SUSCEPTIBILIDADE MAGNÉTICA NA ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

Ziany Neiva Brandão[1], Hugo Machado Rodrigues[2], Everaldo Paulo de Medeiros[3], e Luciano S. Shiratsuchi[4]

[1]Embrapa Algodão, ziany.brandao@embrapa.br; [2]UFRRJ, rodrigues.machado.hugo@gmail.com; [3]Embrapa Algodão, everaldo.medeiros@embrapa.br, e [4]Louisiana State University, LShiratsuchi@agcenter.lsu.edu

RESUMO

Esse trabalho objetivou a avaliação do uso da suscetibilidade magnética aparente (SMa) na caracterização da variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo, bem como identificar locais com diferentes potenciais produtivos para o algodoeiro em Cristalina, GO, Brasil. Para tanto, amostras compostas (profundidade de 0-20 cm) de solo foram coletadas em 16 pontos em 27 hectares, após a medição da SMa com um sensor de indução eletromagnética (Geonics EM38-MK2). As variáveis foram avaliadas e mapeadas quanto à sua distribuição espacial. A SMa na profundidade de até 50cm apresentou correlações superiores a 60% com os cátions, soma das bases e o pH do solo (*Spearman* - 95% de significância), enquanto a SMa a 1m, apresentou valores superiores à 41% com os da produtividade e areia. Os resultados demonstraram que a susceptibilidade magnética pode ser usada como preditora de alguns atributos físico-químicos auxiliando na correção do solo e avaliação do potencial produtivo para o algodão.

Palavras-chave - sensores proximais de solo, agricultura de precisão, algodão, geoestatística, fertilidade do solo.

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the use of apparent magnetic susceptibility (SMa) in the characterization of spatial variability of soil physical and chemical properties, as well as to identify places with different productive potential for cotton in Cristalina, GO, Brazil. For that, composed samples (depth of 0-20 cm) of soil were collected in 16 points in 27 hectares, after the SMa measurement with an electromagnetic induction sensor (Geonics EM38-MK2). All the variables were evaluated and mapped in terms of the spatial distribution. The SMa at depths up to 50cm showed correlations greater than 60% with cations, sum of bases and soil pH (Spearman - 95% significance), while deep SMa (up to 1m) showed values higher than 41% with the values of productivity and sand. The results showed that the magnetic susceptibility can be used as a predictor of some physicochemical attributes helping in soil correction and evaluation of productive potential for cotton crop.

Keywords - *Proximal soil sensing, precision agriculture, cotton, geostatistics, soil fertility.*

1. INTRODUÇÃO

Avaliações rápidas e precisas para entendimento e gerenciamento da variabilidade dos atributos do solo são essenciais na agricultura moderna. Especialmente em grandes áreas, onde o solo tem uso intensificado, é fundamental o tempo de coleta de informações detalhadas sobre as propriedades do solo, que auxiliam nas práticas de manutenção da fertilidade do solo e permitem o aumento da produtividade das culturas. Muitas ferramentas de gestão têm sido utilizadas, destacando-se aquelas que fornecem meios para o mapeamento da variabilidade espacial e da relação entre diferentes variáveis [1, 2].

Uma técnica normalmente utilizada para identificar a interdependência das propriedades do solo é a suscetibilidade magnética (SMa), utilizada por décadas em laboratório. A magnitude desse parâmetro depende das concentrações e características dos minerais magnéticos presentes no solo [3, 4].

Atualmente, sensores proximais por indução eletromagnética facilitam a medição, e tornam a SMa especialmente adequada para estudos que requerem muitas amostras em pouco tempo [5, 6, 7]. Fornecida simultaneamente, a condutividade elétrica do solo (CEa) também é influenciada pelas interações entre várias propriedades do solo, como salinidade, textura do solo, teor de umidade, capacidade de troca catiônica, carbono orgânico, temperatura do solo, das propriedades físicas do solo e dos nutrientes disponíveis no solo [8, 9, 10].

A geoestatística é uma das ferramentas mais utilizadas para avaliar a variabilidade espacial nas relações de causa e efeito entre as propriedades do solo e a resposta da cultura [10, 11]. A principal vantagem da geoestatística sobre o uso de parâmetros estatísticos como a média e o coeficiente de variação é sua capacidade de representar a continuidade espacial, essencial para definir com precisão os limites entre as áreas mapeadas.

Essa pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial do uso da Susceptibilidade magnética aparente (SMa) para predição de atributos químicos e físicos do solo e sua relação com a produtividade em um sistema de produção de algodão comercial, seguindo uma abordagem de mapeamento dos atributos testados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio *on-farm* foi conduzido no município de Cristalina, GO, em uma área experimental de 27,2 ha, cujas coordenadas centrais são 16º15'23"S, 47º38'13"O conforme apresentada na Figura 1. O clima na região é tropical de altitude semiúmido, com máximas no verão de 33°C e mínimas de 11,6°C no inverno. Os solos da região são predominantemente Latossolo vermelho-amarelo, com textura argilosa a muito argilosa, (48 a 67% de argila) apresentando na área experimental em média 10,5% de areia, 54,3% de argila, e 35,2% de silte. As adubações foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas para a cultura, baseadas na análise da fertilidade do solo. Durante o ciclo, a cultura foi monitorada com manejo para controle de pragas e doenças. Usou-se a cultivar FM 954 GLT, e espaçamento de 0,76 m entre linhas, semeada em dezembro/2018 e colhida em julho/2019.

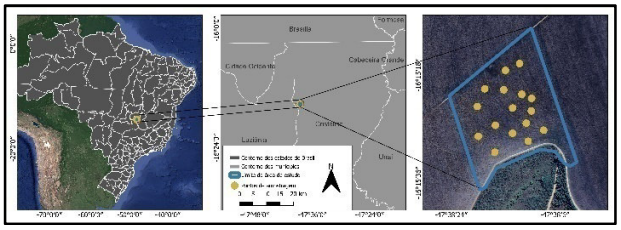


Figura 1. Localização da área de estudo em Cristalina, GO, com a representação dos pontos de coleta de solos .

Os dados de SMa e CEa foram coletados utilizando um sensor Geonics EM38-MK2 com as duas distâncias entre bobinas,sendo essas 0.5 e 1 m permitindo leituras rasas e profundas, respectivamente. A bobina de leitura rasa alcança até 0.45 m enquanto a mais profunda alcança 0.75 m de análise no solo.

Foi caracterizada a estrutura de dependência espacial dos atributos SMa e CEa, bem como argila, areia, pH, Mg K, SB, e (H +Al) por meio de ajustes de semivariogramas e em seguida foram interpolados por krigagem ordinária (KO) utilizando o pacote *gstat* do *software* R. Os atributos Ca, e P foram espacializados por meio do inverso da distância ponderada ao quadrado (IDW).

3. RESULTADOS

Os valores de estatística descritiva para os atributos de CEa e SMa bem como para os dados físico-químicos e de produtividade do algodão são exibidos na Tabela 1.

	Min	Max	Mean	Med	Var	SD	Sk	Kur
CEa 1m	113.05	133.63	127.71	131.01	44.78	6.69	-0.89	-0.85
CEa 0.5 m	0.23	0.80	0.32	0.27	0.02	0.14	2.45	5.65
SMa 1 m	1.18	1.23	1.20	1.20	0.00	0.01	0.09	-0.38
SMa 0.5 m	1.45	2.70	1.86	1.71	0.14	0.38	0.75	-0.69
Ca/Mg	1.45	2.70	1.86	1.71	0.14	0.38	0.75	-0.68
Prod	4244.9	5693.4	5020.5	4959.6	151969	389.8	-0.17	-0.92
K	57.55	150.12	95.19	86.93	484.62	22.01	0.64	0.21
Ca	1.60	3.17	2.26	2.27	0.17	0.41	0.37	-0.54
P	3.75	9.87	6.81	6.62	3.13	1.77	0.11	-1.24
Mg	-0.05	0.48	0.20	0.17	0.02	0.15	0.13	-1.06
Areia	83.64	132.15	105.42	101.76	246.02	15.68	0.27	-1.44
Argila	472.73	602.95	542.09	535.64	1754.06	41.88	-0.01	-1.40

Tabela 1. Valores médios de CEa e SMa, das características físico-químicas do solo e da produtividade do algodoeiro em área experimental na Fazenda Pamplona, GO, (amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm).

As correlações de *Spearman* entre os atributos do solo e os valores obtidos com o sensor EM38-MK2 são apresentadas na Tabela 2 com os valores de *r* de correlação significativos com 95% de significância.

	Prod	*ECa 1.0m*	*ECa 0.5m*	*SM_1 m*	*SMa 0.5m*	*pH*	*K+*	*H+ + Al+3*	*Ca+ 2*	*Mg+ 2*	*SB*
Prod	1	-0.57	-0.30	0.41	-0.06	-0.25	-0.02	0.18	0.15	-0.03	0.10
pH	-0.25	0.31	-0.20	-0.27	0.67	1	0.69	-0.90	0.70	0.32	0.72
K+	-0.02	0.47	-0.37	-0.30	0.63	0.69	1	-0.78	0.52	0.65	0.72
H+ + Al+3	0.18	-0.43	0.26	0.13	-0.64	-0.90	-0.78	1	-0.56	-0.28	-0.60
Ca+2	0.15	0.20	-0.24	-0.13	0.57	0.70	0.52	-0.56	1	0.32	0.93
Mg+2	-0.03	0.43	-0.21	-0.38	0.66	0.32	0.65	-0.28	0.32	1	0.65
SB	0.10	0.35	-0.29	-0.26	0.73	0.72	0.72	-0.60	0.93	0.65	1
CTC	0.31	-0.23	0.07	-0.06	-0.16	-0.50	-0.34	0.72	0.11	0.23	0.12
Areia	0.42	-0.21	-0.07	0.46	0.15	0.30	0.12	-0.35	0.35	-0.11	0.24
Silte	0.18	0.03	-0.09	0.22	0.39	0.20	0.14	-0.10	0.54	0.32	0.54
Argila	-0.30	0.06	0.09	-0.35	-0.34	-0.27	-0.15	0.22	-0.54	-0.19	-0.49
Ca + Mg	0.11	0.32	-0.27	-0.24	0.71	0.69	0.66	-0.56	0.94	0.63	0.99
(Ca + Mg)	0.10	-0.38	0.22	0.13	-0.14	-0.32	-0.75	0.53	0.06	-0.24	-0.12
K/Mg	0.02	0.24	-0.26	-0.03	0.20	0.62	0.72	-0.76	0.42	-0.05	0.38
Ca/Mg	0.16	-0.12	-0.09	0.17	0.06	0.46	0.02	-0.36	0.70	-0.45	0.38
(H+Al3)/K	0.02	-0.48	0.32	0.19	-0.54	-0.76	-0.93	0.82	-0.61	-0.44	-0.72
(H+Al3)/Ca	-0.06	-0.31	0.30	0.11	-0.65	-0.87	-0.71	0.81	-0.92	-0.34	-0.89

Tabela 2. Correlação de *Spearman* entre os dados de CEa e SMa e os atributos físico-químicos e de produtividade utilizando 95% de grau de significância

Para auxiliar na interpretação das interações entre a variável produtividade de algodão, atributos do solo e os dados de sensores proximais é exibido na Figura 2 um gráfico da análise de componentes principais em que pode-se observar que a produtividade está acompanhando os valores de areia e CTC, enquanto é inversamente proporcional a SMa 0.5 m.

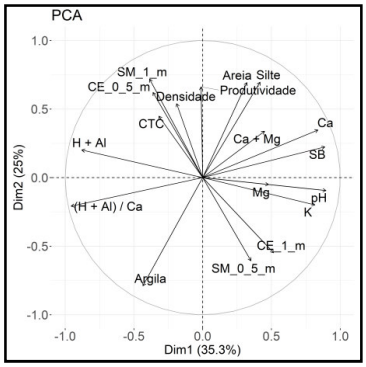


Figura 2. Pesos da análise dos componentes principais entre os dados de CEa e SMa e os atributos físico-químicos e de produtividade.

Os mapas interpolados dos valores obtidos pelo sensor estão apresentados na Figura 3.

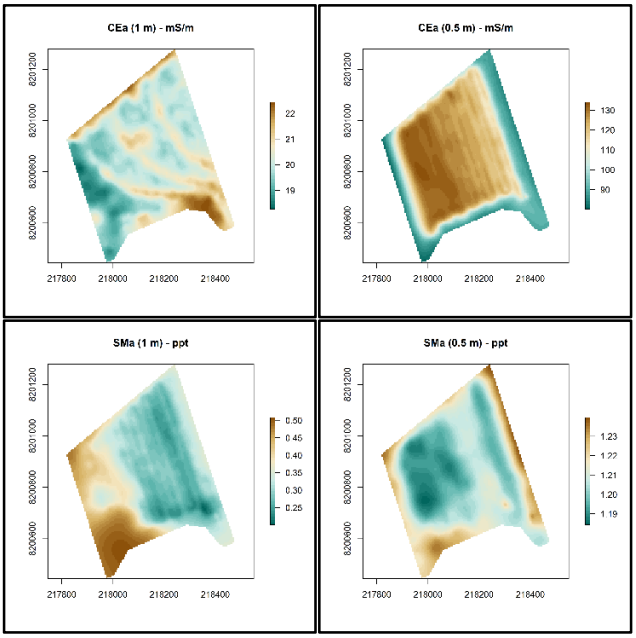


Figura 3. Mapas dos atributos CEa e SMa, obtidos antes do plantio do algodoeiro, safra 2018/2019, em Cristalina, GO, Brasil.

4. DISCUSSÃO

A variabilidade dos dados da SMa pode ser comparada ao conteúdo de potássio e magnésio na Figura 4. No solo agrícola, o pH do solo está relacionado com o teor de bases trocáveis no solo [13].

Do mesmo modo, a condutividade elétrica está relacionada com a maior concentração de íons na solução de solo, que aumenta com o crescimento dos teores dos nutrientes trocáveis [9, 10]. Assim, ambas as variáveis aumentam com o incremento dos teores de nutrientes no solo. Já os teores de H^{+}+Al^{3+} variam em sentido inverso, pois à medida que os valores das bases trocáveis e o pH aumentam, ocorre neutralização da acidez do solo [9]. Assim, é possível estimar para cada solo um valor de CEa que permite obter o pH adequado e um valor de SMa para cada valor de H^{+}+Al^{3+} que corresponda a acidez potencial aceitável.

A produtividade (Figura 5) foi influenciada pela acidez no solo em que observa-se uma tendência consistente de crescimento com o conteúdo de areia, e de redução com argila no solo, a qual foi observada em solos argilosos por diversos autores [14, 15]. Isso provavelmente ocorre devido a maior concentração de argila no solo, fazendo com que áreas com maior teor de areia apresentem melhor estruturação e portanto oxigenação do solo, aumentando a produtividade. É possível observar pelo aumento da soma das bases(SB) (Figura 4) uma menor produtividade. A SMa superficial mostrou ser boa preditora da SB no solo, auxiliando a avaliação para o manejo adequado às condições exigidas pelo algodoeiro.

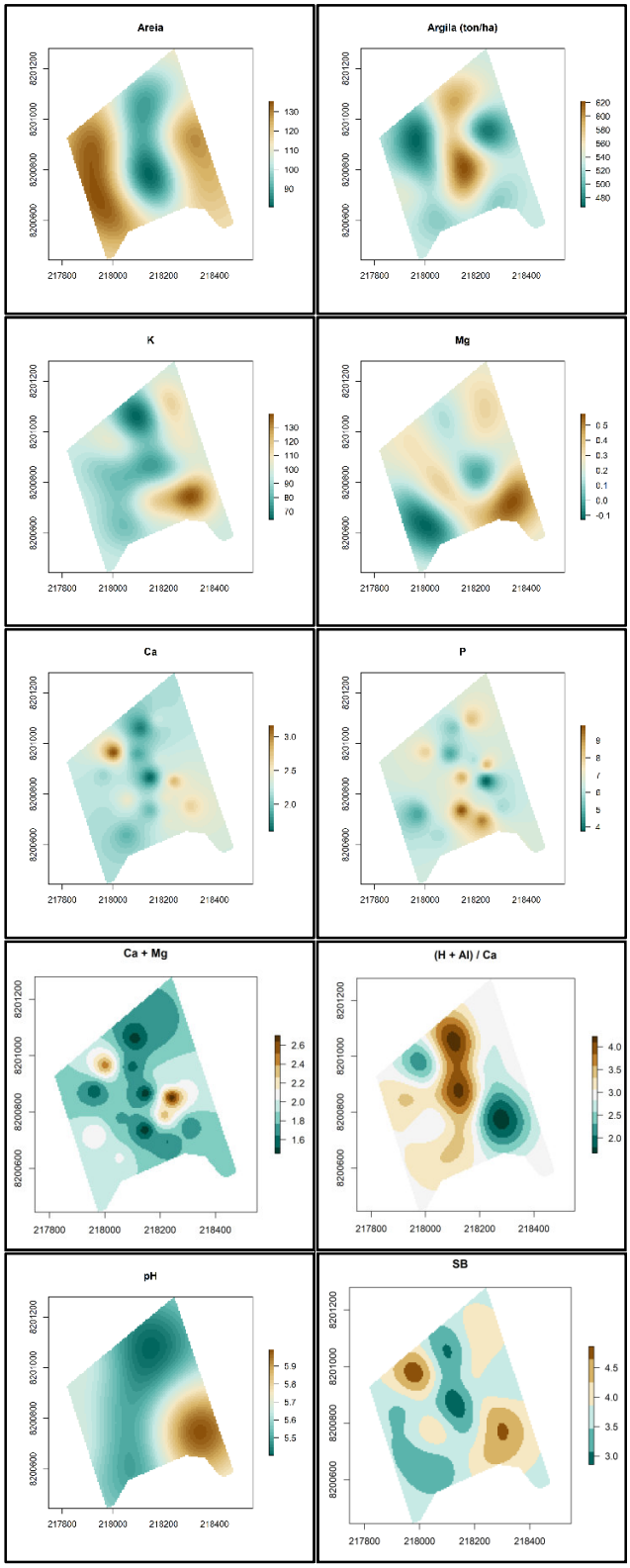


Figura 4. Mapas dos atributos físicos e químicos em solo argiloso obtidas em área experimental para o algodoeiro safra 2019 em Cristalina, GO, Brasil.

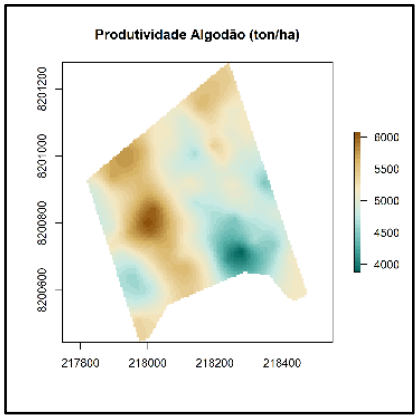


Figura 5. Mapa da produtividade do algodoeiro, obtidas em área experimental em Cristalina, GO, Brasil.

5. CONCLUSÕES

O uso da susceptibilidade magnética (SMa) na camada superficial do solo, obtida por sensor proximal em campo, mostrou-se promissora para estimativa das propriedades do solo, especialmente aquelas relacionadas à disponibilidade de K, Ca, e Mg ao algodoeiro, permitindo seu uso no manejo do solo e correção da fertilidade antes mesmo do plantio. Esses atributos apresentaram correlações significativas superiores à 63% com a SMa obtida até 50cm da camada do solo.

A SMa e a CEa mais profundos (até 1 metro entre bobinas) mostraram potencial para predição da produtividade do algodoeiro, cujas correlações (r) foram de 0,41 e -0.57, respectivamente.

O uso combinado de dados do sensor eletromagnético com a geoestatística disponibilizou formas de visualização espacial sobre a área a ser trabalhada, facilitando a análise e permitindo a aplicação de insumos em taxa variada.

8. REFERÊNCIAS

[1] D. M. Barbieri, J. Marques Junior, and G. T. Pereira. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, v.28, n.4, p.645-653, 2008.

[2] U. W. A. Vitharana, T. Saey, L. Cockx, D. Simpson, H. Vermeersch, and M. Van Meirvenne. Upgrading a 1/20,000 soil map with an apparent electrical conductivity survey. *Geoderma* 148, 107–112, 2008.

[3] J. Torrent, V. Barrón, and Q. Liu. Magnetic enhancement is linked to and precedes hematite formation in aerobic soil. *Geophysical Reearch Letters.* v. 33 L02401, 2006. Doi:/10.1029/2005GL024818

[4] K. L. Verosub, A. P. Roberts. Environmental magnetism: past, present and future. *J. Geophys. Res.* 100, 2175–2192, 1995.

[5] D. M. Barbieri, J. Marques Jr, L. R. F. Alleoni, F. J. Garbuio, and L. A. Camargo. Hillslope curvature, clay mineralogy, and phosphorus adsorption in an Alfisol cultivated with sugarcane. *Scientia Agricola.* v. 66, n.6, pp. 819–826, 2009. Doi: /10.1590/S0103-90162009000600015

[6] J. A. Dearing, K. L. Hay, S. M. K. Baban, A. S. Huddleston, E. M. H. Wellington, and P. J. Loveland. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. *Geophysical Journal International.* v.127, pp. 728–734, 1996.

[7] D. B. T. Jaynes, T. S. Colvin, and J. Ambuel. Yield mapping by electromagnetic induction. In Proc. *Of Site-Specific Management for Agricultural Systems*, 2nd ed., 383–394. P.C. Robert et al. (eds.) Minneapolis, MN: University of Minnesota Extension Service, 1995.

[8] K. A. Sudduth, C. W. Fraisse, S. T. Drummond, and N. R. Kitchen. Integrating spatial data collection, modeling and analysis for precision agriculture. Presented at the First International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, Lake Buena Vista, Florida, June 1–3. Access: http://www.fse.missouri.edu/ars/projsum/erim_3.pdf, 1998.

[9] Z. N. Brandão, J. H. Zonta, J. C Medeiros, , R. S. Sana, and G. F. Barbosa. Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás. In: R. Y. Inamasu, et al. Agricultura de precisão: um novo olhar. 1. ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação, v. 1, pp 162 – 167. 2011.

[10] J. D. Rhoades, F. Chanduvi, and S. M. Lesch. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. FAO irrigation and drainage paper 57. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1999.

[11] P. Bogaert, and D. D'Or, Estimating soil properties from thematic soil maps: the Bayesian Maximum Entropy Approach. *Soil Science Soc. Am. Journal*. v.66, pp.1492–1500, 2002.

[12] U.W.A Vitharana,. M Van Meirvenne, L Cockx, qnd J. Bourgeois,. Identifying potential management zones in a layered soil using several sources of ancillary information. *Soil Use Management*. v.22, pp.405–413. 2006.

[13] B. Van Raij. *Fertilidade do solo e adubação*. Piracicaba: Ceres - Potafos, 1991. 343 p.

[14] R. G. Peluco, J. Marques Junior, D. S. Siqueira, L. A. Cortez, and G. T. Pereira.. Magnetic susceptibility in the prediction of soil attributes in two sugarcane harvesting management systems. *Eng. Agrícol*a, v.33, n.6, p.1134-1143. 2013. Doi: /10.1590/S0100-69162013000600006.

[15] C. Jiménez, J. Benavides, D. I. Ospina-Salazar, O. Zúñiga , O. Ochoa, and C. Mosquera G. Relationship between physical properties and the magnetic susceptibility in two soils of Valle del Cauca. *Revista de Ciencias Agrícolas*. v. 34, n. 2, pp.33-45. 2017 Doi: /10.22267/rcia.173402.70