

Qualidade físico-hídrica de um Neossolo Regolítico sob sistemas de produção integrados e convencionais

Nabor Galvão de Figueirêdo Neto¹, Pedro Luan Ferreira da Silva², Flávio Pereira de Oliveira³, Adriana Ferreira Martins⁴, Danillo Dutra Tavares⁵, Milton César Costa Campos⁶

¹ Universidade Federal da Paraíba – Centro de Ciências Agrárias, Engenheiro Agrônomo, nabor.neto321@gmail.com

² Universidade Estadual de Maringá – Departamento de Agronomia, Mestre em Agronomia, pedroluanferreira@gmail.com

³ Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências Agrárias, Docente, Doutor em Ciência do Solo, flavio.oliveira@academico.ufpb.br

⁴ Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências Agrárias, Doutora em Ciência do Solo, biol.adriana@gmail.com

⁵ Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Agronomia, Mestre em Ciência do Solo, danilodutrat@hotmail.com

⁶ Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências Agrárias, Docente, Doutor em Ciência do Solo, mcesarsolos@gmail.com

Recebido em: 27/04/2022

Aceito em: 06/09/2022

Resumo

Os solos arenosos ganharam maior atenção devido à expansão das novas fronteiras agrícolas no Brasil e no mundo, contudo, são sensíveis às mudanças de uso do solo. Objetivou-se avaliar a qualidade físico-hídrica de um Neossolo Regolítico sob sistemas de produção integrados e convencionais nas condições climáticas do domínio do semiárido da Paraíba. O estudo foi realizado no município de Lagoa Seca/PB (7°10'15"S, 53°51'43"W, 640 m de altitude), em um Neossolo Regolítico de classificação textural franco arenosa. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram compostos por: 1) mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) + milho (*Zea mays* L.) (M+M); 2) *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster + milho (U+M); 3) mata secundária (MS); 4) área de agricultura convencional, cultivada com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) (AGR); e 5) área em estágio de regeneração (AER). Analisaram-se as seguintes variáveis: grau de floculação, argila dispersa em água, porosidade do solo (total, macroporosidade, microporosidade), porosidade de aeração no domínio dos macroporos, densidade do solo e condutividade hidráulica e água disponível. De acordo com os resultados, a qualidade físico-hídrica do solo entre os sistemas integrados não foi significativa, porém, em comparação ao sistema convencional, demonstrou resultados satisfatórios. Por outro lado, conclui-se que a modificação da estrutura do solo em área de agricultura reduziu a disponibilidade de água às plantas para 75,20% abaixo do considerado adequado. Estudos de longo prazo devem ser realizados de forma a verificar o efeito dos sistemas de integração na melhoria da qualidade física e estrutural dos solos arenosos.

Palavras-Chave: Água disponível. Agricultura conservacionista. Semiárido. Solo arenoso.

Introdução

A qualidade do solo refere-se à capacidade de determinada classe de solo funcionar, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados, para sustentar a produtividade das plantas e animais, manter ou melhorar a qualidade da água e do ar e apoiar a saúde humana e a habitação (KARLEN *et al.*, 1997; SIMON *et al.*, 2022). Dentre os atributos utilizados na avaliação da qualidade do solo, a estrutura tem sido uma das mais estudadas, pois influencia direta ou indiretamente os diferentes processos que ocorrem no solo, como retenção e infiltração de água, suscetibilidade à erosão,

aeração, atividade microbiana, dentre outros (RESENDE *et al.*, 2012).

Os solos arenosos, apesar de possuírem elevada infiltração de água, gás e calor (HUANG; HARTEMINK, 2021), são mais suscetíveis à degradação por não possuírem uma estrutura bem definida e pobre horizontalidade (BRUAND *et al.*, 2015), além de serem facilmente modificados pelo manejo das culturas e distúrbios biológicos (HUANG; HERTEMINK, 2021). No Brasil, a área ocupada por solos arenosos é de 683.200 km² e eles são especialmente expressivos na região do Matopiba e Mato Grosso (DONAGEMMA *et al.*, 2016), onde são amplamente utilizados

na produção de milho (SPERATTI *et al.*, 2017) e algodão (ANGHINONI *et al.*, 2019), além de estarem presentes em áreas do Tocantins, Minas Gerais, Goiás, Pará, Paraná, Rio Grande do Sul, São Paulo e Mato Grosso do Sul (FONTANA *et al.*, 2021). Esses solos compreendem os Neossolos Quartzarênicos, Regolíticos e Litólicos, além de alguns Planossolos, Gleissolos, Espodossolos, Latossolos e Argissolos (WRB-FAO, 2014).

Nos últimos anos, o interesse pelos solos arenosos tem ganhado destaque por estes serem facilmente manejados e ocorrerem, preferencialmente, em regiões com relevo favorável à mecanização (FONTANA *et al.*, 2021). Para Lu e Tian (2017), esse interesse correlaciona-se positivamente com o aumento no uso de fertilizantes e irrigação para a produção de alimentos. Contudo, apesar dos recentes avanços relacionados ao manejo sustentável de solos arenosos (HUANG; HARTEMINK, 2021), a intensificação da produção agrícola parece estacionar em função das limitações física, química e biológica, como elevada suscetibilidade à compactação, baixa retenção e disponibilidade de água, baixa fertilidade natural e inexpressível resiliência (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995). A implantação de sistemas de produção conservacionistas surge como alternativa para minimizar as limitações edáficas, principalmente quando estes aportam considerável teor de matéria orgânica (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011; SENA *et al.*, 2017). Aranyos *et al.* (2017) observaram, por exemplo, que o aporte de matéria orgânica em solo arenoso melhorou a qualidade física com substancial melhoria da taxa de infiltração de água no solo, redução da erosão, nível de compactação e aumento na permeabilidade.

Os sistemas integrados de produção agropecuária são sistemas de produção conservacionistas que integram os componentes

pecuário e florestal em rotação, consórcio ou sucessão, dentro de uma mesma área de produção, e têm como premissa o uso intensivo do solo com o mínimo de impacto às funções ecossistêmicas (BALBINO *et al.*, 2011; VALANI *et al.*, 2020). Estudos têm comprovado a eficácia dos sistemas integrados de produção agropecuária na melhoria da qualidade física do solo (VALANI *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2021). Alguns benefícios relatados pelos estudos são: maior aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (CONTE *et al.*, 2011), redução da densidade e do grau de compactação do solo, aumento da porosidade e agregação (PEZARICO *et al.*, 2013). Em solos sob sistemas integrados de produção agropecuária, houve sazonalidade das concentrações de nitrogênio e carbono orgânico, diminuindo os teores durante a fase de cultivo e recuperando-se rapidamente durante a fase perene (GALINDO *et al.*, 2020; MAIA *et al.*, 2021) quando comparado a sistemas convencionais. Em Neossolo Regolítico, Silva *et al.* (2021) observaram que a adoção do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta melhorou consideravelmente a macroporosidade, condutividade hidráulica saturada e aeração do solo. Contudo, como destacado por Galindo *et al.* (2020), essa resposta vai depender do arranjo produtivo adotado.

Dessa forma, neste estudo testa-se a hipótese de que a adoção de diferentes arranjos com sistemas integrados de produção agropecuária em solo arenoso contribui para a melhoria da qualidade física em comparação a sistemas de manejo convencional (agricultura) e áreas perturbadas (em estágio de recuperação). Portanto, objetivou-se avaliar a qualidade físico-hídrica de um Neossolo Regolítico sob sistemas de produção integrados e convencionais nas condições climáticas do domínio do semiárido da Paraíba.

Material e métodos

Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado em área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (Empaer), no município de Lagoa Seca/PB (7°10'15"S, 35°51'43"W, 640 m de altitude). Pela classificação de Köppen, o clima que predomina no município é do tipo tropical quente e úmido (As'), com ocorrência de maiores precipitações entre os meses de abril e junho, com média anual de 990 mm (SILVA *et al.*, 2015). A temperatura média anual é de 26°C e umidade relativa do ar de 79% (OLIVEIRA *et al.*, 2009). O relevo é caracterizado como fortemente ondulado, encoberto por remanescente florestal do tipo subcaducifólia. O solo da área experimental foi caracterizado como Neossolo Regolítico de

classificação textural franco arenoso (SANTOS *et al.*, 2018). A classificação textural do solo encontra-se apresentada na Tabela 1.

A área estava ocupada com pastagem e, no ano de 2014, implantou-se um experimento com sistema plantio direto (SPD) em parcelas experimentais na forma de terraços em função do relevo suave-ondulado. Realizou-se a correção do solo e as diferentes espécies de gramíneas foram semeadas a lanço. As gramíneas foram dessecadas e semeou-se o milho sobre a palhada. A adubação do solo na área experimental foi realizada de forma a atender as necessidades nutricionais do milho, aplicando-se 160 kg ha⁻¹ do fertilizante monoamônio fosfato (MAP). Em cobertura, foram feitas duas adubações nos estádios V5 e V8 do milho, utilizando 100 e 150 kg ha⁻¹ de ureia e 80 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (ZONTA

Tabela 1 – Classificação textural de um Neossolo Regolítico sob sistemas de produção integrados e convencionais. Lagoa Seca/PB.

Tratamentos	g kg ⁻¹			Classificação Textural
	Areia	Silte	Argila	
0-10 cm				
M+M	800	88	112	Franco Arenoso
U+M	850	88	62	Areia Franca
MS	817	88	95	Areia Franca
AGR	770	118	112	Franco Arenoso
AER	671	188	141	Franco Arenoso
Média	782	114	104	Franco Arenoso
CV (%)	8,4	35,1	47,1	
10-20 cm				
M+M	785	97	118	Franco Arenoso
U+M	840	87	73	Areia Franca
MS	775	104	121	Franco Arenoso
AGR	823	94	83	Areia Franca
AER	624	127	249	Franco Arenoso
Média	769	102	129	Franco Arenoso
CV (%)	8,4	35,1	47,1	

Legenda: M+M – Capim Mombaça + Milho; U+M – *Urochloa ruziziensis* (Stapf) R.D. Webster + Milho; MS – Mata secundária; AGR – Agricultura convencional; AER – Área em estágio de regeneração; CV – Coeficiente de variação.

Fonte: Preparada pelos autores (2022).

et al., 2016). O controle das plantas daninhas foi realizado com a aplicação de herbicidas 30 dias após a emergência do milho. De forma a não interferir no desenvolvimento das gramíneas, levou-se em consideração a presença de, no mínimo, três perfilhos antes de aplicar os herbicidas para o controle das plantas daninhas, e de quatro a seis folhas verdadeiras no milho.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o delineamento inteiramente casualizado (DIC), sendo cinco tratamentos com cinco repetições. As repetições foram representadas pelos pontos amostrais em cada tratamento, ou seja, cinco pontos amostrais por tratamento. Os tratamentos foram compostos pelos seguintes arranjos: 1) *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster + milho (*Zea mays* L.) (U+M); 2) mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) + milho (M+M); 3) mata secundária (MS); 4) área de agricultura convencional, cultivada com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) (AGR); e 5) área em estágio de regeneração (AER) (Figura 1). O tratamento MS (3) foi utilizado como referência, pois verificou-se que a área se encontrava em bom estado de conservação sem aparente interferência humana. As amostras de solo com estrutura deformada e indeformada (anéis volumétricos) foram coletadas em duas camadas (0-10 e 10-20 cm de profundidade), totalizando dez amostras por tratamento. Estas foram coletadas nas parcelas em uma malha regular de 10 m de distância entre os pontos, de forma a representar a variabilidade espacial dos atributos do solo nos tratamentos.

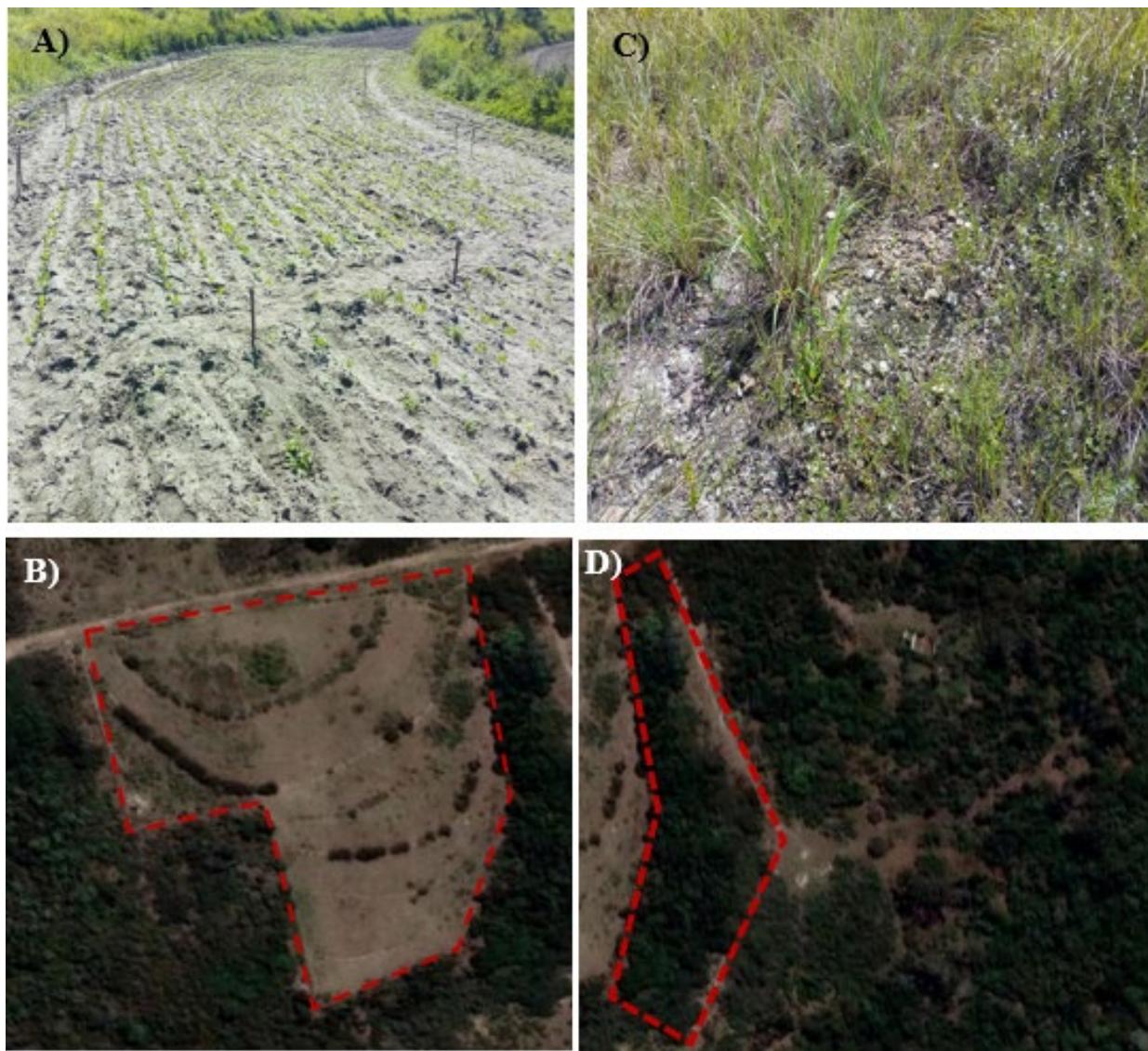
Os anéis volumétricos utilizados nas coletas das amostras indeformadas tinham volume de 98,17 cm³, e, para as amostras deformadas, utilizou-se pá de corte. Salienta-se que a coleta das amostras foi realizada após a colheita do milho, com as gramíneas (forrageiras) em pleno desenvolvimento. Para a área em estágio de regeneração, a camada superficial do solo

foi retirada da área de construção de uma barragem nas adjacências, escolhida por estar localizada na mesma classe de solo e por estar em estágio de regeneração, com a colonização de algumas espécies de gramíneas e arbustos de pequeno porte.

As amostras de solo com estrutura deformada foram peneiradas na malha de 2,0 mm e secas ao ar (Terra fina seca ao ar - TFSA). Foram utilizadas na caracterização granulométrica do solo (teores de areia, silte e argila) pelo método do densímetro (GEE; BAUDER, 1986) e na determinação da argila dispersa em água (ADA) e grau de floculação (GF) conforme metodologia descrita por Teixeira et al. (2017). A fração areia do solo foi separada em classes de tamanho utilizando conjunto de peneiras com malhas de 1,0, 0,50, 0,250, 0,105 e 0,053 mm. As amostras com estrutura indeformada (anéis volumétricos) foram saturadas por 48 h e, posteriormente, utilizadas na determinação da capacidade de campo (θ_{CC} , m³ m⁻³) e ponto de murcha permanente (θ_{PMP} , m³ m⁻³). Para a determinação da θ_{CC} , as amostras foram colocadas em mesa de tensão para drenar até atingir o corte hidráulico, aplicando-se o potencial de -100 hPa (BALL; HUNTER, 1988) e -15.000 hPa para a θ_{PMP} utilizando o extrator de Richards com placas porosas (KLUTE, 1985). A água disponível (θ_{AD} , m³ m⁻³) foi calculada através da relação $\theta_{CC} - \theta_{PMP}$.

A porosidade total do solo (PT, m³ m⁻³) foi determinada levando-se em consideração a massa de água do solo saturado. Para a determinação da macroporosidade (Mac, m³ m⁻³) utilizou-se o teor de água retido no potencial matricial de -60 hPa, em mesa de tensão. O cálculo da microporosidade do solo (Mic, m³ m⁻³) foi realizado subtraindo a Mac da PT (TEIXEIRA et al., 2017). A porosidade do solo no domínio dos macroporos (PoMac, m³ m⁻³) foi determinada conforme descrito em Reynolds et al. (2002), utilizando a seguinte equação: PoMac = PT - 0,01.

Figura 1 – Áreas utilizadas como tratamento na avaliação da qualidade físico-hídrica do Neossolo Regolítico, Lagoa Seca/PB. A) Área de agricultura convencional; B) Área com integração Lavoura-Pecuária (ILP) composta pelos tratamentos (1) *Urochloa decumbens* (Stapf) R.D. Webster + Milho e (2) Capim Mombaça + Milho; C) Área em estágio de regeneração; D) Mata secundária.



Fonte: A e C: Os autores; B e D: Google Maps (2022).

Para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (K_{θ}), utilizou-se o permeâmetro de carga constante e amostras de solo com estrutura indeformada, previamente saturadas. Os valores de K_{θ} foram obtidos utilizando a Equação 1.

$$K_{\theta} = (Q \times L) \div (A \times H \times T) \quad \text{Eq. 1}$$

em que K_{θ} é a condutividade hidráulica do solo saturado (cm h^{-1}); Q é o volume de água coletado em proveta (percolado) (mL^{-1}); L é a altura do bloco de solo (cm); A é a área da seção transversal do cilindro (cm^2); H é a soma

entre L e a coluna de água (cm); e T é o tempo utilizado na coleta do percolado em proveta (h).

As médias das variáveis foram analisadas por meio da análise de variância (Anova) e, quando significativas, aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$). Foi utilizado o procedimento estatístico Mixed com pseudorrepetições e todas as análises foram realizadas com o auxílio do software livre R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

Resultados e discussão

Os valores médios de ADA e GF para as camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade encontram-se apresentados na Tabela 2. Observa-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) para as variáveis resposta entre os tratamentos avaliados, contudo, comparando-se as camadas, na profundidade de 0-10 cm a média de ADA foi de 20,10 g kg⁻¹, diferindo dos 37,78 g kg⁻¹ encontrados na camada de 10-20 cm de profundidade.

Em profundidade (10-20 cm), houve um aumento de 46,83% no teor de ADA, com um coeficiente de variação de 51,90%. Os tratamentos que impactaram nesse resultado foram: M+M, com 57,00 g kg⁻¹; U+M, com 43,33 g kg⁻¹ e MS com 38,00 g kg⁻¹. O aumento de ADA na camada de 10-20 cm de profundidade resulta da menor deposição de matéria orgânica do solo e da ausência de cátions de hidrogênio

(H⁺) e alumínio (Al⁺³) na solução do solo, quando comparado à camada de 0-10 cm (SOUZA *et al.*, 2005). A matéria orgânica do solo, assim como os óxidos e hidróxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), é considerada agente cimentante das partículas primárias e das partículas secundárias (BASTOS *et al.*, 2005), podendo-se também incluir nesse processo os ciclos de umedecimento e secagem do solo (MALTONI, 1994). O GF é inversamente proporcional aos teores de ADA; dessa forma, observa-se na Tabela 2 que os maiores valores de GF foram encontrados nos tratamentos com menor teor de ADA. Comparando-se os valores médios do GF entre camadas de solo, constatou-se uma redução de 42,00 g kg⁻¹ na camada de 10-20 em relação à de 0-10 cm de profundidade, ou seja, um aumento de 4,93% no nível de vulnerabilidade estrutural do solo.

Analisando os valores médios para os diferentes tratamentos apresentados na Tabela 2,

Tabela 2 – Argila dispersa em água e grau de floculação de um Neossolo Regolítico sob sistemas de produção integrados e convencionais. Lagoa Seca/PB.

Camada cm	Tratamentos	ADA g kg ⁻¹	GF
0-10	M+M	17,00 a	857 a
	U+M	11,33 a	937 a
	MS	20,33 a	810 a
	AGR	25,41 a	847 a
	AER	33,60 a	807 a
Média		20,10*	851
CV (%)		51,9	15
10-20	M+M	57,00 a	740 a
	U+M	43,33 a	900 a
	MS	38,00 a	770 a
	AGR	16,72 a	783 a
	AER	33,89 a	853 a
Média		37,78	809
CV (%)		51,9	15

Legenda: M+M – Capim Mombaça + Milho; U+M – *Urochloa ruziziensis* (Stapf) R.D. Webster + Milho; MS – Mata secundária; AGR – Agricultura convencional; AER – Área em estágio de regeneração; CV – Coeficiente de variação; ADA – argila dispersa em água; GF – grau de floculação; *Significativo ($p < 0,05$).

Fonte: Preparada pelos autores (2022).

é possível inferir que, na camada de solo com maior deposição de matéria orgânica e maior concentração de raízes, há tendência de melhoria na estabilidade estrutural do solo, em função de valores menores de ADA e maiores de GF. Para Albuquerque *et al.* (2005), a ação conjunta entre matéria orgânica do solo, microrganismos, sistema radicular e presença de cátions trocáveis no solo influenciam diretamente a dispersão de argila e o GF do solo. Em superfície, nota-se menor GF do solo sob área de regeneração (807 g kg⁻¹), ou seja, 5,17% abaixo do valor médio encontrado para camada de 10-20 cm de profundidade. Para Lunardi Neto *et al.* (2008), a ausência de cobertura vegetal é considerada um dos fatores que influenciam na maior dispersão de argila em áreas que foram degradadas e que se encontram em processo de regeneração. Como nessas áreas o impacto modificou diretamente a macroestrutura do solo, uma das consequências é o aumento abrupto no teor de ADA (PRADO; CENTURION, 2001).

Como observado por Figueiredo *et al.* (2021), o GF e a ADA são diretamente afetados pelo sistema de manejo e pelo balanço eletroquímico do solo; ou seja, em solos perturbados, com acentuada modificação da estrutura, há tendência de incremento no teor de ADA quando comparado a sistemas conservacionistas de produção agropecuária, como o sistema plantio direto e a integração lavoura-pecuária. É importante enfatizar que a avaliação do GF é fundamental no manejo de solos, pois está diretamente relacionado à estabilidade da microestrutura do solo e aos processos erosivos (IGWE; OBALUM, 2013). O aumento da ADA potencializa a formação de crostas superficiais no solo, reduzindo a capacidade de infiltração e a condutividade hidráulica (DIDONÉ *et al.*, 2015).

Na Tabela 3, estão apresentados os valores médios para os atributos físicos PT, Mac, Mic, PoMac, densidade do solo (Ds) e K_θ. Verifica-se, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de

profundidade, que houve diferença significativa ($p < 0,05$) para a maioria dos atributos avaliados, bem como entre camadas. Maior coeficiente de variação (CV) foi verificado para K_θ nas duas camadas de solo avaliadas, com 53,80% em ambas.

Em relação à PT, o menor valor médio foi verificado no tratamento AER, que diferiu dos demais tratamentos avaliados. Maior PT foi observada no tratamento MS, com 0,51 m³ m⁻³ (Tabela 3). Na camada de 10-20 cm de profundidade, a menor PT foi observada no tratamento AER (0,34 m³ m⁻³) e a maior, no tratamento MS (0,44 m³ m⁻³). Com exceção do tratamento AER, os demais tratamentos tiveram redução da PT com o aumento de profundidade do solo, havendo maior perda percentual (13,72%) para o tratamento MS. Contudo, em todos os tratamentos e camadas, observa-se que os valores de PT estão dentro da faixa aceitável para solos de textura arenosa, que varia de 0,33 a 0,60 m³ m⁻³ (HUANG; HARTEMINK, 2020). O maior volume de poros encontrado no solo sob MS, na camada de 0-10 cm de profundidade, deve-se ao nível de conservação do local e ao não revolvimento do solo. Trabalhos como os de Matias *et al.* (2012) e Thomazine *et al.* (2013) demonstraram que, em ambiente de mata, o aporte de material vegetal e a ausência de mobilização do solo são os fatores que diretamente favorecem o aumento da porosidade total do solo, inclusive em solos arenosos.

A Mac foi superior no tratamento MS (0,17 m³ m⁻³) e AGR (0,14 m³ m⁻³) na camada de 0-10 cm de profundidade. Na camada de 10-20 cm de profundidade, a Mac foi superior no tratamento AER (0,14 m³ m⁻³), diferindo ($p < 0,05$) dos demais tratamentos avaliados. Em relação à camada, observa-se, na Tabela 3, que não houve diferença significativa, com média de 0,11 m³ m⁻³ para as profundidades de 0-10 e 10-20 cm. Nota-se que, em alguns tratamentos, a Mac do solo esteve abaixo da Mac crítica, que

Tabela 3 – Valores médios para as variáveis resposta porosidade total, macroporosidade, microporosidade, porosidade de aeração no domínio dos macroporos, densidade do solo e condutividade hidráulica do solo saturado, de um Neossolo Regolítico sob sistemas de produção integrados e convencionais. Lagoa Seca/ PB.

Tratamento	PT	Mac	Mic	PoMac	Ds	K_{θ}
	$m^3 m^{-3}$				$g cm^{-3}$	$cm h^{-1}$
0-10 cm						
M+M	0,44 b	0,09 b	0,35 ab	0,42 a	1,49 a	11,86 bc
U+M	0,48 ab	0,08 b	0,40 a	0,36 ab	1,46 a	23,71 b
MS	0,51 a	0,17 a	0,34 ab	0,35 ab	1,29 b	40,64 a
AGR	0,43 b	0,14 ab	0,29 bc	0,24 bc	1,38 ab	10,28 bc
AER	0,32 c	0,08 b	0,24 c	0,16 c	1,51 a	1,06 c
Média	0,44 a	0,11 a	0,32 a	0,31 a	1,43 b	17,5 a
CV (%)	6,8	28,1	10,9	22,0	4,6	53,8
10-20 cm						
M+M	0,41 a	0,09 b	0,31 ab	0,31 a	1,55 a	12,73 ab
U+M	0,43 a	0,08 b	0,35 a	0,30 ab	1,57 a	16,26 a
MS	0,44 a	0,11 b	0,33 a	0,29 ab	1,50 a	10,85 ab
AGR	0,39 ab	0,10 b	0,28 ab	0,21 ab	1,49 a	6,91 ab
AER	0,34 b	0,14 a	0,25 b	0,17 b	1,50 a	1,26 b
Média	0,40 b	0,11 a	0,30 a	0,26 b	1,52 a	9,6 b
CV (%)	6,8	28,1	10,9	22,0	4,6	53,8

Legenda: M+M – Capim Mombaça + Milho; U+M – *Urochloa ruziziensis* (Stapf) R.D. Webster + Milho; MS – Mata secundária; AGR – Agricultura convencional; era – Área em estágio de regeneração; CV – Coeficiente de variação; PT – Porosidade total; Mac – Macroporosidade; Mic – Microporosidade, PoMac – Porosidade de aeração no domínio dos macroporos, Ds – Densidade do solo; K_{θ} – Condutividade hidráulica do solo saturado. Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0.05$).

Fonte: Preparada pelos autores (2022).

é de $0,10 m^3 m^{-3}$ (REICHERT *et al.*, 2003), comportamento detectado nos tratamentos M+M, U+M e AER na camada de 0-10 cm de profundidade; e M+M e U+M na camada de 10-20 cm de profundidade. Nesses tratamentos, a Mac variou de 0,08 a $0,09 m^3 m^{-3}$, ou seja, 18% abaixo do limite mínimo restritivo. Os valores baixos de Mac podem comprometer a infiltração de água no solo e a dinâmica do ar. Esses dados corroboram os observados por Silva *et al.* (2021) em Neossolo Regolítico sob sistemas de integração: para os autores, valores médios de Mac acima do limite crítico em alguns tratamentos deve-se à melhoria da estrutura do solo pelo sistema de manejo, ou mesmo pelo não revolvimento do solo.

Em relação à Mic, observa-se que foi superior no tratamento U+M ($0,40 m^3 m^{-3}$) e inferior no AER ($0,24 m^3 m^{-3}$) na camada de 0-10 cm de profundidade. Na camada de 10-20 cm de profundidade, houve redução na Mic em $0,02 m^3 m^{-3}$, não diferindo da camada de 0-10 cm de profundidade ($p < 0,05$). No tratamento AER, houve acréscimo da Mic em profundidade, com um valor médio de $0,01 m^3 m^{-3}$, ou seja, sem grande expressividade. Para Reichert *et al.* (2003), a Mic é um indicador do estado em que a estrutura do solo se encontra, servindo como parâmetro de avaliação da compactação do solo. Como observado por Ribeiro *et al.* (2007), a Mic não foi adequada para explicar o comportamento hidráulico do

Neossolo Regolítico, pois a geometria dos poros vai depender de sua estrutura.

Maior Mic em relação à Mac nesse solo evidencia que a porosidade é constituída predominantemente por poros pequenos, em função do predomínio de areia e silte em sua granulometria (RIBEIRO *et al.*, 2007). No solo do presente estudo, observou-se maior predomínio de areia fina, de acordo com estudo de Silva *et al.* (2021). Segundo Ribeiro *et al.* (2007), o contato face a face entre as partículas que predominam em solos arenosos faz com que os grãos de areia fina e silte ocupem os poros formados pelas partículas de areia grossa, predominando a microporosidade e o processo conhecido por empacotamento. A PoMac foi menor no tratamento AER nas duas camadas de solo avaliadas, com médias 0,16 e 0,17 m³ m⁻³, respectivamente. Esse comportamento resulta da modificação da estrutura do solo em função da retirada da camada superficial para a construção do açude nas adjacências da área experimental. Na camada superficial de 0-10 cm de profundidade, há maior atividade de microrganismos e, conseqüentemente, melhor capacidade de aeração e condução de água. Com aumento de profundidade, houve redução de 16,12% na PoMac, que correlacionou positivamente com a Mic ($r = 0,885$; $p < 0,05$) (Tabela 4).

A Ds não diferiu entre os tratamentos avaliados, contudo, constataram-se valores médios maiores na camada de 10-20 cm de profundidade, com 1,52 g cm⁻³ (Tabela 3). Apesar do aumento em profundidade, verifica-se que todos os valores médios ficaram abaixo do caracterizado como crítico para solos de textura arenosa, que, de acordo com Bruand *et al.* (2005), varia de 1,11 a 1,78 g cm⁻³. Na camada de 0-10 cm de profundidade, a Ds ficou 19,66% abaixo da densidade do solo crítica (Dsc), enquanto, na camada de 10-20 cm de profundidade, a Ds foi 14,60% menor que a Dsc. Esses resultados demonstram que, levando-se em consideração a Ds como indicador de qualidade do solo, pode-se afirmar que este não possui limitações para o desenvolvimento das plantas. Em relação ao coeficiente de correlação, observa-se que a Ds possui correlação negativa com a PT ($r = -0,522$; $p < 0,05$) e com a Mac ($r = -0,783$; $p < 0,05$), demonstrando o efeito negativo desse atributo sobre a estrutura do solo.

Para a condutividade hidráulica do solo saturado (K_{θ}), verifica-se maior limitação física na camada de 0-10 cm (1,06 cm h⁻¹) e de 10-20 cm de profundidade (1,26 cm h⁻¹) para o tratamento AER. Esse resultado indica que a remoção da camada superficial do solo comprometeu sua estrutura, ocasionando escoamento superficial por supressão dos poros condutores (Mac). Da

Tabela 4 – Coeficiente de correlação de Pearson (r) para atributos físicos de um Neossolo Regolítico sob sistemas de produção integrados e convencionais. Lagoa Seca/PB

	PT	Mac	Mic	PoMac	Ds	K_{θ}
PT	1	0,224	0,869	0,823	-0,522	0,891
Mac		1	-0,219	-0,152	-0,783	0,891
Mic			1	0,885	-0,121	0,690
PoMac				1	-0,187	0,664
Ds					1	-0,649
K_{θ}						1

PT – Porosidade total; Mac – Macroporosidade; Mic – Microporosidade, PoMac – Porosidade de aeração no domínio dos macroporos, Ds – Densidade do solo; K_{θ} – Condutividade hidráulica do solo saturado.

Fonte: Preparada pelos autores (2022).

superfície para a subsuperfície, houve redução de 54,85% na K_{θ} , com consequências para o armazenamento de água no solo na camada de 10-20 cm de profundidade. Em 0-10 cm de profundidade, a maior K_{θ} foi verificada no tratamento MS (40,64 cm h^{-1}) e reduziu-se para 10,85 cm h^{-1} , o que equivale a -73,30% na capacidade de condução de água por esse solo, a maior perda entre os tratamentos avaliados.

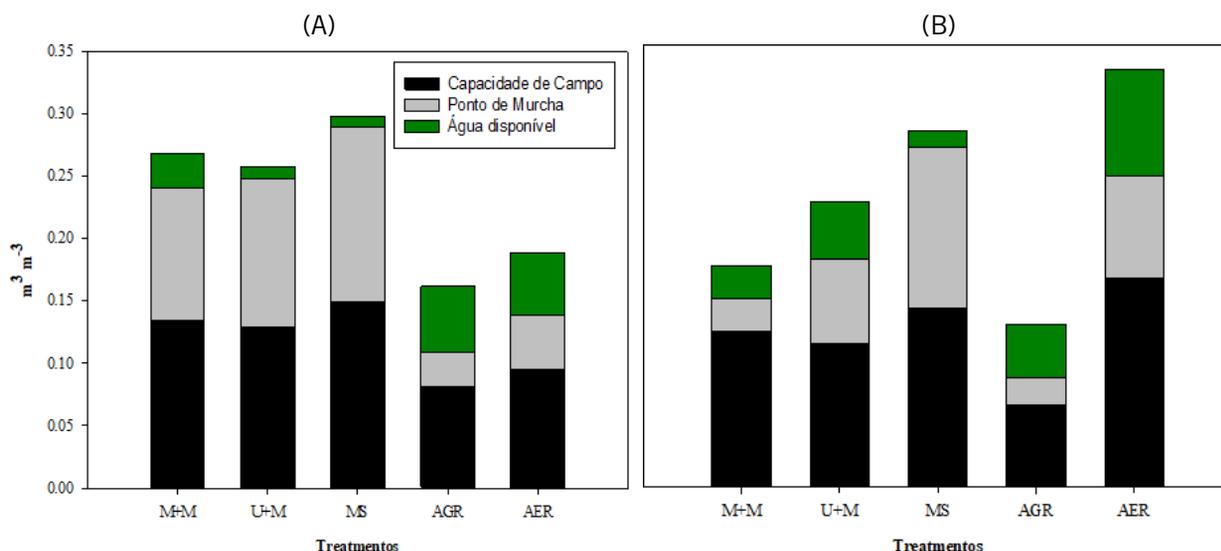
Na Figura 2, estão apresentados os resultados para θ_{CC} , θ_{PMP} e θ_{AD} para os diferentes tratamentos avaliados. A θ_{CC} nas duas camadas de solo (Figura 1 A, B) ficou acima do limite crítico, que, segundo Yost e Hartemink (2019), varia de 0,05 a 0,220 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, assim como o θ_{PMP} que varia de 0,01 a 0,07 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$.

Na camada de 0-10 cm de profundidade, observaram-se os menores valores de θ_{CC} e θ_{PMP} no tratamento AGR. Esse comportamento decorreu da modificação da estrutura do solo ocasionada pelo preparo do solo antes da semeadura. Como observado por Costa *et al.* (2009), em sistemas convencionais, a utilização de implementos agrícolas, como arado, escarificador ou grade tende a reduzir a θ_{CC} do solo. Mesma tendência foi verificada na camada

de 10-20 cm de profundidade, contudo, o θ_{PMP} ficou abaixo do considerado adequado para as plantas, com 0,05 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. Esse resultado reflete na disponibilidade de água, com possíveis efeitos nocivos oriundos do déficit hídrico. Na camada de 10-20 cm de profundidade, houve redução na θ_{CC} e θ_{PMP} em comparação à camada de 0-10 cm (Figura 2). Todos os valores de θ_{CC} permaneceram acima do limite crítico, contudo, o comportamento do θ_{PMP} chama atenção em função do valor médio próximo a zero.

Os tratamentos com sistema de integração M+M e U+M e a MS possuem valores de θ_{CC} muito próximos do θ_{PMP} refletindo, dessa forma em valores de θ_{AD} muito baixos, e, em alguns casos, até indisponível, para a maioria das espécies cultivadas. Como apresentado na Figura 3C, os valores médios de θ_{AD} ficaram abaixo do considerado adequado ($> 0,200 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$) (REYNOLDS *et al.*, 2007), principalmente para os tratamentos M+M, U+M, M+S e AGR. Nesses tratamentos, a θ_{AD} ficou abaixo de 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, considerada por Hall *et al.* (1977) como ruim ou indisponível para as plantas. No tratamento AER, obtiveram-se resultados satisfatórios para θ_{AD} nas duas camadas de solo, contudo, 40,90%

Figura 2 – Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível de um Neossolo Regolítico sob sistemas de produção integrados e convencionais. Lagoa Seca/PB. (A) 0-10 e (B) 10-20 cm de profundidade.



Fonte: Preparada pelos autores (2022).

abaixo do considerado “ideal”. Quando o teor de água no solo varia de 0,10 a 0,15 m³ m⁻³, Reynolds *et al.* (2007) classificam o solo como pobre em disponibilidade de água; dessa forma, pode-se afirmar que todos os tratamentos são considerados críticos. O valor médio da água disponível para as duas camadas (somatório) está muito abaixo do considerado ideal, inclusive para os tratamentos sob integração lavoura-pecuária, a exemplo do M+M e U+M. Os valores médios de água disponível ficaram 82,5%, 87,5%, 86,0%, 77,5% e 42,5% abaixo do considerado adequado para os tratamentos M+M, U+M, MS, AGR e AER, respectivamente.

Conclusões

Os sistemas de integração lavoura-pecuária não modificaram a qualidade físico-hídrica do solo, quando comparados entre si. Contudo, em relação ao sistema convencional, nota-se que houve melhorias consideráveis da PT, Mic, PoMac e K_g. Conclui-se que estudos de longo prazo ainda são necessários para verificar o efeito dos sistemas de integração na manutenção da qualidade de solos arenosos em ambiente de clima semiárido.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILTNES, L. P.; ZUMTZE, M. A. G. Seleção de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para a cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 415-424, 2005. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000300012>

ANGHINONI, G.; TORMENA, C. A.; LAL, R.; ZANCANARO, L.; KAPPES, C. Enhancing soil physical quality and cotton yields through diversification of agricultural practices in central Brazil. **Land Degradation and Development**,

v. 30, n. 7, p. 788-798, 2019. doi: <https://doi.org/10.1002/ldr.3267>

ARANYOS, J. T.; TOMÓCSIK, A.; MAKÁDI, M.; MÉSZARÓS, J.; BLASKÓ, L. Changes in physical properties of sandy soil after long-term compost treatment. **International Agrophysics**, v. 30, n. 3, p. 269-274, 2016. doi: <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0003>

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DASILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 10, p. 1-12, 2011. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>

BALL, B. C.; HUNTER, R. The determination of water release characteristics of soil cores at low suctions. **Geoderma**, v. 43, n. 2-3, p. 195-212, 1988. doi: [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(88\)90043-2](https://doi.org/10.1016/0016-7061(88)90043-2)

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; VENEGAS, V. H. A.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após a adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 21-31, 2005. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000100003>

BRUAND, A.; HARTMAN, L.; LESTURGEZ, G. Physical properties of tropical sandy soils: A large range of behaviors. In: MANAGEMENT OF TROPICAL SANDY SOILS FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE, 27., 2005, Khon Kaen. **Proceedings**. Rome, IT: FAO, 2005.

- CONTE, O.; FLORES, J. P. C.; CASSOL, L. C.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. F.; LEVIEN, R.; WESP, C. L. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1301-1309, 2011. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000026>
- DIDONÉ, E. J.; MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Quantifying soil erosion and sediment yield in a catchment in southern Brazil and implications for land conservation. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 11, p. 2334-2346, 2015. doi: <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1160-0>
- DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L.; BALIEIRO, F. C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAUJO FILHO, J. C.; SANTOS, F. C.; ALBUQUERQUE, M. R.; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLONI, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001>
- FIGUEIREDO, A.; MELO, T. R.; OLIVEIRA, J. C. S.; MACHADO, W.; OLIVEIRA, J. F.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; GUIMARÃES, M. F. The no-tillage, with crop rotation or succession, can increase the degree of clay dispersion in the superficial layer of highly weathered soils after 24 years. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 57-70, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n1p57>
- FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; SANTOS, J. J. S.; DONAGEMMA, G. K.; SANTOS, O. A. Q. Capacidade de adsorção de fósforo em solos de textura arenosa com fertilidade construída. **Revista Agrogeoambiental**, v. 13, n. 3, p. 606-614, 2021. doi: <http://dx.doi.org/10.18406/2316-1817v13n320211639>
- FAO. Food and Agriculture Organization of The United Nations. **World reference base for soil resources 2014**. Rome: FAO, 2014. 203 p.
- GALINDO, F. S.; DELATE, K.; HEINS, B.; PHILLIPS, H.; SMITH, A.; PAGLIARI, P. H. Cropping system and rotational grazing effects on soil fertility and enzymatic activity in an integrated organic crop-livestock system. **Agronomy**, v. 10, n. 6, p. 1-18, 2020. doi: <https://doi.org/10.3390/agronomy10060803>
- GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle Size Analysis. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis** : part A. Madison: America Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.
- HUANG, J.; HARTEMINK, A. E. Soil and environmental issues in sandy soils. **Earth-Science Reviews**, v. 208, e103295, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103295>
- IGWE, C. A.; OBALUM, S. E. Microaggregate stability of tropical soils and its role on soil erosion hazard prediction. In: GUNDAS, S.; STEPNIEWSKI, A. **Advances in agro-physical research**. London: Intech Open, 2013. 410p. doi: <https://doi.org/10.5772/3341>
- KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (A guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997. doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In: BLAKE, C. A. **Methods of soil analysis**: part I. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 210-221. doi: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c13>

- LUNARDI NETO, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; MAFRA, A. L.; MEDEIROS, J. C.; ALBERTON, A. Atributos físicos do solo em área de mineração de carvão influenciada pela conversão de acidez, adubação orgânica e revegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 4, p. 1379-1388, 2008. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400002>
- MAIA, N. J. C.; CRUZ, M. C. P.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; MENEGATTO, L. S.; AUGUSTO, J. G.; MENDONÇA, G. G.; TERÇARIOL, M. C.; OLIVEIRA, J. G.; SIMILI, F. F. Integrated crop-livestock versus conventional system: use of soil indicators to detect short-term changes during seasonal variation. **Bragantia**, v. 80, e5821, 2021. doi: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210127>
- MALTONI, K. L. **Estudo da compactação e, ou, adensamento em subsuperfície de Latossolos sob diferentes usos**. 1994. 73p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.
- OLIVEIRA, E. M.; SANTOS, M. J.; SOUTO, J. S. Fauna do solo em três ambientes no município de Lagoa Seca-PB. **Revista Agropecuária Técnica**, v. 30, n. 1, p. 31-36, 2009. doi: <https://doi.org/10.25066/agrotec.v30i1.3184>
- PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013. doi: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2013.004>
- PRADO, R. M.; NATALE, N. Alterações na granulometria, grau de floculação e propriedades químicas de um Latossolo Vermelho distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v. 25, n. 1, p. 45-52, 2003. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100014>
- R Core Team. **R A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.
- RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65p.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.
- RESENDE, T. M.; MORAES, E. R.; FRANCO, F. O.; ARRUDA, E. M.; ARAÚJO, J. R.; SANTOS, D. S.; BORGES, E. N.; RIBEIRO, B. T. Avaliação física do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos de animais no bioma Cerrado. **Bioscience Journal**, v. 28, n. supl., p. 179-184, 2012.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1-2, p. 131-146, 2002. doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00228-8)
- REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; FOX, C. A.; TAN, C. S.; ZHANG, T. Q. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 316-330, 2007. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.07.003>
- RIBEIRO, K. D.; MENEZES, S. M.; MESQUITA, M. G. B. F.; SAMPAIO, F. M. Propriedades físicas

do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2007. doi: <https://doi.org/0.1590/S1413-70542007000400033>

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. D.; OLIVEIRA, V. A. D.; LUMBREAS, J. F.; COELHO, M. R.; OLIVEIRA, J. B. D. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2018. 356p.

SENA, K. N.; MALTONI, K. L.; FARIA, G. A.; CASSIOLATO, A. M. R. Organic carbon and physical properties in sandy soil after conversion from degraded pasture to Eucalyptus in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0150505, 2017. doi: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150505>

SILVA, G. F.; SANTOS, D.; SILVA, A. P.; SOUZA, J. M. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do Agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 23-35, 2015. doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n303rc>

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; PEREIRA, W. E.; MARTINS, A. F.; ZONTA, J. H.; AMARAL, A. J.; TAVARES, D. D.; SILVA, A. J. Qualidade física de solo arenoso em ambiente semiárido sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 15, n. 4, p. 598-616, 2021. doi: <https://doi.org/10.18011/bioeng2021v15n4p598-616>

SIMON, C. P.; GOMES, T. F.; PESSOA, T. N.; SOLTHANGHEISSI, A.; BIELCZYK, W.; CAMARGO, P. B.; MARTINELLI, L. A.; CHERUBIN, M. R. Soil quality literature in Brazil: A systematic review. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, e0210103, 2022. doi: <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20210103>

SOUZA, E. D.; VARNEIRO, M. C. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005001100012>

SPERATTI, A. B.; JOHNSON, M. K.; SOUZA, H. M.; DALMAGRO, H. J.; COUTO, E. G. Biochars from local agriculture waste residues contribute to soil quality and plant growth in Cerrado region (Brazil) Arenosol. **GCB-Bioenergy**, v. 10, n. 4, p. 272-286, 2018. doi: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12489>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2017. 573p.

THOMAZINI, A.; AZEVEDO, H. C. A.; PINHEIRO, P. L.; SÁ, M. E. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café, na região sul do Espírito Santo. **Coffee Science**, v. 8, n. 4, 2019, p. 450-459, 2013.

VALANI, G. P.; VEZZANI, F. M.; CAVALIERI-POLIZELI, K. M. V. Soil quality: Evaluation of on-farm assessment in relation to analytical index. **Soil and Tillage Research**, v. 198, e104535, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104565>

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 213-223, 2011. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>

YOST, J. L.; HARTEMINK, A. Soil organic carbon in sandy soils: A review. **Advances in Agronomy**, v. 158, n. 1, p. 217-310, 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2019.07.004>