

# COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR ORGÂNICA

**Palavras-Chave: SAÚDE DO SOLO; POROSIDADE DO SOLO; PLANTIO DIRETO**

**Autores(as):**

**GABRIEL DE LORENA MUNIZ SURANI, FEAGRI-UNICAMP**

**MSc. ALINE SCHNEIDERS MARTINS DALPIAN (coorientadora), FEAGRI-UNICAMP**

**Prof. Dr. ZIGOMAR MENEZES DE SOUZA (orientador), FEAGRI-UNICAMP**

---

## INTRODUÇÃO:

Nos últimos 15 anos grandes transformações nas práticas de cultivo de cana-de-açúcar ocorreram, notadamente, com a adoção do plantio e colheita mecanizada (BORDONAL et al., 2018). Este método ocasiona inúmeros benefícios ao solo, como por exemplo, redução da emissão dos gases do efeito estufa e aumento da quantidade de carbono armazenada no solo (ESTEBAN et al., 2019), diminuição dos gastos para a renovação do canavial (em consequência de sua maior vida útil), liberação gradativa e reciclagem dos nutrientes para o solo, devido à decomposição da palhada (OTTO et al., 2020), redução da erosão, o aumento da quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) e redução a temperatura do solo (FARHATE et al., 2022).

Outro fator que está diretamente ligado ao setor sucroenergético é o sistema de manejo do solo empregado nas lavouras de cana-de-açúcar. No Brasil, onde predomina o clima tropical, o sistema plantio direto (SPD) é o mais indicado para as práticas agrícolas, uma vez não há revolvimento do solo, com exceção do sulco de semeadura (BORDONAL et al., 2018). Perante o exposto, a tendência do cultivo da cana-de-açúcar é unir as práticas sustentáveis, desde o preparo do solo até a fabricação dos produtos com a matéria-prima, e a expansão do setor sucroalcooleiro, ainda operando com o manejo convencional, dificulta a implantação de sistemas sustentáveis.

Sendo assim, a pesquisa tem como hipótese que uso do Mix antecedendo o plantio direto da cana-de-açúcar, reduzirá o grau de compactação e resistência do solo à penetração ao longo do ciclo produtivo com aumento da produtividade da cultura sob manejo orgânico, se comparados os demais tratamentos estabelecidos. Portanto, o objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos do uso de diferentes plantas de cobertura associadas a distintos sistemas de preparo nos atributos físicos e produtividade da cana-de-açúcar sob manejo orgânico, no ciclo da primeira cana soca.

## METODOLOGIA:

O estudo foi conduzido em condições de campo em uma área experimental que está localizada no município de Goiatuba, Goiás, Brasil, posicionado aos 18°3'18.07" de latitude sul e 49°39'54.22" de longitude oeste e com altitude média de 690 metros acima do nível do mar. Trata-se de uma área de renovação de canavial pertencente à Usina Goiasa onde o clima da região é classificado como tropical com estação seca (Aw) segundo a classificação climática de Köppen onde as chuvas ocorrem entre 1.600 e 1.900 mm ano<sup>-1</sup>, com média anual de temperatura de 20 °C. Baseado no levantamento pedológico da área, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho típico ou como Oxisol segundo o Soil Taxonomy System com textura média (26-35% de argila, com horizonte A moderado).

O delineamento experimental empregado foi o de blocos ao acaso, com três repetições, em esquema de parcelas subdivididas. As parcelas corresponderam aos três sistemas de preparo do solo: 1- Plantio direto

com gradagem a 0,20 m para controle de plantas espontâneas; 2- Cultivo mínimo com subsolagem a 0,45 m; e 3- Preparo convencional com aração e gradagem a 0,20 m. E as subparcelas receberão as três coberturas: I- Milheto (*Pennisetum glaucum*); II- Sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench); e III- Mix 1 (50% *Crotalaria spectabilis* e 50% Milheto - *Pennisetum glaucum*). Cada parcela experimental apresenta sete linhas de cana-de-açúcar, distribuídas em 30 m de largura (espaçamento entrelinhas de 1,5 m) e 10 m de comprimento (300 m<sup>2</sup>).

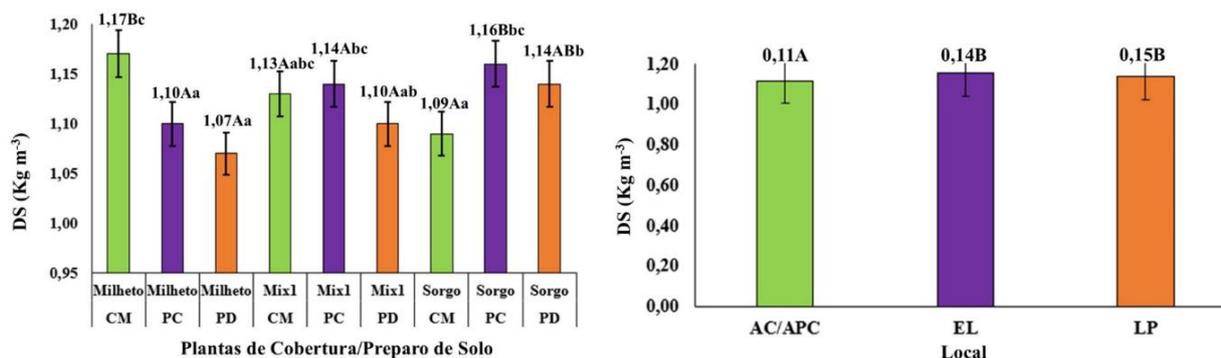
A porosidade foi calculada a partir da mesa de tensão e a microporosidade corresponde à umidade volumétrica da amostra submetida a uma tensão de 0,006 MPa, após saturação. A porosidade total foi obtida segundo metodologia da EMBRAPA e a macroporosidade por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (TEIXEIRA et al., 2017).

Para a determinação da resistência do solo à penetração foi realizada em laboratório por meio de amostras indeformadas. Para eliminar o efeito da variação do teor de água no solo, as amostras foram saturadas por capilaridade e submetidas à tensão de 0,06 MPa para equilibrar a umidade das amostras. Em seguida, foi realizada a determinação da resistência do solo à penetração, por meio de um penetrômetro eletrônico de bancada, modelo MA 933, da marca MARCONI, com a ponteira de 4 mm e com uma velocidade constante de penetração de 10 mms<sup>-1</sup>.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A interação de planta de cobertura com sistema de preparo obteve diferenças significativas para a densidade do solo (Ds) (Figura 1). Comparando efeito da mesma cobertura em diferente sistema de preparo solo, observou as maiores Ds para a o milheto no sistema com cultivo mínimo (1,17 kg dm<sup>-3</sup>) e o sorgo no sistema de preparo convencional (1,16 kg dm<sup>-3</sup>). O efeito da interação de sistema de preparo com tipo de planta de cobertura foi obtido no cruzamento do plantio direto com cobertura de milheto que apresentou uma densidade de 1,07 kg dm<sup>-3</sup>, reduzindo a densidade da área em 5,31%. Farhate et al. (2022) avaliando preparo do solo e plantas de cobertura em área de cana-de-açúcar, observaram no horizonte A, durante o ciclo da cana planta, que o uso da crotalária com cultivo mínimo e plantio direto e, no primeiro ciclo da cana soca, o manejo com crotalária e plantio direto, apresentaram valores de Ds significativamente menores em relação ao sistema com preparo convencional.

**Figura 1.** Valores médios da densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>) sob cultivo de cana-de-açúcar orgânica em Goiatuba, Goiás, Brasil. CM = cultivo mínimo; PC = preparo convencional; PD = plantio direto. AC/APC = antes da implantação da cana-de-açúcar e após a roçagem das plantas de cobertura; LP = linha de plantio; EL = entrelinha.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na análise da mesma cobertura em diferentes preparos do solo e, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na análise do mesmo preparo em coberturas pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

Comparando os sistemas conservacionistas (CM e PD) em relação ao preparo convencional, verifica-se que para a plantas de cobertura crotalária, milheto e Mix 1 o plantio direto apresentou os menores valores para a Ds (Figura 1). Bella et al. (2021) não verificaram diferença significativa comparando Mix de plantas de cobertura com espécies únicas em região tropical. Luz et al. (2020) avaliando a expansão de cana-de-açúcar, verificaram que a conversão de pastagem para cana-de-açúcar (cana planta) reduziu a densidade do solo em 10%, mas apenas na camada superficial do solo arenoso. Além disso, o cultivo da cana-de-açúcar (primeira soca) não induziu alterações na densidade do solo em comparação a área de pastagem.

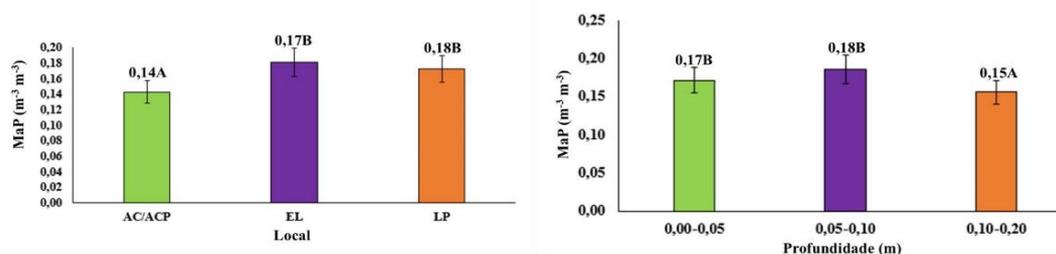
Independente do preparo do solo e plantas de cobertura utilizados, os valores de Ds do solo ficaram abaixo de 1,21 kg dm<sup>-3</sup> (Figura 1). Segundo Reynolds et al. (2009) valores de Ds entre 0,90-1,20 kg dm<sup>-3</sup> é a faixa

ideal para Ds, enquanto valores maiores que 1,25-1,30 kg dm<sup>-3</sup> indicam compactação em solos argilosos. Os resultados de Ds em nosso estudo são semelhantes aos de Luz et al. (2020), que avaliaram atributos hidrofísicos do solo em um latossolo argiloso e encontrou valores de Ds próximos a 1,00 kg dm<sup>-3</sup> em área sob vegetação nativa, e cerca de 1,20 kg dm<sup>-3</sup> em solos sob cultivo de cana-de-açúcar.

Para os diferentes locais de amostragem a Ds comportou-se da seguinte maneira AC/APC < LP < EL (1,11, 1,14 e 1,15 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente). Destaca-se que o valor da Ds antes do plantio da cana-de-açúcar e após o plantio das plantas de cobertura apresentou o menor valor em comparação a linha de plantio e entrelinha (Figura 1). Resultados semelhantes foram relatados por Oliveira et al. (2019), que constataram que o uso de milho e crotalária antes do cultivo da cana-de-açúcar melhorou a qualidade estrutural do solo. Esteban et al. (2019) verificaram menores valores de resistência do solo à penetração e densidade do solo na linha de plantio em relação a entrelinha, devido a implementação do controle de tráfego (uso do piloto automático) em áreas cultivadas com cana-de-açúcar.

A macroporosidade (MaP) teve interação significativa na análise individual para época e local de coleta e nas diferentes camadas avaliadas (Figura 2), as demais interações não diferiram estatisticamente. Observa-se que após a colheita da cana planta os valores MaP não diferiram na EL e LP, ocorrendo provavelmente por manter os efeitos positivos das plantas de cobertura e o revolvimento promovido em todos os sistemas de preparo solo antes da implantação da cana-de-açúcar (subsolagem a 0,45 m no CM, aração 0,20 no PD e aração e gradagem no PC).

**Figura 2.** Valores médios da macroporosidade do solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) sob cultivo de cana-de-açúcar orgânica em Goiatuba, Goiás, Brasil. AC/APC = antes da implantação da cana-de-açúcar e após a roçagem das plantas de cobertura; LP = linha de plantio; EL = entrelinha.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na análise da mesma cobertura em diferentes preparos do solo e, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na análise do mesmo preparo em coberturas pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

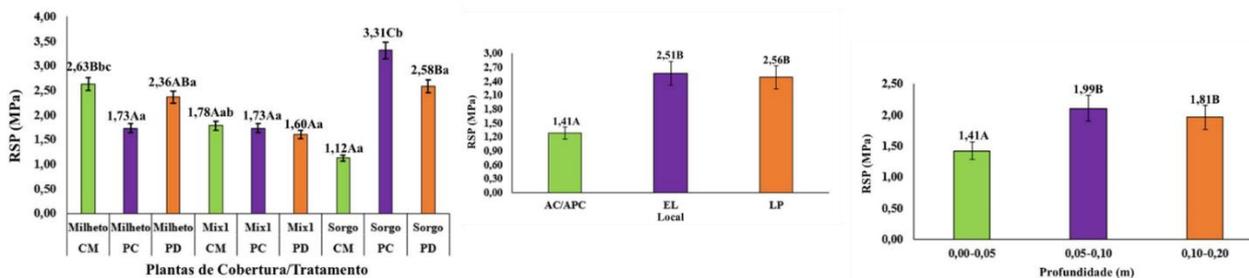
Nas diferentes épocas de amostragem e camadas avaliadas, verificaram que os valores de MaP do solo, foram superiores a 0,10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, valor considerado restritivo a aeração do solo (Figuras 2). Como no sistema de produção orgânico de cana-de-açúcar não permite o uso de produtos químicos para o controle de doenças, pragas e plantas espontâneas, o revolvimento do solo é necessário nos diferentes sistemas de preparo, com isso ocorreu uma homogeneização dos valores da MaP após a colheita da cana planta. Pesquisas mostram resultados contrários onde a colheita de cana-de-açúcar com diferentes preparos do solo promove redução significativa da MaP em cultivo de cana planta e/ou soca (ESTEBAN et al., 2019; GUIMARÃES JÚNNYOR et al., 2019).

Ocorreu interação de sistema de preparo do solo com as plantas de cobertura, com diferença dos sistemas de preparo do solo na mesma planta de cobertura (Figura 3). O preparo convencional combinado com o sorgo obteve a maior resistência do solo à penetração (RSP) de 3,31 MPa, em sequência para o cultivo mínimo combinado com o milho sendo de 2,63 MPa e o plantio direto de 2,36 MPa. Farhate et al. (2019) estudando diferentes plantas de cobertura e preparo do solo, verificaram efeito das plantas de cobertura na RSP e com valores abaixo de 1,0 MPa. Resultados contrários foram observados por Martins et al. (2023) que observaram maior RSP no sistema PD em relação ao PC em área de cana-de-açúcar no Brasil.

Fica claro que independente da planta de cobertura a RSP apresentou um valor de 1,14 MPa, demonstrando o efeito benefício dessa prática em área de cana-de-açúcar (Figura 3). Farhate et al. (2022) verificaram melhoria da qualidade física do solo com a utilização de plantas de cobertura em cana-de-açúcar em região tropical, o mesmo comportamento foi evidenciado por Oliveira et al. (2019) onde o milho e a crotalária quando comparado ao amendoim e sorgo reduziram a compactação do solo e aumentaram a disponibilidade de água para a cultura de cana-de-açúcar.

Os valores da RSP na LP e EL não diferiram entre si (Figura 3), isso se deve ao efeito positivo das plantas de cobertura e somente uma colheita da cultura da cana-de-açúcar (cana planta). Porém, o efeito acumulativo das colheitas de cana-de-açúcar e, por ser uma cultura semi-pereni não permite o manejo do solo ao longo do ciclo (5 a 6 anos) acarretando o aumento da compactação e redução dos efeitos positivos das plantas de cobertura (ESTEBAN et al., 2019; MARTINS et al., 2023).

**Figura 3.** Valores médios da resistência do solo à penetração (MPa) sob cultivo de cana-de-açúcar orgânica em Goiatuba, Goiás, Brasil. CM = cultivo mínimo; PC = preparo convencional; PD = plantio direto. AC/APC = antes da implantação da cana-de-açúcar e após a roçagem das plantas de cobertura; LP = linha de plantio; EL = entrelinha.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem entre si na análise da mesma cobertura em diferentes preparos do solo e, médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem entre si na análise do mesmo preparo em coberturas pelo teste t ( $p < 0,05$ ).

Ocorreu o aumento da RSP em profundidade (Figura 3), resultados semelhantes foram observados por Guimarães Júnnyor et al. (2019) estudando a compactação do solo induzida por máquinas agrícolas em sistemas de cultivo de cana-de-açúcar com e sem rotação de culturas. Após a primeira colheita os menores valores de RSP foram observadas até a profundidade de 0,20 m com valores abaixo de 2,0 MPa. Esteban et al. (2019) verificaram após a terceira colheita, que os tratamentos apresentaram menores valores de resistência do solo à penetração na linha de plantio até a profundidade de 0,30 m. Valores elevados de RSP nas camadas subsuperficiais podem indicar efeito de manejo anterior que não foi removido no momento da realização do experimento. Outro fator que pode ter influenciado é o efeito das pressões das camadas superiores sobre as camadas mais profundas conforme exposto por Gao et al. (2016).

Não houve efeito significativo do preparo do solo e plantas de cobertura na produtividade da cana-de-açúcar na área experimental (Tabela 1). Entretanto, as melhorias na qualidade física do solo não influenciaram na produtividade da cana-de-açúcar, sendo que a produtividade média para o estado de Goiás para 2022 foi de 74,6 t ha<sup>-1</sup>, estando acima da média obtida para os tratamentos na área experimental. Em condições de sequeiro, a produtividade da cana-de-açúcar depende muito mais da quantidade de chuva que do manejo adotado.

**Tabela 1.** Produtividade média da cana-de-açúcar orgânica (t ha<sup>-1</sup>) em Goiatuba, Goiás, Brasil.

Preparo	Plantas de cobertura				
	Milheto	Mix 1	Mix 2	Crotalária	Sorgo
Cultivo mínimo	56,85 Aa	56,59 Aa	62,46 Aa	56,62 Aa	66,11 Aa
Preparo convencional	45,45 Aa	52,26 Aa	52,48 Aa	56,66 Aa	61,29 Aa
Plantio direto	43,17 Aa	46,28 Aa	45,31 Aa	58,17 Aa	61,83 Aa

A maior produtividade da cana-de-açúcar ocorreu para o CM com o sorgo (66,11 t ha<sup>-1</sup>) para o ciclo da cana planta não diferindo dos demais tratamentos estudados (Tabela 1). Resultados semelhantes foram relatados recentemente por Awe et al. (2020) e Farhate et al. (2022) no sul e sudeste do Brasil, respectivamente. Apesar disso, os autores recomendam sistemas de preparo que promovam maior qualidade do solo para a produção de cana-de-açúcar. É provável que a promoção da saúde do solo por meio de sistemas conservacionistas possa trazer benefícios para o rendimento das culturas a longo prazo, conforme relatado por Ambrosano et al. (2011). Esses autores observaram que o cultivo da crotalária como cultura de cobertura antes do plantio da cana-de-açúcar não afetou a produtividade da cana-de-açúcar no curto prazo, mas houve um aumento de 30% em média após cinco colheitas em relação ao controle (sem culturas de cobertura).

## CONCLUSÕES:

Os diferentes sistemas de preparo e cobertura tiveram efeito na estrutura do solo, com áreas de preparos por sistemas conservacionistas (cultivo mínimo e plantio direto), apresentaram efeitos positivos na estrutura do solo em relação ao preparo convencional. Os sistemas de preparo do solo x plantas de cobertura não apresentaram diferença para a produtividade da cana planta orgânica. Destaca-se que a safra estudada passou por um período estresse hídrico o que comprometeu a produtividade da cultura.

## BIBLIOGRAFIA:

AMBROSANO, E. J.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; AZCÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas. **Bragantia**, v.70, n.4, p.810-818, 2011.

AWE, G. O.; REICHERT, J. M.; FONTNELA, E. Sugarcane production in the subtropics: Seasonal changes in soil properties and crop yield in no-tillage, inverting and minimum tillage. **Soil and Tillage Research**, v.196, p.1-12, 2020.

BORDONAL, R. O.; CARVALHO, J. L. N.; LAL, R.; FIGUEIREDO, E. B.; OLIVEIRA, B. G.; LA SCALA JÚNIOR, N. Sustainability of sugarcane production in Brazil. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.38, n.13, p.1-23, 2018.

BELLA, L.; ZAHMEL, M.; VAN ZWIETEN, L.; ROSE, T. J. Weed suppression, biomass and nitrogen accumulation in mixed-species and single-species cover crops in a tropical sugarcane fallow. **Agriculture**, v.11, p.1-12, 2021.

ESTEBAN, D. A. A.; SOUZA, Z. M.; TORMENA, C. A.; LOVERA, L. H.; LIMA, E. S. OLIVEIRA, I. N.; RIBEIRO, N. P. Soil compaction, root system and productivity of sugarcane under different row spacing and controlled traffic at harvest. **Soil and Tillage Research**, v.187, p.60-71, 2019.

FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M.; LA SCALA JÚNIOR, N.; SOUSA, A. C. M.; SANTOS, A. P. G.; CARVALHO, J. L. N. Soil tillage and cover crop on soil CO<sub>2</sub> emissions from sugarcane fields. **Soil use and Management**, v.35, p.273-282, 2019.

FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M.; CHERUBIN, M. R.; LOVERA, L. H.; OLIVEIRA, I. N.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; LA SCALA, N. Soil physical change and sugarcane stalk yield induced by cover crop and soil tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.46, p.1-24, 2022.

GAO, W.; WHALLEY, W. R.; TIAN, Z.; LIU, J.; REN, T. A simple model to predict soil penetrometer resistance as a function of density, drying and depth in the field. **Soil and Tillage Research**, v.155, p.190-198, 2016.

GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; DISERENS, E.; DE MARIA, I. C.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; FARHATE, C. V. V.; SOUZA, Z. M. Prediction of soil stresses and compaction due to agricultural machines in sugarcane cultivation systems with and without crop rotation. **Science of the Total Environment**, v.681, p.424-434, 2019.

LUZ, B. F.; CARVALHO, M. L.; AQUINO DE BORBA, D.; SCHIEBELBEIN, B. E.; LIMA, R. P.; CHERUBIN, M. R. Linking soil water changes to soil physical quality in sugarcane expansion areas in Brazil. **Water**, v.12, p.1-18, 2020.

MARTINS, M. B.; MARQUES FILHO, A. C.; SANTANA, L. S.; GUIMARÃES JÚNNYOR, W. S.; BORTOLHEIRO, F. P. A. P.; VENDRUSCOLO, E. P.; SERON, C. C.; COSTA, E.; SILVA, K. G. P. Productivity and quality sugarcane broth at different soil management. **Agronomy**, v.13, n.1, p.1-14, 2023.

OLIVEIRA, I. N.; SOUZA, Z. M.; LOVERA, L. H.; FARHATE, C. V. V.; LIMA, E. S.; ESTEBAN, D. A. A.; FRACAROLLI, J. A. Least limiting water range as influenced by tillage and cover crop. **Agricultural Water Management**, v.225, p.1-15, 2019.

OTTO, R.; PEREIRA, G. L.; TENELLI, S.; CARVALHO, J. L. N.; LAVRES, J.; CASTRO, S. A. Q.; LISBOA, I. P.; SERMARINI, R. A. Planting legume cover crop as a strategy to replace synthetic N fertilizer applied for sugarcane production. **Industrial Crops and Products**, v.156, p.1-12, 2020.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; FOX, C. A.; YANG, X. M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v.152, n.3-4, p.252-263, 2009.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3 Ed Revista e Ampliada. Brasília: Embrapa, 2017.