

## CONDUTIVIDADE ELÉTRICA COMO FERRAMENTA NO MANEJO POR SÍTIO ESPECÍFICO DE ATRIBUTOS DO SOLO

EDUARDO LEONEL BOTTEGA<sup>1\*</sup>, ALICIA BAUMHARDT DORNELES<sup>2</sup>, EDER LUÍS SARI<sup>3</sup>, TELMO JORGE CARNEIRO AMADO<sup>4\*</sup>, ZANANDRA BOFF DE OLIVEIRA<sup>1</sup>

\* Bolsista de Produtividade do CNPq.

<sup>1</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, campus de Cachoeira do Sul (UFSM-CS), (51) 3724 8427, [bottega.elb@gmail.com](mailto:bottega.elb@gmail.com); [zanandraboff@gmail.com](mailto:zanandraboff@gmail.com)

<sup>2</sup> Graduanda em Engenharia Agrícola, UFSM-CS, (51) 3724 8427, [lilib.dorneles@hotmail.com](mailto:lilib.dorneles@hotmail.com)

<sup>3</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão (PPGAP-UFSM), (51) 3724 1688, [eder.luisari@gmail.com](mailto:eder.luisari@gmail.com)

<sup>4</sup> Doutor em Ciência do Solo, UFSM campus Sede, Santa Maria/RS, (55) 3220 8273, [ppgap@politecnico.ufsm.br](mailto:ppgap@politecnico.ufsm.br)

Apresentado no  
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019  
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

**RESUMO:** Um dos problemas associados ao mapeamento da variabilidade espacial de atributos é a necessidade de utilização de malha amostral densa. Para solucionar este problema, uma técnica vem sendo muito estudada, trata-se da geração de zonas para fins de manejo diferenciado. Devido sua praticidade e confiabilidade, a condutividade elétrica aparente do solo (CEa) tem sido utilizada como estimador indireto da variabilidade existente em um campo de produção. Este trabalho teve como objetivo estudar a delimitação de zonas de manejo, a partir da mensuração da CEa utilizando o equipamento comercial Terram, da Falker Automação Agrícola. Zonas de manejo delimitadas com base na condutividade elétrica aparente do solo foram capazes de diferenciar os teores de argila (%), potássio (K, mg L<sup>-1</sup>), cálcio (Ca, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), soma de bases (SB, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), capacidade de troca de cátions efetiva (t, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) e capacidade de troca de cátions á pH 7 (T, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>).

**PALAVRAS-CHAVE:** agricultura de precisão, variabilidade espacial, zonas de manejo.

### ELECTRICAL CONDUCTIVITY AS A TOOL FOR SOIL ATTRIBUTE MANAGEMENT IN A SITE-SPECIFIC

**ABSTRACT:** One of the problems associated with the mapping of the spatial variability of attributes is the use of dense grid sample. To solve this problem, a technique has been much studied, it is the delimitation management zones. Due to its practicality and reliability, the apparent electrical conductivity of the soil (ECa) has been used as an indirect estimate of the variability in a field of production. This study had as objective to study the delimitation of management zones, from the ECa measurement using the Terram commercial model from Falker Agricultural Automation. Based on the apparent electrical conductivity of the soil, it was possible to differentiate the clay content (%), potassium (K, mg L<sup>-1</sup>), calcium (Ca, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), sum of bases (SB, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), effective cation exchange capacity (t, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) and cation exchange capacity at pH 7 (T, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>).

**KEYWORDS:** precision agriculture, spatial variability, management zones.

**INTRODUÇÃO:** O mapeamento da variabilidade de atributos do solo relacionados à produtividade das culturas pode contribuir com o incremento na produção agrícola, isso porque proporcionam ao produtor rural um controle específico e localizado dos fatores limitantes da produção. Alguns trabalhos têm demonstrado a aplicabilidade e eficiência do uso da variabilidade espacial na agricultura (AMARE et al., 2013; ZHANG et al., 2010). Tradicionalmente a variabilidade espacial de atributos do solo é obtida mediante amostragem e análise laboratorial. A amostragem é realizada com base em pontos de coleta distribuídos na área, formando uma grade ou grid. Os custos envolvidos com amostragem e análise podem inviabilizar a utilização de técnicas de manejo localizado, pois exigem um grande número de amostras de solo para obter uma boa representação de propriedades do solo e fertilidade (PERALTA; COSTA 2013; HUANG et al., 2014). Para solucionar este problema, uma técnica vem sendo muito estudada, trata-se da geração de zonas para fins de manejo diferenciado. De acordo com FU et al. (2010) o manejo por zonas tem por finalidade realizar um manejo diferenciado, voltado principalmente para correção e adubação do solo, considerando a variabilidade espacial dos nutrientes. Devido sua praticidade e confiabilidade, a condutividade elétrica aparente do solo (CEa) tem sido utilizada como estimador indireto da variabilidade existente em um campo de produção (CORWIN; LESCH, 2003), em função de sua amostragem ser rápida e de baixo custo, esta variável apresenta potencial como delimitadora de zonas de manejo. Este trabalho teve como objetivo estudar a delimitação de zonas de manejo, a partir da mensuração da CEa utilizando o equipamento comercial Terram, da Falker Automação Agrícola.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O trabalho foi realizado em uma área comercial de produção de grãos, localizada no município de Cachoeira do Sul/RS, com coordenadas geográficas centrais de 30°17'24" de latitude Sul e 53°00'44" de longitude Oeste. A área apresenta 25,8 hectares, sendo o solo classificado como Argissolo Vermelho (EMBRAPA, 2013). As leituras de condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foram realizadas utilizando o equipamento comercial Terram, produzido pela empresa Falker Automação Agrícola LTDA. O equipamento é constituído por um chassi onde são montados quatro discos de corte igualmente espaçados em 0,25 metros. Os discos internos atuam como eletrodos potenciais e os externos como eletrodos de corrente. A condutividade elétrica do solo é obtida a partir do inverso da resistividade elétrica do solo mensurada pela diferença potencial entre a corrente emitida e aquela recebida. Os dados coletados foram gravados no sistema Fieldbox, de fabricação da mesma empresa. Após as leituras, um arquivo no formato "csv" foi gerado, servindo de banco de dados para as análises geoestatísticas e estatísticas posteriores. Inicialmente os dados coletados foram filtrados aplicando-se o método IQR (*Inter Quartile Range*), visando remover valores discrepantes (LIBARDI et al., 1996). A dependência espacial da CEa foi avaliada pelo ajuste de variogramas, pressupondo a estacionaridade da hipótese intrínseca. O mapa temático da distribuição espacial da CEa foi produzido por meio de krigagem ordinária. Após a realização da krigagem ordinária, os dados foram agrupados em duas classes, para produzir o mapa de zonas de manejo. O agrupamento foi realizado utilizando o algoritmo fuzzy k-means. O mapa de pontos de coleta de solo foi sobreposto ao mapa de zonas de manejo, assim foi possível identificar pontos pertencentes às classes 1 e 2 (ZM 1 e ZM 2). O solo foi amostrado na profundidade de 0,0-0,2 metros e enviado para análise laboratorial de rotina. Em cada ponto foram coletadas cinco amostras simples, em um raio de três metros do ponto amostral. As amostras foram misturadas e foi retirada uma amostra composta, que caracterizou o solo no respectivo ponto. Foi realizado teste de médias t ( $p < 0,05$ ) entre os valores de atributos do solo, em função das zonas de manejo onde cada

ponto amostral foi localizado. A análise estatística foi realizada no programa Statistica, versão 7. Para a análise geoestatística utilizou-se o programa de computador GS+, versão 7. Os mapas temáticos foram gerados utilizando o programa Surfer, versão 8.0.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A CEa apresentou variabilidade espacial na área estudada. Foi ajustado o modelo Esférico, apresentando como parâmetros:  $C_0$ : 0,51;  $C_0+C$ : 1,19;  $A$ : 445 e  $R^2$ : 0,99. Na Figura 1 está apresentado o mapa de variabilidade espacial da CEa mensurada com o Terram (Fig. 1a) e a composição entre os mapas de zonas de manejo (ZM 1 e ZM 2) e o mapa de pontos amostrais de solo (Fig. 1b). O ponto amostral 11 não foi utilizado no teste de médias por estar localizado sobre a linha limítrofe entre as zonas de manejo. A CEa apresentou variabilidade espacial, possibilitando a delimitação de zonas de manejo.

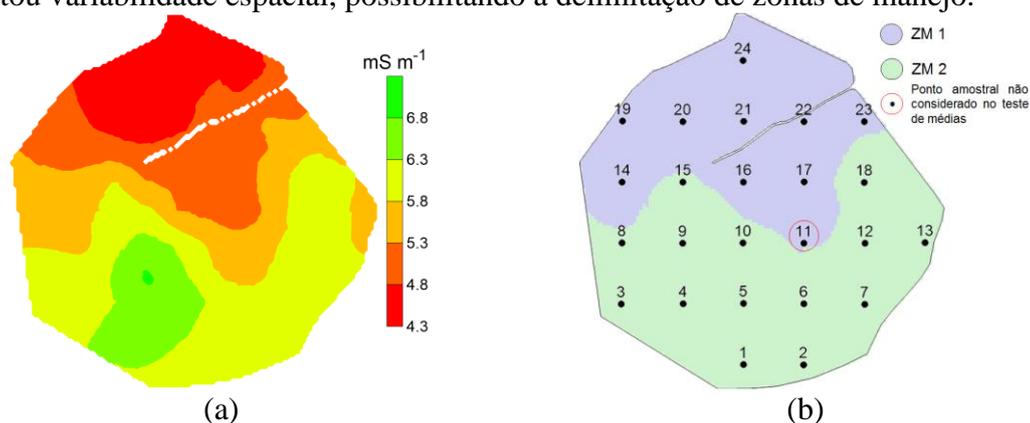


FIGURA 1. Mapa temático da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (a). Zonas de manejo e pontos amostrais de coleta de solo (b).

Na Tabela 1 é apresentado o resultado do teste de médias dos atributos do solo, em função da zona de manejo onde se localizam os pontos amostrais. As zonas de manejo delimitadas com base na variabilidade espacial da CEa, mensurada com o equipamento comercial Terram, foram capazes de diferenciar os atributos do solo: Argila, Potássio (K), Cálcio (Ca), Soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e CTC a pH 7 (T). Estes resultados podem ser explicados pela forma como o solo conduz eletricidade, que, de acordo com RHODES et al. (1999) ocorre por três vias: sólida (contato contínuo de partículas de solo), líquida (via sólidos dissolvidos contidos na água do solo ocupando os grandes poros) e sólido-líquido (principalmente via cátions trocáveis associados com minerais de argila).

TABELA 1. Teste de médias t para os valores de atributos do solo em cada zona de manejo.

Atributos do solo	$W^{(1)}$		$N^{(2)}$		Médias		t valor	g.l.	p
	ZM 1	ZM 2	ZM 1	ZM 2	ZM 1	ZM 2			
CEa ( $mS\ m^{-1}$ )	0,93 <sup>ns</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	14	9	6,15	5,10	2,49	21	<b>0,02</b>
Argila (%)	0,92 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	14	9	35,21	32,00	2,64	21	<b>0,02</b>
Areia (%)	0,92 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	14	9	44,71	47,67	-1,84	21	0,08
Silte (%)	<b>0,84*</b>	0,95 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-	-
M.O. (%)	0,96 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	14	9	2,37	2,24	1,10	21	0,28
$V^{(3)}$ (%)	0,94 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	14	9	59,69	54,91	1,04	21	0,31
$m^{(4)}$ (%)	0,98 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	14	9	3,81	3,60	0,19	21	0,85
pH (água)	<b>0,85*</b>	0,95 <sup>ns</sup>	-	-	-	-	-	-	-
P ( $mg\ L^{-1}$ )	0,93 <sup>ns</sup>	0,93 <sup>ns</sup>	14	9	38,59	44,53	-0,71	21	0,49
K ( $mg\ L^{-1}$ )	0,94 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	14	9	199,79	162,78	2,22	21	<b>0,04</b>

<b>Ca (cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	0,96 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	14	9	5,37	4,28	2,69	21	<b>0,01</b>
Mg (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,90 <sup>ns</sup>	0,97 <sup>ns</sup>	14	9	1,94	1,74	1,24	21	0,23
H+Al (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,98 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	14	9	5,42	5,23	0,27	21	0,79
<b>SB<sup>(5)</sup> (cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	0,91 <sup>ns</sup>	0,91 <sup>ns</sup>	14	9	7,81	6,46	2,38	21	<b>0,03</b>
Al (cmol <sub>c</sub> L <sup>-1</sup> )	0,95 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	14	9	0,29	0,21	1,08	21	0,29
<b>t<sup>(6)</sup> (cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	0,92 <sup>ns</sup>	0,90 <sup>ns</sup>	14	9	8,11	6,67	2,75	21	<b>0,01</b>
<b>T<sup>(7)</sup> (cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>)</b>	0,99 <sup>ns</sup>	0,95 <sup>ns</sup>	14	9	13,22	11,64	2,77	21	<b>0,01</b>

<sup>(1)</sup>W: Teste de Shapiro-Wik (\*distribuição não normal; <sup>ns</sup>distribuição normal). <sup>(2)</sup>N: número de pontos amostrais. <sup>(3)</sup>V: Saturação de bases. <sup>(4)</sup>m: Saturação de alumínio. <sup>(5)</sup>SB: Soma de bases. <sup>(6)</sup>CTC efetiva. <sup>(7)</sup>CTC pH 7.

**CONCLUSÕES:** Zonas de manejo delimitadas com base na condutividade elétrica aparente do solo foram capazes de diferenciar os teores de argila (%), potássio (K, mg L<sup>-1</sup>), cálcio (Ca, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), soma de bases (SB, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>), capacidade de troca de cátions efetiva (t, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>) e capacidade de troca de cátions á pH 7 (T, cmol<sub>c</sub> L<sup>-1</sup>).

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de pesquisa. A empresa CAMPEAR Engenharia Agrônômica LTDA e a empresa FALKER Automação Agrícola.

#### REFERÊNCIAS:

- AMARE, T.; TEREFE, A.; SELASSIE, Y.G.; YITAFERU, B.; WOLFGRAMM, B.; HURNI, H. Soil properties and crop yields along the terraces and toposequece of anjeni watershed, central highlands of Ethiopia. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, n. 2, p.134-144, 2013.
- CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. **Agronomy Journal**, v.95, n. 3, p. 471-471. 2003.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica. 353p. 2013.
- FU, Q.; WANG, Z.; JIANG, Q. Delineating soil nutrient management zones based on fuzzy clustering optimized by PSO. **Mathematical and Computer Modelling**, v.51, p.1299-1305, 2010.
- HUANG, J.; NHAN, T.; WONG, V.N.L.; JOHNSTON, S.G.; LARK, R.M.; TRIANTAFILIS, J. Digital soil mapping of a coastal acid sulfate soil landscape. **Soil Research**, 52, 327–339, (2014).
- LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; MORAES, S.O. TUON, R.L. Variabilidade da umidade gravimétrica de um solo hidromórfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 20, n.1, p. 1-12, 1996.
- PERALTA, N.R.; COSTA, J. L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. **Computers and Electronics in Agriculture**, 99, 218–226, (2013).
- RHOADES, J.D.; CORWIN, D.L.; LESCH, S.M. **Geospatial measurements of soil electrical conductivity to assess soil salinity and diffuse salt loading from irrigation**. In: Corwin, D.L., Loague, K., Ellsworth, T.R. (Eds.), *Assessment of Non-point Source Pollution in the Vadose Zone*. Geophysical Monograph, 108. American Geophysical Union, Washington, DC, USA, pp. 197–215. 1999.
- ZHANG, X.; SHI, L.; JIA, X.; SEIELSTAD, G.; HELGASON, C. Zone mapping application for precision-farming: a decision support tool for variable rate application. **Precision Agriculture**, v.11, p.103–114, 2010.