

## ANÁLISE ESPACIAL DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO EM ÁREA IRRIGADA NO SUL DO TOCANTINS<sup>1</sup>

Marcio Nikkel<sup>2</sup>,  
Saulo de Oliveira Lima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Parte da Dissertação de Mestrado em Produção Vegetal do primeiro autor.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Mestre em Produção Vegetal; Universidade Federal do Tocantins; [markel.26@hotmail.com](mailto:markel.26@hotmail.com); Bolsista CNPq.

<sup>3</sup> Professor Associado I, Universidade Federal do Tocantins-Campus Gurupi; Doutor em Agronomia - Manejo do Solo; [saulolima@uft.edu.br](mailto:saulolima@uft.edu.br).

### RESUMO

O Brasil, apesar de ser um dos maiores produtores de commodities agrícolas, possui limitações climáticas regionais, como a estiagem sazonal. Para contornar este problema, a irrigação por pivô central é bastante utilizada, permitindo 2 ou 3 safras anuais. Como o custo do equipamento é alto, é de suma importância de que a produtividade seja estimulada ao máximo. A intensa mecanização em solos de pivô central pode favorecer a compactação. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência mecânica à penetração (RP) com um penetrômetro de impacto nas camadas 0,00-0,06; 0,06-0,12; 0,12-0,18; 0,18-0,24 e 0,24-0,30 m e analisá-lo espacialmente por meio da geoestatística. A área do pivô central compreende 126 ha e o solo é heterogêneo, variando entre Latossolo, Plintossolo e Cambissolo. Foram coletados dados em 25 pontos georreferenciados numa malha 230x220 m, perfazendo 1 ponto a cada 5 ha. A umidade do solo foi determinada em laboratório. O estudo revelou altos valores de RP com valores máximos variando entre 5,35 e 23,4MPa. Com exceção da primeira camada, houve aumento na distância entre os pontos, revelando que a malha utilizada desfavorece a distribuição espacial. A conclusão é que a heterogeneidade do solo com a incidência de solos plínticos, baixa umidade e mecanização intensa favorece a compactação de solos irrigados por pivô central.

**Termos de indexação:** geoestatística, pivô central, compactação.

### SPATIAL ANALYSIS OF PENETRATION RESISTANCE ON IRRIGATED AREA IN SOUTH OF TOCANTINS – BRAZIL

#### SUMMARY

Brazil, despite being one of the largest producers of agricultural commodities, has regional climate limitations, like seasonal drought. To bypass this situation, the irrigation with center pivot is considerably used, allowing 2 or 3 annual harvests. As the cost of equipment is high and the bought of rural electricity for irrigation is expensive, is extremely important that the productivity will be urged maximally. The intense mechanization could benefit the soil compaction. The objective of this work was to evaluate soil penetration resistance (PR) with an impact penetrometer at layer 00-0.06; 0.06-0.12; 0.12-0.18; 0.18-0.24 e 0.24-0.30 meters and analyze spatially by means of geostatistics. The center pivot has 126 ha and the soil is heterogeneous, composed by Oxysols, Plinthosols and Inceptisols. 25 marks were georeferenced at the field and afterward data taken on a grid of 230x220 m, resulting 1 mark every 5 ha. The soil moisture were measured at laboratory. The study revealed high values of PR with maximum values variation between 5.35 and 23.4 MPa. Excluded the first layer, the spatial distance between the marks increased, revealing that the utilized grid disfavors the spatial distribution. The conclusion of the work is that a heterogeneous soil with plinthic characteristics, low soil moisture and intensive mechanization favors soil compaction on irrigated areas by central pivot.

**Index Terms:** geostatistics, central pivot, soil compaction

#### INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de commodities agrícolas do mundo (Fao, 2013). Contudo, uma das características brasileiras, principalmente nas regiões centro-oeste, norte e nordeste, são as estações do ano definidas em chuvosas e secas (Marcuzzo et al., 2012). Uma forma de contornar a estiagem e produzir grãos e cereais é a irrigação por pivô central, com isto, existe a possibilidade de serem realizadas 2 ou até 3 safras anuais (Oliveira & Zocoler, 2013). Porém, o custo de implantação de um pivô central é elevado, por isso, a produção em área irrigada tem de ser estimulada ao máximo (Conab, 2010). O solo irrigado por pivô central merece atenção, pois um solo que pode proporcionar até 3 safras anuais tem de estar quimicamente e fisicamente bem manejado. Uma das propriedades físicas do solo, a resistência à penetração, é de grande importância para um bom desenvolvimento radicular, pois expressa o grau de compactação, que pode interferir na produtividade das culturas, pois limita o crescimento e o desenvolvimento do sistema radicular (Silva et al., 2009). Normalmente, a determinação da resistência à penetração em campo é feita com a utilização de penetrômetros, pois são de fácil manuseio e relativamente rápidos na medição (Andrade et al., 2013). A avaliação da compactação do solo é baseada na condição atual em que se encontra o solo, sendo possível identificar as camadas que apresentam restrições a fenômenos de superfície, crescimento e produtividade das culturas (Mion et al., 2012).

A análise geoestatística contribui para mostrar que o manejo adotado no solo, tanto no preparo como no plantio, pode influenciar de forma diferente a variabilidade espacial dos atributos do solo (Silva et al., 2009). O avanço do conhecimento da variabilidade espacial da produtividade e das propriedades físicas do solo vem ao encontro do conhecimento já existente sobre o assunto, onde o qual, ao ser devidamente disponibilizado aos produtores, como do agronegócio, por exemplo, que adotam a técnica de agricultura de precisão, pode viabilizar uma agricultura mais competitiva, moderna e ecologicamente correta (Mercante et al., 2003).

O objetivo deste trabalho é medir e analisar espacialmente por meio da geoestatística a resistência mecânica à penetração em uma área irrigada por pivô central no sul do Tocantins.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Fazenda Universo, município de Sucupira – TO, Brasil. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é tropical semi-úmido AW (tropical de verão úmido e período de estiagem no inverno). A precipitação média anual é de 1500 mm. O experimento foi conduzido numa área irrigada por pivô central com 126 ha, localizado na latitude 11°54'22" S, longitude 48°54'44" W e altitude de 267 m. O solo do pivô é heterogêneo, possuindo variações entre Latossolo Vermelho Amarelo, Plintossolo e Cambissolo (Embrapa, 2006). O relevo do pivô é plano. A coleta de dados foi no mês de julho, inverno no hemisfério sul e época de estiagem no cerrado. O pivô estava sendo cultivado com feijão (*Phaseolus vulgaris*) e a cultura se encontrava em estágio vegetativo. O sistema de irrigação era ligado a cada 2 dias e fazia-se a irrigação com lâmina de 7mm por m<sup>2</sup>. O histórico da área se resume aos últimos 6 anos, sendo plantio de feijão, calagem e gradagem e posterior plantio de soja em 2008; feijão e soja em 2009; feijão, subsolagem, gradagem e soja em 2010; feijão e soja em 2011; feijão e soja em 2012; sorgo, calagem e gradagem, feijão e soja em 2013.

Foram coletados dados em 25 pontos georreferenciados (Figura 1), sendo 1 ponto para cada 5 ha a partir de malha amostral de 230 x 220 m, com 10 repetições coletadas num raio de 30 m ao redor do ponto. A obtenção de dados foi conduzida 1 dia após a irrigação total da área e iniciada no raio de início de irrigação caminhando em sentido ao final de raio de irrigação, contra o gradiente de irrigação, a fim de obter uma umidade mais homogênea nos pontos, pois segundo Bottega et al. (2011), a quantidade de água existente no solo está intimamente ligada aos valores de resistência do solo à penetração, e qualquer alteração neste último fator pode modificar tais valores. A coleta foi conduzida no mês de julho de 2013, e realizada em 3 dias.

Para avaliação da resistência mecânica do solo à penetração, foi utilizado penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar-Stolf, seguindo método proposto por Stolf et al. (1983), que fornece resultados da força por unidade de área ( $\text{kgf cm}^{-2}$ ) e depois multiplicados pela constante 0,098, para transformação em MPa (Beutler et al., 2001). Os resultados foram tabulados nas camadas de 0,00-0,06; 0,06-0,12; 0,12-0,18; 0,18-0,24 e 0,24 - 0,30 m.

A umidade foi determinada pelo método da estufa (Embrapa, 1997), onde uma amostra úmida de solo coletada em campo é colocada em uma cápsula e mantida em uma estufa a  $105^\circ$  por 72 horas. A diferença de peso inicial com peso final determina o teor de umidade. Foram coletadas amostras na camada 0,00-0,20 m, pois, por se tratar de uma área de irrigação por pivô central, a lâmina aplicada visou apenas suprir a planta conforme sua necessidade fisiológica e não saturar o solo até o ponto de murcha permanente.

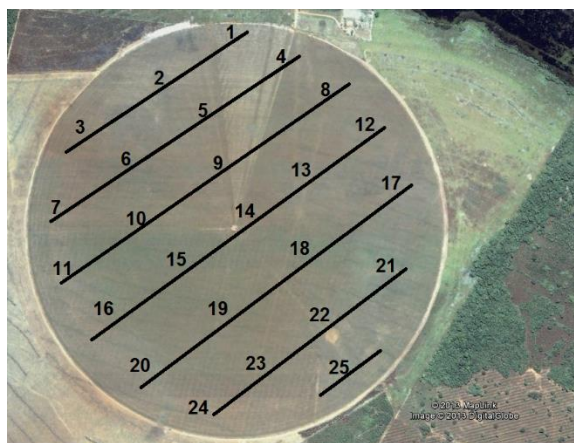


Figura 1. Grid da área amostral e pontos utilizados para a coleta dos dados. Sucupira-TO (2013).

Para a determinação do índice de dependência espacial (IDE), que é a proporção em porcentagem do efeito pepita ( $C_0$ ) em relação ao patamar ( $C_0 + C$ ), foi utilizado a equação ( $C_0 / C_0 + C$ ) proposta por Cambardella et al. (1994) que considera dependência forte < 25%; dependência moderada de 25 a 75 %; dependência fraca > 75 %. As análises geoestatísticas foram realizadas utilizando o programa GS+ (Gamma Design Software, 2000) e a interpolação dos dados realizadas pelo método de krigagem para a confecção dos mapas através do programa computacional Surfer 9 (Golden Software, 2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise estatística descritiva, percebeu-se que a média da resistência mecânica do solo à penetração (RP) aumentou da camada menos profunda (0,00-0,06 m) para as mais profundas (0,06-0,12; 0,12-0,18; 0,18-0,24 e 0,24 - 0,30 m) de 2,55 MPa até 8,86 MPa respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Estatística descritiva dos valores de umidade e resistência à penetração (RP) em camadas de 0,0-0,06; 0,06-0,12; 0,12-0,18; 0,18-0,24; 0,24-0,30 m em área irrigada no município de Sucupira-TO, 2013.

Estatística Descritiva	Umidade (%)	RP (MPa)				
		0,0-0,06 m	0,06-0,12 m	0,12-0,18 m	0,18-0,24 m	0,24-0,30 m
Média	8,75	2,55	5,61	7,79	8,28	8,86
Mediana	8,7	2,04	4,73	5,73	6,71	7,46
Variância	3,85	1,21	8,92	20,99	23,87	30,35
Mínimo	4,52	1,41	2,23	2,83	3,03	3,21
Máximo	12,01	5,35	14,54	18,02	20,83	23,4
CV (%)*	22%	43%	53%	58%	58%	62%
Assimetria	-0,23	1,21	1,49	1,15	1,18	1,24
Curtose	-0,66	0,35	1,69	0	0,48	0,77

\*CV= Coeficiente de Variação

Carvalho et al. (2008), numa avaliação da RP sob cultivo de cana de açúcar numa Latossolo Vermelho Argiloso obteve o mesmo comportamento, camadas mais profundas com maiores valores de RP. Alguns fatores podem estar causando uma maior RP em camadas mais profundas, como pressão de camadas próximas e o tráfego de máquinas agrícolas usados no manejo do solo (Borges et al., 2004). Por se tratar de uma área irrigada por pivô central, onde a utilização do solo é constante, o tráfego de máquinas e a mecanização intensa ao longo do ano, podem ser as causas dos valores crescentes de RP tanto nas camadas superficiais como as mais profundas. Moraes et al. (2013), ao avaliar os efeitos do tráfego intensivo de máquinas e o conteúdo de água no solo em um Latossolo Vermelho distroférrico, notou que a RP aumentou com o número de movimentações de maquinaria sobre o solo, assim como, o aumento da profundidade de compactação.

Valores de RP mais altos em camadas mais profundas podem estar ligados a umidade do solo (Tormena et al., 2007), visto que, a irrigação aplicada visa dar condições hídricas necessárias para que a planta consiga se desenvolver, não interessando levar o solo ao ponto de murcha permanente. Oliveira et al. (2010), num trabalho sobre compactação em um Argissolo Amarelo Distrocoeso submetido a diferentes manejos, observou que, condições de manejo sem irrigação e manejo com irrigação podem sofrer degradação através da compactação, mesmo com teores de umidade mais baixos.

Comumente, valores superiores a 2 MPa de resistência à penetração são adotados como limitantes e impeditivos ao crescimento radicular (Beutler et al., 2006), entretanto, outros valores críticos de resistência à penetração, variando de 1,5 a 4,0 MPa são encontrados na literatura (Beutler & Centurion, 2003). Ainda assim, valores máximos obtidos foram muito altos, onde, segundo a literatura, teriam indiscutível impedimento de crescimento radicular com valores variando de 5,35 a 23,4 MPa. Moraes et al. (2013), em seu trabalho anteriormente citado, percebeu valores que ultrapassaram 23 MPa de RP em uma condição com alto tráfego de máquinas e baixa umidade. Aliada a baixa umidade do solo, os valores expressivos encontrados neste trabalho, podem ser explicados pelo fato do solo do pivô central ser heterogêneo, com manchas de Plintossolo, conseqüentemente com plintita, uma mistura de argila que é pobre em C orgânico e rica em Fe, ou Fe e Al, com quartzo e outros materiais (Embrapa, 2006) e que na área irrigada, foram encontradas em sua forma endurecida (petroplintita) nas camadas superficiais do solo. Ao se medir a resistência à penetração com o penetrômetro de impacto, a presença de cascalhos (rochas com fração granulométrica entre 2 e 20 mm de diâmetro) dificultaram a penetração da haste, podendo ter interferido nos valores de leitura.

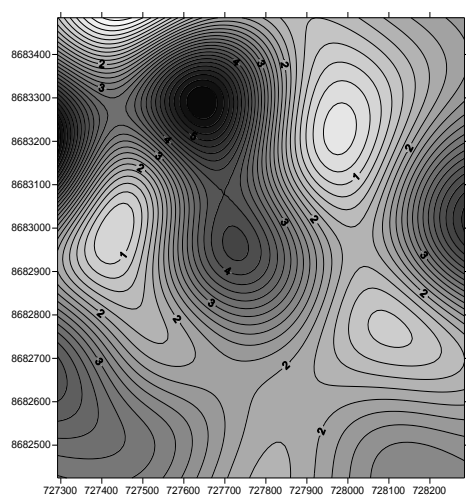


Figura 2. Distribuição espacial da resistência à penetração (MPa) na profundidade 0,00-0,06 m em área irrigada no município de Sucupira-TO, 2013.

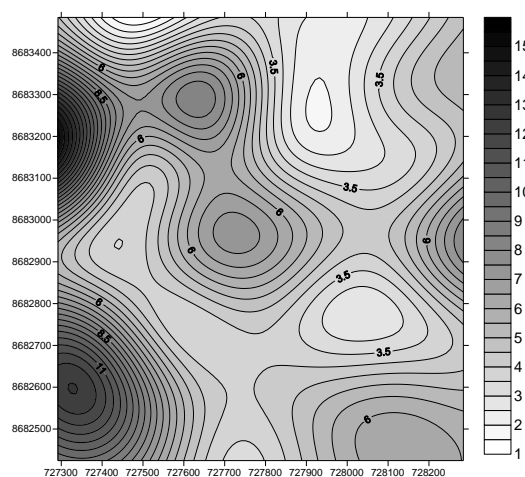


Figura 3. Distribuição espacial da resistência à penetração (MPa) na profundidade 0,06-0,12 m em área irrigada no município de Sucupira-TO, 2013.

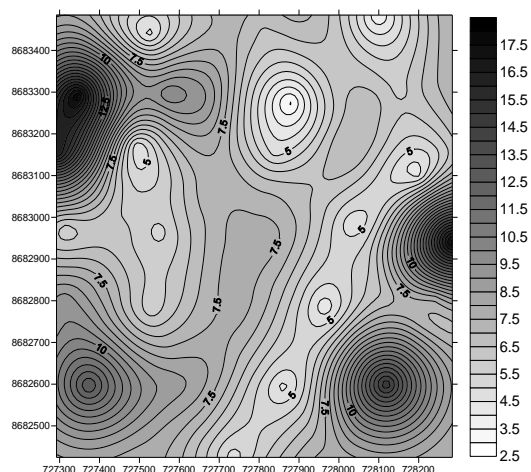


Figura 4. Distribuição espacial da resistência à penetração (MPa) na profundidade 0,12-0,18 m em área irrigada no município de Sucupira-TO, 2013.

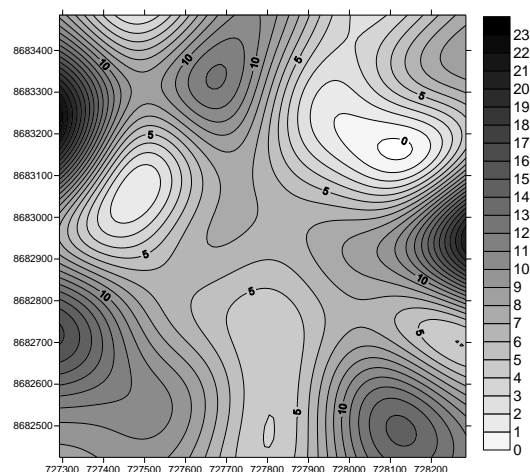


Figura 5. Distribuição espacial da resistência à penetração (MPa) na profundidade 0,18-0,24 m em área irrigada no município de Sucupira-TO, 2013.

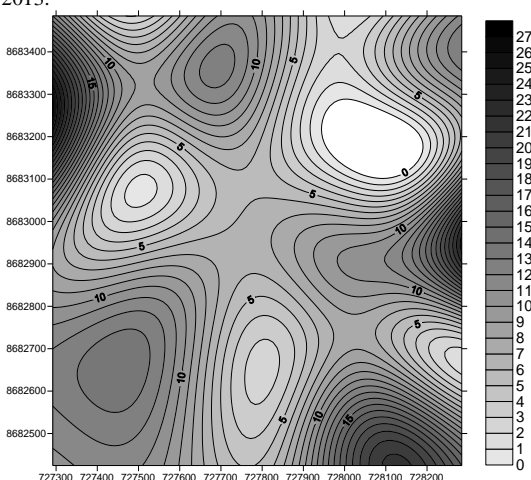


Figura 6. Distribuição espacial da resistência à penetração (MPa) na profundidade 0,24-0,30 m em área irrigada no município de Sucupira-TO, 2013.

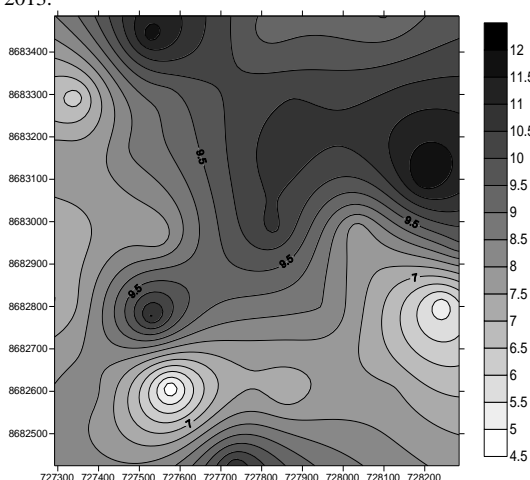


Figura 8. Distribuição espacial da umidade (%) na profundidade 0,00-0,20m em área irrigada no município de Sucupira-TO, 2013.

Tabela 2. Parâmetros ajustados ao semivariograma de umidade e resistência à penetração (RP) nas camadas de 0,0-0,06; 0,06-0,12; 0,12-0,18; 0,18-0,24; 0,24-0,30 m em área irrigada no município de Sucupira-TO, 2013.

Parâmetro	Umidade (%)	RP (MPa)				
		0,0-0,06 m	0,06-0,12 m	0,12-0,18 m	0,18-0,24 m	0,24-0,30 m
Modelo	Gaussiano	Gaussiano	Gaussiano	Esférico	Gaussiano	Gaussiano
Efeito Pepita (Co)	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Patamar (C + Co)	0,0533	0,1442	0,1712	0,2282	0,2492	0,3042
Variância (C)	0,0532	0,4141	0,1711	0,2281	0,2491	0,3041
Alcance (a)	294,44	242,48	221,7	229	232,09	290,98
R <sup>2</sup>	53%	67%	86%	51%	60%	71%
SQR	1,38E+00	1,668E-03	4,594E-04	6,309E-03	7,893E-03	0,0163
ADE	99%	99%	99%	100%	100%	100%

R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; SQR = soma dos quadrados dos desvios; ADE= avaliador da dependência espacial.

Os coeficientes de variação (CV) da RP (Tabela1) observados estão situados entre 43% e 62%, considerados médios a altos (Warrick & Nielsen, 1980). Camargo et al. (2010) também encontraram valores altos do CV quanto a RP nas camadas 0,00-0,20 m e 0,20-0,40 m, num trabalho em Argissolo cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes curvaturas do relevo. Greco et al. (2012), num trabalho que visava identificar a variabilidade espacial do solo numa área de pastagem cultivada com capim-marandu (*Brachiaria brizantha*), sob um Latossolo Vermelho-Amarelo também obteve valores altos de CV para a RP nas camadas 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,15; 0,15-0,20; 0,20-0,25; 0,25-0,30m com valores que chegaram a 49,72%. Coelho et al. (2012), ao medir a RP nas camadas de 0,00-0,40 m em um Vertissolo cultivado com manga, no cerrado brasileiro, obteve valores de CV que variaram entre 23,6 % e 97,3%.

Analisando o semivariograma (Tabela 2), foi possível visualizar o ajuste do modelo esférico da RP na camada 0,12-0,18 m, nas outras camadas e na umidade, o ajuste mais adequado foi do modelo gaussiano. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos gaussianos variaram entre 53% e 86%, já o modelo esférico apresentou  $R^2$  51%, valor mais baixo entre todos (Tabela 2). Coelho et al. (2012) em seu trabalho num Vertissolo cultivado com manga, observou que o modelo esférico melhor se ajustou para a RP em 4 camadas coletadas de 0,00-0,40 m, com valores de  $R^2$  de 82% a 100%. Souza et al. (2004) comenta que o modelo esférico e o exponencial são os de maior ocorrência em pesquisas relacionadas aos atributos do solo. Comportamento observado por Grego et al. (2012), onde o modelo esférico foi mais frequente ao modelo exponencial. Já, Medina et al. (2012), determinando a RP num solo argiloso (Andisol) na Colômbia, em 14 camadas de 0,00-0,60 m observou que a variação dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) oscilou entre 53% e 77% em semivariogramas ajustados nos modelos esférico e exponencial.

Em relação ao alcance, houve aumento na distância entre pontos, com exceção da camada superficial, dando a entender que a malha amostral utilizada no experimento desfavorece a distribuição espacial entre os pontos. Coelho et al. (2012) encontrou um padrão diferente em Vertissolo nas camadas de 0-0 a 0-0,40 m, usando malha espacial menor (50 x 50 m). O pesquisador relata que os efeitos sobre o alcance podem estar relacionados ao manejo e tipo de cada solo, assim como da quantidade e distribuição das amostras no campo.

## CONCLUSÕES

- 1- O pivô central se encontra em estado de compactação.
- 2- A heterogeneidade do solo aliada a baixa umidade podem revelar valores altíssimos de resistência à penetração.
- 3- A mecanização e o tráfego constante em área irrigada por pivô central favorece a resistência à penetração.

## LITERATURA CITADA.

- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; GODOY, S. G. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.17, n.9, p.932-937, 2013.
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A.P.; BARBOSA, J. C. Intervalo hídrico ótimo e produtividade de cultivares de soja. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 639-45, 2006.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho Distrófico Típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 1, p. 129- 136, 2001.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.38, p.849-856, 2003.
- BORGES, J. R.; PAULETTO, E. A.; SOUSA, R. O.; PINTO, L.F.S.; LEITZKE, V. W. Resistência à penetração de um gleissolo submetido a sistemas de cultivo e culturas. *Revista Brasileira de Agrociência*, v. 10, n. 1, p. 83-86, 2004.
- BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. DE A.; QUEIROZ, D. M. DE; SOUZA, C. M. A. DE; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 2, p. 331-336, 2011.
- CAMARGO, L. A.; JÚNIOR, J. M.; PEREIRA, G. T. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:617-630, 2010.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society Amsterdam Journal*, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.
- CARVALHO, L. A.; VALDEMAR NETO, V. J.; SILVA, L. F.; PEREIRA, J. G.; NUNES, W. A. G. A.; CHAVES, C. H. C. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brillhante-MS. *Agrarian*, v. 1, n.2, p. 7-22, 2008.
- COELHO, D. S.; CORTEZ, J. W.; LSZEWSKI, N. Variabilidade Espacial da Resistência Mecânica à Penetração em Vertissolo Cultivado com Manga no Perímetro Irrigado de Mandacaru, Juazeiro, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:755-763, 2012
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Custos de produção agrícola: a metodologia da Conab. Brasília: Conab, 2010. 60 p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 306p.

- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.
- FAO-Food and Agriculture Organization. FAO Statistical Yearbook 2013. Rome, 2013.
- GAMMA DESIGN SOFTWARE. GS+ for Windows. Demonstration version. Michigan: Gamma Design Software, 2000.
- GOLDEN SOFTWARE. Surfer for Windows version 9.0. Colorado: Golden, 2010.
- GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A.; ALMEIDA, C. G. F.; FURTADO, A. L. S.; DEMARCHI, J. J. A. A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geostatística. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.47, n.9, p.1404-1412, 2012.
- MARCUZZO, F.F.N.; MELO, D.C.R.; COSTA, H.C. Sazonalidade e distribuição espaço-temporal das chuvas no bioma do cerrado do estado do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Volume 17 n.1 p. 77-86, 2012.
- MEDINA, C.; CAMACHO-TAMAYO, J. H.; CORTÉS, C. A. Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. *Engenhria Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.1, p.91-101, 2012.
- MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO M. A.; SOUZA, E. G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem manejo químico localizado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, n. 6, p.1149-1159, 2003.
- MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L.; SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração em um Argissolo Amarelo. *Semina: Ciência Agrárias*, v. 33, n. 6, p. 2057-2066, 2012.
- MORAES, M.T; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R. Soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. *Engenhria Agrícola*, Jaboticabal, v.33, n.4, p.748-757, 2013.
- OLIVEIRA, J. S.; ZOCOLER, J. L. Custos da irrigação e receita líquida do feijoeiro em um sistema pivô central sob variação do comprimento da tubulação de recalque e desnível topográfico. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.33, n.1, p.121-128, 2013.
- OLIVEIRA, V.S.; ROLIM, M.M.; VASCONCELOS, R.F.N.; COSTA, Y.D.J.; PEDROSA, E.M.R. Compactação de um argissolo amarelo distrocoeso submetido a diferentes manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.9, p.914-920, 2010.
- SILVA, J. M.; PASSOS, A. L. R.; BELTRÃO, F. A. S. Análise espacial da densidade, umidade e resistência mecânica do solo à penetração sob sistemas de cultivo. *Engenharia Ambiental*, v. 6, n. 3, p. 103-118, 2009.
- SOUZA, Z. M.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 6, p. 937-944, 2004.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. 1983. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar – Stolf. R. STAB – Açúcar, Álcool Subpr., 1, 1-10.
- TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FILDALSKI, J. M. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distrófico sob sistemas de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.211-219, 2007.
- WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel, D. (ed.). *Application of soil physics*, New York: Academic Press, 1980. p.319-324.