

Propriedades eletromagnéticas mostram potencial para mapear atributos do solo correlacionados em R.

Hugo M Rodrigues (UFF) / hugomr@id.uff.br

Gustavo M Vasques (Embrapa Solos) / gustavo.vasques@embrapa.br

1. Introdução:

Enquanto o Brasil apresenta grande potencial para suprir a demanda mundial de alimentos, fibras e energia, a base de informações sobre os solos, incluindo índices de fertilidade e aptidão para uso agrícola, encontra-se defasada e inapropriada para dar suporte à tomada de decisões estratégicas para o futuro da agropecuária no país. O manejo ideal ou ótimo dos solos carece de informações sobre a distribuição espacial contínua dos atributos do solo, atualizadas e em escalas detalhadas (>1:25.000) ou ultra detalhadas (>1:5.000). No entanto, o levantamento de solos usando os métodos clássicos já consagrados é oneroso. Abordagens mais recentes para a caracterização e mapeamento de solos, utilizando métodos estatísticos modernos, como o mapeamento digital de solos, permitem incorporar, dados advindos de bases cartográficas, sensores remotos e observações pontuais de solos (incluindo dados de sensores proximais). Para então elaborar mapas contínuos dos atributos do solo. Nesse sentido, a utilização de sensores proximais como solução para redução dos custos de amostragem para a caracterização da variação dos solos em maior escala espacial (>1:25.000) torna-se promissora.

2. Objetivos:

1) Mapear propriedades eletromagnéticas (EM) e atributos do solo usando métodos geoestatísticos; e 2) Avaliar a qualidade dos mapas quanto à incerteza.

3. Material e método

3.1 Área de estudo e malha de pontos

A área de estudo possui aproximadamente 3,4 ha e está no município de Seropédica, RJ. Para leitura das propriedades EM do solo usando sensores proximais de campo, foram alocados 377 pontos amostrais distribuídos em malha de 10 x 10 m, constituída por 13 transectos longitudinais à topossequência com 29 pontos cada um. A partir dessa malha, foi definida uma malha reduzida de 20 x 20 m (105 pontos), acrescida de 25 pontos alocados usando o método do hiper cubo latino condicionado, para coleta de amostras em 0-10 e 10-20 cm de profundidade, destinadas à análise dos atributos do solo em laboratório.

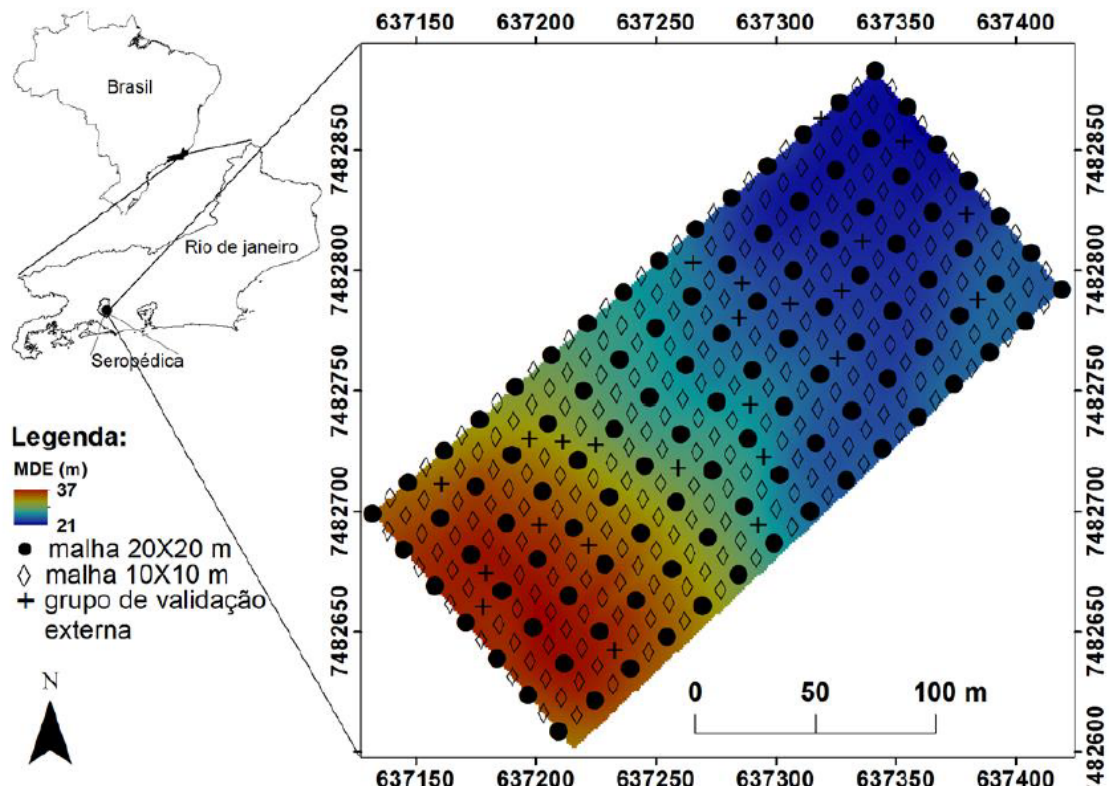


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, modelo digital de elevação (MDE) e delineamento amostral. A malha de 20 x 20 m e os 25 pontos de validação externa estão dispostos sobre a malha de 10 x 10 m. Projeção WGS84 UTM 23S.

3.2. Aquisição de amostras por Sensores e laboratório

Nos 377 pontos da malha de 10 x 10 m, foram obtidas leituras dos seguintes sensores proximais: 1) KT-10 S/C, que mede a condutividade elétrica aparente (CE) e a susceptibilidade magnética (SM); e 2) RS-230 BGO, que mede o teor dos elementos gamarradioativos potássio (K), urânio (U) e tório (Th). Os dados de laboratório utilizados foram: teor de argila (Argila), teor de carbono orgânico (COrg) e teor de ferro total extraído por ácido sulfúrico (Fe total).



Figura 2. (A) Pesquisador realizando leitura do topo do solo com sensor KT-10 S/C enquanto o sensor RS-230 BGO está funcionando; (B) Mensurando em sub-superfície com o sensor KT-10 S/C (B); (C) Preparando trincheira de até 20 cm de profundidade para coleta das amostras para laboratório, enquanto está sendo preparado o sensor RS-230 BGO; (D, F) Exemplo dos painéis dos sensores com leituras realizadas pelo KT-10 S/C e RS-230 BGO (respectivamente); (E) Abertura de trincheira e coleta de amostra de laboratório, também pode ser visto o equipamento RS-230 BGO em funcionamento.

3.3. Interpolação e análise estatística

A partir das amostras de 0-10 cm da malha de 20 x 20 m, utilizou-se krigagem ordinária para interpolação dos dados e produção dos mapas das propriedades EM e atributos do solo. Usou-se transformação para logaritmo nas variáveis Fe total, CE, SM e U, enquanto o Argila, COrg e Th apresentaram distribuição de frequência aproximadamente normal. A qualidade dos mapas foi avaliada usando-se índices de incerteza obtidos por validação externa usando as 25 amostras alocadas via hipercubo latino. As análises estatísticas foram feitas no programa R, utilizando o pacote gstat.

4. Resultados

4.1. Estatística descritiva dos dados

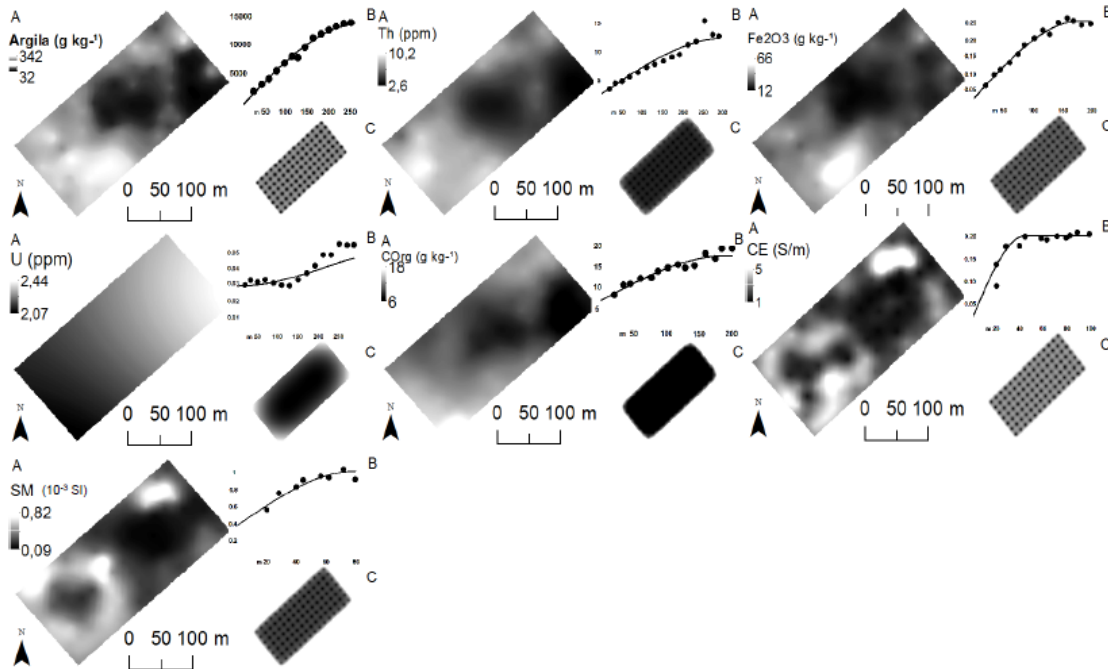
Estatística	COrg (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	CE (S m ⁻¹)	Fe2O3 (g kg ⁻¹)	SM (10 ⁻³ SI)	Th (ppm)	U (ppm)
Valores originais							
Observações	129	129	129	129	129	129	129
Mínimo	3.70	25.00	0.00	10.00	0.02	0.00	0.50
Máximo	28.00	380.00	4.90	84.00	3.80	13.87	3.40
Média	11.27	175.08	1.20	28.57	0.35	6.29	1.27
Mediana	11.40	160.00	0.80	26.00	0.18	5.80	1.20
Desvio padrão	3.86	93.34	1.09	14.39	0.45	2.77	0.43
Assimetria	0.65	0.26	1.17	1.35	4.22	0.45	1.31
Valores em logaritmo							
Observações			129	129	129		129
Mínimo			0.00	2.40	-3.91		0.41
Máximo			1.77	4.44	1.34		1.48
Média			0.68	3.28	-1.54		0.80
Mediana			0.59	3.30	-1.71		0.79
Desvio padrão			0.46	0.46	0.98		0.18
Assimetria			0.31	0.15	0.12		0.50

Tabela 1. Estatísticas descritivas das variáveis do solo.

	SM	U	Fe2O3	CE	Argila	COrg	Th
SM	1	-0.23*	0.48*	0.72*	0.54*	0.34*	0.38*
U		1	-0.11ns	-0.25*	-0.1ns	-0.02ns	0.09ns
Fe2O3			1	0.48*	0.87*	0.54*	0.66*
CE				1	0.49*	0.38*	0.36*
Argila					1	0.65*	0.78*
COrg						1	0.54*
Th							1

Tabela 2. Índice de correlação de Pearson. *, significativo ao nível de 0.05; ns, não significativo

Os índices de correlação linear foram significativos ($p > 0.05$) entre a maioria das variáveis do solo, principalmente com o teor de argila. Pode-se inferir que as variáveis correlacionadas com a argila (COrg, Fe total e Th) encontram-se ou derivam de constituintes e processos que se desenvolvem predominantemente nessa fração (SM, CE). Por exemplo, o Fe total seria um constituinte com participação importante na SM e CE do solo. A exceção foi o teor de U, que inclusive mostrou semivariogramas e padrões espaciais contrastantes. Os semivariogramas do teor de argila, Th, Fe total e COrg apresentaram valores de alcance maiores (177 a 304 m) do que os de CE e SM (44 a 80 m). Observou-se uma forte relação entre o padrão de distribuição espacial das variáveis do solo e o relevo da área. Por exemplo, no sentido topo-baixada, para Argila, Th, COrg e Fe total, valores maiores foram observados nas cotas mais altas da área (topo plano), seguidos de valores menores na encosta suave, que culminam em uma planície de inundação (baixada), com valores menores de atributos ao longo do canal de drenagem, e os valores mais baixos no aluvião de entorno, incluindo o extremo leste-nordeste da área. Para a CE e SM, essas relações na planície de inundação são aproximadamente inversas, com menores valores ao longo do canal de drenagem e maiores valores nas áreas aluviais ao redor. Ambos os sensores utilizados (KT-10 S/C e RS-230 BGO) apresentam potencial para estimar o padrão de distribuição espacial da Argila, COrg e Fe total do solo, sendo que as causas dos padrões observados, especialmente daqueles divergentes na área do canal de drenagem, devem ser investigadas mais a fundo.



Figuras 3 a 9. Mapas das propriedades Argila, Th, Fe total, U, COrg, CE e SM para 0-10 cm de profundidade; A: valores preditos; B: semivariogramas empírico (pontos) e ajustado (linha); C: variância da krigagem.

5. Conclusões:

As propriedades EM do solo, de mais fácil medição em campo usando sensores proximais, mostram excelente potencial para avaliar a distribuição espacial de atributos correlacionados do solo, complementando ou substituindo as análises de laboratório. A utilização do R permitiu a integração dos dados espaciais e geração de resultados em pouco tempo, com a vantagem de ser um programa gratuito e colaborativo. Outras questões ainda passíveis de investigação incluem: 1) Que fatores e/ou processos de formação do solo podem explicar os padrões espaciais observados? 2) Qual a influência do número de observações nos parâmetros de dependência espacial e mapas derivados das propriedades EM do solo? e 3) Que outros atributos do solo podem estar correlacionados com as propriedades EM estudadas?

6. Referência:

- EMBRAPA SOLOS. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. (Documentos, 132)
- MINASNY, B., MCBRATNEY, A.B. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. *Computers & Geosciences*, v. 32, p. 1378–1388, 2006.
- PEBESMA, E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, v. 30, p. 683–691, 2004.
- R CORE TEAM. R: a Language and Environment for Statistical Computing. Viena, Áustria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.