

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

MATHEUS COSTA CRUZ

METODOLOGIAS PARA ANÁLISE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À
PENETRAÇÃO

UBERLÂNDIA – MG

2022

MATHEUS COSTA CRUZ

METODOLOGIAS PARA ANÁLISE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À
PENETRAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Agronomia, da
Universidade Federal de Uberlândia,
para obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Manuel
Carmelino Hurtado

UBERLÂNDIA – MG

2022

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	MATERIAL E MÉTODOS	6
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4	CONCLUSÕES	12
	REFERÊNCIAS	13

RESUMO

CRUZ, Matheus Costa. **Metodologias para análise espacial da resistência do solo à penetração**. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG, 2022.

O processo de compactação é associado a mudanças nos atributos físicos do solo e tem como principal indicador a resistência mecânica à penetração (RP). Diversos tipos de penetrômetros são utilizados na avaliação da RP, no entanto, os valores obtidos divergem entre si. O objetivo proposto com o presente estudo foi comparar a variação de leituras de RP obtidas em duas datas, a partir de três métodos de avaliação, a partir do uso dos penetrômetros de impacto, eletrônico e de bancada. A área de estudo está situada na Fazenda Experimental Capim Branco, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia-MG. O talhão experimental, de 25 ha, apresenta solo da classe Latossolo Vermelho distrófico, classe textural franco-argilo-arenosa e vem sendo cultivado com a sucessão soja-milho/sorgo em plantio direto. Na área foram realizadas avaliações de resistência à penetração (RP) seguindo uma malha regular de 2 pontos por hectare, com espaçamento médio de 75 m entre pontos. A avaliação da RP foi realizada na profundidade de 0-0,2 m, nos meses de novembro de 2017 e abril de 2018 e três métodos de leitura de acordo aos tipos de penetrômetro de impacto, eletrônico ou bancada. Os valores de RP apresentaram diferença em relação ao tipo de penetrômetro, sendo as menores leituras (1,27 MPa) obtidas quando utilizado o penetrômetro eletrônico e as maiores (4,58 MPa), quando utilizado o de bancada. Os valores de resistência à penetração apresentam-se discrepantes entre as metodologias utilizando os penetrômetros de impacto, eletrônico e de bancada. De forma espacial, a avaliação da resistência à penetração permite reconhecer a existência de padrões de variação similares para os métodos de análise utilizando os penetrômetros de impacto, eletrônico e de bancada.

Palavras-chave: Agricultura de precisão, compactação, variabilidade espacial.

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta importante papel no agronegócio de diversos cultivos, tendo sido responsável, na safra de 2022, pela produção de 124 mil toneladas de soja, 3 mil toneladas de sorgo e 115 mil toneladas de milho (CONAB, 2022). A crescente demanda por produtos desafia, nesse sentido, o aumento dos patamares produtivos em razão de preocupações ambientais, restrições econômicas, logística e infraestrutura para novas áreas de produção. Nesse cenário, a modernização dos processos produtivos vê na adoção de tecnológicas, uma alternativa viável para a sua competitividade (BRASIL NETO et al., 2021), sendo exemplo, o uso da agricultura de precisão (AP).

A AP visa a gestão da variabilidade presente nas lavouras, com o intuito de aprimorar a sua eficiência econômica com reduzido impacto ambiental (BRASIL, 2012). Considera assim, a identificação das variações existentes nos atributos de solo e planta, a aplicação de insumos em taxa variável e a validação dos resultados (MEDAUAR et al., 2021). As informações podem ser coletadas a partir de grades amostrais com diferentes densidades e/ou via sensores, como os de condutividade elétrica do solo, de dossel ou de resistência a penetração (RP), entre outros (RODRIGUES et al., 2012; SANTI et al., 2012).

Pontualmente, a determinação da RP auxilia no entendimento da compactação do solo e dos seus efeitos na degradação física nas lavouras (ROQUE et al., 2008; COLET et al., 2009; KLEIN; MADALOSSO; BASEGGIO, 2013). A compactação pode ter a sua origem no uso intensivo do maquinário agrícola, reduzindo a porosidade do solo e a disponibilidade de água e oxigênio para as plantas. O impedimento físico criado dificulta a exploração das raízes em profundidade, buscando como alternativas a mudança no sentido do crescimento ou a sua deformação e estagnação (SILVA et al., 2020), além de representar um menor desenvolvimento de plantas e queda em produtividade (SILVA et al., 2017).

De acordo com Lima et al. (2010) e Girardello et al. (2014), os valores críticos de RP podem variar com o tipo de solo, sistema de manejo e rotação de culturas, podendo ser considerado o valor de 2 Mpa como limitante para o normal desenvolvimento da maioria das culturas (LAPEN et al., 2004). Na prática, a RP pode ser determinada a partir do uso de penetrômetros (ANDRADE et al., 2007; DEXTER et al., 2007), onde busca-se relacionar a força de resistência do solo à força de penetração de uma ponta cônica, simulando a resistência do solo à penetração das raízes (MOLIN

et al., 2012; LIMA et al., 2013). Entre os tipos de penetrômetros pode se citar os de uso a campo, como o de impacto (STOLF, 1991) e os eletrônicos (CAMARGO; ALLEONI, 2006), e os de uso em laboratório, como os estáticos de bancada, com leituras obtidas a partir da coleta de amostras com estrutura preservada do solo (SERAFIM et al., 2008).

O objetivo proposto com o presente estudo foi comparar a variação de leituras de RP obtidas em duas datas, a partir de três métodos de avaliação e uso dos penetrômetros de impacto, eletrônico e de bancada, levando em consideração a presença de correlação espacial nas lavouras.

1 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é situada na Fazenda Experimental Capim Branco (-18.886584, -48.339127), pertencente à Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia-MG. O talhão experimental, de 25 ha, apresenta solo da classe Latossolo Vermelho distrófico (Embrapa, 2018), classe textural franco-argilo-arenosa e cultivo na sucessão soja-milho/sorgo sob sistema plantio direto e sequeiro (pivô fora de funcionamento). Na área experimental foi definida, com auxílio do programa de informações geográficas Qgis (Projeto Qgis, 2022), uma malha regular de amostragem, com 2 pontos por hectare e espaçamento médio de 75 m entre pontos.

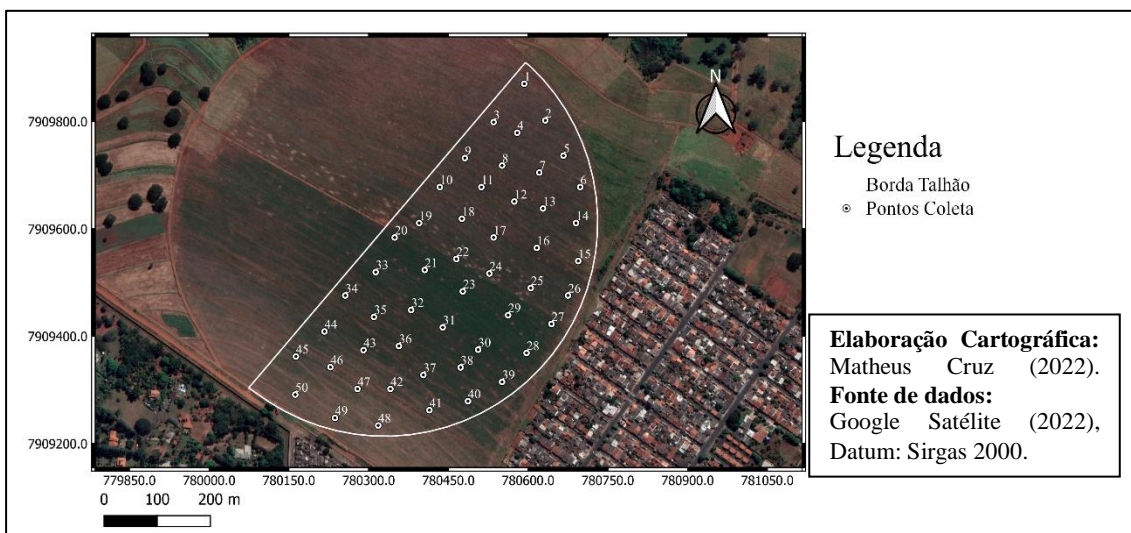


Figura 1. Área experimental e localização dos pontos amostrais. Fazenda Capim Branco, Uberlândia, MG.

Para cada um dos 50 pontos da malha amostral foram realizadas leituras da resistência a penetração (RP), na profundidade de 0-0,2 m. Nas avaliações foram utilizados os penetrômetros de impacto IAA/Planalsucar-Stolf (STOLF, 1991), eletrônico, marca Falker® e de bancada, marca Marconi®. As leituras, a partir do uso dos penetrômetros de impacto e eletrônico, foram obtidas em novembro de 2017 (início da primeira safra) e abril de 2018 (início da segunda safra). As condições de umidade não foram homogêneas e o solo se encontrava sob condições de baixa palhada. Para isto foram realizadas três leituras para cada um dos pontos, considerando um raio de 3 m. As leituras de RP com uso do penetrômetro de bancada foram realizadas para os 50 pontos da malha, em setembro de 2019 (início da primeira safra), a partir da coleta de amostras de solo indeformada, com cilindros de volume aproximado de 100 cm³.

O penetrômetro de impacto é constituído por uma haste, contendo na sua parte inferior um cone de diâmetro determinado, e na parte superior, um peso conhecido. As leituras de RP são obtidas a partir de impactos produzidos por ação da força gravitacional, e consequente entrada da haste no solo. Os valores de RP são determinados, finalmente, com base no número de impactos necessários para a entrada da haste até a profundidade requerida, no nosso estudo de 0-0,2m, e a partir do uso da fórmula de Stolf (Equação 1).

Equação 1:

$$RP = 5,6 + 6,89 \times \left(\frac{N}{(D - A) \times 10} \right) \times 0,0981$$

Onde:

- RMP a resistência mecânica do solo à penetração (MPa);
- N o número de impactos efetuados para a obtenção da leitura;
- A e D = leituras anteriores (A) e posteriores (D) da realização dos impactos (cm).

As leituras de RP com uso do penetrômetro eletrônico são obtidas com auxílio de um dinamômetro, permitindo o registro de valores ao pressionar o aparelho contra o solo em força constante. O registro considera a velocidade percorrida pela haste ao longo do perfil do solo e a força exercida sobre o equipamento para a entrada da haste.

A ausência de um padrão para a obtenção dos dados de umidade no momento de realização das leituras é um limitante para ambos penetrômetros acima citados.

O penetrômetro estático de bancada é capaz de obter leituras de RP a cada segundo. No trabalho foram considerados os 3 cm centrais de cilindros com 5 cm de altura. Na obtenção das leituras uma ponta cônica ingressa no cilindro contendo a amostra, a uma velocidade constante, permitindo o registro da força aplicada. A obtenção final dos valores de RP seguiu a metodologia proposta por Reichardt; Timm (2004) (Equação 2).

Equação 2:

$$IC = \frac{(F*9.806648/A)}{1 \times 10^6}$$

Onde:

- IC = Índice de Cone (MPa);
- F = Força (Kgf);
- A = Área do Cone (m²).

Para este tipo de penetrômetro é levada em consideração a padronização do teor de umidade das amostras, sendo os valores de RP inversamente proporcionais ao teor de umidade do solo (LIMA et al., 2007; ASSIS et al, 2009; SILVEIRA et al., 2010; MOLINA JR et al., 2013). As amostras foram posicionadas em uma fina camada de água, de forma que a umidade adentrasse no anel por capilaridade. Assim sendo não houve deformação na porosidade da amostra de solo.

Os dados obtidos a partir das três metodologias foram analisados de forma descritiva, com obtenção de mínimo, máximo, média, mediana e coeficiente de variação e correlacionados a partir da análise de Pearson. Na sequência foi realizada a análise espacial, a partir da obtenção de modelos de semivariograma, interpolação por krigagem e geração final de mapas de RP, com auxílio do programa Surfer (GOLDEN SOFTWARE, 1999).

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores de média é possível verificar que os menores valores de RP foram obtidos com uso do penetrômetro eletrônico, com leituras de 1,28 e 1,27 MPa,

para a primeira e segunda safra, respectivamente (Tabela 1). Por sua vez, as maiores médias de RP foram verificadas quando utilizado o penetrômetro de bancada, com 4,58 MPa. A partir dos dados percebe-se que, o momento de avaliação não afetou a tendência dos dados quando utilizados os penetrômetros de impacto e eletrônico (Tabela 1). Contudo, para efeitos de comparação é saudável o estabelecimento de um fator de correção entre os dados obtidos para ambas as metodologias. Beckett et al. (2018) ao avaliar três penetrômetros (impacto IAA/Planalsucar-Stolf, anel dinamométrico e eletrônico estático), encontraram que, embora exista uma correlação direta entre eles, o de bancada foi o que apresentou os maiores valores de RP.

Tabela 1. Análise descritiva da resistência do solo à penetração determinada a partir do uso dos penetrômetros de impacto, eletrônico e bancada, em MPa.

Penetrômetro	Mínimo	Máximo	Média	Mediana	CV (%)
Impacto (1ºsafra)	2,51	4,56	3,28	3,22	14,3
Impacto (2ºsafra)	2,42	5,27	3,49	3,37	20,1
Eletrônico (1ºsafra)	0,63	2,23	1,28	1,31	26,5
Eletrônico (2ºsafra)	0,67	1,87	1,27	1,31	24,3
Bancada	2,00	8,30	4,58	4,40	33,2

Quando verificado o CV% observa-se que, os maiores valores de RP foram encontrados com o uso do penetrômetro de bancada (1ª safra) (33,2 %). Para esta metodologia foi também verificada a maior amplitude nos dados (Tabela 1). Esse ocorrido pode ser explicado pela forma de funcionamento do mesmo. A haste cônica de tamanho inferior tende a sofrer maiores variações quando encontra fragmentos de rocha ou agregados mais resistentes em seu caminho. Apesar de esses fatores afetarem a análise do aparelho, em pequenas quantias não afetam o desenvolvimento radicular. Valor médio de CV% (GOMES, 2000) foi registrado ao utilizar os penetrômetros de impacto e eletrônico, para ambas as safras, com ligeira redução de CV% para o penetrômetro de impacto.

Quando avaliada, de forma separada, as leituras de RP dos penetrômetro de impacto ou eletrônico, em relação ao momento de obtenção das leituras (1º e 2º safra), foi observada correlação positiva para o uso do penetrômetro de impacto ($r=0,31$). Por sua vez, quando comparadas as metodologias de impacto e eletrônico, para cada

momento de obtenção das leituras, 1° e 2° safra, respectivamente, houve correlação direta entre as metodologias tanto para a 1° safra ($r = 0,43$), quanto para a 2° safra ($r = 0,38$). Diferenças nos valores de RP ocorreram em função das características dos equipamentos e do seu modo de operação, resultados esses corroborados por Roboredo et al. (2010), que relatam valores superiores no penetrômetro de impacto em comparação ao eletrônico, chegando a valores de 4,23 MPa, superiores ao nível crítico de desenvolvimento radicular, de 2,0 Mpa (TORMENA et al., 1998).

Ao se comparar o método de bancada às respostas obtidas pelo método de impacto houve correlação positiva para ambas as safras, de 49% e 32% para a primeira e segunda safra, respectivamente. Dentre alguns fatores que podem influenciar na análise está o espaço de tempo entre as coletas, a umidade no momento da coleta, a presença de palhada e o desenvolvimento radicular. Não obstante os resultados podem ser entendidos a partir do modo em que cada um dos penetrômetro trabalha. Nos dados fica evidente as correlações positivas e significativas encontradas (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de correlação de Pearson para as leituras de RP de acordo as diferentes metodologias testadas.

	Impacto		Eletrônico		Bancada
	(1° Safra)	(2° Safra)	(1° Safra)	(2° Safra)	
Impacto (1° Safra)		0.3063	0.4252		0.4942
Impacto (2° Safra)	0.3063			0.3807	0.3246
Eletrônico (1° Safra)	0.4252				
Eletrônico (2° Safra)		0.3807			
Bancada	0.4942	0.3246			

A reduzida variação entre as leituras em ambos momentos de avaliação (1° e 2° safras) estaria indicando a influência do regime hídrico sobre os atributos físicos do solo, evidenciando a possível presença de compactação no solo (COMPAGNON et al., 2020). Baesso et al. (2020), ao compararem metodologias de obtenção da RP em Latossolo Vermelho textura argilosa, observaram a importância de coletar dados sob as mesmas condições de umidade de solo.

De maneira geral o valor de 2 MPa é indicado como crítico para o desenvolvimento da maioria das culturas (LAPEN et al., 2004). O valor de 3,5 MPa foi

citado por Tormena et al. (2007) como crítico em área cultivada sob plantio direto de longa duração, o que foi explicado em razão da existência de bioporos. Girardello et al. (2014), observaram em área cultivada com soja sob Latossolo Vermelho, valores limites de RP de 3,0 MPa. Por sua vez, Freddi et al. (2006) verificaram o valor limite de 1,65 MPa para a cultura do milho. No presente estudo, a presença de compactação nos 20 primeiros centímetros do solo foi evidenciada com o uso dos penetrômetros de impacto e bancada, com 100% dos dados acima do valor ideal de 2 MPa. Para esse mesmo talhão, o penetrômetro eletrônico permitiu identificar 22% dos dados com valores de RP entre 1,5 e 2 MPa.

O uso da agricultura de precisão auxilia na compreensão dos fenômenos do ponto de vista da heterogeneidade espacial. No presente trabalho foi evidenciada presença de variabilidade espacial para as metodologias e momentos de obtenção da RP (Figura 2). A partir dos mapas é possível verificar que correlações positivas e significativas encontradas para as três metodologias podem ser explicadas em relação à existência de regiões contrastantes. Para todos os métodos e datas avaliados, os mapas permitiram evidenciar os maiores valores de RP na metade inferior do talhão. Tal fato permite direcionar estratégias de manejo visando a correção dos efeitos negativos da compactação do solo, com conseqüente aumento produtivo (MOLIN et al, 2015).

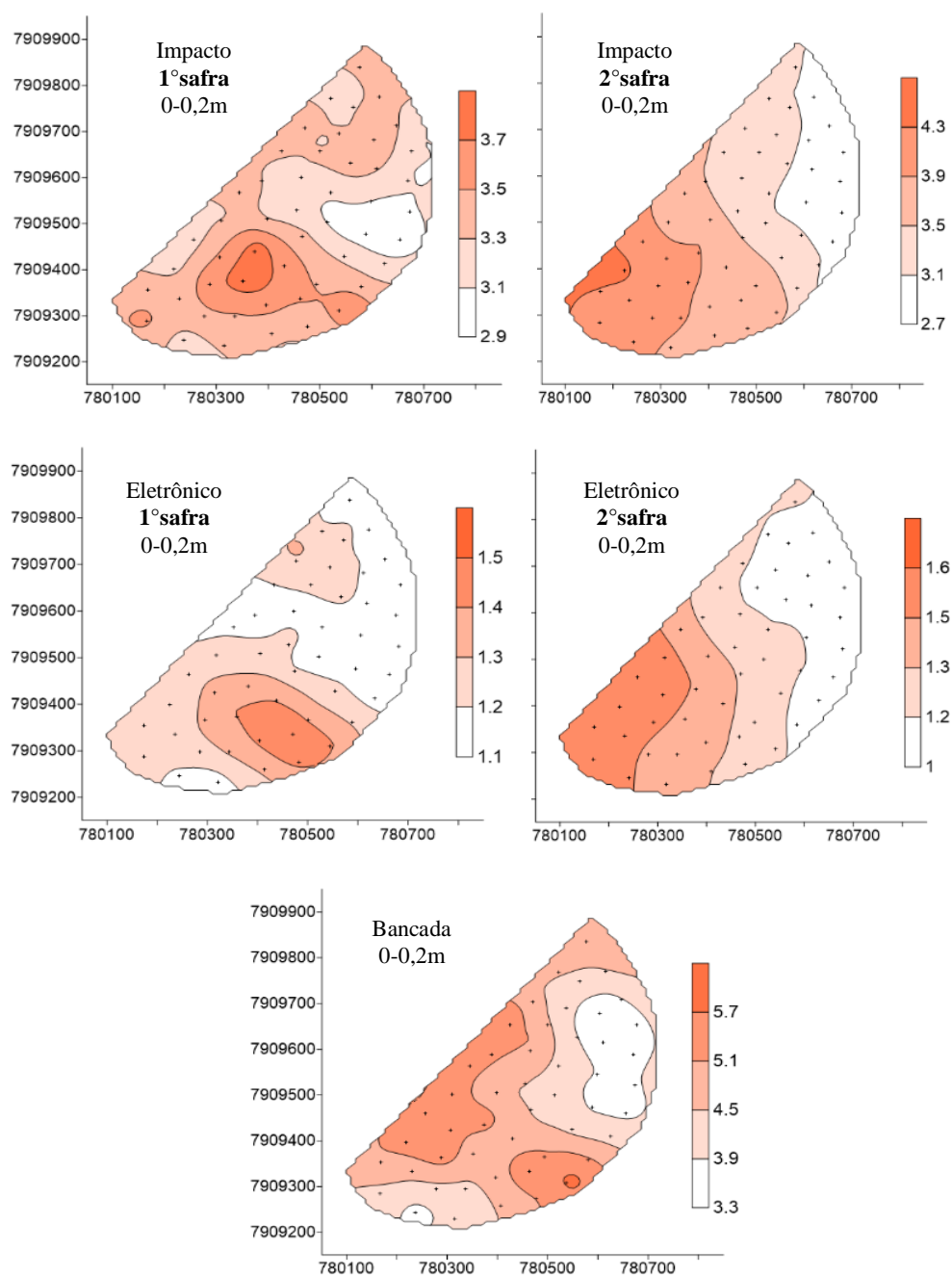


Figura 2. Mapas interpolados por krigagem para as leituras de resistência do solo à penetração, obtidos com uso dos penetrômetros de impacto, eletrônico e bancada. Uberlândia, 2019.

3 CONCLUSÕES

Os valores de resistência à penetração apresentam-se discrepantes entre as metodologias de análise testadas.

De forma espacial, a avaliação da resistência à penetração permite reconhecer a existência de padrões de variação similares para os métodos de análise testados.

REFERÊNCIAS

BAESSO, M. M.; MENEZES, T. A. V.; MODOLO, A. J.; ROSA, R. G.; ZUIN, L. F. S. Comparação entre três penetrômetros na avaliação da resistência mecânica do solo à penetração em um latossolo vermelho eutroférico. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 2, p. 101-110, 2020.

BARBIERI, D. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T. 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, p. 645-653, out./dez. 2008.

BECKETT, C. T. S.; BEWSHER, S.; GUZZOMI, A. L.; LEHANE, B. M.; FOURIE, A. B.; RIETHMULLER, G. Evaluation of the dynamic cone penetrometer to detect compaction in ripped soils. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 150-157, 2017.

BRASIL NETO, E. S.; RUSSINI, A.; AMARAL, L. D. P.; PINHO, P. J. D.; FARIAS, M. S. D.; GIACOMELI, R. Spatial variability of soil penetration resistance in the lowland area cultivated with soybean. **Ciência Rural**, v. 51, 2021.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba Esalq, 1997. 132p.

COELHO, A. M. Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo**, 2005. Disponível em: Acesso em: 24 ago. 2014.

COLET, M. J.; SVERZUT, C. B.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, Z. M. Alterações em atributos físicos de um solo sob pastagem após escarificação. **Ciência Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 361-368, 2009.

COMPAGNON, A. M.; GUILHERME, I. H.; PEREIRA FILHO, W. J.; RODOVALHO, R. S.; ARRIEL, F. H. Variabilidade espacial da resistência mecânica do solo à penetração na colheita mecanizada de milho para silagem. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 7, n. 2, p. 1-12, 2020.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. Vocabulário da ciência do solo. Campinas: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 90 p.1993.

FREDDI, O. S. et al. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, 31:627-636, 2007.

GIRARDELLO, V. C. et al. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **R. Bras. Ci. Solo**, 38:1234-1244, 2014.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. **Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. 2001. 13 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq/usp, Piracicaba, 2002.

- KLEIN, V. A.; MADALOSSO, T.; BASEGGIO, M. Ensaio de Proctor normal—análise metodológica e planilha para cálculo da densidade do solo máxima e teor de água ótimo. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 12, n. 2, p. 199-203, 2013.
- LAPEN, D.R.; TOPP, G.C.; GREGORICH, E.G. & CURNOE, W.E. 2004. Least limiting water range indicators of soil quality and corn production, Eastern Ontario, **Canada. Soil Till. Res.**, 78:151-170.
- LEÃO, T.P.; SILVA, A.P.; MACEDO, M.C.M.; IMHOFF, S. & EUCLIDES, V.P.B. 2004. Intervalo hídrico ótimo na avaliação de sistemas de pastejo contínuo e rotacionado. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:415-423.
- LIMA, C. L. R. et al. Produtividade de culturas e resistência à penetração de argissolo vermelho sob diferentes manejos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.45, n.1, p.89-98, jan. 2010.
- MEDAUAR, C. C.; TOMAZELLI, T. J.; ROSAS, J. T. F.; PAIVA, A. Q.; SILVA, S. A.; CARVALHO, L. C. C. Comportamento espacial da resistência do solo à penetração em lavoura de cacau. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 1, 2020.
- MEROTTO JR. A.; BREDEMEIER, C.; VIDAL, R. A.; GOULART, I. C. G. R.; BORTOLI, E. D.; ANDERSON, N. L. Reflectance indices as a diagnostic tool for weed control performed by multipurpose equipment in precision agriculture. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, P. 437-447, 2012.
- MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- MOURA, E. G.; SERPA, S. S.; SANTOS, J. G. D.; COSTA-SOBRINHO, J. R. S.; AGUIAR, A. C. F. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. *Plant and Soil*, The Hague, v. 335, n. 1-2, p. 363-371, 2010.
- RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 381- 384, 2008
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004, 478p.
- ROBOREDO, DELMONTE & MAIA, JOÃO & OLIVEIRA, OSVALDO. (2010). Uso de dois penetrômetros na avaliação da resistência mecânica de um latossolo vermelho distrófico. **Engenharia Agrícola**. 30. 10.1590/S0100-69162010000200013.
- RODRIGUES, M. S.; CORA, J. E.; FERNANDES, C. Soil sampling intensity and spatial distribution pattern of soils attributes and corn yield in no-tillage system. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 5, p. 852-865, set./out. 2012.
- ROQUE, M. W.; MATSURA, E. E.; SOUZA, Z. M.; BIZARI, D. R.; SOUZA, A. L. Correlação linear e espacial entre a resistência do solo ao penetrômetro e a produtividade do feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1827-1835, 2008.<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000500004>.

SERAFIM, M. E.; VITORINO, A. C. T.; PEIXOTO, P. P. P.; SOUZA, C. M. A.; CARVALHO, D. F. Intervalo hídrico ótimo em um latossolo vermelho distroférico sob diferentes sistemas de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 4, p. 654-665, out./dez. 2008

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A.; ESPINOSA, M. M.; VALADÃO JUNIOR, D. D.; VALADÃO, F. C. A. Análise multivariada da resistência à penetração em solo sob pastagem degradada. **Ciencia del Suelo**, v. 38, n. 2, p. 236-248, 2020.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI-NETO, V. L. Recomendações para o uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar-Stolf. São Paulo: MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 1991. 8 p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS; 2000, p. 1-54.

ZOU, C.; SANDS, R.; BUCHAN, G. & HUDSON, I. 2000. Least limiting water range: A potential indicator of physical quality of forest soils. **Aust. J. Soil Res.**, 28:947-958.