

Variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente ao longo do perfil do solo de vinhedos comerciais

Bruno Ricardo Silva Costa¹; Larissa Godarelli Farinassi²; Ladislau Marcelino Rabello³; Carlos Manoel Pedro Vaz⁴; Luís Henrique Basso⁵

¹Eng^o Agrônomo, Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - FCA, UNESP, Botucatu - SP. bruno.ricardo.silva@hotmail.com / (11) 9 8574-3364; ²Eng^a Agrônoma, Doutoranda em Agronomia (Irrigação e Drenagem) - Depto. de Engenharia Rural e Socioeconomia, FCA, UNESP, Botucatu - SP; ³Eng^o Elétrico, Pesquisador - Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP; ⁴Físico, Pesquisador - Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP; ⁵Eng^o Agrônomo, Pesquisador - Embrapa Instrumentação, São Carlos - SP

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão- ConBAP 2022
Campinas, SP, 09 a 11 de agosto de 2022

RESUMO: A caracterização da variabilidade espacial da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) de vinhedos comerciais a partir do sensoriamento proximal dessa propriedade em diferentes intervalos de profundidade do perfil é apresentada nesse estudo. Medidas de CEa, representativas dos intervalos de profundidade de 0-0,20, 0-0,40, 0-0,50 e 0-1,00 m, foram feitas a partir da superfície do solo em dois vinhedos comerciais utilizando um medidor portátil desenvolvido pela Embrapa Instrumentação e o sensor EM38-MK2. A dependência espacial da CEa foi avaliada por meio de análise geoestatística, seguida da predição espacial por krigagem ordinária. Os valores estimados da CEa foram normalizados e classificados para delimitação de zonas homogêneas (ZH) e elaboração de mapas categóricos deste atributo. A magnitude da associação espacial entre as regionalizações da CEa em intervalos de profundidades distintos foi realizada pelo cálculo de indicadores de concordância implementados para comparação de mapas temáticos. A CEa apresenta variabilidade espacial ao longo do perfil do solo, porém o padrão de distribuição de ZH desse atributo nos vinhedos é variável conforme o intervalo de profundidade e a área avaliada. A maior concordância entre os mapas categóricos de CEa correspondentes aos intervalos de profundidades superficiais do solo (0-0,20 e 0-0,40 m) indicam que essas camadas podem apresentar semelhança quanto aos seus atributos físico-químicos.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento proximal; Comparação de mapas; Vitivinicultura

SPATIAL VARIABILITY OF APPARENT ELECTRICAL CONDUCTIVITY WITHIN THE SOIL PROFILE OF COMMERCIAL VINEYARDS

ABSTRACT: This study characterizes the spatial variability of soil apparent electrical conductivity (ECa) within commercial vineyards through proximal sensing of this property at different depths. ECa measurements comprising four depths ranges, 0-0.20, 0-0.40, 0-0.50, and 0-1.00 m, were taken in two commercial vineyards using a portable meter developed by Embrapa Instrumentation and the EM38-MK2 sensor. The spatial dependence of ECa was evaluated through geostatistical analysis, followed by the spatial prediction by ordinary kriging. The estimated ECa values were normalized and categorized to define homogeneous zones (HZ) and produce categorical maps of this attribute. The magnitude of the spatial association between the ECa regionalizations at different depths ranges was performed by calculating concordance indicators to compare thematic maps. ECa presents spatial variability throughout the soil profile, but the HZ distribution across the vineyards varies according to the soil depth and field. The major agreement between categorical maps of ECa at the surface depth ranges (0-0.20 e 0-0.40 m) indicates that these soil layers may present equivalent physicochemical attributes.

KEYWORDS: Proximal sensing; Map comparison; Winegrowing

INTRODUÇÃO: Dentre as propriedades do solo passíveis de mapeamento, a condutividade elétrica aparente (CEa) assume destaque, uma vez que a sua medida se coaduna com demais atributos físico-químicos de importância para a agricultura. Neste sentido, a identificação da dependência espacial da CEa torna-se uma ferramenta essencial para a implementação de práticas de agricultura de precisão (AP), no intuito de elevar a eficiência produtiva e rentabilidade das culturas agrícolas, conforme a adoção de práticas de manejo sítio

específico, quando necessário. A aplicação dessa abordagem torna-se especialmente relevante para agregar valor em culturas de alto retorno econômico, a exemplo do cultivo de variedades de videiras voltadas para a produção de vinho, ou vitivinicultura. Porém, uma vez que essas culturas são perenes o seu sistema radicular explora maiores profundidades do solo, o que justifica a descrição das propriedades dos seus demais horizontes. Desta forma, este estudo teve como objetivo caracterizar a variabilidade espacial da CEa ao longo do perfil do solo de vinhedos comerciais e investigar se existem diferenças quanto à concordância entre os mapas categóricos desse atributo em intervalos de profundidade distintos.

MATERIAIS E MÉTODOS: O monitoramento da CEa do solo foi realizado em dois vinhedos comerciais (A e B) cultivados com as videiras cv. Syrah (*Vitis vinifera* L.). Os vinhedos localizaram-se nas seguintes coordenadas: 21°17'24,63"S e 47°50'46,86"O, 726 m de altitude (vinhedo A); 21°42'40,59"S e 46°55'58,37"O, 825 m de altitude (vinhedo B). As videiras foram cultivadas no espaçamento de 2,80 x 1,0 m (vinhedo A) e 2,50 x 1,0 m (vinhedo B) entre fileiras e plantas, respectivamente, e conduzidas em sistema de espaldeira vertical, com poda de formação do tipo cordão Royat bilateral. As medidas de CEa do solo corresponderam a quatro intervalos de profundidades (0-0,20, 0-0,40, 0-0,50 e 0-1,00 m) e foram tomadas por meio de sensoriamento proximal, em uma única ocasião, durante o ciclo de formação da cultura (outubro de 2019), de acordo com o manejo da dupla poda anual. Foi utilizado o medidor portátil descrito por Rabello (2009) para a realização de medidas de CEa a 0-0,20 e 0-0,40 m em 321 e 275 pontos distribuídos ao longo dos vinhedos A e B, respectivamente. Essas medidas foram georreferenciadas no momento de sua coleta, utilizando-se o receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) HiPer GGD (TOPCON, Pleasanton, CA, EUA). Por sua vez, foi utilizado o sensor EM38-MK2 (Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canadá) para a medida da CEa a 0-0,50 e 0-1,00 m. Esses dados também foram georreferenciados no momento da sua medida, porém foram coletados de forma contínua, deslocando o sensor ao longo das fileiras de plantas. No total, 19.155 e 17.587 pontos amostrais foram coletados por essa técnica nos vinhedos A e B, nesta ordem. Os dados de CEa coletados por ambos os equipamentos foram submetidos a uma etapa de pré-processamento, para o cálculo de medidas numéricas descritivas de tendência central (média, \bar{x}) e variabilidade (desvio padrão, s_d), seguida pela remoção das observações discrepantes (*outliers e inliers*), conforme o protocolo descrito por Córdoba et al. (2016). Após o pré-processamento dos dados, a variabilidade espacial da CEa foi caracterizada por meio de análise geoestatística, utilizando-se o *software* Vesper versão 1.6 (Minasny et al., 2005). Foram ajustados semivariogramas teóricos isotrópicos (ajuste global) para os dados de CEa referentes aos intervalos de profundidades de 0-0,20 e 0-0,40 m, escolhendo modelos específicos, cujo melhor ajuste foi determinado conforme o menor valor da raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE). No caso das camadas de 0-0,50 e 0-1,00 m, devido a densidade amostral (> 5.000 pontos), foram ajustados semivariogramas locais (ajuste local) para os dados de CEa adotando-se o modelo exponencial para este fim, definido conforme a Equação 1.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1[1 - \exp(-3 h/a)], \text{ para: } 0 < h < d \text{ (1)}$$

onde: $\gamma(h)$: valor da semivariância para o modelo ajustado, C_0 : efeito pepita; C_1 : patamar; a : alcance; h : distância e d : máxima distância na qual o semivariograma é definido.

Após o ajuste dos semivariogramas, a predição espacial da CEa foi feita por krigagem ordinária, a partir da técnica de variogramas delimitados por uma janela móvel (Haas, 1990). Foi adotado o método de krigagem em blocos, com dimensões espaciais de 5 x 5 m, considerando as grades regulares para interpolação com resolução espacial de 0,50 m, definidas a partir dos limites de cada vinhedo. Por fim, no pós-processamento dos dados, os resultados interpolados dos IV foram importados no *software* SIG (Sistema de Informações Geográficas) QGIS versão 3.10.0 (*QGIS Development Team*, 2019). Assim, os dados interpolados foram transformados segundo a normalização pela média, o que resultou no cálculo de escores padrões conforme a Equação 2.

$$z_{ij} = (x_{ij} - x_{mj}) / s_j \text{ (2)}$$

onde: z_{ij} e x_{ij} : escore padrão e valor correspondente a i -ésima observação, respectivamente, da CEa estimada para a j -ésima profundidade do solo; x_{mj} : valor médio da CEa pertinente a j -ésima profundidade de solo; s_j : desvio padrão da CEa referente a j -ésima profundidade do solo.

Na sequência, foram produzidos mapas categóricos (temáticos) a partir da delimitação de zonas homogêneas (ZH) da CEa do solo em cada profundidade por meio da classificação dos valores normalizados em duas categorias definidas de acordo com os valores negativos (ZH1, $z_i < 0$) e positivos ($z_i > 0$) do escore padrão. Após a classificação dos dados, as ZH distribuídas ao longo dos vinhedos foram representadas sobre grades hexagonais. Por fim, para avaliar a concordância entre as regionalizações da CEa ao longo do perfil do solo, o nível de associação espacial entre as ZH definidas em cada mapa referente aos diferentes intervalos de profundidade foi determinada por meio da medida teórica-informativa denominada *V-measure* (Nowosad e Stepinski 2018). Esta medida mensura o grau de conformidade entre mapas categóricos e varia entre 0 (ausência de concordância) e 1 (concordância perfeita). O cálculo da medida mencionada foi realizado utilizando-se a linguagem de programação R versão 3.6.2 e as funções implementadas na biblioteca “sabre” (*Spatial Association Between REgionalizations*, versão 0.4.0).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Na Figura 1 são apresentados os mapas categóricos elaborados a partir das medidas de CEa ao longo do perfil do solo em ambos os vinhedos avaliados. A análise geoestatística permitiu a identificação da variabilidade espacial da CEa e a delimitação de ZH distintas a partir das predições deste atributo. Esta caracterização pode ser útil para a identificação da inconstância dos vinhedos quanto às suas propriedades físico-químicas do solo (Rodríguez-Pérez et al., 2011), bem como em relação às condições fisiológicas das videiras, a exemplo do seu conteúdo de água (Yu et al, 2021). Nesse sentido, a discretização do vinhedo a partir da variabilidade espacial do solo e das plantas pode ser adotada como um *proxy* para guiar a implementação de práticas de AP na vitivinicultura, conforme demonstrado por Bramley et al. (2011). A Tabela 1 resume os resultados da medida de associação espacial entre os mapas categóricos correspondentes a cada intervalo de profundidade avaliado em cada área. Dentre todas as comparações realizadas, foi observado que as camadas superficiais do solo apresentaram maior concordância entre si quanto à distribuição de ZH da CEa nos dois vinhedos. Isso indica que os intervalos de profundidade de 0-0,20 e 0-0,40 m podem ser semelhantes no que se refere aos atributos físico-químicos do solo, especialmente no vinhedo B (*V-measure* = 0,71). Contudo, independente do vinhedo, o nível de concordância entre os mapas categóricos reduziu a medida em que a caracterização da variabilidade espacial da CEa se aprofundou no perfil. Assim, características intrínsecas das camadas de solo de cada área monitorada, em especial daquelas localizadas a 1,0 m, podem estar relacionadas ao nível de discrepância na variabilidade da CEa, uma vez que esse atributo varia espacialmente de forma proporcional a outros atributos do solo (Caroll e Oliver, 2005).

FIGURA 1. Mapas categóricos de valores interpolados normalizados da CEa do solo medida em diferentes intervalos de profundidade. **Thematic maps of the standardized interpolated values of soil ECa at different depth ranges.**

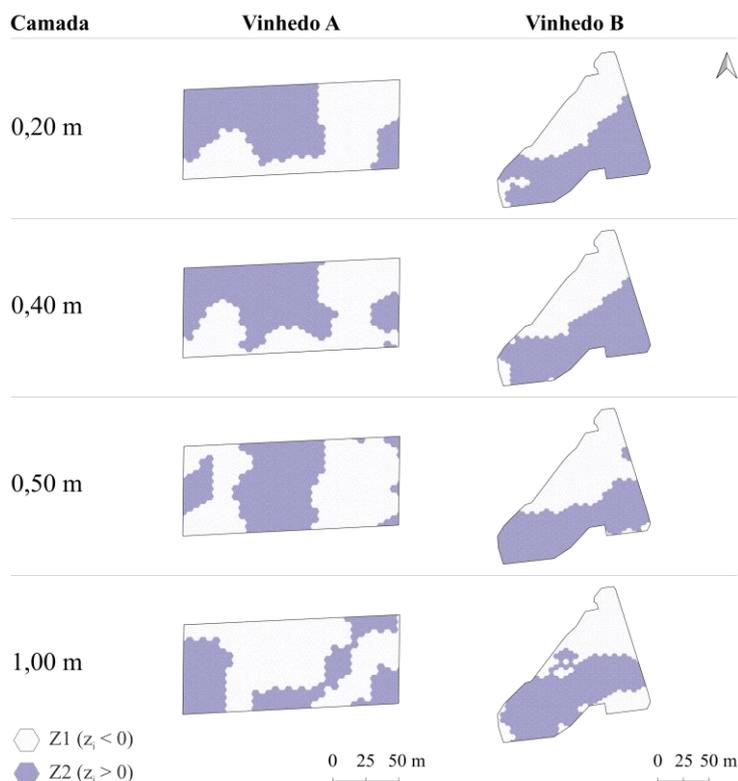


TABELA 1. Indicador de concordância espacial (*V-measure*) entre mapas categóricos da CEa do solo medida em diferentes intervalos de profundidade. **Indicator of spatial agreement (*V-measure*) between categorical maps of soil ECa at different depth ranges.**

Profundidade	<i>V-measure</i>							
	Vinhedo A				Vinhedo B			
	0-0,20 m	0-0,40 m	0-0,50 m	0-1,00 m	0-0,20 m	0-0,40 m	0-0,50 m	0-1,00 m
0-0,20 m	1,00	-	-	-	1,00	-	-	-
0-0,40 m	0,49	1,00	-	-	0,71	1,00	-	-
0-0,50 m	0,17	0,15	1,00	-	0,48	0,45	1,00	-
0-1,00 m	0,02	0,06	0,01	1,00	0,14	0,17	0,15	1,00

CONCLUSÃO: A CEa apresenta variabilidade espacial ao longo do perfil do solo de vinhedos comerciais, porém a magnitude da concordância entre os mapas categóricos desse atributo é dependente da profundidade e da área em que foi monitorada. Camadas superficiais do solo (0-0,20 e 0-0,40 m) apresentam uma maior similaridade entre si quanto a variabilidade espacial da CEa, indicando uma possível semelhança no que se refere aos atributos físico-químicos do solo.

AGRADECIMENTOS:

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de estudos. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro. À Rede

de Agricultura de Precisão da Embrapa, pelo suporte técnico. Às Vinícolas Casa Verrone e Terras Altas, pela concessão das áreas experimentais.

REFERÊNCIAS

- BRAMLEY, R., TROUGHT, M. and PRAAT, J.-P. Vineyard variability in Marlborough, New Zealand: characterizing variation in vineyard performance and options for the implementation of Precision Viticulture. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.17, p.72-78, 2011.
- CARROLL, Z.L.; OLIVER, M.A. Exploring the spatial relations between soil physical properties and apparent electrical conductivity. **Geoderma**, v.128, p.354-374, 2005.
- CÓRDOBA, M.A.; BRUNO, C.I.; COSTA, J.L.; PERALTA, N.R.; BALZARINI, M.G. Protocol for multivariate homogeneous zone delineation in precision agriculture. **Biosystem Engineering**, v.143, p.95-107, 2016.
- HAAS, T.C. Kriging and automated variogram modeling within a moving window. **Atmospheric Environment. Part A. General Topics**, v.24, n.7, p.1759-1769, 1990.
- MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; WHELAN, B.M. **Vesper version 1.62**. Sydney: Australian Centre for Precision Agriculture. 2005.
- NOWOSAD, J.; STEPINSKI, T.F.; Spatial association between regionalizations using the information-theoretical V-measure. **International Journal of Geographical Information Science**, p.1-16, 2018.
- RABELLO, L.M. **Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 19 p. (Documentos, 43)
- RODRÍGUEZ-PÉREZ, J.R.; PLANT, R.E.; LAMBERT, J.J.; SMART, D.R. Using apparent soil electrical conductivity (ECa) to characterize vineyard soils of high clay content. **Precision Agriculture**, v.12, p.775-794, 2011.
- YU, R.; ZACCARIA, D.; KISEKKA, I; KURTURAL, K. Soil apparent electrical conductivity and must carbon isotope ratio provide indication of plant water status in wine grape vineyards. **Precision agriculture**, v.22, p.1333-1352, 2021.