

Caracterização de um Latossolo Vermelho distroférrico no município de Tangará da Serra, Mato Grosso

Diego Fernando Daniel^{1*}; Rivanildo Dallacort²; João Danilo Barbieri³; Paulo Sérgio Lourenço de Freitas⁴; Marco Antonio Camillo de Carvalho⁵; Alcir José Modolo⁶; Oscar Mitsuo Yamashita⁷

DOI: <https://doi.org/10.35699/2447-6218.2022.39613>

Resumo

O objetivo desse trabalho foi caracterizar um Latossolo Vermelho distroférrico quanto às suas propriedades físico-hídricas. A amostragem do solo foi efetuada em uma área de cultivo agrícola no campo experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) em Tangará da Serra - MT. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm. Os atributos do solo analisados foram textura, densidade do solo, umidade volumétrica, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, resistência do solo à penetração, capacidade de água disponível, disponibilidade total de água e velocidade de infiltração básica. Para cada variável avaliada, foi realizada a análise de variância e a comparação de médias (Tukey $p < 0,05$). O Latossolo Vermelho distroférrico do local de estudo possui textura muito argilosa. Para o teor de argila encontrado, a densidade crítica é de $1,34 \text{ kg dm}^{-3}$. A capacidade de campo do solo é de $0,3490 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o ponto de murcha permanente é de $0,2083 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, com capacidade de água disponível de 82,45 mm. A resistência do solo à penetração encontrada classifica-o com resistência moderada. A velocidade de infiltração básica do solo (VIB) foi de $25,91 \text{ mm h}^{-1}$, classificada como VIB alta.

Palavras-chave: CAD. Capacidade de campo. Densidade do solo. Ponto de murcha permanente. Velocidade de infiltração.

Characterization of a dystroferic Red Latosol in the municipality of Tangará da Serra, Mato Grosso

Abstract

The aim of this work was to characterize a dystroferic Red Latosol in terms of its physical-hydric properties. Soil sampling was carried out in an agricultural cultivation area in the experimental field of the State University of Mato Grosso (UNEMAT) in Tangará da Serra - MT. Deformed and undisturbed soil samples were collected in the 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 and 40-50 cm layers. The soil attributes analyzed were texture, soil density, volumetric moisture, macroporosity, microporosity, total porosity, field capacity, permanent wilting point, soil penetration resistance, available water capacity, total water availability and basic infiltration velocity. Analysis of variance and comparison of means were performed for each variable evaluated (Tukey $p < 0.05$). The dystroferic Red Latosol at the study site has a very clayey texture. For the clay content found, the critical density is 1.34 kg dm^{-3} . The field capacity of the soil

¹Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra – MT. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-1743-5089>

²Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra – MT. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-7634-8973>

³Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Tangará da Serra – MT. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-8251-1255>

⁴Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá – PR. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-6663-2797>

⁵Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Alta Floresta – MT. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0003-4966-1013>

⁶Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Pato Branco – PR. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-4796-8743>

⁷Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, Alta Floresta – MT. Brasil.
<https://orcid.org/0000-0001-6715-626X>

*Autor para correspondência: diegodaniel.agro@gmail.com

is $0.3490 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, the permanent wilting point is $0.2083 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, and the available water capacity is 82.45 mm . The penetration resistance of the soil found classifies it as having moderate resistance. The soil basic infiltration velocity (BIV) was 25.91 mm h^{-1} , classified as high BIV.

Keywords: AWC. Field capability. Infiltration rate. Soil density. Permanent wilting point.

Introdução

A região sudoeste do estado de Mato Grosso é constituída principalmente de grandes áreas com solos latossólicos (Santos et al., 2011). Os Latossolos são solos bem desenvolvidos, são solos profundos, porosos e bem drenados, apresentando relevo suave ondulado a plano, que podem ser mecanizados. Portanto, culturas agrícolas de altos valores econômicos podem ser exploradas, desde que estes solos sejam bem manejados (Santos et al., 2018).

O município de Tangará da Serra, local da pesquisa, fica localizado no sudoeste do estado de Mato Grosso, nas coordenadas geográficas latitude $14^{\circ}37'10''$ S, longitude $57^{\circ}29'09''$ O, com altitude média de 423 metros. Tangará da Serra é considerada cidade-polo da região politicamente denominada de Médio Norte do estado de Mato Grosso, com o relevo pertencente ao Planalto dos Parecis, sendo que o município possui uma área total de $11.636,98 \text{ km}^2$, predominantemente com Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos (Moreira e Vasconcelos, 2007).

A caracterização das propriedades físico-hídricas do solo é de fundamental importância para um manejo adequado, principalmente para solucionar problemas relacionados à irrigação, drenagem, conservação do solo e da água, infiltração da água no solo e do escoamento superficial (Stefanoski et al., 2013; Cassol et al., 2017).

Assim, diferentes propriedades do solo têm sido usadas para caracterizá-lo, bem como avaliar a qualidade física do solo, sendo as mais comuns: textura do solo, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência do solo à penetração (Stefanoski et al., 2013; Freitas et al., 2017), além das propriedades hídricas do solo (Amaral et al., 2017; Cassol et al., 2017). Os parâmetros físicos do solo como a densidade, compactação e porosidade podem ser profundamente modificados pelo teor de matéria orgânica do solo e pelas condições de cultivo, com reflexos diretos no armazenamento, infiltração e no teor de água disponível (Ribeiro et al., 2016).

A importância do conhecimento da infiltração de água no solo, do ponto de murcha permanente (θ_{PMP}), da capacidade de campo (θ_{CC}) e da capacidade de água disponível no solo (CAD) são fatores de extrema importância na definição de técnicas de conservação do solo e da água e no manejo e gestão correto da água de irrigação (Souza et al., 2016; Jerszurki et al., 2018). Cassol et al.

(2017) ressaltam a importância da caracterização hídrica do solo através da CAD, da θ_{PMP} e da θ_{CC} , o quais são de extrema utilidade no estabelecimento das necessidades de irrigação, uma vez que permitem conhecer o volume e os limites de retenção de água no solo na faixa de água disponível às plantas. A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente são parâmetros de extrema utilização prática, pois a partir deles é possível conhecer a água disponível para cultivos e estimar as necessidades de irrigação (Souza et al., 2016; Assi et al., 2019).

As características físicas e hídricas do solo, o conteúdo inicial de umidade e as condições da superfície do solo (cobertura vegetal) são fatores que afetam diretamente a infiltração da água no solo (Silva et al., 2014). Além destes, a porosidade do solo e a textura também são fatores importantes que interferem na infiltração da água do solo (Gonçalves e Moraes, 2012; Mellek et al., 2014).

As propriedades do solo são específicas de cada tipo de solo e podem variar significativamente de acordo com as condições de manejo, faz-se necessária à sua determinação no local. Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar um Latossolo Vermelho distroférico do município de Tangará da Serra - MT, quanto às suas propriedades físico-hídricas, visando fornecer subsídios para o seu manejo racional e utilização agrícola.

Material e métodos

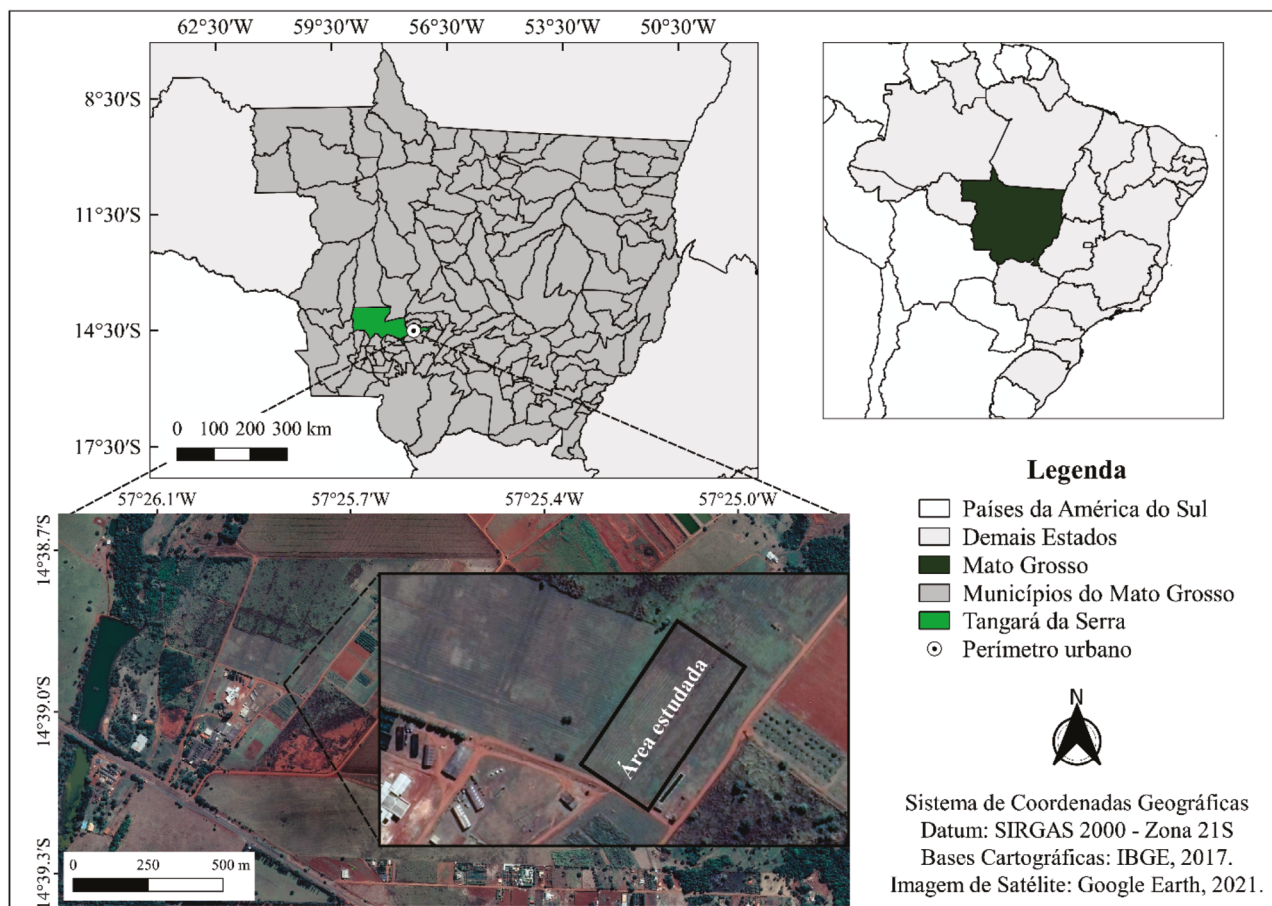
O trabalho foi conduzido na área experimental da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), Campus Professor Eugênio Carlos Stieler localizado no município de Tangará da Serra - MT, e nas dependências do Centro Tecnológico de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (CETEGEO-SR), com coordenadas geográficas Latitude $14^{\circ}39'$ Sul, Longitude $57^{\circ}25'$ Oeste e altitude média de 440 metros.

O clima é megatérmico ou tropical com seca no inverno (Aw), de acordo com o Sistema de Classificação Climática de Köppen (Souza et al., 2013), o qual apresenta elevadas temperaturas, com uma estação seca, que compreende os meses de maio a setembro, e uma chuvosa que vai de outubro a abril, com precipitação média anual de 1.830 mm , temperatura média de $24,4^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar entre 70-80% (Dallacort et al., 2011).

O tipo de solo existente na região é o Latossolo Vermelho distroférico com textura muito argilosa (Santos et al., 2018), relevo variando entre plano e suave ondulado, localizado no Planalto dos Parecis e inserido na Bacia do Alto Paraguai (BAP), em área de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia (Moreira e Vasconcelos, 2007).

A caracterização da área estudada consistiu na coleta de amostras de solo com estrutura alterada e preservada na camada entre 0 e 50 cm. A amostragem do solo foi efetuada em uma área de cultivo agrícola no campo experimental da UNEMAT que possui área de 11.418 m² (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de localização com destaque para a área de estudo no município de Tangará da Serra, estado de Mato Grosso.



De maneira a caracterizar suas propriedades físico-hídricas para melhor entendimento das características do solo na região de estudo, foram realizadas avaliações no solo, como a determinação da textura, densidade do solo, umidade volumétrica, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, resistência do solo à penetração, capacidade de água disponível no solo, disponibilidade total de água no solo, infiltração da água no solo e velocidade de infiltração básica.

No ano anterior do experimento, foram constatados alguns pontos de compactação na área estudada e, visando homogeneizar e reduzir a compactação do solo, foi realizada no mês de outubro de 2019 uma subsolagem com subsolador de três hastes. Posteriormente, foi utilizada por uma vez grade intermediária, seguida de grade niveladora, a fim de uniformizar o terreno, destorrear, nivelar e adensar o solo. Após isso, o terreno ficou em

pousio até julho de 2020, quando foi realizada a coleta do solo para as avaliações.

Para a determinação da composição granulométrica (textura), densidade do solo (Ds), umidade volumétrica (θ_v), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt), capacidade de campo (θ_{cc}), ponto de murcha permanente (θ_{pmp}), capacidade de água disponível no solo (CAD) e disponibilidade total de água no solo (DTA), foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em 5 profundidades estudadas (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 e 40-50 cm) em seis pontos distintos e aleatórios dentro da área amostrada.

A determinação da textura (areia, silte e argila) foi realizada por meio de amostras deformadas pelo método da pipeta nas 5 profundidades relatadas em cada um dos pontos amostrados, com quatro repetições cada profundidade (Teixeira et al., 2017). O ensaio foi

realizado no Laboratório AGROSOLO Clínica de Análises Agronômicas em Nova Mutum - MT.

Para a determinação da densidade do solo, umidade volumétrica, macroporosidade, microporosidade, e porosidade total, o método escolhido foi o da mesa de tensão nas 5 profundidades relatadas em cada um dos pontos amostrados, com seis repetições, por meio de amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos (anéis de Kopeck) (Teixeira et al., 2017), cujo ensaio foi realizado no Laboratório de Solos da UNEMAT em Tangará da Serra - MT.

A determinação da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente ocorreu por meio de amostras indeformadas coletadas em anéis volumétricos (anéis de Kopeck), pelo método de retenção de água em extrator de placa porosa nas 5 profundidades relatadas em cada um dos pontos amostrados, com 4 repetições (Camargo et al., 2009). O ensaio foi realizado no Laboratório de Física do Solo do Instituto Agronômico de Campinas (IAC).

Com base na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, foi calculada a capacidade de água disponível (CAD) nas 5 profundidades relatadas, de acordo com a equação 1.

$$CAD = 0,01 * (CC - PMP) * Ds * H \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: CAD = capacidade de água disponível no solo (mm); CC = capacidade de campo (%); PMP = ponto de murcha permanente (%); Ds = densidade do solo (kg m^{-3}); H = espessura do horizonte (m).

Para o cálculo da disponibilidade total de água no solo (DTA), utilizou-se a equação 2.

$$DTA = \frac{(CC - PMP) * Ds}{10} \quad (\text{Eq. 2}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: DAT = disponibilidade total de água no solo (mm cm^{-1}); CC = capacidade de campo (%); PMP = ponto de murcha permanente (%); Ds = densidade do solo (g cm^{-3}).

Para a determinação da resistência à penetração do solo, foi utilizado um penetrômetro de impacto graduado modelo Stolf (Stolf et al., 2012). O penetrômetro recebeu impactos e foram realizadas leituras gradativamente até atingir a profundidade de 50 cm em cada um dos pontos amostrados, totalizando 4 repetições. Após a coleta dos dados a campo, os valores de resistência à penetração do solo foram calculados através do programa em ambiente Excel "Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA" (Stolf et al., 2014).

A determinação da infiltração da água no solo foi realizada através do método do infiltrômetro de anel, constituído por dois anéis, um externo e outro interno, abrangendo um menor com diâmetro de 25 cm (anel interno) e um maior com 50 cm (anel externo), ambos de altura de 30 cm (Bernardo et al., 2006). As leituras foram

iniciadas nos tempos de um minuto, sendo anotadas em uma planilha, cujos valores foram utilizados para construir as curvas de infiltração acumulada (Ia) e de velocidade de infiltração (VI). A Velocidade de Infiltração Básica (VIB) foi determinada através da equação desenvolvida por Kostiakov (Bernardo et al., 2006; Cordeiro et al., 2021).

Os dados textura, densidade do solo, umidade volumétrica, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, resistência do solo à penetração, capacidade de água disponível no solo e disponibilidade total de água no solo foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se como critério de significância de F e de diferença entre médias valores de $p < 0,05$. Os dados foram processados utilizando-se o software SISVAR 5.8 (Ferreira, 2011).

Resultados e discussão

Os dados referentes à composição granulométrica e outras características físicas do solo estudadas em diferentes profundidades estão descritas na Tabela 1.

Pode-se verificar que somente para a densidade do solo não houve diferença estatística entre as profundidades avaliadas ($p > 0,05$). Para as outras características físicas avaliadas, foram encontradas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as camadas do solo. Os resultados da análise textural do solo nas camadas entre 0-50 cm permitem admitir diferenças na textura entre as camadas avaliadas, com média de 235, 124 e 641 g kg^{-1} para a areia, silte e argila, respectivamente, tipicamente característico de um Latossolo Vermelho. De acordo com Santos et al. (2018), o solo estudado é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, com textura muito argilosa, o que pode ser confirmado nesse trabalho, já que os valores de argila encontrados nas camadas foram acima de 600 g kg^{-1} .

A densidade do solo variou entre 1,151 e 1,199 kg dm^{-3} entre as profundidades, com média de 1,172 kg dm^{-3} . A densidade média do solo pode ser considerada baixa para o solo estudado, já que um Latossolo argiloso pode apresentar compactação crítica ao apresentar valor de densidade do solo igual ou superior a 1,40 e 1,5 kg dm^{-3} (Genro Junior et al., 2009). Segundo modelos elaborados por Reichert et al. (2009), para o teor de argila de 641 g kg^{-1} encontrado na área estudada, a densidade crítica seria 1,34 kg dm^{-3} .

Em relação à porosidade do solo, os valores médios de macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram de 0,176, 0,309 e 0,485 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente. A redução do tamanho dos macroporos é um dos indicativos da ocorrência do processo de compactação em camadas mais profundas (20 a 50 cm), tendo em vista que a formação da macroporosidade se deve, em

primeiro lugar, ao estabelecimento de espaços entre as unidades estruturais do solo (Drescher et al., 2016). A macroporosidade determina a capacidade de aeração do solo, sendo que os solos Latossolos argilosos apresentam macroporosidade, em torno de 0,05 a 0,25 m³ m⁻³

(Drescher et al., 2016; Amaral et al., 2017). Reichert et al. (2007) afirmam que o valor crítico de macroporosidade para solos argilosos equivale a valores abaixo de 0,10 m³ m⁻³.

Tabela 1 – Composição granulométrica, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total de um Latossolo Vermelho distroférrico em Tangará da Serra - MT.

Camada do solo (cm)	Textura			Ds	Ma	Mi	Pt
	Areia	Silte	Argila				
	-----	(g kg ⁻¹)	-----	(kg dm ⁻³)	-----	(m ³ m ⁻³)	-----
0 – 10	262 a	110 d	628 d	1,153 a	0,196 a	0,312 ab	0,508 a
10 – 20	238 b	126 bc	636 c	1,199 a	0,189 ab	0,290 c	0,479 b
20 – 30	230 bc	130 ab	640 bc	1,179 a	0,174 bc	0,293 bc	0,467 b
30 – 40	223 cd	132 a	645 b	1,176 a	0,163 c	0,323 a	0,486 b
40 – 50	220 d	124 c	656 a	1,151 a	0,157 c	0,327 a	0,484 b
Média	235	124	641	1,172	0,176	0,309	0,485
DMS	8,66	5,02	4,70	0,053	0,022	0,022	0,020
CV (%)	2,13	2,33	0,42	2,61	7,30	4,03	2,33

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Ds = densidade do solo; Ma = Macroporosidade; Mi = Microporosidade; Pt = Porosidade total do solo; DMS = Diferença Mínima Significativa; CV = Coeficiente de variação.

Em relação à microporosidade, observou-se aumento significativo nas camadas mais profundas em virtude da diminuição da macroporosidade. O solo argiloso tem grande microporosidade, restando muito mais água, a um determinado potencial, em comparação aos solos de textura média ou arenosos. Segundo Matias et al. (2009), a microporosidade é um indicador muito útil para avaliar as mudanças na estrutura do solo, mas reflete mais as condições do solo no momento da amostragem e do local amostrado, ao invés do estado final ou permanente do solo.

A porosidade total (Pt) foi menos sensível às modificações quando comparados os valores encontrados nas camadas do solo avaliadas, de maneira que a camada mais superficial apresentou maiores valores de Pt em relação às outras camadas. A porosidade total apresentou valores compreendidos entre 0,467 e 0,508 m³ m⁻³, estando dentro da faixa encontrada por Silva et al. (2017a), que relataram valores que variaram de 0,43 a 0,59 m³ m⁻³ para solos mais argilosos. Os valores de porosidade total estão inversamente associados aos de densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total. Dessa forma, estes dois fatores estão inteiramente ligados com a compactação do solo (Effgen et al., 2012).

A umidade volumétrica apresentou diferença estatística entre as cinco camadas de solo avaliadas (p<0,05) (Tabela 2), indicando que em camadas profundas, a

umidade do solo se mostrou maior em relação às camadas mais superficiais. A umidade do solo é dependente e pode ser estimada através da granulometria e de algumas outras características do solo como estrutura, densidade e porosidade (Lekshmi et al. 2014), bem como o tipo de cobertura do solo e incidência de radiação solar (Cortez et al., 2015; Souza et al., 2019), afetando o teor de umidade e o fluxo de água no perfil do solo (Dalmago et al., 2010).

Em relação à umidade em capacidade de campo do solo (θ_{cc}), não houve diferença estatística entre as camadas avaliadas (p>0,05). A θ_{cc} da área estudada variou entre 0,3369 e 0,3619 m³ m⁻³ considerando as cinco profundidades avaliadas, com média de 0,3490 m³ m⁻³ entre a profundidade de 0 e 50 cm. A umidade em ponto de murcha permanente (θ_{pmp}) apresentou diferenças significativas entre as camadas do solo (p<0,05), variando entre 0,2007 e 0,2215 m³ m⁻³ entre as cinco profundidades avaliadas, com média de 0,2083 m³ m⁻³ entre as profundidades de 0 e 50 cm. Esses valores de θ_{cc} e θ_{pmp} são típicos de um Latossolo Vermelho muito argiloso (Serafim et al., 2008).

A capacidade de água disponível no solo (CAD) apresentou diferenças significativas entre as camadas do solo (p<0,05). A CAD da área estudada variou entre 73,68 e 94,43 mm entre as cinco profundidades avaliadas, com média de 82,45 mm entre a profundidade de 0-50 cm. Para o município de Tangará da Serra - MT, a CAD

média predominante fica em torno de 75 mm (Barbieri et al., 2017).

Tabela 2 – Umidade volumétrica do solo, capacidade de campo, ponto de murcha permanente, capacidade de água disponível no solo e disponibilidade total de água do solo de um Latossolo Vermelho distroférrico em Tangará da Serra - MT.

Camada do solo (cm)	θ_v	θ_{cc}	θ_{PMP}	CAD	DTA
	----- ($m^3 m^{-3}$) -----			(mm)	($mm cm^{-1}$)
0 – 10	0,301 b	0,3539 a	0,2215 a	76,33 b	1,527 b
10 – 20	0,304 b	0,3369 a	0,2140 ab	73,68 b	1,474 b
20 – 30	0,307 b	0,3402 a	0,2007 b	82,24 ab	1,645 ab
30 – 40	0,330 a	0,3619 a	0,2013 b	94,43 a	1,889 a
40 – 50	0,328 a	0,3519 a	0,2038 ab	85,23 ab	1,705 ab
Média	0,314	0,3490	0,2083	82,45	1,649
DMS	0,017	0,0289	0,0180	17,25	0,35
CV (%)	3,20	4,80	5,00	12,12	12,13

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. θ_v = umidade volumétrica; θ_{cc} = umidade volumétrica na capacidade de campo; θ_{PMP} = umidade volumétrica do solo no ponto de murcha permanente; CAD = capacidade de água disponível no solo; DTA = disponibilidade total de água no solo; DMS = Diferença Mínima Significativa; CV = Coeficiente de variação.

Os valores médios de resistência do solo à penetração nas profundidades entre 0-50 cm estão descritos na Tabela 3.

Pode-se observar que para os valores médios de resistência à penetração, houve diferença estatística significativa entre as camadas de solo ($p < 0,05$). Os valores médios de resistência do solo à penetração para as repetições realizadas variaram entre 0,95 e 2,49 MPa, com média de 1,94 MPa para a repetição 1, entre 0,84 e 2,38 MPa, com média de 1,72 MPa para a repetição 2, entre 1,04 e 3,01 MPa, com média de 2,18 MPa para a repetição 3, e entre 0,84 e 2,65 MPa, com média de 1,95 MPa para a repetição 4. Vale ressaltar que os valores de desvio padrão foram menores nas camadas entre 0-5 e 5-10 cm em relação às demais, demonstrando que, nestas camadas, a variabilidade do grau de compactação do solo é menor.

De acordo com a classificação de Beutler et al. (2001), os valores de resistência do solo à penetração nas profundidades avaliadas estão entre moderada (1,0 a 2,0 MPa) e alta (2,0 a 4,0 MPa), no entanto, estão em consonância com valores obtidos por Silva et al. (2017b). Torres et al. (2015) determinaram a resistência do solo à penetração de cerca de 6,5 MPa como faixa limite de compactação, valor este que restringe severamente o desenvolvimento das raízes de várias culturas agrícolas.

A resistência do solo à penetração integra os efeitos da densidade e da umidade nas condições físicas do solo necessárias para o crescimento das raízes. Os resultados da avaliação da resistência à penetração média

para a área de coleta de solo são apresentados na Figura 2.

A resistência à penetração está próxima de 1 MPa na profundidade entre 0 e 5 cm do solo, apresentando tendência de aumento até as profundidades de 25 e 30 cm do solo e ocorre redução gradativa da resistência à penetração em profundidades maiores de 30 cm. O menor valor de resistência do solo à penetração foi na camada de 0 e 5 cm com 0,92 MPa, e a maior foi na profundidade entre 25 e 30 cm com 2,57 MPa, com média de 1,94 MPa, indicando a necessidade de monitoramento e preparo do solo em camadas subsuperficiais. A resistência à penetração em profundidades maiores foi reduzida, pois provavelmente houve menor influência dos discos de corte dos implementos e do rodado do trator empregados nas atividades agrícolas na área avaliada, fato este observado por Theodoro et al. (2018).

Marasca et al. (2011), ao estudarem a variabilidade espacial da resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distroférrico e sua relação com a produtividade da soja, encontraram valores de resistência à penetração entre 2,9 e 4,28 MPa, resultados estes maiores aos encontrados neste estudo. Além disso, os autores citam que a resistência à penetração encontrada não se mostrou limitante à produção da cultura.

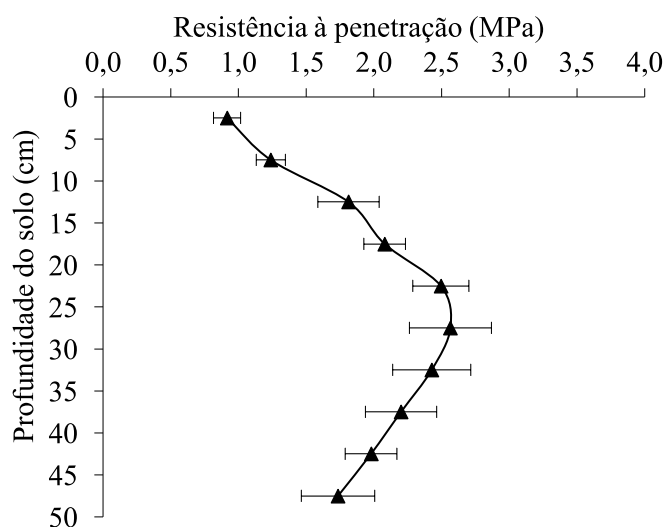
A representação dos resultados obtidos de infiltração acumulada (Ia) e da velocidade de infiltração de água no solo (VI) demonstram uma relação inversa (Figura 3).

Tabela 3 – Resistência do solo à penetração (MPa) para o solo estudado em diferentes profundidades.

Prof. em camadas (cm)	Prof. média (cm)	Resistência do solo à penetração (MPa)					
		Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4	Média	DP
0-5	2,50	0,95	0,84	1,04	0,84	0,92 g	0,10
5-10	7,50	1,25	1,11	1,37	1,22	1,24 f	0,11
10-15	12,50	1,85	1,48	1,98	1,94	1,81 de	0,23
15-20	17,50	2,05	1,91	2,28	2,08	2,08 cd	0,15
20-25	22,50	2,47	2,32	2,79	2,39	2,49 ab	0,21
25-30	27,50	2,38	2,38	3,01	2,49	2,57 a	0,30
30-35	32,50	2,49	2,01	2,56	2,65	2,43 ab	0,29
35-40	37,50	2,11	1,99	2,59	2,12	2,20 bc	0,26
40-45	42,50	2,02	1,79	2,23	1,88	1,98 cde	0,19
45-50	47,50	1,83	1,33	1,91	1,87	1,74 e	0,27
Média	--	1,94	1,72	2,18	1,95	1,94	--
DP	--	0,51	0,51	0,62	0,56	0,54	--

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Rep. = Repetição; DP = Desvio Padrão; Prof. = Profundidade.

Figura 2 – Resistência do solo à penetração (MPa) média obtida para o solo estudado. As barras indicam os valores do erro padrão da média.

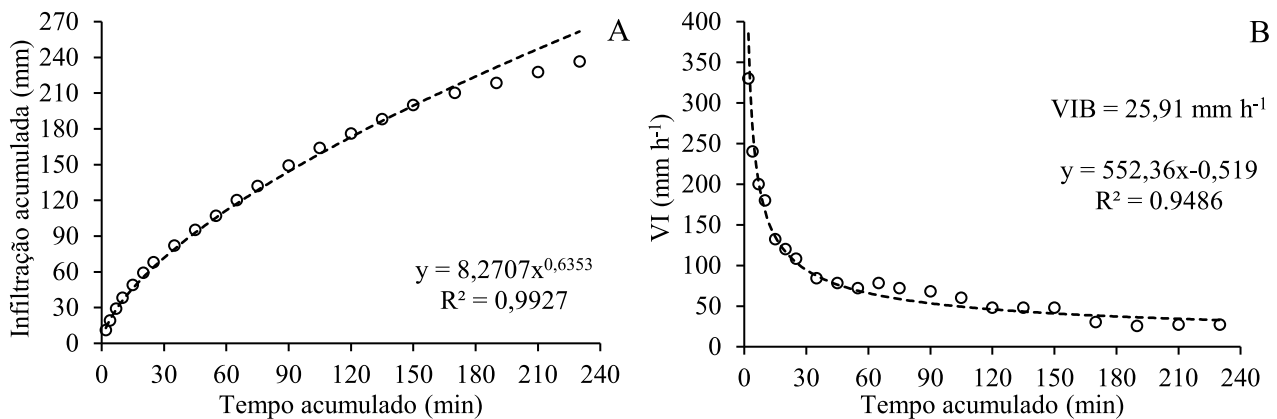


Fica evidente que a velocidade de infiltração tende a diminuir e se estabilizar com o passar do tempo, enquanto o valor da infiltração acumulada tende a aumentar, comportamento esperado para a dinâmica de infiltração da água no solo (Bernardo et al., 2006). Observou-se que a velocidade de infiltração inicial foi de 330,0 mm h⁻¹, diminuindo com o passar do tempo, até estabilizar.

A infiltração acumulada observada foi de uma lâmina de 236,5 mm, evidenciando que o ensaio iniciou

com solo com alta velocidade de infiltração e uma crescente infiltração acumulada. De acordo com Bernardo et al. (2006), o solo pode ser classificado de acordo com a sua velocidade de infiltração básica (VIB) em: > 30 mm h⁻¹ (VIB muito alta), de 15-30 mm h⁻¹ (VIB alta), 5-15 mm h⁻¹ (VIB média) e < 5 mm h⁻¹ (VIB baixa). Logo, encontrou-se o valor de VIB igual a 25,91 mm h⁻¹, o que classifica o solo estudado com uma VIB alta, já que fica entre 15-30 mm h⁻¹.

Figura 3 – Infiltração acumulada da água no solo (Ia) (A), velocidade de infiltração da água no solo (VI) em função do tempo acumulado (B) e velocidade de infiltração básica (VIB) para o solo estudado.



Conclusões

O Latossolo Vermelho distroférrico existente no local de estudo possui textura muito argilosa, com valores de argila encontrados na média de 641 g kg⁻¹. A densidade do solo variou entre as profundidades, apresentou média de 1,172 kg dm⁻³, que pode ser considerada baixa para o solo estudado. Para o teor de argila encontrado no solo estudado, a densidade crítica é de 1,34 kg dm⁻³. A umidade em capacidade de campo do solo da área estudada é de 0,3490 m³ m⁻³ e a umidade em ponto de murcha permanente é de 0,2083 m³ m⁻³, com solo apresentando capacidade de água disponível de 82,45 mm e

disponibilidade total de água do solo de 1,649 mm cm⁻¹. A resistência do solo à penetração média foi de 1,94 MPa, classificada como uma resistência moderada (1,0 a 2,0 MPa). A velocidade de infiltração básica do solo foi de 25,91 mm h⁻¹, o que classifica o solo estudado com uma VIB alta.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

- Amaral, K. F. S.; Rosa, H. A.; Giese, V.; Montiel, C. B.; Brondani, S. T.; Secco, D. 2017. Propriedades físico-hídricas de um latossolo argiloso após compactação induzida mecanicamente. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 11: 308–316. Doi: <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2017v11n3p308-31>.
- Assi, A. T.; Blake, J.; Mohtar, R. H.; Braudeau, E. 2019. Soil aggregates structure-based approach for quantifying the field capacity, permanent wilting point and available water capacity. *Irrigation Science*, 37: 511–522. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00630-w>.
- Barbieri, J. D.; Dallacort, R.; Oliveira, T.; Tieppo, R. C.; Araújo, D. V. 2017. Water storage capacity estimate in soil for the BAP (MT) microregion by alternative methodology. *Ibero-American Journal of Environmental Science*, 8: 21–28. Doi: <https://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.001.0002>.
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. 2006. Manual de irrigação. 8 ed. Atual e Ampliada. Viçosa: UFV, 625p.
- Beutler, A. N.; Silva, M. L. N.; Curi, N.; Ferreira, M. M.; Cruz, J. C.; Pereira Filho, I. A. 2001. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25: 167–177. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100018>.
- Camargo, O. A.; Moniz, A. C.; Jorge, J. A.; Valadares, J. M. A. S. 2009. Métodos de análise química e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas, IAC, 94p. (Boletim técnico, 106).
- Cassol, I. J.; Lopes, A. da S.; Fanaya Júnior, E. D.; Belchior, I. B.; Cherri, D. O. 2017. Propriedades físico-hídricas do solo submetido a dois sistemas de cultivo. *Water Resources and Irrigation Management*, 6: 87–94. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000200006>.
- Cordeiro, D. G.; Ramos, M. R.; Uhlmann, A.; Custodio, D. P.; Freire, T. M.; Campos, L. dos S. 2021. Análise do desempenho do modelo de Kostiakov na determinação da velocidade básica de infiltração em Plintossolo Pétrico concrecionário. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 11: 135–142. Doi: <https://doi.org/10.21206/rbas.v11i1.11835>.
- Cortez, J. W.; Nagahama, H. de J.; Olszewski, N.; Patrocínio Filho, A. P.; Souza, E. B. 2015. Umidade e temperatura de Argissolo amarelo em sistemas de preparo e estádios de desenvolvimento do milho. *Engenharia Agrícola*, 35: 699–710. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng-Agric.v35n4p699-710/2015>.
- Dallacort, R.; Martins, J. A.; Inoue, M. H.; Freitas, P. S. L. de; Coletti, A. J. 2011. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 33: 193–200. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.5838>.
- Dalmago, G. A.; Bergamaschi, H.; Krüger, C. A. M. B.; Bergonci, J. I.; Comiran, F.; Heckler, B. M. M. 2010. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45: 780–790. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2010000800002>.

- Drescher, M. S.; Reinert, D. J.; Denardin, J. E.; Gubiani, P. I.; Faganello, A.; Drescher, G. L. 2016. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51: 159–168. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200008>.
- Effgen, T. A. M.; Passos, R. R.; Andrade, F. V.; Lima, J. S. de S.; Reis, E. F. dos; Borges, E. N. 2012. Propriedades físicas do solo em função de manejos em lavouras de caféiro conilon. *Revista Ceres*, 59: 414–421. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300018>.
- Ferreira, D. F. 2011. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência e Agrotecnologia*, 35: 1039–1042. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000600001>.
- Freitas, L. de; Oliveira, I. A. de; Silva, L. S.; Frare, J. C. V.; Filla, V. A.; Gomes, R. P. 2017. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Unimar Ciências*, 26: 8–25. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n303rc>.
- Genro Junior, S. A.; Reinert, D. J.; Reichert, J. M.; Albuquerque, J. A. 2009. Physical properties of an Oxisol and crops yield under succession and rotation. *Ciência Rural*, 39: 65–73. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009000100011>.
- Gonçalves, F. C.; Moraes, M. H. 2012. Porosidade e infiltração de água do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Irriga*, 17: 337–345. Doi: <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n3p337>.
- Jerszurki, D.; Souza, J. L. M.; Adamuchio, J. G. 2018. Funções de estimativa do armazenamento de água no solo sob diferentes níveis de capacidade de água disponível. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13: 1–9. Doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i3a5552>.
- Lekshmi, S.; Singh, D. N.; Baghini, M. S. 2014. A critical review of soil moisture measurement. *Measurement*, 54: 92–105. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2014.04.007>.
- Marasca, I.; Oliveira, C. A. A. de; Guimarães, E. C.; Cunha, J. P. A. R. da; Assis, R. L. de; Perin, A.; Menezes, L. A. S. 2011. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e do teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja. *Bioscience Journal*, 27: 239–246. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7128>.
- Matias, S. S. R.; Borba, J. A.; Ticelli, M.; Panosso, A. R.; Camara, F. T. da. 2009. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. *Revista Ciência Agronômica*, 40: 331–338. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000300001>.
- Mellek, J. E.; Rizzi, N. E.; Ribeiro, J. C.; Cordeiro, C. R. R.; Andrade, E. R. 2014. Velocidade de infiltração da água em cambissolos de textura argilosa sob Floresta Ombrófila Mista. *Enciclopédia Biosfera*, 10: 1923–1938. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/velocidade%20de%20infiltracao.pdf>.
- Moreira, M. L. C.; Vasconcelos, T. N. N. 2007. Mato Grosso: Solos e Paisagens. 1 ed. Cuiabá: Entrelinhas/Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral - SEPLAN, 272p.
- Reichert, J. M.; Suzuki, L. E. A. S.; Reinert, D. J.; Horn, R.; Håkansson, I. 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil and Tillage Research*, 102: 242–254. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002>.
- Reichert, J. M.; Suzuki, L. E. A. S.; Reinert, D. J. 2007. Soil compaction in agricultural and forestry systems: identification, effects, critical limits and mitigation. p. 49–134. In: Ceretta, C. A.; Silva, L. S.; Reichert, J. M. (ed.). *Topics in Soil Science*. Viçosa: Brazilian Society of Soil Science.
- Ribeiro, P. L.; Bamberg, A. L.; Reis, D. A.; Oliveira, A. C. B. 2016. Condições físico-hídricas de Planossolo cultivado com soja em plantio direto e preparo convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51: 1484–1491. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900047>.
- Santos, H. G. dos; Carvalho Junior, W. de; Dart, R. de O.; Aglio, M. L. D.; Sousa, J. S. de; Pares, J. G.; Fontana, A.; Martins, A. L. da S.; Oliveira, A. P. de. 2011. O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 67p. (Embrapa Solos. Documentos, 130).
- Santos, H. G. dos; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C. dos; Oliveira, V. A. de; Lumberreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Araújo Filho J. C. de; Oliveira, J. B. de; Cunha, T. J. F. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5 ed. revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 355p.
- Serafim, M. E.; Vitorino, A. C. T.; Peixoto, P. P. P.; Souza, C. M. A.; Carvalho, D. F. 2008. Intervalo hídrico ótimo em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de produção. *Engenharia Agrícola*, 28: 654–665. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162008000400005>.
- Silva, F. J.; Oliveira, C. A. A. de; Silva, A. L. da; Lima, L. P. de; Guimarães, E. C. 2017b. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e da produtividade do milho. *Revista de Agricultura Neotropical*, 4: 77–84. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162006000100013>.
- Silva, M. P. da; Arf, O.; Sá, M. E. de; Abrantes, F. L.; Berti, C. L. F.; Souza, L. C. D. de. 2017a. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 12: 60–67. Doi: <https://doi.org/10.5039/agraria.v12i1a5424>.
- Silva, N. F. da; Cunha, F. N.; Oliveira, R. C. de; Cabral Filho, F. R.; Teixeira, M. B.; Carvalho, J. J. 2014. Características físico-hídricas de um Latossolo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 8: 375–390. Doi: <https://doi.org/10.7127/rbai.v8n500245>.
- Souza, A. P.; Mota, L. L.; Zamadei, T.; Martin, C. C.; Almeida, F. T.; Paulino, J. 2013. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, 1: 34–43. Doi: <https://doi.org/10.31413/nativa.v1i1.1334>.
- Souza, J. C. de; Lopes, E. R. do N.; Sousa, J. A. P. de; Padovanni, N. G.; Lourenço, R. W. 2019. Dinâmica espacial e sazonal da temperatura, umidade e estresse hídrico em diferentes tipos de cobertura vegetal. *Revista do Departamento de Geografia*, 37: 80–94. Doi: <https://doi.org/10.11606/rdg.v37i0.144716>.
- Souza, J. M. de; Pereira, L. R.; Reis, E. F. dos; Bonomo, R. 2016. Variabilidade espacial da capacidade de campo e ponto de murcha permanente em argiloso amarelo coeso. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 10: 875–882. Doi: <https://doi.org/10.7127/rbai.v10n500457>.
- Stefanoski, D. C.; Santos, G. G.; Marchão, R. L.; Petter, F. A.; Pacheco, L. P. 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17: 1301–1309. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>.
- Stolf, R.; Murakami, J. H.; Brugnaro, C.; Silva, L. G.; Silva, L. C. F. da; Margarido, L. A. C. 2014. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38: 774–782. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009>.
- Stolf, R.; Murakami, J. H.; Maniero, M. A.; Soares, M. R.; Silva, L. C. F. da. 2012. Incorporação de régua para medida de profundidade no projeto do penetrômetro de impacto Stolf. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36: 1476–1482. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500011>.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G. 2017. Manual de métodos de análise de solo. 3 ed. revista e ampliada. Brasília: Embrapa, 573p.

Theodoro, G. de F.; Oliveira, G. H. de; Silva, M. S. da; Rezende, R. P.; Abreu, V. L. S. 2018. Influência de sistemas de preparo na manutenção da palhada e resistência do solo à penetração. Revista de Agricultura Neotropical, 5: 25–30. Doi: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.2220>.

Torres, J. L. R.; Costa, D. D. de A.; Silva Neto, O. F. da; Araújo, A. S.; Silva, V. R.; Vieira, D. M. da S. 2015. Avaliação da resistência à penetração e densidade do solo num latossolo sob semeadura direta há doze anos. Global Science and Technology, 8: 131–140. Doi: <http://dx.doi.org/10.14688/1984-3801/gst.v8n1p131-140>.