

Calibração de condutímetro de solo para zoneamento de disponibilidade de água em Latossolo Bruno

Soil conductivity meter calibration for zoning of water availability in Latosolo Bruno

Luciano Gebler¹, David José Miquelutti², Josieli Aparecida Fortuna³, Mateus Foscarin Montanari⁴, Diego Silva Fortuna⁵, Rodrigo Moreira Hoffmann⁶

¹ Pesquisador, Embrapa Uva e Vinho, Vacaria (RS), Brasil, luciano.gebler@embrapa.br

² Professor, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages (SC), Brasil, david.miquelutti@udesc.br

³ Engenheira Agrônoma, Vacaria (RS), Brasil, josieli@chapadagraos.com.br

⁴ Engenheiro Agrônomo, Autônomo, Vacaria (RS), Brasil, Mateusfoscarin.agro@gmail.com

⁵ Engenheiro Agrônomo, Vacaria (RS), Brasil, dsl.fortun@gmail.com

⁶ Engenheiro Agrônomo, Lagoa Vermelha (RS), Brasil, rodrigo_moreirahb@hotmail.com

RESUMO

A definição das zonas de manejo tem sido um grande desafio enfrentado pela agricultura de precisão. Dentro dessa premissa se encontra o gerenciamento de água disponível às plantas, dada a importância que ela representa como maior limitante para o seu desenvolvimento. Dentre as possíveis ferramentas de apoio a esta avaliação, encontram-se métodos indiretos, sendo o uso da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) um dos principais utilizados pela agricultura de precisão. Entretanto, como o método fornece uma leitura indireta da situação do ambiente, tem havido problemas de significância de seus resultados, com pouca compreensão por parte dos técnicos sobre os mapas gerados. Uma vez que a CEa tem correlação alta com a textura do solo, principalmente argila, salinidade e disponibilidade hídrica, foi possível estabelecer uma condição onde o único fator variante seria a disponibilidade de água no solo, permitindo a geração de curvas que representassem a situação do estoque de água no perfil com base na informação da CEa. O objetivo deste trabalho foi gerar um método de calibração da condutividade elétrica aparente do solo na determinação de classes de umidade, pensando em diferentes regiões e tipos de solo característicos. Foram utilizadas duas áreas cobertas de 220 m², isolando a entrada de água externa antes e durante o experimento, situadas em duas propriedades rurais sobre Latossolo Bruno, característico da região de Vacaria/RS, permitindo avaliar o comportamento do experimento em dois diferentes níveis de argila no solo, 35% e 66%. Cada uma das estruturas foi dividida internamente em quatro parcelas de 5,0 x 5,0 m consideradas áreas-tampão, com um quadrado de um m² centralizado onde seria feito o aporte de água e medição da condutividade. O teste consistiu no monitoramento semanal da condutividade elétrica, com leituras aos 0,2 m e 0,4 m de profundidade, 48 horas após os tratamentos receberem água em doses controladas, 0, 15, 25 e 35 mm, com periodicidade semanal ao longo de um ano. Com base nos resultados obtidos, foi possível gerar uma escala de valores delimitando níveis diferentes de disponibilidade hídrica para os Latossolos Brunos da região de Vacaria/RS, permitindo a geração de mapas de manejo para o manejo da água com base na CEa para essa região. Palavras-chave: zoneamento de potencial produtivo; água no solo; física do solo; manejo do solo.

ABSTRACT

Defining management zones has been a major challenge faced by Precision Agriculture (PA). This includes the management of water availability for plants, given its importance as a major limiting factor for plant development. Indirect methods are among the possible tools to undertake this evaluation, with the use of apparent electrical conductivity (ECa) of the soil by PA being one of the main ones. However, while the method provides an indirect reading of environmental conditions, there have been problems regarding the significance of its results, with little understanding on the part of technicians about the generated maps. Since ECa has a high correlation with soil texture, mainly clay, salinity and water availability, it was possible to establish a situation wherein the only

<https://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000079>

Este é um capítulo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que sem fins comerciais, sem alterações e que o trabalho original seja corretamente citado.

variable factor would be soil water availability, allowing the generation of curves that represent the condition of the water stock in the profile based on ECa information. The aim of this study was to generate a method for calibrating the apparent electrical conductivity of the soil in the determination of water availability classes, considering different regions and soil type characteristics. Two covered areas of 220m² were used, isolating the entrance of external water before and during the experiment, located in two rural properties on Latosol Bruno, characteristic of the region of Vacaria, RS, allowing an evaluation of the behavior of the experiment at two different levels of clay in the soil, 35 and 66%. Each of the structures was internally divided into 4 plots measuring 5.0 x 5.0 meters, considered buffer areas, with a centralized 1 m² area where the water supply and conductivity measurement could be made. The test consisted of weekly monitoring of electrical conductivity, with readings at 0.2m and 0.4m depth, 48 hours after the treatments received water in controlled doses of 0mm, 15mm, 25mm, 35mm, weekly over a year. Based on the results obtained, it was possible to generate a scale of values outlining different water availability levels for the Latosolos Brunos in the region of Vacaria, RS, allowing the generation of management maps for water availability based on ECa for this region.

Keywords: productive potential zoning; soil water; soil physics; soil management.

1 INTRODUÇÃO

O uso da condutividade elétrica aparente (CEa) tem diferentes níveis de aplicação, mas à medida que se busca um uso mais cotidiano, o foco passa a ser no usuário final e em suas aplicações de campo. Atualmente, neste contexto, o grande cliente da CEa tem sido a agricultura de precisão (AP) (Türker et al., 2011). A mensuração em áreas de pomares e vinhedos tem adotado preferencialmente dois tipos de equipamentos, sendo o sensor de contato com o solo utilizado normalmente antes da instalação de pomares e vinhedos (Figura 1) ou o sensor proximal sem contato direto com o solo, após a existência de plantas no local, evitando afetar as raízes (Figura 2).

O uso da condutividade elétrica em solo como ferramenta de campo da agricultura de precisão para explicar os fenômenos derivados da relação solo, planta, ambiente passou a ser corriqueiro, e até necessário. Bramley e Trengove (2013) reforçam que no caso da Austrália, um dos locais de início da fruticultura de precisão, a CEa foi utilizada com grande ênfase no processo de zoneamento da variabilidade espacial co-

mo base do planejamento, aplicada como ferramenta basilar em qualquer área onde será implantada uma cultura agrícola, inclusive as perenes, e que a partir daí todo o ambiente é manejado segundo este estudo da variabilidade.

Isso também pode ser visto em Bramley et al. (2011), em um vinhedo na Nova Zelândia, buscando a utilização da CEa como indicador de produtividade, utilizando o cruzamento de várias informações de solo e planta no zoneamento do ambiente produtivo, porém sem o mesmo sucesso alcançado em pesquisas anteriores na Austrália. Ao longo do tempo, esta aplicação vem sendo replicada em outros países como nos Estados Unidos da América (Rodríguez-Pérez et al., 2011), no Chile (Ortega-Blu; Molina-Roco, 2016), ou na Espanha (Mirás-Avalos et al., 2020), também em vinhedos (Fulton et al., 2011), manejando vinhedos e pomares na Califórnia.

Outra aplicação, ainda que fortemente vinculada com a agricultura de precisão, é o uso da CEa no planejamento da irrigação das áreas agrícolas e na gestão dos recursos hídricos do solo. Isto é corroborado por



Figura 1. Equipamento comercial de medição da condutividade elétrica aparente do solo por contato.
Fonte: Arnó et al., 2017.



Figura 2. Equipamento de medição da condutividade elétrica aparente do solo sem contato com o solo: 1 - utilizando trenó arrastado contendo a) trenó com o sensor, b) veículo para arraste, c) antena de GPS (Pedrera-Parrilla, et al., 2016); 2 - manejo manual em pomares estabelecidos (Türker et al., 2011).

diversos autores, seja avaliando o mapeamento do estresse hídrico das plantas, seja em relação ao potencial hídrico do solo ou seu balanço hídrico. Tais estudos também têm relação com os locais onde a disponibilidade de água para pomares é crítica, sendo que os principais resultados ocorreram na Califórnia, em pomares de amêndoas e videiras (Fulton et al., 2011; Rodríguez-Pérez et al., 2011; Yu; Kurtural, 2020; Yu et al., 2021), oliveira na Espanha (Pedrera-Parrilla et al., 2017) e macieira na Grécia (Tsoulías et al., 2020). Dada a característica das plantas perenes, em gradativamente estabelecerem uma zona de fornecimento de água ocupando um grande volume do solo com suas raízes, tanto em circunferência quanto em profundidade, foi necessário avaliar seu impacto na resposta da CEa a fim de estabelecer a forma correta de sua utilização em pomares formados, como nos trabalhos de Tsoulías et al. (2020) e Martínez et al. (2021).

Pedrera-Parrilla et al. (2016), Ortega-Blu e Molina-Roco (2016), Uribeetxebarria et al. (2018a) e Mirás-Avalos et al. (2020), trabalhando respectivamente em pomares de oliveiras na Espanha, videiras no Chile, pessegueiros e videiras na Espanha, constataram que na fruticultura existe ainda uma forte vinculação en-

tre a condutividade elétrica aparente, a água e a textura do solo, mas em alguns casos estabeleceram a ressalva de que nem sempre essa relação é direta e deve ser adequada para cada situação (Ortega-Blu; Molina-Roco, 2016; Uribeetxebarria et al., 2018a).

O problema do estabelecimento de uma relação entre os valores obtidos do uso da CEa e as respostas do mundo real tem gerado uma série de ressalvas a diversos trabalhos ao longo dos anos. A questão da significância entre a transformação de valores obtidos de uma escala condutância elétrica (miliSiemens) por uma área (em centímetros ou metros quadrados), gerando respostas físicas como concentração de água, nutrientes, crescimento de plantas, produtividade ou áreas de compactação no solo levaram a estudos da aplicação da CEa de maneira tridimensional, em camadas, buscando estabelecer melhores relações.

Käthner e Zude-Sasse (2015) apresentaram trabalhos nessa linha, em pomares de ameixa na Alemanha, obtendo altos valores de correlação entre o uso da condutividade elétrica e a predição do desenvolvimento das plantas considerando as diversas camadas do solo. Além disso, Uribeetxebarria et al. (2018a) também avaliaram o uso da CEa aplicado em camadas para a detecção de zonas de impedimento à passagem de raízes e à irrigação em trabalhos em um pomar de pêssegos em Leida, Espanha, implantado em um solo Petrocálcico típico das regiões semiáridas do mediterrâneo. Seus resultados reforçaram que apesar de haver resposta da CEa para diferentes zonas com a existência ou não de impedimento por camadas endurecidas de CaCO_3 no solo, é necessário estudar a variabilidade temporal em conjunto com a espacial para se obter um zoneamento de alta resolução nesses ambientes, incluindo as zonas com maior presença de matéria orgânica nesses solos.

Mesmo que no passado tenha havido algumas tentativas de vincular o uso da ECa à fertilidade do solo, como nos trabalhos de Serrano et al. (2017) em Portugal, gradualmente o interesse internacional do uso da condutividade elétrica aparente do solo aplicado às frutíferas parece estar migrando em direções alternativas como apoio ao manejo do solo para implantação de pomares (Taguas et al., 2017; Uribeetxebarria et al., 2018b), ou mesmo como ferramenta de apoio no manejo das culturas, principalmente em relação à sua vinculação à quantidade e qualidade da produção, sempre vinculado à agricultura de precisão (Türker et al., 2011; Arnó et al., 2017; Uribeetxebarria et al., 2019).

Mesmo com todas essas novas formas de utilização da CEa sendo testadas, ainda não houve um consenso quanto ao seu uso, exceto no caso das aplicações tradicionais, bem consolidadas, para delimitação

da salinidade, umidade no solo ou textura. Ainda assim, a condutividade elétrica aparente do solo não deve ser utilizada de maneira isolada, mesmo que planejada somente como ferramenta para intervenção dos parâmetros físico-químicos e hidrológicos do solo. Entretanto, o fator significância dos resultados numéricos e sua relação com a resposta do ambiente deve ser melhorada, pois, ao gerar uma resposta indireta, muitos técnicos não entendem a importância de sua aplicação. Sendo assim, este trabalho buscou vincular de forma prática para uma região e solo específico no Sul do Brasil os valores obtidos pelo condutímetro e a resposta em valores de disponibilidade de água no solo, neste caso específico, um Latossolo Bruno da região de Vacaria/RS.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Uma vez que a CEa apresenta uma complexa associação com os fatores ambientais inter-relacionados, sempre houve certa dificuldade na correlação entre a leitura direta numérica do equipamento com parâmetros reais. Mesmo havendo uma relação bem conhecida da CEa e a textura do solo, a salinidade e a presença de água, há demanda de uma aproximação que traduza esses valores lineares para escalas manuseáveis no campo, ampliando seu uso de uma escala pontual para uma escala regional.

Apesar da CEa proporcionar um método indireto simples, eficaz e rápido, capaz de gerar informações em tempo real nas medições de campo, os dados gerados pelas medições de campo sempre foram na forma de uma resposta linear (zero a mais infinito), permitindo múltiplas interpretações para os usuários de campo, que muitas vezes, lançavam mão de métodos automatizados dos softwares de geoprocessamento para a geração de mapas de zonas de manejo do solo baseados na CEa. Isso acabava por gerar erros analíticos e operacionais entre a mensuração e os relatórios para interpretação.

Ao se buscar uma solução para esse tipo de problema, sabendo-se que a salinidade do solo não afeta a região produtora de maçãs no Sul do Brasil, e sabendo que o tipo de solo tem um gradiente de textura possível de ser fixado como constante, buscou-se estabelecer o comportamento da CEa como ferramenta para o zoneamento da disponibilidade da umidade em um tipo específico de solo predominante na principal região produtora (Vacaria/RS), estudando como ela se comportaria em relação à CEa em duas diferentes propriedades na região. Ressalta-se que essa solução deve ser replicada para quaisquer condições diferentes dos limites aqui estabelecidos a fim de validar

ou estabelecer novos valores de referência, ampliando-se as opções de resposta à textura, independentemente das culturas existentes.

Para o estabelecimento dos limites da curva de calibração, foram utilizadas duas estruturas protegidas com cobertura plástica na forma de estufas, com dimensões de 20,0 m x 11,0 m, em um ambiente de solo homogêneo na região (Latosolo Bruno), mantido permanentemente desnudo, considerando somente a evaporação do mesmo, variando somente os percentuais de argila, uma estabelecida como limite inferior de argila na composição do solo, com 35%, e a outra, seu limite superior, com 66%. O solo de ambas as áreas foi coletado e analisado para a textura nos laboratórios da Embrapa Instrumentação, em São Carlos/SP, confirmando esses teores.

Nessas estruturas foram delimitados quatro quadros de 25 m² (5,0 m x 5,0 m), como zona-tampão, onde no centro havia um quadro de 1,0 m², como receptor de água, havendo uma replicata desse conjunto por estufa. A única variação nas parcelas foi o fornecimento de água, feito semanalmente em quatro doses distintas: 0 mm (situação de seca extrema), 15 mm (déficit hídrico forte), 25 mm (déficit hídrico moderado) e 35 mm (distribuição igualitária da média de chuva anual da região, em torno de 1.800 mm de chuva anuais), conforme a Figura 3.

Semanalmente, 48 horas depois do fornecimento de água, era feita a medição da condutividade elétrica aparente do solo com 10 repetições nas zonas centrais de cada quadrado, avaliando-se o comportamento em relação à água recebida e presente no solo (Figura 4).

O equipamento utilizado para a medição da condutividade elétrica foi o modelo desenvolvido pela



Figura 3. Estrutura preparada para estabelecimento da CEa em Latossolo Bruno para a região de Vacaria/RS, podendo ser observadas as duas fileiras de replicatas e na fila da esquerda as parcelas de 15, 25 e 35 mm de fornecimento semanal de água.

Foto: Autores.



Figura 4. Processo de molhamento das áreas e medição da condutividade elétrica aparente 48 horas após o molhamento.
Foto: Autores.

Embrapa Instrumentação (Rabello et al., 2010), já havendo similares nacionais em comercialização. Para confirmar essas diferenças, foi instalada uma série de tensiômetros fora das áreas-tampão e que receberam as mesmas doses de água nos mesmos momentos que as parcelas experimentais.

Os tensiômetros demonstraram o mesmo comportamento esperado que foi previsto para o sistema sob leitura da CEa, porém os tensiômetros de 0, 15 e 25 mm foram “estourando” à medida que o experimento avançava, demonstrando a tensão extrema do solo por falta de água. Isso também ajudou a demonstrar que o uso da CEa para estimação da disponibilidade de água no solo pode ser útil em relação a métodos tradicionais, em momentos em que o mesmo está extremamente seco, desde que devidamente calibrado para as condições locais.

Os dados foram testados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, quanto à homogeneidade de variância pelo teste de Levene e quanto à presença de autocorrelação nos resíduos pelo teste de Durbin-Watson.

Ajustou-se um modelo de regressão linear aos dados de condutividade em função da umidade do solo (mm/mS^{-1}) utilizando-se o método dos mínimos quadrados ponderados, devido à presença de heterocedasticidade dos erros (Hoffmann, 2016). A seguir, obtiveram-se os intervalos de previsibilidade (L_{inf} e L_{sup}) da condutividade elétrica para os valores de umidade de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 mm/sem (Hoffmann, 2016). Em todas as análises foi adotado um nível de probabilidade de erro de 5%.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros do modelo ajustado (B0 é o intercepto/coeficiente linear e B1 o coeficiente de regressão/angular), erros padrões e coeficiente de determinação do modelo de regressão linear da condutividade elétrica (mS/cm^2) em relação aos teores de umidade do solo (mm/sem).

	Estimativa	Erro padrão
B0	0,4098	0,0338
B1	0,4278	0,0054
R2 ajustado	0,76	

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo ajustado produziu o seguinte gráfico que correlaciona o fornecimento de água e a condutividade elétrica ao longo do tempo (Figura 5).

Utilizando a média dos dados obtidos nas duas áreas avaliadas, considerando-as como os limites de argila do Latossolo na região, os resultados de condutividade elétrica variaram de 0,007 a 33,5 mS/cm^2 , com um valor médio de 8,77 mS/cm^2 (erro padrão 0,160 mS/cm^2) e mediana de 8,95 mS/cm^2 . As estimativas dos parâmetros do modelo ajustado assim como os respectivos erros de estimativas do modelo linear ajustado podem ser observadas na Tabela 1.

A seguir, obtiveram-se os intervalos de previsibilidade (L_{inf} e L_{sup}) da condutividade elétrica para os valores de umidade de 5, 10, 15, 20, 25, 30 e 35 mm/sem (Hoffmann, 2016). Em todas as análises foi adotado um nível de probabilidade de erro de 5%.

Assim, foi possível o estabelecimento de três classes de uso da CEa para delimitação de zonas de ma-

Tabela 2. Valores estimados e limites de previsão da condutividade elétrica do solo em relação aos teores de umidade de um Latossolo Bruno na região de Vacaria/RS, 48 horas após uma irrigação.

Estratos de umidade no solo	Fornecimento de água ao solo por m ² (mm/sem)	CEest. (mS/cm ²)	DP (mS/cm ²)	Intervalo de previsão (mS/cm ²)	
				LI	LS
SS	5	2,549	1,015026	0,56	4,538
	10	4,688	1,014987	2,699	6,677
PD	15	6,827	1,014965	4,838	8,817
	20	8,966	1,014961	6,977	10,956
	25	11,105	1,014974	9,116	13,095
DO	30	13,245	1,015004	11,255	15,234
	35	15,384	1,015052	13,394	17,373

CEest.: condutividade elétrica estimada; DP: desvio padrão; LI: limite inferior; LS: limite superior; SS: solo seco; PD: pouca disponibilidade; DO: disponibilidade ótima.

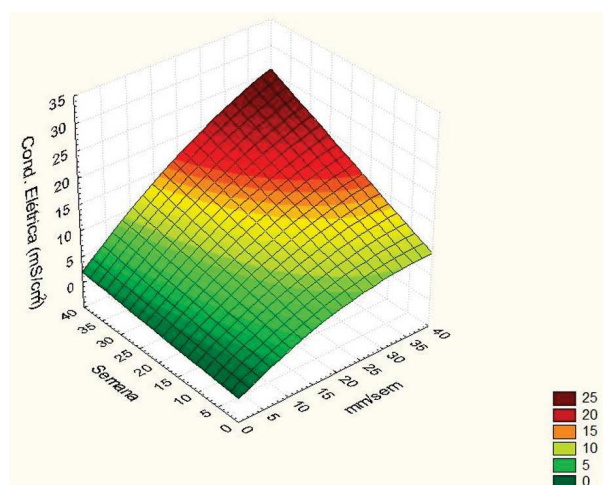


Figura 5. Gráfico do ajuste dos dados correlacionados entre fornecimento de água em mm/semanais e condutividade elétrica ao longo das semanas do experimento.

Fonte: Autores.

nejo segundo a disponibilidade de água em Latossolo Bruno na região de Vacaria/RS (Tabela 2), gerando significância para os valores brutos em miliSiemens (mS) gerados pelo condutímetro de solo em operação no campo.

A partir dos resultados obtidos nas duas áreas experimentais, é possível a resignificação dos valores de condutividade elétrica aparente obtidos em Latossolos Brunos na região de Vacaria/RS, indicando as regiões do solo em que pode haver maior ou menor disponibilidade hídrica para as culturas. Para tal, é necessário que seja feita uma leitura com condutímetro de solo em torno de 48 horas após uma chuva, e o mapa gerado permitirá indicar as regiões com disponibilidade maior, menor ou solo seco. Isso pode auxiliar na

explicação de eventuais variações de potenciais produtivos, ao cruzar estes resultados com dados de produção posteriormente.

4 CONCLUSÕES

Com a disponibilização desses limites de previsão de correlação entre CEa e umidade de solo para o Latossolo Bruno na região de Vacaria/RS, passa a ser possível a construção de mapas de disponibilidade hídrica em solos gerados a partir da CEa, permitindo que o tomador de decisão projete sistemas de irrigação ou altere a programação do manejo de plantas segundo as condições apresentadas pelo solo sem a necessidade de implantação de uma rede de tensiômetros, bastando o monitoramento pontual das zonas homogêneas de manejo.

Com o uso da metodologia sugerida, é possível o estabelecimento de mapas homogêneos de previsão do comportamento de umidade no solo após a ocorrência de uma chuva, permitindo ao produtor conhecer a variabilidade da disponibilidade hídrica no solo em tempo real, pela leitura da CEa, possibilitando melhor planejamento dos estoques de água do solo e a decisão de se implantar, usar ou não irrigação das áreas. Além disso, permitirá a coleta de dados temporais da disponibilidade hídrica das áreas, permitindo o melhor enfrentamento de secas recorrentes na região.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa, Sr. Olavo Amaro Caieron, e à Universidade de Caxias do Sul, na disponibilização de áreas e estruturas para a execução dos experimentos.

REFERÊNCIAS

- ARNÓ, J.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; URIBEETXEBARRIA, A.; ESCOLÀ, A.; ROSELL-POLO, J. R. Comparing efficiency of different sampling schemes to estimate yield and quality parameters in fruit orchards. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, p. 471-476, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1017/S2040470017000978>.
- BRAMLEY, R. G. V.; TROUGHT, M. C. T.; 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, n. 1, p. 83-89, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2010.00119.x>.
- BRAMLEY, R.; TRENGOVE, S. Precision Agriculture in Australia: present status and recent developments. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 3, p. 575-588, 2013. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-69162013000300014>.
- FULTON, A.; SCHWANKL, L.; LYNN, K. LAMPINEN, B.; EDSTROM, J.; PRICHARD, T. Using EM and VERIS technology to assess land suitability for orchard and vineyard development. **Irrigation Science**, v. 29, n. 6, p. 497-512, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00271-010-0253-1>.
- HOFFMANN, R. **Análise de regressão: uma introdução à econometria**. 5. ed. Piracicaba: O Autor, 2016. 404 p. Recurso eletrônico. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/biblioteca/sites/default/files/Analise_Regress%C3%A3o.pdf. Acesso em: 15 dez. 2021.
- KÄTHNER, J.; ZUDE-SASSE, M. Interaction of 3D soil electrical conductivity and generative growth in *Prunus domestica* L. **European Journal of Horticultural Science**, v. 80, n. 5, p. 231-239, 2015. DOI: <http://doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.5.5>.
- MARTÍNEZ, G.; LAGUNA, A. M.; GIRÁLDEZ, J. V.; VANDERLINDEN, K. Concurrent variability of soil moisture and apparent electrical conductivity in the proximity of olive trees. **Agricultural Water Management**, v. 245, p. 106652, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106652>.
- MIRÁS-AVALOS, J. M.; FANDIÑO, M.; REY, B. J.; DAFONTE, J.; CANCELA, J. J. Zoning of a newly-planted vineyard: spatial variability of physico-chemical soil properties. **Soil Systems**, v. 4, n. 4, p. 62, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/soilsystems4040062>.
- ORTEGA-BLU, R.; MOLINA-ROCO, M. Evaluation of vegetation indices and apparent soil electrical conductivity for site-specific vineyard management in Chile. **Precision Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 434-450, 2016. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11119-016-9429-x>.
- PEDRERA-PARRILLA, A.; VAN DE VIJVER, E.; VAN MEIRVENNE, M.; ESPEJO-PÉREZ, A. J.; GIRÁLDEZ, J. V.; VANDERLINDEN, K. Apparent electrical conductivity measurements in an olive orchard under wet and dry soil conditions: significance for clay and soil water content mapping. **Precision Agriculture**, v. 17, p. 531-545, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9435-z>.
- PEDRERA-PARRILLA, A.; PACHEPSKY, Y.; TAGUAS, E. V.; MARTOS-ROSILLO, S.; VANDERLINDEN, K. Concurrent temporal stability of the apparent electrical conductivity and soil water content. **Journal of Hydrology**, v. 544, p. 319-326, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.10.017>.
- RABELLO, L. M.; INAMASSU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C. **Sistema de medida de condutividade elétrica do solo**. São Carlos: Embrapa, 2010. 8 p. (Série Documentos. Circular Técnica, 54). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77124/1/CiT54-2010.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2021.
- 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, n. 6, p. 775-794, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11119-011-9220-y>.
- SERRANO, J.; SILVA, J. M.; SHAHIDIAN, S.; SILVA, L. L.; SOUSA, A.; BAPTISTA, F. Differential vineyard fertilizer management based on nutrient's spatio-temporal variability. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 1, p. 46-61, 2017. DOI: <http://doi.org/10.4067/S0718-95162017005000004>.
- TAGUAS, E. V.; VANDERLINDEN, K.; PEDRERA-PARRILLA, A.; GIRÁLDEZ, J. V.; GÓMEZ, J. A. Spatial and temporal variability of spontaneous grass cover and its influence on sediment losses in an extensive olive orchard catchment. **Catena**, v. 157, p. 58-66, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.catena.2017.05.017>.
- TSOULIAS, N.; GEBBERS, R.; ZUDE-SASSE, M. Using data on soil ECa, soil water properties, and response of tree root system for spatial water balancing in an apple orchard. **Precision Agriculture**, v. 21, n. 3, p. 522-548, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11119-019-09680-8>.
- TÜRKER, U.; TALEBPOUR, B.; YEGÜL, U. Determination of the relationship between apparent soil electrical conductivity with pomological properties and yield in different apple varieties. **Žemdirbystė=Agriculture**, 2011, v. 98, n. 3, p. 307-314.
- URIBEETXEBARRIA, A.; ARNÓ, J.; ESCOLÀ, A.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. Apparent electrical conductivity and multivariate analysis of soil properties to assess soil constraints in orchards affected by previous parceling. **Geoderma**, v. 319, p. 185-193, 2018a. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.01.008>.
- URIBEETXEBARRIA, A.; DANIELE, E.; ESCOLÀ, A.; ARNÓ, J.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A. Spatial variability in orchards after land transformation: consequences for precision agriculture practices. **The Science of the Total Environment**, v. 635, p. 343-352, 2018b. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.153>.
- URIBEETXEBARRIA, A.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J. A.; ESCOLÀ, A.; ROSELL-POLO, J. R.; ARNÓ, J. Stratified sampling in fruit orchards using cluster-based ancillary information maps: a comparative analysis to improve yield and quality estimates. **Precision Agriculture**, v. 20, n. 2, p. 179-192, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11119-018-9619-9>.

YU, R.; ZACCARIA, D.; KISEKKA, I.; KURTURAL, S. 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. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09787-x>.

YU, R.; KURTURAL, S. K. Proximal sensing of soil electrical conductivity provides a link to soil-plant water relationships and supports the identification of plant water status zones in Vineyards. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 244, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3389/fpls.2020.00244>.