

EFEITO DE DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO NA QUALIDADE FÍSICO-HÍDRICA DE UM VERTISSOLO (VERTISOL) NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

PEDRO LUAN FERREIRA DA SILVA^{1*}, FLÁVIO PEREIRA DE OLIVEIRA², ADRIANA FERREIRA MARTINS², WALTER ESFRAIN PEREIRA², GYSLEYNNE GOMES DA SILVA COSTA², DANILLO DUTRA TAVARES³, MILTON CÉSAR COSTA CAMPOS⁴, PETRUS LUIZ DE LUNA PEQUEÑO⁵

Recibido: 20/08/2020

Recibido con revisiones: 21/10/2021

Aceptado: 25/10/2021

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade físico-hídrica de um Vertissolo localizado no domínio climático do Semiárido brasileiro. Os tratamentos foram compostos pelos seguintes sistemas de manejo: (S1) Pastagem (*Cynodon* spp.) com 4 anos; (S2) Romã (*Punicata granatum* L.) com 6 anos; (S3) Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.) com 4 anos e, (S4) vegetação nativa. Avaliou-se a retenção de água no solo por meio da curva característica de umidade, densidade do solo, porosidade do solo (macro e microporosidade e porosidade total), capacidade de aeração do solo e porosidade livre de ar. Os dados foram analisados através da estatística multivariada. Os resultados demonstram que o Vertissolo apresenta elevada retenção e baixa disponibilidade de água as plantas. Melhor qualidade estrutural foi observada no solo sob mata nativa. Conclui-se que os sistemas de manejo composto por pastagem e sorgo estão promovendo mudanças, até o presente momento de forma negativa à estrutura do solo, com redução da macroporosidade e da capacidade de aeração do solo.

Palavras-chave: Água disponível, argila expansiva, qualidade do solo.

DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEMS IN THE PHYSICAL-HYDRIC QUALITY OF A VERTISOL UNDER THE DOMAIN OF THE BRAZILIAN SEMIARID

ABSTRACT

The objective of this work was to verify the effect of different management systems on the physical-hydric quality of a Vertisol located in the climatic domain of the Brazilian Semi-arid. The treatments were composed by the following management systems: (S1) Pasture (*Cynodon* spp.) With 4 years; (S2) Pomegranate (*Punicata granatum* L.) aged 6; (S3) Forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) aged 4 years and (S4) native vegetation. The soil water retention curve, soil density, porosity of soil (macro, microporosity and, total porosity), soil aeration capacity and free air porosity. The data were analyzed using multivariate statistics. The results demonstrate that the Vertisol presents high retention and low availability of water to the plants. Better structural quality was observed in the

¹ Universidade Estadual de Maringá

² Universidade Federal da Paraíba

³ Universidade Federal Rural de Pernambuco

⁴ Universidade Federal do Amazonas

⁵ Universidade Federal de Rondônia

* Autor de contacto: pg403039@uem.br



soil under native forest. It is concluded that the management systems composed of pasture and sorghum are promoting negative changes to the soil structure, with a reduction of macroporosity and of the aeration capacity of the soil.

Keywords: Available water, expansive clay, soil quality.

INTRODUÇÃO

Os Vertissolos são solos minerais não hidromórficos, que apresentam como características principais a presença de argilominerais do tipo 2:1 como esmectita e montmorilonita e elevada fertilidade natural (Santos *et al.*, 2006). No semiárido brasileiro, esses solos ocupam uma área de 10.187 km² distribuídos nos estados da Bahia e Paraíba, representando cerca de 1,3% da região (Santos *et al.*, 2018).

O comportamento físico-hídrico dos Vertissolos representam um desafio para a agricultura, em função, principalmente, de problemas relacionados à baixa infiltração de água, drenagem reduzida, concentração de argila expansiva maior que 30%, elevada pegajosidade quando úmido e forte dureza quando seco, demandando grande esforço e elevado gasto de energia do maquinário quanto ao preparo do solo (Santos *et al.*, 2006; Hidalgo *et al.*, 2019). Nesses solos, o caráter coeso geralmente ocasiona a diminuição da porosidade e o aumento de densidade do solo, que, ocorrendo próximo a superfície, gera problemas de difusão de gases e circulação de água, além de afetar o crescimento das raízes das plantas (Santos *et al.*, 2020). Essas características tornam essas áreas problemáticas tanto para a

agricultura tecnificada, quanto para a agricultura familiar (Corrêa *et al.*, 2003).

Além disso, as práticas de manejo do solo, se realizadas incorretamente podem acentuar as limitações físico-hídricas do solo (Erkossa, 2011) e, como consequência ocorre perda de matéria orgânica do solo, ruptura de agregados e poros do solo e altera as relações de massa/volume do solo (Gajri *et al.* 2002). Nesse sentido, a adoção de sistemas de manejo que aportem carbono e contribuam para a melhoria física do solo é primordial. Diversos estudos têm comprovado o efeito benéfico da matéria orgânica sobre a estrutura do solo (Reeves *et al.*, 2019). Hati *et al.* (2017), estudando as melhorias físicas da camada superficial de um Vertissolo na Índia, observaram que a adoção de sistemas de manejo que consigam sequestrar e aportar carbono na camada superficial do solo, tendem a melhorar o ambiente físico e sustentar maior produtividade das culturas em relação aos sistemas de manejo convencionais. O sistema de manejo é amplamente reconhecido por afetar a qualidade física do solo (Stefanoski *et al.* 2013) e, entender o impacto que esses sistemas ocasionam ao solo é de suma importância, já que a qualidade física do solo é um parâmetro importante para o



crescimento das culturas (Ramos et al. 2020).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade físico-hídrica de um Vertissolo localizado no domínio climático do Semiárido brasileiro.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização do local de estudo

O estudo foi realizado em área experimental da Fazenda Águas da Tamanduá, no município de Sousa, estado da Paraíba. O município está localizado na mesorregião do Sertão paraibano e microrregião de Sousa sob coordenadas (6°45'33''S 38°09'01 W). Segundo a classificação de Köppeng, o clima que predomina no local é do tipo Aw, tropical-quento e seco, com precipitação média anual de 839,8 mm, temperatura média de 26,7°C, com 7 a 8 meses de seca ao longo do ano e a vegetação que predomina no município é do tipo Caatinga hiperxerófila (Costa et al., 2018).

O solo da área experimental foi caracterizado como Vertissolo cromado de textura argilosa, apresentando 291; 390 e 319 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente, na camada de 0-20 cm (Teixeira et al. 2017). A caracterização de química e fertilidade do solo também foi realizada na camada de 0-20 cm e apresentou os seguintes resultados: pH-

(H₂O/1:2,5)= 5,8; pH-KCl= 5,95; ΔpH= -0,9; P= 28,16 mg dm⁻³; K= 10,6 mg dm⁻³; Ca⁺²= 209,8 mmol_c dm⁻³; Mg⁺²= 80,0 mmol_c dm⁻³; Al⁺³= 0,0 mmol_c dm⁻³; H+Al= 3,5 mmol_c dm⁻³; Na⁺= 10,8 mmol_c dm⁻³; SB= 327,9 mmol_c dm⁻³ e CTC= 325,6 mmol_c dm⁻³; V= 98,6%; MOS= 17,8 g kg⁻¹ (Teixeira et al., 2017).

Tratamentos e delineamento experimental

Os sistemas de manejo do solo selecionados para avaliação desse estudo foram: (S1) Pastagem (*Cynodon* spp.) com 4 anos; (S2) Romã (*Punicata granatum* L.) com 6 anos; (S3) Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.) com 4 anos de implantação e, uma área de vegetação nativa (S4), em bom estado de conservação, utilizada como referência. Durante os quatro anos, as áreas com cultura S1, S2 e S3 foram manejadas de forma alternativa, empregando-se a capina manual ao invés da mecanização. Durante os meses de seca, emprega-se o sistema de irrigação por gotejamento nas áreas S1, S2 e S3 a área de vegetação nativa é mantida sob sistema de sequeiro. O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado (DIC), constando de quatro áreas (consideradas como tratamentos), cada qual com cinco pseudo-repetições (Hurlbert, 2004). Para cada sistema de uso foram coletadas 10 amostras indeformadas, sendo cinco na profundidade de 0-10 cm e cinco na profundidade de 10-20 cm de profundidade, totalizando 40 amostras.



Variáveis determinadas

Amostras de solo com estrutura indeformada foram coletadas com auxílio de amostrador tipo Uhland e cilindros metálicos com volume de 100 cm³. As mesmas foram previamente saturadas (48h) com água e submetidas aos potenciais matriciais -6 kPa em mesa de tensão e -10, -33, -100, -300, -500, -1000 e -1500 kPa em câmara de Richards com placas porosas (Klute, 1986), para determinação da Curva de Retenção de Água no solo (CRA). Os parâmetros de ajuste da CRA foram obtidos por meio do modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980) (Equação 1), com a dependência de Mualem (1986), $m = 1 - (1/n)$, utilizando o software SWRC (Dourado Neto *et al.* 2000).

$$(\theta) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [(1 + (\alpha\Psi)^n)^m] \quad (1)$$

em que: θ é o conteúdo volumétrico de água no solo (m³ m⁻³) correspondente ao potencial matricial aplicado (Ψ ; kPa), θ_s e θ_r correspondem a umidade de saturação e residual, respectivamente (m³ m⁻³), Ψ é o valor absoluto do potencial matricial (kPa); n e α , são parâmetros empíricos do modelo, (α ; kPa⁻¹); n adimensional.

A densidade do solo (D_s ; g cm⁻³) foi determinada através da relação massa do solo seco/volume (Blake & Hartge, 1986). A microporosidade do solo foi determinada em mesa de tensão, através do teor de água retido no potencial -6 Kpa (Teixeira *et al.*

2017). A porosidade total do solo (PT; m³ m⁻³) e a umidade do solo na qual a porosidade é 10% (θ_{ar} ; m³ m⁻³) foram calculadas conforme Teixeira *et al.* (2017).

Procedimento estatístico

Os dados foram analisados através da estatística multivariada, utilizando a análise de componentes principais (ACP), com auxílio do software R (R Core Team, 2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de retenção de água no solo sob os diferentes sistemas de manejo encontram-se apresentada na **Figuras (1A) 0-10 cm e (1B) 10-20 cm**. Na **Tabela 1**, estão apresentados os valores médios dos parâmetros de ajustes. Verifica-se que o Vertissolo apresenta elevada capacidade de retenção de água, fato esse comprovado pela suave inclinação das CRA correspondentes aos sistemas romã e pastagem na camada de 0-10 cm, além do sorgo e pastagem na camada de 10-20 cm (**Figura 1 AB**). Na área de vegetação nativa, verificou-se menor retenção de água em relação aos demais sistemas de manejo avaliados. No solo sob vegetação nativa, a menor taxa de retenção de água pode estar relacionada à elevada capacidade de aeração do solo. Esse resultado corrobora com Araújo *et al.* (2004), em estudo sobre a qualidade física do solo em áreas de cultivo e mata. Para os autores, valores adequados de capacidade de aeração dependem das

condições climáticas e podem ser ampliadas sob condição de maior umidade.

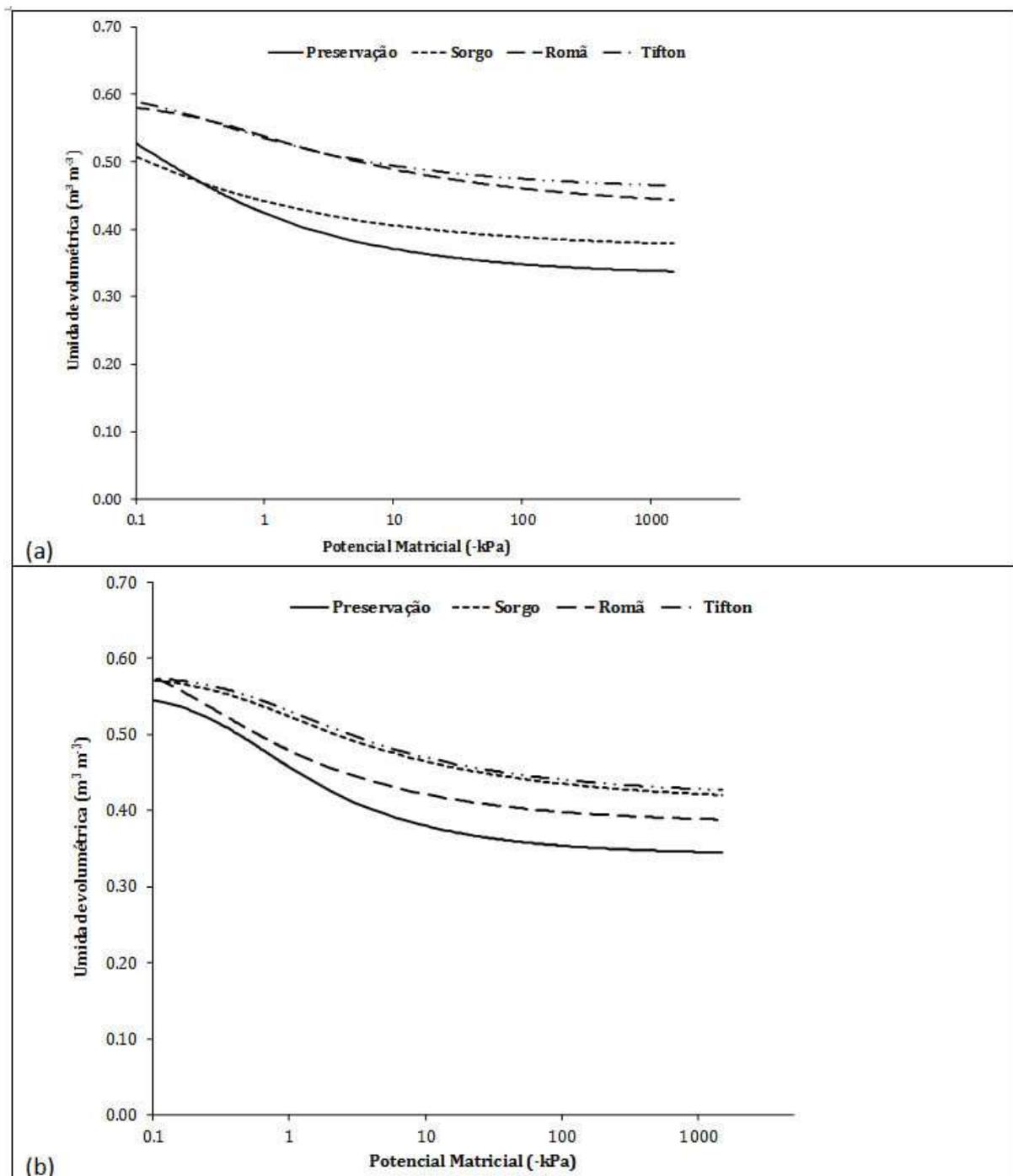


Figura 1. Curvas de retenção de água no solo para um Vertissolo sob diferentes manejos no semiárido brasileiro. a) camada de 0-10 cm; b) camada de 10-20 cm.

Figure 1. Water retention curves in the soil of the Vertisol under the different management in Brazilian semiarid. a) depth 0-10 cm; b) depth 10-20 cm.

Analisando os valores médios de θ_s e θ_r (Tabela 1), observa-se que o θ_r foi maior que $0,400 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ nos sistemas romã e

tifton, na camada de 0-10 cm e maior que $0,400 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para sorgo e tifton na camada de 10-20 cm. A baixa inclinação apresentada pelas CRA com o aumento de

tensão, demonstra que o solo sob os diferentes manejos apresenta boa retenção de água, contudo é deficiente no que diz respeito à disponibilidade de água para as plantas (Figuras 1AB). Esse comportamento resulta da presença marcante microporos nesses solos (Juhász *et al.*, 2006; Costa *et al.*, 2008).

Em todos os sistemas de manejo, verifica-se que as CRA apresentaram tendência de estabilidade a partir do potencial matricial de -100 kPa,

provavelmente influenciada pela quantidade de meso e microporos presentes nesse solo. Segundo Silva *et al.* (2017), os microporos retém água em maior energia em relação as demais classes de poros, tornando-a potencialmente disponível as plantas. Além do mais, a presença marcante de argilominerais do tipo 2:1 no Vertissolo tende a elevar a capacidade de retenção de água, principalmente pela presença de cargas relacionadas a adsorção (Reichert *et al.*, 2009).

Tabela 1. Parâmetros de ajustes das curvas de retenção de água, do Vertissolo sob diferentes manejos no semiárido brasileiro.

Table 1. Parameters of adjustment of the water retention curves, of the Vertisol under the different management systems in Brazilian semiarid.

Sistema	Camada (cm)	θ_s	θ_r	α	n	$1-(1/n)$
		----- m ³ m ⁻³ -----	-----	kPa ⁻¹	-----	-----
S1	0-10	0,603	0,458	6,1224	1,338	0,252
S2		0,583	0,428	3,4289	1,270	0,213
S2		0,597	0,371	45,507	1,300	0,231
S4		0,598	0,331	17,567	1,369	0,268
S1	10-20	0,579	0,420	2,0206	1,386	0,277
S2		0,609	0,383	7,9731	1,403	0,287
S2		0,577	0,411	2,5535	1,375	0,252
S4		0,556	0,343	3,0357	1,517	0,334

(S1) Pastagem (*Cynodon* spp.); (S2) Romã (*Punicata granatum* L.); (S3) Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.); (S4) área de vegetação nativa. θ_s = Umidade de saturação, θ_r = Umidade residual, α , n , = Parâmetros empíricos da equação de Van Genuchten (1980), $1-(1/n)$ = dependência de Mualem (1986).

Na Tabela 2, encontram-se apresentados os valores médios para densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e porosidade total (PT), capacidade de aeração do solo (CAS) e umidade do solo na qual a porosidade de aeração é igual a 10% (θ_{ar}). Verifica-se que a densidade do solo variou de 1,00 a 1,15 g cm⁻³ na camada de 0-10 cm e 1,21 a 1,30 g

cm⁻³ na camada de 10-20 cm. Na camada de 0-10 cm, observa-se que os valores de Ds ficaram abaixo do limite crítico em todos os sistemas avaliados, que segundo Reinert *et al.* (2008) é de 1,20 g cm⁻³. Na camada de 10-20 cm, verifica-se que houve incremento na Ds e, observou-se uma aumento de 0,19 g cm⁻³ na vegetação nativa, resultado esse, provavelmente influenciado por mudanças

estruturais do solo. A porosidade total ficou acima de $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ em todos os sistemas de manejo, com destaque para as áreas com vegetação nativa, romã e pastagem na camada de 0-10 cm, com 0,60; 0,62 e $0,61 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente (Tabela 2).

A macroporosidade mostrou-se restritiva apenas nos sistemas sorgo e pastagem na camada de 0-10 cm, e romã e pastagem na camada de 10-20 cm, demonstrando que nesses solos, pode haver limitações na dinâmica de água e difusão de gases. Em ambiente de pastagem, a diminuição da porosidade é ocasionada pelo pisoteio animal excessivo (Stefanoski *et al.* 2013).

Em relação a capacidade de aeração do solo, verifica-se menor valor no sistema romã com $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada de 0-10 cm. Esse é um valor restritivo e reflete na má qualidade estrutural do solo. Para que um solo tenha uma boa difusão de gases entre a saturação e a capacidade de campo, segundo Reynolds *et al.* (2007), recomenda o valor mínimo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Na Figura 2, encontram-se o diagrama com a análise de componentes principais (ACP), e verifica-se que 50,9% da variância total foi explicada pelo componente principal CP1 e o CP2 explicou 22,5% da variância dos dados. Observa-se a

Tabela 2. Densidade do solo, porosidade, capacidade de aeração de um Vertissolo sob diferentes manejos no semiárido brasileiro.

Table 2. Soil density, porosity, aeration capacity and free air porosity of the the Vertisol under the different management systems in Brazilian semiarid.

Sistema	Camada (cm)	Ds	Ma	Mi	PT	CAS	θ_{ar}
		g cm^{-3}	$\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$				
S1	0-10	1,08	0,11	0,50	0,61	0,10	0,51
S2		1,15	0,15	0,47	0,62	0,09	0,52
S3		1,00	0,11	0,47	0,58	0,16	0,48
S4		1,00	0,11	0,47	0,58	0,16	0,48
S1	10-20	1,22	0,08	0,47	0,56	0,11	0,46
S2		1,21	0,11	0,44	0,56	0,18	0,46
S3		1,22	0,15	0,40	0,56	0,11	0,46
S4		1,30	0,15	0,39	0,55	0,17	0,45

(S1) Pastagem (*Cynodon* spp.); (S2) Romã (*Punicata granatum* L.); (S3) Sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor* L.); (S4) área de vegetação nativa. Ds= Densidade do solo, Ma= Macroporosidade, Mi= Microporosidade, PT= Porosidade total, CAS= Capacidade de aeração do solo, θ_{ar} = Porosidade livre de ar.

formação de seis grupos semelhantes: vegetação nativa 0-10 cm; pastagem e sorgo 10-20 cm; sorgo 0-10 cm; vegetação nativa 0-10 cm; romã 10-20 cm e romã 0-10 cm. Os sistemas pastagem e sorgo na camada de 10-20 cm, distinguiram dos demais sistemas de manejo pela microporosidade,

capacidade de campo relativa, capacidade de campo, umidade residual, ponto de murcha permanente e água disponível (Figura 2), ou seja, esses atributos apresentaram maior expressividade nos sistemas sorgo e pastagem, provavelmente por influência do desenvolvimento sistema

radicular desses vegetais (Stefanoski *et al.* 2013).

A distinção do sistema romã 0-10 cm ocorreu pelos atributos umidade ótima de preparo do solo, θ_{ar} , porosidade total e θ_s e, no sistema Romã 10-20 cm pelo índice S e capacidade de aeração do solo. Com relação a área de vegetação nativa, verificou-se que esse sistema diferiu dos demais pela capacidade de aeração do solo e macroporosidade na camada de 0-10 cm

e, pela água prontamente disponível na camada de 10-20 cm (Figura 2).

Esse comportamento geralmente ocorre, por que existe um equilíbrio no sistema preservado em função da considerável deposição de biomassa e maior atividade dos microrganismos. Para Souza *et al.* (2010), a elevação na produção de fitomassa contribui para o aumento da atividade microbiana do solo. A partir desses resultados, foi possível identificar as

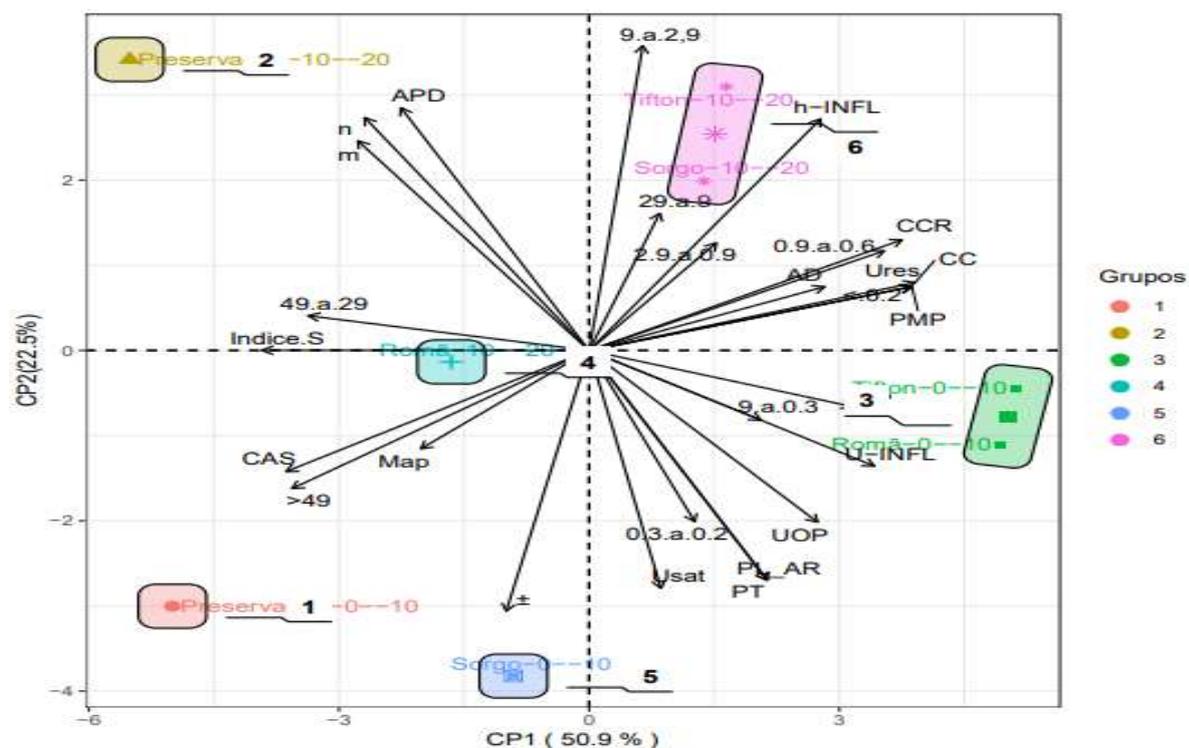


Figura 2. Autovetores da análise de componentes principais para os atributos físico-hídricos do Vertissolo sob diferentes manejos no semiárido brasileiro.

Figure 2. Eigenvectors of the analysis of main components for the physical-hydric attributes of the Vertisol under the different management in Brazilian semiarid.

variáveis com maior potencial discriminatório para cada sistema de manejo do solo (Tabela 3). Como observado por Gomes *et al.* (2019), os autovetores da ACP podem ser considerados como uma medida de importância relativa de cada variável em relação aos componentes

principais, com sinais positivos ou negativos indicando relações diretas ou inversamente proporcionais, respectivamente. Por exemplo, dentre os sistemas avaliados, verificou-se correlação para θ_{INFL} , θ_{cc} , θ_r , θ_{PMP} , CCr e tamanho de poros $>0,2 \mu m$ com o CP1 e CP2. Nesse caso, deduz-se que são

as variáveis com melhor poder discriminatório dentre os sistemas de manejo avaliados.

redução na macroporosidade, baixa capacidade de aeração do solo e, baixa disponibilidade de água às plantas.

CONCLUSÕES

Os diferentes sistemas de manejo pouco modificaram a qualidade físico-hídrica do solo e a melhor qualidade estrutural do solo foi observada no ambiente de mata nativa.

Espera-se que no longo prazo, os diferentes sistemas de manejo atenuem os problemas físico-hídricos apresentados pelo Vertissolo.

Problemas relacionados à restrição hídrica foram observados no solo sob os diferentes sistemas de manejo, bem como

Tabela 3. Autovetores da análise de componentes principais do Vertissolo sob diferentes manejos no semiárido brasileiro.

Table 3. Eigenvectors of the principal component analysis of the Vertisol under the different management systems in Brazilian semiarid.

Componentes da Variância		Componentes principais			
		1		2	
Autovalores		14,252		6,287	
Proporção (%)		50,90		22,45	
Acumulada (%)		50,90		73,25	
Valores de correlação autovetores					
Variável	CP1	CP2	Variável	CP1	CP2
Θ_r	0,255	0,074	Θ_s	0,056	-0,277
n	-0,178	0,272	A	-0,065	-0,304
1-1/n	-0,183	0,245	S	-0,259	0,000
h_{INFL}	0,183	0,270	θ_{INFL}	0,226	-0,135
θ_{cc}	0,258	0,079	θ_{PMP}	0,255	0,074
θ_{AD}	0,186	0,074	θ_{APD}	0,149	0,283
CAS	-0,240	-0,141	CCr	0,248	0,129
θ_{ar}	0,141	-0,268	Mi	0,209	-0,065
Ma	-0,133	-0,114	PT	0,141	-0,268
θ_{uOP}	0,181	-0,200	>49 μm	-0,235	-0,161
>29-9 μm	-0,222	0,040	>0,2 μm	0,255	0,074

REFERÊNCIAS

- Araújo MA; CA Tormena & AP Silva. 2004. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. Rev. Bras. Cienc. Solo, 28:337-345.
- Barbosa, SM; GC Oliveira; CE Carducci & BM Silva. 2014. Potencialidade de usos de Zeólitas na atenuação do déficit hídrico em Latossolo do Cerrado. Semina. Ci. Agr. v. 35:2357-2368.

- Blake, GR & KK Hartge. 1986. Bulk density. In: Klute, A. *Methods of soil analysis*. 2 ed. Madison: Soil Science Society of America. p.363-382.
- Bouma, J. 1991. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Adv. in Agr.* 46:1-37.
- Costa, GGS; AF Martins & FP Oliveira. 2018. Atributos físicos e biológicos em Vertissolo sob agricultura biodinâmica na mesorregião do sertão paraibano. *Agr. Téc.*39:31-42.
- Costa, WA; CAS Oliveira & E Kato. 2008. Modelos de ajuste e métodos para a determinação da curva de retenção de água em um Latossolo Vermelho-amarelo. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 32: 515-523.
- Dourado-Neto, D; DR Nielsen; JW Hopmans; K Reichardt & OOS Bacchi. 2000. Software to model soil water retention curve (SWRC version 2.00). *Sci. Agr.* 57:191-192.
- Erkossa T. 2014. Tillage effects on physical quality of a Vertisol in the central highlands of Ethiopia. *Afr. J. Agr. Res.* 512:1008-1016.
- Gajri, PR, AroraVK & Prihar SS. 2002. *Tillage for sustainable cropping*. Food products press. New York.
- Gomes, RP *et al.* 2019. Change in the physical properties of an Amazonian Inceptisol induced by tractor traffic. *Chilean J. Agric. Res.* 79:103-113.
- Hati, KH; A Swarup; AK Drivedi; AK Misra & KK Bandyopadhyai. 2007. Changes in the soil physical properties and agronomic carbon status of the topsoil horizon of a Vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. *Agric. Ecos. & Envi.* 119:127-234.
- Hidalgo, C; A Merino; V Osorio-Hernández; JD Etchevers; B Figueiroa; A Limon & T Aguirre. 2019. Physical and chemical process determining soil organic matter dynamics in a managed Vertisol in a tropical dryland area. *Soil & Till. Res.*194:1-9.
- Hurlbert SH. 2004. On misinterpretation of pseudoreplication and related matters: a reply to Oksanen. *Oikos*, 104(3):591-597.
- Juhász, CEP; PR Cursi; M Cooper; TC Oliveira & RR Rodrigues. 2006. Dinâmica físico-hídrica de uma topossequência de solos sob savana florestada (Cerradão) em Assis, SP. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 30:401-412.
- Klein, VA & P Libardi. 2002. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 26:857-867.
- Klute, A. 1986. Water retention: laboratory methods. In: Black, CA. (Ed.). *Methods of Soil Analysis: I. Physical and Mineralogical Methods*. Madison: American Society of Soil Science. Doi: 10.1002/gea.3340050110
- Mualem, Y. 1986. Hydraulic conductivity of unsaturated soils: prediction and formulas. In: Klute, A. (Ed.). *Methods of soil analysis: I. Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy. p.799-823.
- Ramos, HMM; JFB Duarte; AAF Simplício; IMC Oliveira & DL Feitosa. 2020. Atributos físico-hídricos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes usos. *Rev. Bras. Agr. Irr.* 14:3968-3975. Doi:10.7127/RBAI.V14N101147
- Reeves, SH; J Somasundaram; WJ Wang; MA Heenam; MA Heenam; MA Finn & RC Dalal. 2019. Effect of soil aggregate size and long-term contrasting tillage stubble and nitrogen management regimes on CO₂ fluxes from Vertisol. *Geoderma.* 337: 1-11.
- Reichert, JM; JA Albuquerque; DR Kaiser; Reinert D; DJ Reinert; FL Urach & R Carlesso. 2009. Estimation of water retention and availability in soils of Rio Grande do Sul. *Rev. Bras Ci. Solo.* 33:1547-1560. Doi:10.1590/S0100-06832009000600004
- Reinert, DJ; JA Albuquerque; MJ Reichert; C Aita; MMC Andrada. 2008. Limites críticos de Densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 32:1805-1816.



- Santos, HG *et al.* 2006. Vertissolos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p.225-230.
- Santos, HG *et al.* 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5.ed. Brasília, Embrapa. 356p. Disponível: www.embrapa.br/solos/sibcs
- Santos, HG; MJ Zaroni & P Clemente. 2020. Solos tropicais: caráter coeso. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 1p. Disponível: www.agencia.cnptia.embrapa.br
- Silva, ÉA; PAN Benevenuto & LBB Melo. 2017. Qualidade física de um Latossolo estimada por estudos de curvas de retenção de água, indicadores de fácil determinação e índice S. Tec. & Ci. Agrop.11:49-54.
- Souza, ED. *et al.* 2010. Biomassa microbiana do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. R. Bras. Ciênc. Solo. 34:79-88.
- Stefanoski, DC. 2013. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. Rev. Bras. Eng. Agric. e Amb. 17(12):1301-1309.
- Teixeira, PC; GK Donagemma; A Fontana & WG Teixeira. 2017. Manual de métodos e análise de solos. Brasília: Embrapa. 573p. Disponível: www.embrapa.br/
- Van Genuchten, MT. 1980. A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity on unsaturated soil. Soil Sci Soc Am J.44:892-897.

