



## ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS EM SOLO DE CERRADO: UMA REVISÃO

### PHYSICAL-HYDRIC ATTRIBUTES IN CERRADO SOIL: A REVIEW

Publius Lentulus Artiaga Nicolau Neto<sup>1</sup>, Lucas de Castro Medrado<sup>2</sup>, Thaynara Garcia Santos<sup>3</sup>, Kamilla Santos Cardoso<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro agrônomo, Mestrando em Agronomia. Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil. [publiusagro@gmail.com](mailto:publiusagro@gmail.com)

<sup>2</sup> Cientista Ambiental, Doutoranda em Agronomia. Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil

<sup>3</sup> Engenheira agrônoma, Doutoranda em Agronomia. Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO

<sup>4</sup> Engenheira agrônoma, Mestre em Agronomia. Analista de Laboratório da Empresa Sementes Santa Fé, Goiânia, GO, Brasil

### Resumo

Para gerar índices capazes de indicar os efeitos das atividades agrícolas, são necessários modelos de avaliação da qualidade do solo. Os parâmetros físicos, no quesito análise em comparação aos outros métodos, são relativamente mais fáceis e por isso considerado importantes para determinação da qualidade do solo. Foram analisados os mais relevantes estudos publicados nos últimos 30 anos objetivando selecionar pesquisas de maior evidência científica a respeito da caracterização dos atributos físico-hídricos do solo de Cerrado e as possíveis

### Info

**ISSN:** 2595-6206

**DOI:** 10.37951/2595-6906.2022v6i2.7037

**Palavras-Chave:** Cerrado, sistemas de manejo, atributos físico-hídricos

**Keywords:** Cerrado, management systems, physical-hydric attributes

alterações destes sob diferentes sistemas de manejo. Dentre os atributos físico-hídricos analisados, somente a densidade aparente do solo e a microporosidade foram modificados. Por fim, apenas os sistemas de manejo L-PD e ILP foram os que trouxeram maiores benefícios dos atributos físico-hídricos do solo. As maiores alterações nos atributos físico-hídricos do solo ocorreram em área sob sistema de plantio direto e áreas ocupadas por pastagem degradada. O pisoteio de animais em áreas de pastagem degradada ou em área sob pastagem cultivada, quanto em área de Cerrado nativo pastejado, promoveram alterações mais severas nos atributos físico-hídricos da camada de 5 a 10 cm. O plantio direto e o uso de pastagem cultivadas promoveram alterações nas condições físico-hídricas de solo cuja textura é franco-arenosa, elevando assim, a sua capacidade de armazenamento de água, divergindo, portanto, dos resultados obtidos por outros autores.

### Abstract

In order to generate indices capable of indicating the effects of agricultural activities, soil quality assessment models are needed. The physical parameters, in terms of analysis compared to other methods, are relatively easier and therefore considered important for determining soil quality. The most relevant studies published in the last 30 years were analyzed in order to select researches with the greatest scientific evidence regarding the characterization of the physical-hydric attributes of the Cerrado soil and the possible alterations of these under different management systems. Among the physical and water attributes analyzed, only the bulk density of the soil and microporosity were modified. Finally, only the L-PD and ILP management systems were the ones that brought the greatest benefits of the physical-water attributes of the soil. The biggest alterations in the physical-hydric attributes of the soil occurred in an area under no-tillage system and in areas occupied by degraded pasture. The trampling of animals in areas of degraded pasture or in an area under cultivated pasture, as well as in an area of native Cerrado grazed, promoted more severe alterations in the physical-hydric attributes of the 5 to 10 cm layer. No-tillage and the use of cultivated pastures promoted changes in the physical and water conditions of soil whose texture is sandy loam, thus increasing its water storage capacity, thus diverging from the results obtained by other authors.

### INTRODUÇÃO

A avaliação de experimentos de longa duração é fundamental para se compreender os efeitos do

sistema de integração lavoura-pecuária (ILP) sobre os atributos físico-hídricos do solo, tendo em vista que, a perda da qualidade física pode comprometer a

produtividade dos grãos e da pastagem (MOREIRA et al. 2012). As informações geradas a partir de dados confiáveis de experimentos de longo prazo permitem aprimorar as práticas, atualizá-las ou mesmo propor novos métodos de manejo (SOUSA, 2016).

Para a geração de índices capazes de indicar os efeitos das atividades agrícolas, são necessários modelos de avaliação da qualidade do solo que sigam três vertentes: química (BRESSAN et al. 2013; LEITE et al. 2013; PAVANELLI et al. 2010), física (BONO et al. 2013; DANTAS et al. 2011; VASCONCELOS et al. 2014) e biológica (COSTA et al. 2003; MELLONI et al. 2012; PORTO et al. 2009). A melhor compreensão do comportamento do solo, é essencial para estudo dos atributos físicos, pois estes, influenciam diretamente nos processos químicos e biológicos, podendo comprometer o desenvolvimento das culturas, que na ausência de limitações, pode contribuir para redução de custos no sistema de produção (SOUZA et al. 2004; LEPSCH, 2011; BARBOSA et al. 2018).

Sousa (2016), avaliou os efeitos do sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) sobre os atributos físico-hídricos em solo de Cerrado, em que estas práticas de manejo do solo e das culturas afetam diretamente a qualidade do solo, principalmente em sua estrutura, resultando em perda de qualidade física do solo e aumento de erosão hídrica, quando manejados inadequadamente (MARCHÃO et al. 2007; SANTOS et al. 2011; FIDALSKI, 2015). São atribuídos outros fatores como causa de compactação e degradação física do solo o tráfego intenso de maquinário e pisoteio de animais na área sob ILP, em que tem sido atribuído o maior impacto desse tipo de sistema em relação a perda de qualidade do solo (SEVERIANO et al. 2009; ROQUE et al. 2010)

A compactação está diretamente relacionada a diversos atributos físicos do solo, como: densidade, porosidade, resistência do solo à penetração e retenção

de água (CHERUBIN et al. 2016; CAVALCANTI et al. 2020). A compactação de camadas subsuperficiais limita o crescimento do sistema radicular às camadas superiores, tornando as culturas ineficientes e suscetíveis a déficits hídricos, conforme identificado por Silva et al. (2008) e Castro et al. (2012), quando comparado os atributos físico-hídricos em diferentes manejos de solo ou sobre pastagem degradada em relação a áreas com floresta nativa. Para Collares et al. (2006), a resistência à penetração é o fator que mais afeta o sistema radicular da planta, o que causará diminuição na produtividade além da degradação da qualidade do solo.

A prática conservacionista de plantio direto tem sido amplamente utilizada, pois preserva a estrutura do solo, aumenta os teores de matéria orgânica e cria poros biológicos que funcionam como vias para transporte de água e nutrientes (ANDRADE et al. 2009). Porém, tem sido observado que, em solos com sistema de plantio direto há aumento da densidade do solo em camadas superficiais, aumento de resistência à penetração em camadas subsuperficiais intermediárias e de porosidade total, com incremento de microporosidade e diminuição de macroporosidade, tendo em vista que essa degradação está diretamente relacionada as operações mecanizadas repetidas ao longo dos anos sob a área, e o pisoteio de animais (LANZANOVA et al. 2007; SEVERIANO et al. 2009; ROQUE et al. 2010; MAZURANA et al. 2013).

Em contrapartida, Costa et al. (2015), observaram que durante os anos de avaliação do sistema ILP foi constatado redução da compactação mecânica, com aumento da porosidade total e macroporosidade e diminuição da resistência mecânica à penetração e densidade do solo. Portanto, a fim de delimitar os benefícios e prejuízos dos diferentes sistemas agrícolas, o objetivo desta revisão é avaliar os impactos causados nos atributos físico-hídricos em solos de Cerrado causados por operações agrícolas e as

possíveis alterações em diferentes tipos de sistemas de manejo.

## MÉTODOS

Esse é um estudo de revisão bibliográfica descritiva desenvolvida com produções científicas indexadas da base eletrônica de dados Scielo. Foram analisados os mais relevantes estudos publicados nos últimos 30 anos, objetivando selecionar os estudos de maior evidência científica a respeito da caracterização dos atributos físico-hídricos do solo de Cerrado e as possíveis alterações destes sobre os diferentes sistemas de manejo.

## DISCUSSÃO

Em pesquisa, Sousa (2016) avaliou os efeitos do sistema de integração lavoura-pecuária, iniciando em 1991, em área que há 23 anos adotava o sistema de Integração Lavoura-Pecuária, em Latossolo Vermelho no Cerrado, localizado na Embrapa Cerrados em Planaltina-DF. As maiores variações detectadas nesse trabalho foram para os valores de microporosidade. Os demais atributos apresentaram variação entre 0,5 e 3 %. A baixa variação constatada nos atributos, demonstrou que houve poucas alterações nos últimos 11 anos (SOUSA, 2016), resultados semelhantes foram encontrados por Souza et al. (2004), que observou a baixa variabilidade dos dados de densidade e umidade do solo.

Na camada de 0 - 10 cm (Figura 1), o sistema L-PD (sistema de lavoura contínua sob plantio direto) apresentou densidade do solo inferior ao ILP (Sistema de lavoura-pecuária, sendo pastagem sucessora da lavoura sob plantio direto). O sistema L-PC (Sistema de lavoura contínua sob plantio convencional) não apresentou diferenças significativas estatisticamente para os valores de densidade do solo. Os resultados de densidade do solo encontrados, são característicos de um Latossolo do Cerrado (NOVAK et al. 2017) com

valores entre 1,02 g cm<sup>3</sup> e 1,32 cm<sup>3</sup>. O efeito do acúmulo de palhada do L-PD e da ausência de pastejo animal podem ter favorecido os menores valores de densidade do solo comparado ao ILP, o que corrobora os resultados encontrados por Costa et al. (2015), que observaram diminuição da densidade do solo em condições de manejo sob palhada. Não houve também, compactação do solo no sistema L-PD (SOUSA, 2016).

Atributos <sup>(2)</sup>	Camada (cm)	ILP	L-PC	L-PD
D <sub>s</sub> (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0-10	1.055a	1.101a	1.003b
	10-20	1.030b	1.083a	1.010b
PT (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0-10	0.593a	0.591a	0.576a
	10-20	0.595a	0.598a	0.584a
Macro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0-10	0.175a	0.165a	0.187a
	10-20	0.226a	0.189a	0.226a
Micro (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0-10	0.418ab	0.425a	0.388b
	10-20	0.371b	0.416a	0.353b
AD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0-10	0.172a	0.173a	0.211a
	10-20	0.152a	0.170a	0.153a
APD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0-10	0.146a	0.142a	0.153a
	10-20	0.131a	0.145a	0.129a

<sup>(1)</sup>Medias seguidas de letras iguais na linha, não diferiram pelo teste de LSD de Fisher (P<0,05). <sup>(2)</sup>D<sub>s</sub>: densidade aparente do solo; PT, porosidade total; Macro, macroporosidade; Micro, microporosidade; AD: água disponível; APD, água prontamente disponível.

**Figura 1.** Atributos físico-hídricos do solo sob sistemas de manejo em duas profundidades. Fonte: Adaptado de Souza (2016).

Já para camada de 10 a 20 cm (Figura 1), ficou claro o efeito da mecanização na elevação da densidade do solo (SOUSA, 2016), pois nessa profundidade o L-PC elevou os valores, apresentando estes superiores aos demais sistemas. Esses resultados obtidos concordam com os encontrados por Stone et al. (2001), em que foi observado aumento da densidade do solo em áreas com movimentação intensa de maquinários, o que ocasionou aumento na compactação do solo. Isto se deve a redução do teor de matéria orgânica e menor agregação promovidos pela mais intensa decomposição dos resíduos vegetais neste sistema combinado com os efeitos do uso prolongado de grade aradora, gerando camadas compactadas em subsuperfície (ARGENTON et al. 2005). Ainda assim, os valores encontrados para a densidade do solo estão acima de valores considerados críticos (1,45 Mg m<sup>-3</sup>) para Latossolo

Vermelho, o que torna o solo mais suscetível à compactação (SILVA et al. 2000; FIGUEIREDO et al. 2001).

Em relação a porosidade total (PT) (Figura 1), não houve diferenças significativas entre os diferentes tipos de manejo em ambas as profundidades. Maior volume de microporos na camada de 0 a 10 cm foram encontrados no sistema L-PC comparado ao L-PD. O ILP apresentou valores intermediários de microporos assim como os encontrados por Santos et al. (2011) em sistema de ILP em Latossolo Vermelho, portanto esses valores não se diferenciam dos demais sistemas. Assim como foi encontrado também para densidade do solo, na camada de 10 a 20 cm o L-PC apresentou maior volume de microporos do que os demais sistemas. Portanto, esse aumento de densidade em profundidade com o mesmo comportamento de microporos é decorrente da transformação de macro em microporos. O aumento em profundidade aumenta a capacidade de retenção de água no solo, possibilitando maior quantidade de água disponível (SOUSA, 2016), assim como observado por Borges et al. (1999).

Os outros tipos de manejo também não diferiram quanto ao volume de água disponível (AD) e o volume de água prontamente disponível (APD) em ambas as profundidades estudadas. Os valores apresentados reforçam que as poucas alterações promovidas pelos tipos de manejos nos últimos 11 anos limitaram esses sistemas na capacidade de armazenamento de água no solo (SOUSA, 2016).

Ao verificar os valores médios dos atributos físico-hídricos do solo (Figura 2), não foram notadas diferenças significativas com relação a profundidade de coleta nas áreas com plantio direto e pastagem nativa. As exceções, nestes casos, referem-se à resistência mecânica do solo à penetração (RP) em ambos os usos, água disponível em plantio direto, e condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) em pastagem cultivada. Já em áreas sobre Cerrado nativo pastejado (CP), ocorreram

variações em quase todos os atributos avaliados, excetuando-se o conteúdo atual de água em ambas as profundidades, demonstrando portanto, a semelhança em resultado encontrado por Sousa (2016) e por Castro et al. (2012) (Figura 3), o que justifica o efeito da ação antrópica, do manejo e do uso dos solos, tornando-se similares com relação aos valores dos atributos em estudo.

As áreas sob plantio direto com soja e milho (PD), e pastagem cultivada (PC), apresentaram valores estatisticamente superiores de densidade do solo, resistência à penetração e microporos, e os valores de condutividade hidráulica, porosidade total, e macroporos, foram inferiores em relação ao Cerrado nativo pastejado, evidenciando a compactação dos solos nas áreas manejadas em PD e PC (SILVA et al. 2008). Resultado semelhante ao verificado por Sousa (2016) quando comparado estritamente os aspectos dos atributos sobre o sistema de plantio direto em relação ao convencional, e por Castro et al. (2012) da mesma forma, quando comparado a área ocupada por pastagem degradada (densidade do solo maior) em relação a área nativa (densidade menor).

Ressalta-se que para solos argilosos e franco-arenosos a densidade aparente do solo se torna crítica quando a densidade aproxima de  $1,55 \text{ mg m}^{-3}$  (REINERT et al. 2008). Vale destacar que, a ocorrência de maiores valores de densidade do solo na camada superior amostrada, no caso do solo sob o Cerrado nativo pastejado (CP), é justificado pelo livre trânsito do gado, que impacta o solo com pisoteio (SILVA et al. 2008), e é observado por Castro et al. (2012) (Figura 3).

Em relação a RP, os valores médios confirmam a tendência de maiores valores na camada de 10 a 15 cm observados em PD, e caracterizam o efeito do maquinário, mesmo que em pequena intensidade, já os maiores valores de RP na camada de 5 a 10 cm nos tratamentos de PC e CP são justificados pela atividade de pastoreio, que se faz mais intenso nas primeiras

camadas, assim como verificado em plantio direto por Betioli Junior et al. (2012) e em área de gado por Dias Junior & Estanislau (1999).

Atributo	Profundidade	Uso do solo		
		PD	PC	CP
	cm			
Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	05–10	1,61 Aa	1,52 Ba	1,47 Ca
	10–15	1,61 Aa	1,50 Ba	1,42 Cb
RSP (MPa)	05–10	2,07 Bb	2,29 Aa	1,93 Ca
	10–15	2,45 Aa	1,80 Bb	1,68 Cb
CA (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	05–10	0,138 Aa	0,114 Ba	0,118 Ba
	10–15	0,138 Aa	0,111 Ba	0,116 Ba
AD (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	05–10	0,145 Aa	0,130 Ba	0,121 Ca
	10–15	0,135 Ab	0,131 Aa	0,104 Bb
Ks (mm h <sup>-1</sup> )	05–10	14,70 Ca	39,87 Bb	102,18 Ab
	10–15	16,80 Ca	55,12 Ba	207,14 Aa
Pt (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	05–10	0,396 Ca	0,417 Ba	0,430 Ab
	10–15	0,392 Ca	0,424 Ba	0,448 Aa
Ma (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	05–10	0,137 Ca	0,173 Ba	0,207 Ab
	10–15	0,130 Ca	0,186 Ba	0,239 Aa
Mi (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	05–10	0,262 Aa	0,242 Ba	0,221 Ca
	10–15	0,259 Aa	0,235 Ba	0,199 Cb

Ds: densidade do solo; RSP: resistência mecânica do solo à penetração; CA: conteúdo atual de água do solo; AD: água disponível; Ks: condutividade hidráulica saturada; Pt: porosidade total; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na mesma linha e minúscula na mesma coluna, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott em nível de  $p < 0,05$ .

**Figura 2.** Médias dos valores dos atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, em função da profundidade de amostragem e do uso (Plantio Direto com soja/milho – PD), Pastagem Cultivada (PC) e Cerrado Nativo Pastejado (CP). Fonte: Adaptado de Silva et al. (2008).

A água disponível no solo foi maior no solo sob plantio direto, na camada de 5 a 10 cm, em relação aos tratamentos de plantio convencional e Cerrado nativo pastejado. Isto se deve ao fato de que a elevação na densidade do solo de textura mais fina, como do presente caso, possivelmente produza maior incremento proporcional na capacidade de retenção de água desses solos, devido ao incremento do volume de microporos (CALDEIRA et al. 2000), possibilitando maior retenção de água por capilaridade, reduzindo a percolação e a evaporação. Entretanto isso difere do resultado encontrado por Sousa (2016), em que o L-PC apresentou valor superior de microporos em relação ao L-PD, justificado portanto, pela diferença do tipo de solo, principalmente quanto a textura.

Quanto aos valores de porosidade total e macroporosidade, é possível observar decréscimos

significativos, o mesmo verificado por Sousa (2016) e Castro et al. (2012) (Figura 3), em menor proporção em sistemas de plantio direto e maior proporção em plantio convencional, e em Cerrado nativo pastejado. Houve alterações com aumento de porosidade total e macroporosidade, porém não é comum ocorrer em solos em condições naturais, e sim em condições de atividades agrícolas como já observado por Severiano et al. (2009) e Roque et al. (2010). Entretanto, neste caso é justificado pelo pisoteio do gado na camada de 5 a 10 cm, ao passo que sobre a microporosidade (Mi) tiveram acréscimos em PD e PC, diferente de CP.

Por fim, sobre a permeabilidade do solo, a condutividade hidráulica do solo saturado (Ks) foi drasticamente afetada pelos sistemas de manejo, ocorrendo reduções no PC e PD se comparado ao CP, devido à redução de macroporosidade em razão do

aumento da compactação. Resultados semelhantes foram observados por Ruiz et al. (2014), que quanto maior o nível de compactação, menor é a condutividade hidráulica, demonstrando que há alteração estrutural do solo pela intervenção antrópica (SILVA et al. 2008).

Já Castro et al. (2012) ao avaliar a TIB (taxa de infiltração básica do solo) nas diferentes coberturas (Figura 3), verificaram que a mesma foi maior na área coberta pela floresta nativa do que nas áreas com pastagem degradada, e isso é justificado pela maior densidade de solo e menor porosidade total.

Cobertura do Solo	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
Floresta Nativa	1,4765 Bb	1,5431 Aa
Pastagem Degradada	1,5559 Aa	1,5644 Aa
* As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (dms = 0,0514) e minúscula na linha (dms = 0,0650) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.		
Cobertura do Solo	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
Floresta Nativa	44,2844 Aa	41,7706 Ab
Pastagem Degradada	41,2862 Ba	40,9659 Aa
* As médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna (dms = 1,9383) e minúscula na linha (dms = 2,4535) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.		
Cobertura do Solo	Floresta Nativa	Pastagem Degradada
TIB (cm/h)	10,6817 a	8,1153 b
* As médias seguidas pela mesma letra (dms = 2,3116) não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.		

**Figura 3.** Valores médios de densidade do solo ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ), porosidade total (%), Infiltração básica do solo (cm/h) (TIB) em diferentes profundidades e em solo ocupado por diferentes coberturas. Chapadão do Sul-MS, 2012. Fonte: Adaptado de Castro et al. (2012)

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação ao nível de fertilidade em diferentes tipos de sistemas de manejo não interferiu nos atributos físico-hídricos do solo. Dentre os atributos físico-hídricos analisados, após os 23 anos com os diferentes tipos, somente a densidade aparente do solo e a microporosidade foram modificados. Por fim, apenas os sistemas de manejo L-PD e ILP foram os que trouxeram maiores benefícios (melhores índices) dos atributos físico-hídricos do solo.

Da mesma forma o que ocorre nos estudos feitos por Silva et al. (2008) e Castro et al. (2012) cujas maiores alterações nos atributos físico-hídricos do solo ocorreram na área sob plantio direto e áreas ocupadas por pastagem degradada. O pisoteio de animais em áreas de pastagem degradada ou em área sob pastagem cultivada, quanto em área de Cerrado nativo pastejado,

promoveram alterações mais severas nos atributos físico-hídricos da camada de 5 a 10 cm. O plantio direto e o uso de pastagem cultivadas promoveram alterações nas condições físico-hídricas de solo cuja textura é franco-arenosa, elevando a sua capacidade de armazenamento de água, divergindo dos resultados obtidos por Sousa (2016).

### REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 411-418, 2009.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo

- e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 425-435, 2005.
- BETIOLI JUNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um latossolo vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 971-982, 2012.
- BRESSAN, S. B. B.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; BARBOSA, R. S.; SOUSA, L. B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no Cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p.371-378, 2013.
- BONO, J. A. M.; MACEDO, M. C. M.; TORMENA, C. A. Qualidade física do solo em um Latossolo vermelho da região sudoeste dos Cerrados sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p.743-753, 2013.
- BORGES, D. H. A. **Efeito do silicato de cálcio e magnésio e do gesso agrícola no crescimento, produção e potencial hídrico da cana-de-açúcar**. 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal), Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2012.
- CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; BARICHELLO, L.R.; VOGET, H.L.M. & OLIVEIRA, L.S. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Floresta**, Curitiba, v. 28, p.19-30, 2000.
- CASTRO, M. A.; CUNHA, F. F.; LIMA, S. F.; PAIVA NETO, V. B.; LEITE, A. P.; MAGALHÃES, F. F.; CRUZ, G. H. M. Atributos físico-hídricos do solo ocupado com pastagem degradada e floresta nativa no Cerrado Sul-Mato-grossense. Ituitaba, **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium**, Ituiutaba, v.3, p.498-512, 2012.
- CAVALCANTI, R. Q.; ROLIM, M.; LIMA, R. P.; TAVARES, U. E.; PEDROSA, E. M. R.; CHERUBIN, M. R. Soil physical changes induced by sugarcane cultivation in the Atlantic Forest Biome, northeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 370, e114353, 2020.
- CHERUBIN, M. R.; KARLEN, D. L.; FRANCO, A. L. C.; TORMENA, C. A.; CERRI, C. E. P.; DAVIES, C. A.; CERRI, C. C. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 267, p. 156-168, 2016.
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 1663-1674, 2006.
- COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 527-535, 2003.
- COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K. S. M.; YOKOBATAKE, K. L.; FERREIRA, J. P.; PARIZ, C. M.; BONINI, C. S. B.; LONGHINI, V. Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 852-863, 2015.
- DANTAS, J. A. N.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ASSIS, C. Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 18-26, 2012.
- DIAS JUNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 45-51, 1999.
- FIDALSKI, J. Qualidade física de Latossolo Vermelho em sistema de integração lavoura-pecuária após cultivo de soja e pastejo em braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, p. 1097-1104, 2015.
- FIGUEIREDO, I. H. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; FERREIRA, M. M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 487-493, 2000.

- LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 1131-1140, 2007.
- LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P.; COSTA, C. N.; FERREIRA, J. S.; NETO, M. R. H. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e consórcio de 31 macaúba e pastagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, p. 1257-1263, 2013.
- MARCHÃO, R. B.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 873-882, 2007.
- MAZURANA, M.; FINK, J. R.; SILVEIRA, V. H.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1185-1195, 2013.
- MELLO, C. R.; GOMES, N. M.; SILVA, A. M.; JUNQUEIRA JUNIOR, J. A. Modelagem de atributos físico-hídricos do solo numa bacia hidrográfica da região do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 845-852, 2007.
- MELLONI, R.; BELLEZE, G.; PINTO, A. M. S.; DIAS, L. B. P.; SILVEIRA, E. M.; MELLONI, E. G. P.; ALVARENGA, M. I. N.; ALCÂNTRA, E. N. Métodos de controle de plantas daninhas e seus impactos na qualidade microbiana de solo sob cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 66-75, 2012.
- MOREIRA, W. H.; BETIOLI JUNIOR, E.; PETEAN, L. P.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; COSTA, M. A. T.; FRANCO, H. H. S. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distroférico em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, p. 389-400, 2012.
- PAVANELLI, L. E.; ARAÚJO, F. F. Parâmetros químicos e biológicos indicadores de qualidade de solo sob cultivo de braquiárias e soja no oeste paulista. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, p. 118-124, 2010.
- PORTO, M. L.; ALVES, J. C.; DINIZ, A. A.; SOUZA, A. P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, p. 1011-1017, 2009.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1805-1816, 2008.
- ROQUE, A. A. O.; SOUZA, Z. M.; BARBOSA, R. S.; SOUZA, G. S. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, p. 744-750, 2010.
- RUIZ, E. M.; RUIZ, H. A.; FERNANDES, R. B. A.; COSTA, L. M. Condutividade hidráulica, porosidade, resistência mecânica e intervalo hídrico ótimo em Latossolos artificialmente compactados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 1003-1009, 2014.
- SANTOS, G. G.; MARCÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Impacto de sistemas de integração lavoura-pecuária na qualidade física do solo de um latossolo do cerrado. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33, 2011.
- SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; CURTI, N.; JÚNIOR, M. S. D. Potencial de uso e qualidade estrutural de dois solos cultivados com cana-de-açúcar em Goianésia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 159-168, 2009.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 239-249, 2000.
- SOUSA, T. D. **Atributos físico-hídricos do solo após 23 anos de adoção do sistema de integração**

**lavoura-pecuária.** 2016. 44f. Monografia (Graduação em Agronomia), Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, 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**, Viçosa, v. 28, p. 937-944, 2004.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de cultura na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 395-401, 2001.

VASCONCELOS, R. F. B.; SOUZA, E. R.; CANTALICE, J. R. B.; SILVA, L. S. Qualidade física de um Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. 381-386, 2014.