

## REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DE ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

**Gustavo Soares de Souza<sup>1</sup>, Julião Soares de Souza Lima<sup>2</sup>, Samuel de Assis Silva<sup>1</sup>, Alexandre Cândido Xavier<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, CCA/UFES/DER, CP: 16, CEP: 29.500-000, e-mail: [gsdsouza@hotmail.com](mailto:gsdsouza@hotmail.com)

<sup>2</sup>Prof. Titular, CCA/UFES/DER, CP: 16, CEP: 29.500-000, e-mail: [limajss@yahoo.com.br](mailto:limajss@yahoo.com.br)

**Resumo-** O objetivo deste estudo foi representar espacialmente os atributos químicos do solo soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (T), utilizando sistemas de classificação fuzzy. A área em estudo localiza-se no município de Alegre (ES). O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo. A área experimental está sendo cultivada com pastagem de *Brachiaria decumbens*. Uma malha de amostragem do solo foi construída, com intervalos regulares de 10m, totalizando 64 pontos. O solo foi amostrado para análise na profundidade de 0 a 20 cm, sendo estudados os atributos químicos SB e T. Utilizou-se a análise geoestatística na geração de mapas de representação espacial dos atributos em estudo e, em seguida, aplicou-se a classificação fuzzy. Os mapas apresentaram uma suavização dos limites de variação dos teores dos atributos no solo. A lógica fuzzy é uma técnica indicada para ser aplicada na espacialização de propriedade do solo, que naturalmente apresentam uma variação gradativa no terreno.

**Palavras-chave:** Fertilidade do solo, geoestatística, semivariograma, função de pertinência.

**Área do Conhecimento:** Ciências Agrárias

### Introdução

Nos últimos anos, observa-se avanço no uso de modelos quantitativos, utilizados em estudos de fatores da natureza, proporcionando uma melhor representação dos fenômenos em estudo, além de fornecerem informações mais precisas.

Entre as técnicas quantitativas de análise espacial de dados cita-se a geoestatística com a predição de dados por krigagem ordinária. Com o advento da informática e de novas técnicas de análise espacial, a aplicação da geoestatística em mapeamento digital de solos traz enorme contribuição, principalmente para locais não contemplados com levantamentos detalhados (NOVAIS FILHO et al., 2007).

Em complemento a análise geoestatística, surge a aplicação da lógica fuzzy, ou lógica nebulosa (*fuzzy logic*) que tem por objetivo modelar, de modo aproximado, o raciocínio humano, visando manipular informações em um ambiente de incerteza e imprecisão, fornecendo uma resposta aproximada para uma questão baseada em um conhecimento que é inexato, incompleto ou não totalmente confiável (BÖNISCH et al., 2004).

Dessa forma, contrariamente aos conjuntos tratados na lógica clássica (booleana), que permitem apenas o uso de funções de associação binária, que identificam valores verdadeiros ou falsos, o conjunto fuzzy admite a possibilidade de uma associação parcial (MEIRELLES et al., 2007), ou seja, caracteriza classes que não possuem limites rígidos entre si.

Bressan et al. (2006) utilizou técnicas geoestatísticas, análise de imagens e modelos de classificação fuzzy para tratar do problema de classificação do risco de infestação por plantas daninhas e ilustrar o uso desse sistema na aplicação localizada de herbicida. Segundo Fonseca et al. (2002), a aplicação de lógica fuzzy também pode ser aplicada em estudos da distribuição espacial de componentes do solo que apresentam uma variação contínua e gradual no terreno.

Levando-se em conta algumas incertezas associadas à dinâmica dos atributos no processo agrícola, o objetivo deste estudo foi representar espacialmente os atributos químicos do solo soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (T), utilizando os sistemas de classificação fuzzy.

### Metodologia

A área em estudo localiza-se ao sul do Estado do Espírito Santo, no distrito de Rive, município de Alegre. As coordenadas geográficas do local são 20° 46' 2,8" de latitude Sul e 41° 27' 39,2" de longitude Oeste.

A região apresenta clima tropical, temperatura média anual de 23,1°C e precipitação anual média de 1.346 mm, e relevo predominantemente ondulado. A área experimental está sob cultivo de pastagem de *Brachiaria decumbens*, implantada a aproximadamente 6 anos. O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (PVA) textura argilosa (EMBRAPA, 2006).

Uma malha de amostragem do solo foi construída, com intervalos regulares de 10 m, com

dimensão de 70 x 70 m, totalizando 64 pontos, sendo o solo amostrado na profundidade de 0 a 20 cm. Cada ponto foi georreferenciado, determinando as coordenadas planas. Os atributos químicos estudados foram: soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (T), determinados conforme metodologia proposta pela Embrapa (1997).

A análise de semivariogramas foi feita para cada atributo, visando à determinação dos parâmetros dos modelos de semivariogramas teóricos, permitindo a inferência de valores para locais não amostrados, usando a interpolação por krigagem ordinária, resultando na obtenção de mapas de representação espacial.

Realizou-se a classificação contínua das representações desses atributos, utilizando a classificação fuzzy. Para isso, primeiramente foram definidos os limites para cada atributo de acordo com cada classe de fertilidade (Tabela 1).

Tabela 1- Critérios para classificação dos atributos químicos do solo soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (T) analisados na profundidade de 0 a 20 cm

Atributo	Classes de fertilidade <sup>1</sup>		
	S1	S2	S3
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	>4	2-4	<2
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	>8	4-8	<4

<sup>1</sup> Fonte: Meirelles et al. (2007), com modificações; S1- solo fértil, S2- fertilidade intermediária, S3- baixa fertilidade.

A função de associação escolhida foi à função linear descrita por Bönisch et al. (2004), com modificações:

$$\begin{aligned}
 GP_A(Z) &= 0 && \text{se } z < p \\
 GP_A(Z) &= (1/\alpha)(z-p) && \text{se } p \leq z < q \\
 GP_A(Z) &= 1 && \text{se } z \geq q
 \end{aligned}$$

em que:  $GP_A(Z)$  é o grau de pertinência com que um elemento  $z$  pertence ao conjunto fuzzy;  $\alpha = q - p$ ;  $p$  e  $q$  são valores dos limites de classe de dois conjuntos fuzzy pertencentes a um conjunto  $A$ .

Os valores dos parâmetros  $p$  e  $q$  foram definidos em função dos valores dos limites dos intervalos dos atributos químicos (Tabela 1), sendo  $q$  associado ao solo fértil (S1) e  $p$  ao limite inferior da fertilidade intermediária (S2).

A confecção final dos mapas foi realizada no programa Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999), permitindo melhor representação e visualização dos resultados obtidos.

## Resultados

Na Tabela 2 são apresentados os modelos e parâmetros proporcionado pelo ajuste de

semivariogramas para os atributos do solo soma de bases (SB) e da capacidade de troca catiônica (T). Os semivariogramas foram escalonados pela variância dos respectivos dados.

Tabela 2- Modelo e parâmetros dos semivariogramas escalonados dos atributos do solo soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (T) analisados na profundidade de 0 a 20 cm

Parâmetros	Atributos do solo	
	SB	T
Modelo	Esférico	Esférico
$C_0$	0,54	0,50
$C_0+C_1$	1,09	1,00
$a$ (m)	51	37
IDE (%)	51	50
$R^2$ (%)	87	93

$C_0$ : efeito pepita;  $C_0+C_1$ : patamar;  $a$ : alcance; IDE: índice de dependência espacial;  $R^2$ : coeficiente de determinação do semivariograma.

Na Figura 1, observa-se a representação gráfica das funções de pertinência para os dois atributos químicos do solo em estudo.

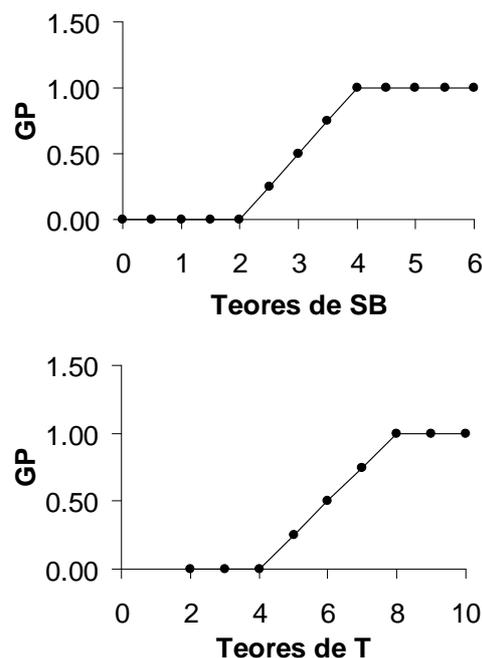


Figura 1- Graus de pertinência (GP) fuzzy para os atributos químicos do solo soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica (T) analisados na profundidade de 0 a 20 cm

Observa-se que para cada valor inferior ao limite inferior ( $p$ ) foi atribuído valor de pertinência zero, enquanto que os valores superiores ao limite superior ( $q$ ) foi atribuído valor de pertinência um.

Aos valores intermediários aos limites inferior e superior, foram atribuídos valores de pertinência entre zero e um, segundo a função linear fuzzy. Centeno et al. (2001) relataram que valores intermediários descrevem um grau de pertinência parcial e um elemento pode ser associado a mais de um conjunto.

A espacialização dos atributos químicos do solo na área experimental é apresentada na Figura 2. Observa-se na escala dos atributos que valores mais próximos de um apresentaram cores mais claras, enquanto valores mais próximos de zero apresentaram cores mais escuras.

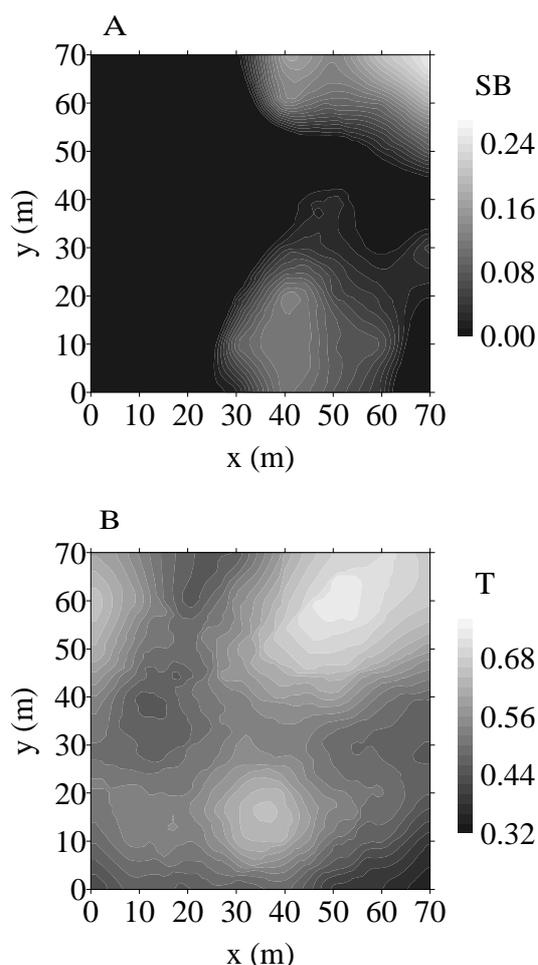


Figura 2. Representação espacial da classificação fuzzy dos atributos químicos SB (A) e T (B) na área em estudo.

### Discussão

A dependência espacial dos atributos do solo pode ser quantificada e modelada através da aplicação de técnicas de geoestatística (Tabela 2). O modelo esférico proporcionou o melhor ajuste de semivariograma para os dois atributos em estudo, apresentando  $R^2$  de 87 e 93% para a SB e T, respectivamente.

A SB e a T apresentaram alcance de 51 e 37 m, respectivamente. O alcance é a distância em que os dados apresentam correlação espacial. O maior alcance do atributo SB informou a existência de uma maior continuidade espacial em relação a T na área em estudo (SIQUEIRA et al., 2008).

O ajuste do modelo de semivariograma permitiu inferir, utilizando a krigagem ordinária, valores para locais não amostrados, gerando assim as representações espaciais dos atributos em estudo, submetidos à classificação fuzzy.

Os mapas apresentaram uma suavização dos limites de variação dos teores dos atributos no solo, fato que naturalmente ocorre em atributos do solo quando analisados ao longo de um terreno (Figura 2).

Com base na interpretação visual do mapa fuzzy de SB, observa-se maior concentração de valores entre 0 e 0,1 (Figura 2A). Isso indica a possibilidade desta área apresentar teores baixos de bases neste solo, o que poderá ser um fator limitante para a produção de biomassa pelas gramíneas. A SB é um atributo importante a ser analisado por indicar o teor de bases (cátions nutrientes) presentes no solo.

O mapa fuzzy de T (Figura 2B) apresentou valores de fertilidade do solo intermediários entre um solo fértil (S1) e um solo de baixa fertilidade (S3). No entanto, uma T elevada também pode indicar falsa fertilidade elevada do solo, uma vez que a maior parte das cargas pode estar sendo ocupada com cátions potencialmente tóxicos (H e Al).

A fertilidade natural dos solos é importante para a produtividade das culturas desenvolvidas por agricultores de baixa renda e com baixo grau tecnológico. Prezotti et al. (2007) citaram que os solos do Estado do Espírito Santo apresentam bom potencial de produção, todavia é necessária a utilização de práticas adequadas de correção e de convivência com suas limitações, devido à baixa fertilidade natural.

### Conclusão

Os mapas demonstraram zonas de transição gradual entre os teores de cada atributo na área em estudo.

A lógica fuzzy é uma técnica indicada para ser aplicada na espacialização de propriedade do solo, que naturalmente apresentam uma variação gradativa no terreno.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil.

## Referências

- BÖNISCH, S. et al. Representação e propagação de incertezas em dados de solo. II - Atributos numéricos. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 28, n. 1, p. 33-47, 2004.
- BRESSAN, G. M., et al. Sistema de classificação fuzzy para o risco de infestação por plantas daninhas considerando a sua variabilidade espacial. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 229-238, 2006.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise do Solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306 p.
- FONSECA, E. L. et al. Uso do interpolador krigagem ordinária para a espacialização das propriedades físicas dos solos. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 1., Aracaju. **Anais...** Aracaju: 2002, p. 1-4.
- GOLDEN SOFTWARE. **Surfer for windows: contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide**. New York, 1999. 619 p.
- MEIRELLES, M. S. P.; MOREIRA, F. R.; CAMARA, G. Técnicas de inferência espacial. In: MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. **Geomática: Modelos e aplicações ambientais**. Brasília: Embrapa. Informação Tecnológica, 2007. cap. 3, p. 105-190.
- NOVAES FILHO, J. P. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo usada na identificação de classes pedológicas de microbacias na Amazônia Meridional. **R. Bras. Ci. Solo**, v.31, n.1, p.91-100, 2007.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo - 5ª Aproximação**. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305 p.
- SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Bragantia**, v.67, n.1, p.203-211, 2008.