão o menor valor da raiz do erro médio quadrático (REMQ), conforme Phillips et al. (1992), Addink e Stein, (1999), Legates e McCabe Jr. (1999).

Segundo Robertson (1998) e Guimarães (2004) a utilização do (REMQ) na seleção do modelo é o preferido, por ser este mais sensível e mais robusto quando comparado somente com o coeficiente de determinação (R^2). De acordo com este modelo, o melhor interpolador para cada variável, é aquele que apresentar o menor valor do REMQ.

O coeficiente de eficiência ajustado (E') também é um índice importante, Legates e McCabe Jr. (1999) definiram esse índice, que varia de $-\infty$ a 1, com os maiores valores indicando melhor performance. Ainda os mesmos autores indicam que, como informação adicional, deve ser incluído o erro médio absoluto (EMA). Finalmente Chong et al. (1982) recomendam a utilização do erro médio percentual (EMP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na validação cruzada dos dados, a Tabela 3 apresenta, dentre todos os métodos e modelos testados, os melhores interpoladores para a concentração de Fósforo disponível (P) e Cálcio (Ca), Hidrogênio e Alumínio (H+Al) e PH, assim como seus respectivos índices estatísticos calculados. A escolha do melhores para cada variável avaliada é realizada com auxílio dos referidos índices, levando-se em conta principalmente a análise do valor REMQ.

Tabela 3. Índices estatísticos calculados para análise do desempenho dos interpoladores utilizados na estimativa de variáveis edáficas na APP do reservatório da UHE Rosal, Guaçuí, Espírito Santo.

Índices Estatísticos Calculados	Variáveis Edáficas			
	pH	P	Ca	Al
R^2	0,56	0,39	0,44	0,44
REMQ	0,33	0,28	0,58	0,41
d	0,86	0,78	0,81	0,81
c	0,64	0,49	0,54	0,54
E'	0,54	0,35	0,41	0,36
EMA	0,25	0,20	0,42	0,32
EMP(%)	4,94	11,27	77,19	65.535,00
Desempenho	Mediano	Mau	Sofrível	Sofrível
Melhores Interpoladores	Modelo Exponencial	Modelo Exponencial	Modelo Exponencial	Modelo Esférico

Onde :

R^2 = coeficiente de determinação da validação cruzada;

REMQ = raiz do erro médio quadrático;

d = índice de concordância;

c = índice de confiança;

E' = coeficiente de eficiência ajustado;

EMA = erro médio absoluto

EMP(%) = erro médio percentual.

O modelo Exponencial aplicado ao método da krigagem foi considerado o melhor para a estimativa dos valores de pH, P e Ca na área de estudo. Entretanto para a variável Al, o modelo esférico foi considerado o melhor.

De acordo com o critério definido por Camargo e Sentelhas (1997), os métodos considerados melhores para as variáveis pH, P, Ca e Al, apresentaram desempenhos “Mediano”, “Mau”, “Sofrível” e “Sofrível” respectivamente. Este fato talvez seja explicado pela menor variação espacial da variável pH.

Os métodos de interpolação definidos como melhores, conseqüentemente, apresentaram melhores resultados para os índices estatísticos calculados. Isto indica que estes métodos são aqueles capazes de proporcionar, a partir dos dados levantados, as melhores correlações possíveis entre os valores reais e os valores estimados das variáveis em estudo.

Nota-se, na Tabela 3, que não houve variação expressiva do valor do índice de concordância (d) para as variáveis avaliadas, com os valores se mantendo próximos a 1 (um), o que pode indicar exatidão do modelo selecionado. Assim, pode-se afirmar que matematicamente existe uma aproximação entre os valores reais e os valores estimados pelos modelos de interpolação testados para as variáveis em estudo.

Dentre as variáveis edáficas submetidas à análise, a que apresentou melhor desempenho, segundo o critério definido por Camargo e Sentelhas (1997), foi o pH (valor de c igual a 0,64), apesar do valor de REQM apresentado por P ser inferior (Tabela 3).

Nenhum modelo selecionado apresenta valor negativo para o coeficiente de eficiência ajustado (E'), indicando que, sob a ótica deste índice estatístico, podem ser usados para estimar valores das variáveis edáficas avaliadas, pois quanto menor o valor de E' pior é a desempenho do modelo (LEGATES e McCABE JR., 1999).

Os dados da Tabela 6 mostram variação de EMP entre 4,94% e 65.535,00%. Levando em consideração o EMP, o melhor desempenho dentre as variáveis estudadas foi apresentado pelo pH, seguido pelo P, Ca e Al.

Os valores do EMP apresentado pelos interpoladores utilizados nas variáveis pH e P podem ser considerados baixos, principalmente por se tratar de dados relacionados a fatores edáficos, cujas concentrações no solo podem apresentar grande variação espacial. Entretanto, estes valores são muito diferentes dos apresentados pelas variáveis, Ca e principalmente Al, cujos valores são muito elevados, contudo Chong et al. (1982), já alertavam que essa equação tende a apresentar valores altíssimos de EMP, quando os valores observados (O_i) são baixos.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que:

- As variáveis edáficas sob estudo apresentam desempenhos diferentes com relação a diferentes interpoladores;
- Nem todas as variáveis edáficas podem ter seus valores espacializados a partir de interpoladores;

- Na área sob estudo o valor da variável pH pode ser espacializados a partir da técnica de interpolação;
- Na área sob estudo os valores das variáveis P, Ca e Al não podem ser espacializados a partir da técnica de interpolação.

LITERATURA CITADA

ADDINK, E.A.; STEIN, A. A comparison of conventional and geostatistical methods to replace clouded pixels in NOAA-AVHRR images. **International Journal of Remote Sensing**, Dundee, v.20, n.5, p.961-77, 1999.

ARANOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1989. 294p.

ASSAD, E. D. et al. Zoneamento agroclimático para a cultura de café (*Coffea arabica*L.) no estado de Goiás e sudoeste do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n.3, p. 510-518, 2001.

BARBOSA, J. P. M. Utilização de método de interpolação para análise e espacialização de dados climáticos: o sig como ferramenta. CAMINHOS DE GEOGRAFIA, v. 9, n. 17, p. 85-96, fev. 2006. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acesso em: 13 set. 2007.

BARCELOS, J. H. et al. (1995), **Ocupação do Leito Maior do Ribeirão Claro por Habitações**. Sociedade e Natureza, Uberlândia, 7 (13 e 14): 129 – 145, janeiro/dezembro 1995.

BRASIL, **Resolução CONAMA Nº 303 de 20 de março de 2002**. Dispõem sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.

CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CARUSO, C.; QUARTA, F. Interpolation Methods Comparison. **Computers Mathematical application**. v.35, p. 109-126, 1998.

CARVALHO, J. R. P.; ASSAD, E. D. **Otimização de interpolação espaciais para estimar chuva no Sistema Agritempo**. Campinas: EMBRAPA – Embrapa Informática Agropecuária, 2003. 15 p.

COSTA, T.C.C. et al. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). In: VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 4.,1996, Salvador. **Anais...** Salvador: Inpe, 1996. CD-ROM.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 76 p.

LEGATES, D.R.; McCABE Jr., G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, v.35, n.1, p.233-241, 1999.

LENNON, J. J.; TURNER, J. R. G. Predicting the spatial distribution of climate: temperature in Great Britain. **J. Anim.Ecol.**, n. 64, os. 670-392, 1995.

PHILLIPS, D. L.; DOLPH, J.; MARKS, D. A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitations in mountainous terrain. **Agricultural and Forest Meteorology**, n. 58, p. 119-142, 1992.

ROBERTSON, G. P. **GS+ Geostatistics for the environmental sciences: GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Desing Software, 1998. 152 p.

ROBINSON, T.P.; METTERNICHT, G. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. **Computers and Electronics in Agriculture** , v., p. 97-108, 2006.

SURFER. **User's Guide**. Golden Software Inc. USA. 1999.

WILLMOTT, C.J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.

XAVIER, A. C. **Avaliação do desempenho de métodos de interpoladores**. Alegre, Universidade Federal do estado do Espírito Santo. Comunicação pessoal, 2007.