ISSN 1679-1150

CIRCULAR TÉCNICA

240

Sete Lagoas, MG
Outubro, 2018

Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho após Vinte Anos com Diferentes Sistemas de Preparo

Adriano Gonçalves de Campos
Maurílio Fernandes de Oliveira
Bruno Montoani Silva
Diego Antônio de França Freitas
Martha Cristina Pereira Ramos

Caracterização

A rápida degradação do solo sob exploração agrícola tem despertado nas últimas décadas a preocupação com a qualidade do solo e a sustentabilidade no meio rural (Lal; Pirce, 1991), principalmente no contexto da crescente demanda mundial por alimentos e energia. Brighenti et al. (2012) ressaltam a grande expansão e ocupação dos solos do cerrado brasileiro e destacam a importância do conhecimento e do detalhamento das características básicas dos solos.

Outro fator importante relacionado à qualidade do solo é o uso de máquinas e implementos agrícolas, ocasionando o desenvolvimento de camada compactada subsuperficialmente, tanto por grade quanto em semeadura direta, sendo considerada como uma das principais formas da degradação física do solo e da diminuição na produtividade das culturas (Campos et al., 1995). Assim, de acordo com Fialho et al. (2008); Pignataro Netto et al. (2009); Bognola et al. (2010); Bavoso et al. (2010), é necessário monitoramento dos solos sob diferentes sistemas de manejo, visando uma melhor preservação física da sua qualidade para que eles possam proporcionar produção agrícola sustentável.

O manejo intensivo do solo com grade aradora, arado de disco, arado de aiveca e grade niveladora tende a melhorar as condições para realizar a semeadura, porém contribui para promover modificações na estrutura e agregação dos solos. Carpenedo e Mielniczuk (1990) relatam que o solo, quando submetido a períodos

Propriedades Físicas de um Latossolo Vermelho após Vinte Anos com Diferentes Sistemas de Preparo[1]

intensivos de cultivos, possui uma tendência a perder a estrutura original. Isto ocorre pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores, com consequente diminuição de macro e aumento de microporos e da densidade.

Portella et al. (2012) relatam que as diversas práticas convencionais adotadas para manejar o solo alteram a estabilidade dos agregados. Deste modo, os cultivos sucessivos, com vários ciclos de movimentação de máquinas e implementos agrícolas, ocasionam uma maior exposição do solo, resultando numa diminuição da matéria orgânica, alterando a estabilidade dos agregados (Vasconcelos et al., 2010).

A adoção do sistema de semeadura direta (SD) nas áreas agrícolas tem demonstrado alterações da qualidade estrutural superficial do solo à medida que os cultivos se sucedem, por causa principalmente do contínuo aporte de material orgânico, proporcionando melhores benefícios às raízes das plantas e a proteção oferecida pelos resíduos vegetais à superfície do solo (Guareschi et al., 2012; Lima et al., 2013).

Marcolan e Anghinoni (2006) observaram que, após quatro anos sobre semeadura direta, os solos das áreas tinham recuperado sua condição original para os atributos físicos referentes à qualidade deles, nas camadas superficiais até 0,15 m, e Hickmann et al. (2012), em área sob sistema de semeadura direta após 23 anos de implantação, observaram melhoria nestes mesmos atributos, além de recuperar os teores de carbono orgânico na camada superficial do solo até 0,05 m, quando comparado ao sistema convencional de cultivo.

---

[1] Eng.-Agrôn., M.Sc. em Ciências Agrárias na área de concentração em Produção Vegetal; Eng.-Agrôn., D.Sc. em Produção Vegetal, Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo; Eng.-Agrôn., D.Sc. em Ciência dos Solos pela UFLA; Eng.-Agrôn., D.Sc em Manejo de Solos, Professor Universidade Federal de Viçosa, Campus Florestal-MG; Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Fitotecnia/UFLA

Nesse sentido, o nível de alteração provocado pelos diferentes sistemas de manejo pode ser avaliado pela mensuração e comparação com o estado natural do solo, sem interferência antrópica, por meio de parâmetros “indicadores” de qualidade do solo (Topp et al., 1997; Arshad; Martin, 2002). Para isso, torna-se necessária a utilização de uma quantidade mínima de indicadores físicos do solo que ofereçam facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, utilização abrangente e sensibilidade a variações de manejo (Doran; Parkin, 1994; Niero et al., 2010; Chaves et al., 2012).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar as propriedades físico-hídricas e a agregação de um Latossolo Vermelho Distrófico do cerrado, submetido por 20 anos consecutivos a diferentes sistemas de preparo e manejo.

Caracterização da Área Experimental

O experimento foi realizado na estação experimental da Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, MG, nas coordenadas geográficas com latitude 19º27’S, longitude 44º10’W e altitude de 786 m. O clima da região se enquadra no tipo (Cwa), segundo a classificação de Köppen. A precipitação e a temperatura média anual são de 1.340 mm e 22 °C, respectivamente (Lange et al., 2006). O solo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico argiloso caulinítico (Santos et al., 2013).

A área experimental vem sendo cultivada no verão, desde 1995, sob diferentes sistemas de preparo do solo e culturas. Neste estudo foram avaliados: Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco alternado com Grade Aradora (AD+GA), Semeadura Direta (SD), além de uma área adjacente de Cerrado Nativo (CN), utilizada como referência. Em cada tratamento as parcelas têm delimitada uma área útil pelas dimensões 20 x 16 m. Os resultados das análises química e de granulometria do solo estão presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Análise granulométrica e química de um Latossolo Vermelho Distrófico em diferentes Sistemas de manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas, MG. São apresentados os resultados para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, realizada em novembro de 2014.

Trat.	Argila	Silte	Areia	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al(1)	CTC(1)	P	K	V(1)	m(1)	MOS
	------- g Kg^{-1}-------				---------- cmolc/dm^{-3} ---------					--- mg/dm^{-3} ---		-------- % -------		
							0 - 5 cm							
GA	556	230	213	5,6	3,6	1,1	0,0	4,4	9,7	11,4	209,8	54,9	0,0	4,8
AA	586	216	196	5,2	2,3	0,6	0,0	6,2	9,6	6,9	192,6	36,1	0,5	4,0
AD	623	200	176	5,8	2,8	1,1	0,0	5,5	10,0	9,1	260,9	45,4	0,0	4,9
AD/GA	556	223	220	5,9	2,8	0,9	0,0	4,0	8,3	8,8	227,7	51,7	0,1	3,9
SD	553	230	216	6,5	6,1	1,5	0,0	3,0	11,3	17,2	267,6	73,4	0,0	6,2
CN	773	100	126	5,4	3,6	0,2	0,0	6,3	10,3	3,0	58,8	39,0	0,4	5,4
							5 - 10 cm							
GA	583	216	200	5,4	2,7	0,7	0,0	6,0	9,7	13,9	89,9	38,0	0,1	4,6
AA	590	213	196	5,1	2,1	0,5	0,0	6,4	9,4	6,1	166,1	32,3	0,5	3,9
AD	640	190	170	5,5	2,4	0,8	0,0	6,6	10,2	11,9	165,7	35,4	0,1	4,8
AD/GA	570	213	216	5,6	2,4	0,7	0,0	5,4	8,8	6,5	113,2	39,4	0,2	3,8
SD	616	193	190	5,8	2,9	0,7	0,0	6,2	10,2	12,0	159,6	39,8	0,6	4,2
CN	796	80	123	5,0	1,0	0,0	0,1	8,5	9,6	2,8	15,0	11,1	7,9	4,8

Tabela 1 cont. Análise granulométrica e química de um Latossolo Vermelho Distrófico em diferentes Sistemas de manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas, MG. São apresentados os resultados para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm, realizada em novembro de 2014.

Trat.	Argila	Silte	Areia	pH	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	H+Al(1)	CTC(1)	P	K	V(1)	m(1)	MOS
	------- g Kg^{-1}-------				---------- cmolc/dm^{-3} ---------					--- mg/dm^{-3} ---		-------- % -------		
							10 - 20 cm							
GA	590	220	190	5,2	1,5	0,3	0,0	5,9	7,7	1,5	20,5	24,5	1,1	3,0
AA	583	216	200	5,3	2,0	0,5	0,0	6,2	9,0	5,5	163,6	32,2	0,7	3,9
AD	626	203	170	5,5	1,9	0,5	0,0	7,4	10,1	7,0	113,7	27,1	0,5	4,5
AD/GA	576	213	210	5,5	2,0	0,4	0,0	5,8	8,3	4,6	61,8	30,9	0,1	3,7
SD	613	196	190	5,5	2,4	0,4	0,0	6,5	9,5	3,1	69,6	33,5	0,9	3,7
CN	796	83	120	4,9	0,3	0,0	0,1	8,8	9,1	2,1	10,7	3,6	28,3	4,5
							20 - 40 cm							
GA	583	233	183	5,2	0,8	0,1	0,0	5,0	5,9	1,5	5,6	14,8	5,2	2,2
AA	596	216	186	5,6	2,0	0,3	0,0	4,9	7,4	2,5	52,2	33,3	1,6	3,0
AD	650	190	160	5,7	1,8	0,3	0,0	6,7	8,9	3,5	26,7	24,6	1,0	3,9
AD/GA	590	213	196	5,8	1,6	0,3	0,0	5,0	6,8	1,4	17,3	28,0	1,3	3,0
SD	620	200	180	5,5	2,1	0,3	0,0	5,4	7,9	1,3	35,3	32,5	1,7	3,0
CN	793	96	110	5,0	0,1	0,0	0,1	8,4	8,5	0,9	2,1	1,4	61,0	3,7

(1)H+Al: Acidez potencial; CTC: capacidade de troca catiônica; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio. Análise granulométrica e análise química determinadas conforme (Donagema et al., 2011).

Grade Aradora (GA), Arado de Aiveca (AA), Arado de Disco (AD), Arado de Disco/Grade Aradora (AD/GA), Semeadura Direta (SD), e Cerrado Nativo (CN).

Os equipamentos que são utilizados para preparo do solo apresentam as seguintes especificações: Grade Aradora (GA) intermediária com 16 discos de 28", Arado de Aiveca (AA) com 3 lâminas, Arado de Disco (AD) com 3 discos de 32" de diâmetro. Em Semeadura Direta (SD), realiza-se dessecação com glifosato antes do plantio, caracterizando semeadura sob-baixa quantidade de palhada. Após o preparo do solo, é utilizada grade niveladora em todas as parcelas, à exceção das que recebem o tratamento SD. No período de entressafra, aplica-se glifosato em toda a área experimental, às vezes seguida pela passagem de triturador. O controle de formiga é realizado com sulfluramida na dosagem de 8 a 10 g m^{-2} de formigueiro.

Em todos os plantios, utilizam-se cultivares comerciais do tipo híbridos simples de milho, produzidas pela Embrapa Milho e Sorgo. Os plantios foram efetuados com plantadora adubadora na população de 65.000 plantas ha^{-1}, com adubação de plantio com 300 kg ha^{-1} da fórmula 08-28-16 + 0,5 - N, P_2O_5, K_2O + Zn, respectivamente. Adubação de cobertura é realizada com 80 kg ha^{-1} de nitrogênio (geralmente na forma de ureia ou sulfato de amônio) quando a cultura se apresenta com 4 a 6 folhas. As parcelas de SD têm recebido sucessão soja-milho desde 2007.

O controle de plantas daninhas nas culturas é realizado na pré ou pós-emergência precoce das plantas daninhas com produtos comerciais. O tratamento de sementes e a aplicação de inseticidas quando do ataque de pragas é realizado com produtos recomendados pelos boletins de recomendação vigentes.

A partir do ano de 2007, foram realizadas práticas agrícolas (recomendação de calagem por tratamento, gessagem, ajustes na adubação de plantio e de nitrogênio em cobertura, disponibilidade de palhada, adequação no uso de herbicidas e manejo de pragas) em toda a área experimental visando otimizar o manejo do solo e a proteção da cultura para incrementos na produtividade. A partir de 2007, as parcelas de SD têm recebido aporte de 50 Mg ha^{-1} de massa verde de milheto cultivado previamente na primavera. Em outubro de 2013, realizou-se calagem 2,4 Mg ha^{-1} e gessagem 0,8 Mg ha^{-1} nas parcelas. A irrigação é realizada na produção do milheto, quando necessária. Nestes tratamentos, a dessecação do milheto ocorre com 3,0 kg ha^{-1} de glifosato 10 dias antes da semeadura da cultura principal.

Amostragens, Avaliações e Análises Estatísticas

Coletaram-se amostras de solo deformadas e não deformadas em três trincheiras por tratamento, sendo cada trincheira uma repetição. As trincheiras foram abertas na área central de cada parcela, deixando 7 metros de bordadura de cada lado, entre os meses de outubro e novembro 2014, antes da operação de preparo do solo e após precipitação de 40 milímetros de chuva. A amostragem foi realizada em 4 profundidades (0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm).

A estabilidade de agregados foi determinada pela metodologia do tamisamento úmido, proposta por Kemper e Rosenau (1986), descrita por Donagema et al. (2011), em que as amostras de agregados foram espalhadas e destorroadas suavemente nos pontos de fraqueza, para obtenção de 25 g de agregados da fração entre 8 e 4 mm, por peneiramento. As amostras foram, então, acondicionadas em um conjunto de peneiras de malhas correspondentes a 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,09 mm, para separação das classes de tamanhos dos agregados, tendo sido agitadas a 10 rpm por um período de quinze minutos. Foram calculados com índices de agregação o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP) e o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA), segundo Castro Filho et al. (1998).

Amostras coletadas em anéis volumétricos com 5 cm de altura e diâmetro foram preparadas sendo gradativamente saturadas por capilaridade com água destilada. As amostras foram pesadas para estimar a umidade na saturação (θ_S) e a Porosidade total (Pt). Em seguida, as amostras foram submetidas aos potenciais (Ψ) de -2, -4, -6, -10, -33, -100, -500 e -1500 kPa, utilizando placas porosas, conforme Klute (1986). Utilizou-se uma mesa de tensão automatizada da marca ECOTECH para potenciais até -10 KPa e Câmara de Richards de média e alta pressão para os demais. Após atingir o equilíbrio em cada potencial, as amostras foram pesadas e ao final secas em estufa à 105 °C, durante 24 horas, para quantificar a massa seca de solo, a densidade do solo (Ds) e os conteúdos de água (θ), em cm^3cm^{-3}, associados a cada Ψ para a obtenção da curva de retenção de água no solo (CRA). A Microporosidade (Micro) foi atribuída ao θ em equilíbrio no potencial de -6 kPa. A Macroporosidade (Macro) foi determinada pela diferença entre Pt e Micro (Donagema et al., 2011).

Para cada uma das 72 amostras foi obtida a CRA por modelagem não linear ajustando-se o modelo de Van Genuchten (1980), por meio do software RETC (Van Genuchten et al., 1991).

Calculou-se o índice S (Dexter, 2014), definido como a declividade da CRA em seu ponto de inflexão, que representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e torna possível a comparação direta de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo na qualidade física do solo. Calculou-se, ainda, a capacidade de água disponível (CAD), pela diferença entre capacidade de campo, estimada pelo θ a 6 KPa (θ_{CC}), e o ponto de murcha permanente, estimado pelo θ a 1.500 KPa (θ_{PMP}).

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com parcelas subdivididas no espaço, compostos pelos 6 manejos dos solos na parcela e nas subparcelas 4 profundidades, totalizando vinte e quatro tratamentos com três repetições. A análise de variância (ANOVA) foi realizada para os atributos físico-hídricos do solo, e, quando pertinente, as médias foram submetidas ao teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade, utilizando o software R, pacote ExpDes (Ferreira et al., 2013).

Observações de campo: resultado das amostragens

Os maiores valores para DMG, DMP e IEA foram observados em todas as camadas para CN e para SD apenas na profundidade de 0-5, sendo superiores aos demais sistemas de preparo (Tabela 2). O não revolvimento do solo favorece a conservação da MOS (Campos et al., 1995; Corazza et al., 1999; Castro Filho et al., 2002; Zinn et al., 2005; Frazão et al., 2010) nestas camadas, e associado aos maiores teores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} provenientes da calagem, é favorável à manutenção dos agregados no solo (Tabela 1). De fato, é notório o conhecimento de que a MOS é um dos principais agentes do processo de agregação do solo (Wendling et al., 2012; Silva et al., 2012).

Os maiores valores destes parâmetros na camada de 10-20 cm foram observados nos tratamentos CN e GA. Em profundidade, o efeito do distúrbio do implemento GA não é observado na camada abaixo de 10 cm. Outros implementos cortam o solo a profundidades maiores que 10 cm, o arado de

disco de 25 a 30 cm, por exemplo. Nesta faixa de 10-20 cm de profundidade, observa-se que as classes de agregados 8-2 mm para GA e CN diferiu. Os parâmetros neste tratamento foram próximos do CN com valores superiores aos outros tratamentos mostrando que outros implementos estão revolvendo solo nesta profundidade.

A GA revolve camada de solo geralmente acima de 10 cm. Observação similar ocorre para o tratamento AA que tem IEA aumentando com a profundidade. A classe 8-2 mm foi a que teve a menor porcentagem superficialmente e a classe < 0,09 mm foi a que obteve maior porcentagem superficialmente. Isso mostra que AA apresenta eficiência na destruição da agregação superficialmente.

Os menores valores destes parâmetros para SD nas profundidades 10-20 cm e 20-40 cm deveram-se à redução da porcentagem das classes de agregados maiores e aumento da porcentagem das classes de agregados menores. Aliado a isto, esta observação deve-se ao aumento do teor de MOS superficialmente e à compressão do solo em subsuperfície pela movimentação de máquinas e implementos agrícolas.

Observa-se que a CN apresentou mais agregados na classe de 8-2 mm, nas quatro camadas avaliadas, seguida da SD para a camada de 0-5 cm e GA 10 - 20 cm e os demais tratamentos não diferiram entre si. O sistema SD, embora diferente do sistema CN, mostra tendência de restabelecer o equilíbrio natural na camada superficial do solo, pois apresenta maior teor de Ca^{2+} e de Mg^{2+} na camada superficial seguido pela MOS na camada de 0-5 cm (Tabela 1). O uso de resíduos vegetais é constatado por diversos autores como responsável por melhorias nas propriedades físicas do solo (Verma; Sharma, 2008; Olibone et al., 2010; Blainski et al., 2012; Silva et al., 2012).

Tabela 2. Resultados dos parâmetros físicos diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregados e classes de agregados avaliados em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo, na região de Sete Lagoas, MG.

TRAT	DMG[1]	DMP[2]	IEA[3]	Classes de agregado (mm)					
				8-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,09	< 0,09
	---------- mm -----			---------- % ----------					
					0 - 5 cm				
GA	0,53 c	1,27 c	60,30 c	15,31 c	17,09 a	21,00 a	15,62 a	14,19 a	16,76 b
AA	0,35 c	1,86 c	46,28 d	8,42 c	12,34 b	21,09 a	15,19 a	17,56 a	25,37 a
AD	0,52 c	1,18 c	63,03 c	13,13 c	17,39 a	20,81 a	18,66 a	15,28 a	14,71 b
AD/GA	0,46 c	1,06 c	56,15 c	11,42 c	15,11 a	22,01 a	17,80 a	16,78 a	16,85 b
SD	1,34 b	2,68 b	76,93 b	46,20 b	15,73 a	11,58 b	8,62 b	7,68 b	10,18 c
CN	2,33 a	3,68 a	88,11 a	69,38 a	9,11 b	5,93 c	5,24 b	5,37 b	4,95 c
					5 - 10 cm				
GA	0,59 b	1,28 b	67,26 b	14,34 b	20,49 a	21,26 a	18,05 b	12,44 b	13,39 a
AA	0,37 b	0,79 b	55,31 b	6,63 b	10,58 b	21,74 a	25,60 a	17,35 a	18,08 a
AD	0,55 b	1,23 b	66,35 b	14,79 b	15,24 a	20,95 a	21,42 a	13,33 b	14,25 a
AD/GA	0,63 b	1,41 b	66,75 b	17,71 b	18,33 a	21,37 a	17,00 b	12,59 b	12,97 a
SD	0,81 b	1,71 b	74,18 b	23,79 b	18,74 a	21,80 a	15,24 b	11,18 b	9,23 b
CN	2,78 a	3,93 a	90,42 a	75,92 a	6,45 b	4,57 b	4,69 c	3,87 c	4,47 b

Tabela 2 cont. Resultados dos parâmetros físicos diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregados e classes de agregados avaliados em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo, na região de Sete Lagoas, MG

TRAT	DMG(1)	DMP(2)	IEA(3)	Classes de agregado (mm)					
				8-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,09	< 0,09
	---------- mm -----			---------- % ----------					
					10 - 20 cm				
GA	1,23 b	2,46 b	78,53 b	40,03 b	20,40 a	13,79 b	8,73 b	8,34 c	8,69 b
AA	0,48 c	1,05 c	58,34 c	10,68 c	15,64 b	22,94 a	17,90 a	18,92 a	13,91 a
AD	0,50 c	1,21 c	61,85 c	14,75 c	14,69 b	20,65 a	18,71 a	14,83 b	16,35 a
AD/GA	0,60 c	1,33 c	64,69 c	15,64 c	19,11 a	22,92 a	14,96 a	13,68 b	13,68 a
SD	0,70 c	1,48 c	67,88 c	19,01 c	18,67 a	20,75 a	16,21 a	13,87 b	11,47 a
CN	3,08 a	4,10 a	93,05 a	78,90 a	6,68 c	4,60 c	3,83 c	3,46 d	2,62 c
					20 - 40 cm				
GA	1,00 b	2,21 b	69,48 b	36,44 b	14,61 a	12,62 b	12,06 b	11,82 a	12,42 a
AA	0,72 b	1,50 c	72,24 b	19,02 b	20,37 a	21,20 a	17,23 a	12,17 a	10,00 a
AD	1,04 b	2,00 b	79,74 a	29,81 b	19,21 a	19,34 a	14,83 b	10,45 a	6,34 a
AD/GA	0,99 b	1,99 b	74,67 b	30,12 b	18,41 a	18,66 a	12,78 b	10,44 a	9,57 a
SD	0,60 b	1,37 c	63,20 b	18,15 b	15,03 a	17,46 a	20,16 a	15,06 a	14,12 a
CN	1,69 a	3,14 a	83,91 a	57,52 a	10,05 a	8,67 b	9,48 b	6,84 a	7,42 a

(1)Diâmetro médio geométrico,(2)Diâmetro médio ponderado,(3)Índice de estabilidade de agregados. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

(GA = Grade Aradora, AA = Arado de Aiveca, AD = Arado de Disco, AD/GA = Arado de Disco/Grade Aradora, SD = Semeadura Direta e CN = Cerrado Nativo).

Em uma extensa revisão de literatura sobre agregação, Six et al. (2004) mostraram que o cálcio é um elemento de suma importância para o processo de estabilização da matéria orgânica e agregados do solo, atuando diretamente na complexação organo-mineral, com ação na microagregação e macroagregação, por estimular atividades biológicas em solos ácidos.

No entanto, no presente trabalho, a GA na camada de 10-20 cm e o AD na camada de 20-40 cm mostram melhor resultado de estabilidade de agregados no sistema convencional em relação ao conservacionista. Era de se esperar menores valores de agregação por ocasião do preparo do solo com GA e AD nessas camadas, principalmente em função da aceleração da decomposição causada pela incorporação dos restos culturais (Albuquerque et al., 2005), no entanto, o preparo do solo que antecedeu a coleta das amostras foi efetuado apenas com uma gradagem leve e superficial, com posterior semeadura. Possivelmente, a pequena mobilização do solo contribuiu para reduzir a destruição dos agregados.

Dessa forma, fica claro que os sistemas de preparo de solo avaliados alteram a distribuição dos agregados na área. Mota et al. (2013), avaliando a qualidade física de um Cambissolo, observaram que, sob área de cerrado nativo, houve maior estabilidade de agregados quando comparado a diferentes sistemas de manejo.

Coutinho et al. (2010) e Rozane et al. (2010) também encontraram maior estabilidade de agregados em vegetação natural. Salton et al. (2008), avaliando estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários, comprovaram que a pastagem permanente ou a rotação com cultura em semeadura direta favoreceram a formação de agregados estáveis de maior tamanho, em relação a sistemas apenas com culturas.

Curva de retenção de água do solo (CRA)

Ao analisar a retenção de água (Figura 1) verifica-se redução do conteúdo de água retido nos maiores potenciais em todos os manejos quando comparados ao CN, principalmente na camada até 20 cm, com maior redução para AD/GA, explicada pelos efeitos da compactação no solo causado pela operação de preparo e manejo do solo. Essa região da CRA representa os poros de

maior diâmetro, portanto, pode afetar a infiltração de água, capacidade de aeração e, consequentemente, o desenvolvimento radicular (Lanzanova et al., 2010, 2012).

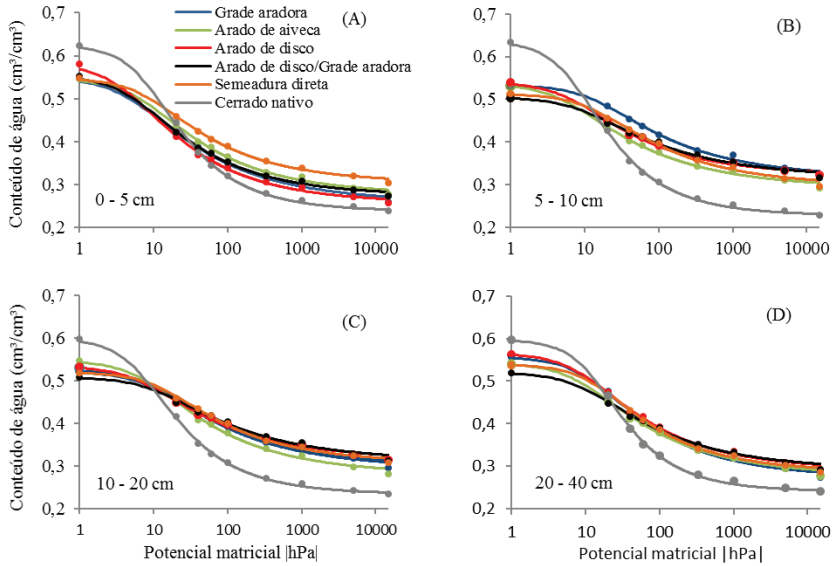

Figura 1. Curvas de retenção de água (CRA) de um Latossolo Vermelho distrófico para diferentes sistemas de preparo do solo (Grade Aradora, Arado de Aiveca, Arado de Disco, Arado de Disco/Grade Aradora, Semeadura Direta e Cerrado Nativo) na Embrapa Milho e Sorgo, na região de Sete Lagoas, MG, nas profundidades de (A) 0-5, (B) 5-10, (C) 10-20 e (D) 20-40 cm.

O conteúdo de água em potenciais menores que está associado à microporosidade aumentou com o manejo do solo (figura 1). Os manejos SD e GA causaram aumento desses poros nas camadas superficiais, o que também foi observado por Secco et al. (2005) em Latossolo Vermelho analisando sistemas de preparo do solo. Para SD, vários fatores explicam esta observação, dentre elas o não revolvimento do solo e a compactação superficial causada pelo tráfego de máquinas e implementos. Para GA, o fato observado deve-se ao aumento de agregados de classes menores na camada superficial. Na camada subsuperficial os sistemas de preparo do solo apresentaram CRA semelhantes. Assim, pode-se inferir que não houve alteração na capacidade de retenção de água.

Em todos os sistemas de preparo do solo, as curvas apresentaram aspecto retilíneo e tendência horizontal após -1.000 hPa em relação ao CN, indicando a presença de ultramicroporos, caracterizados por possuírem baixa capacidade de disponibilidade de água, como constatado por Oliveira et al. (2004). A presença de ultramicroporos no solo pode acarretar problemas como maior déficit hídrico em cultivos de sequeiro, pois desfavorece a disponibilidade de água num potencial inferior a -15.000 hPa, correspondente ao Ponto de Murcha Permanente, ou seja, a água retida nesses poros não está prontamente disponível para as plantas. Isso mostra que quando houve um aumento de poros pequenos, consequentemente houve redução dos poros maiores; isso foi observado pela distribuição do tamanho dos agregados (Tabela 2).

A densidade do solo (Ds) apresentou uma amplitude média por tratamento de 0,83 a 1,31 g cm^{-3} (Tabela 3), próxima à encontrada por Severiano et al. (2011) para LVd argiloso de mineralogia caulinítica-oxídica, que variou entre 0,90 a 1,55 g cm^3. Os autores estimaram a densidade crítica ao crescimento de plantas, aquela a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes, como 1,42 g cm^3 nesse solo, sendo possível constatar uma tendência de aumento da densidade quando o solo foi submetido ao uso em relação ao seu estado natural.

Em todo o perfil de solo onde foram avaliados os manejos, podem ser observados Ds superior em relação à área de referência (CN) (Tabela 3). Resultados similares também foram obtidos por Araújo et al. (2004) e Costa et al. (2006) até a camada de 20 e 30 centímetros de profundidade, respectivamente, onde observaram Ds significativamente maior na área cultivada, comparando à área sob mata nativa.

O tratamento AD foi uma exceção, no qual a média de Ds encontrada foi de 0,98 g cm^{-3}, valor similar ao obtido para CN, para a camada superficial. O mesmo comportamento foi notado por Oliveira et al. (2004) em LVd argiloso caulinítico submetido a vinte anos de cultivo, tendo como justificativa a quebra da compactação superficial pelo revolvimento do solo, deixando-o mais solto temporariamente.

A Ds não diferiu entre os demais sistemas de manejo, como também foi observada em outros experimentos (Araújo et al., 2004; Costa et al., 2006). O aumento da Ds nas áreas de manejo está associado ao revolvimento

que reduz o tamanho dos agregados (Tabela 2) e consequentemente a estabilidade da estrutura, aumentando a suscetibilidade ao encrostamento superficial (Araújo et al., 2007; Marchão et al., 2007; Carneiro et al., 2009; Mazurana et al., 2011) e ao tráfego de máquinas e implementos para preparo do solo e demais operações. Destaca-se que mesmo em SD que não há revolvimento do solo, a Ds não sofreu incrementos significativos na camada superficial.

A porosidade total (Pt) variou de 0,50 a 0,63 m^3 m^{-3} (Tabela 3), apresentando diferenças significativas entre os manejos e o CN somente até a camada de 20 cm, sugerindo menor efeito do manejo. Isto também ocorreu em trabalhos de (Demarqui et al., 2011; Trindade et al., 2012; Calonego et al., 2012) diferindo de Wendling et al. (2012), em que houve menor Pt em áreas agrícolas sob semeadura direta na camada de 0-10 cm, em comparação à floresta nativa.

O volume de Macro foi superior para CN no perfil do solo em todas as camadas. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (2006) e Silva et al. (2005). De acordo com Taylor e Ashcroft (1972), a porosidade destinada a aeração, normalmente a Macro, deve ser superior a 0,10 m^3 m^{-3} para permitir as trocas gasosas, uma boa taxa infiltração de água no solo e o crescimento de raízes da maioria das culturas de forma adequada. No presente trabalho foram encontrados valores inferiores somente nos tratamentos AD/GA nas profundidades de 5 - 10 e 10 - 20 cm.

O volume de Micro teve pequena variação entre os manejos do solo, (Tabela 3), em que no geral houve aumento da Micro nos manejos em relação ao CN como observado por (Lima et al., 2013; Demarqui et al., 2011; Wendling et al., 2012). A compactação decorrente do uso de maquinários, evidenciada pelo aumento gradativo da Ds, possivelmente, proporcionou a fragmentação dos macroporos em poros menores, justificando, assim, a maior Micro nessas áreas.

Tabela 3. Resultados dos parâmetros físicos densidade, porosidade, capacidade de água disponível e índices S avaliados em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas, MG.

Tratamentos	Ds[1]	Pt[2]	Macro[3]	Micro[4]	CAD[5]	S[6]
	g cm^{-3}	---------- m^3 m^{-3} ----------				
			0 - 5 cm			
GA	1,07 a	0,55 b	0,18 b	0,36 b	0,10 a	0,06 b
AA	1,13 a	0,55 b	0,16 b	0,38 a	0,10 a	0,06 b
AD	0,98 b	0,58 b	0,22 b	0,36 b	0,09 a	0,07 b
AD/GA	1,11 a	0,55 b	0,18 b	0,37 b	0,09 a	0,06 b
SD	1,14 a	0,55 b	0,15 b	0,40 a	0,09 a	0,05 b
CN	0,88 b	0,62 a	0,28 a	0,34 b	0,11 a	0,11 a
			5 - 10 cm			
GA	1,25 a	0,53 b	0,10 c	0,43 a	0,11 a	0,04 b
AA	1,18 a	0,54 b	0,15 b	0,39 a	0,09 b	0,05 b
AD	1,16 a	0,54 b	0,13 b	0,41 a	0,08 b	0,05 b
AD/GA	1,31 a	0,50 b	0,09 c	0,41 a	0,08 b	0,04 b
SD	1,21 a	0,51 b	0,10 c	0,41 a	0,10 a	0,04 b
CN	0,83 b	0,63 a	0,31 a	0,32 b	0,10 a	0,11 a

Tabela 3 cont. Resultados dos parâmetros físicos densidade, porosidade, capacidade de água disponível e índices S avaliados em um Latossolo Vermelho distrófico cultivado com diferentes sistemas de uso e manejo do solo na Embrapa Milho e Sorgo na região de Sete Lagoas, MG.

Tratamentos	Ds[1]	Pt[2]	Macro[3]	Micro[4]	CAD[5]	S[6]
	g cm^{-3}	---------- m^3 m^{-3} ----------				
GA	1,17 a	0,52 b	0,12 b	0,40 b	0,10 a	0,05 b
AA	1,18 a	0,55 b	0,15 b	0,39 b	0,10 a	0,06 b
AD	1,18 a	0,53 b	0,12 b	0,41 a	0,08 a	0,04 b
AD/GA	1,30 a	0,51 b	0,09 b	0,41 a	0,09 a	0,04 b
SD	1,20 a	0,52 b	0,11 b	0,41 a	0,10 a	0,05 b
CN	0,86 b	0,60 a	0,27 a	0,32 c	0,09 a	0,10 a
			20 - 40 cm			
GA	1,14 a	0,56 a	0,16 b	0,40 a	0,12 a	0,06 b
AA	1,18 a	0,54 a	0,14 b	0,40 a	0,11 a	0,05 b
AD	1,15 a	0,57 a	0,15 b	0,41 a	0,11 a	0,06 b
AD/GA	1,19 a	0,52 a	0,11 b	0,41 a	0,10 a	0,05 b
SD	1,12 a	0,54 a	0,13 b	0,40 a	0,11 a	0,06 b
CN	0,89 b	0,60 a	0,25 a	0,35 b	0,11 a	0,11 a

(1)Densidade do solo;(2)Porosidade total; (3)Macroporosidade;(4)Microporosidade;(5)Capacidade de agua disponível (CAD);(6) Índice S, Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott 5% de probabilidade. (GA = Grade Aradora, AA = Arado de Aiveca, AD = Arado de Disco, AD/GA = Arado de Disco/Grade Aradora, SD = Semeadura Direta e CN = Cerrado Nativo).

O presente trabalho mostra que houve aumento da Micro somente na camada de 0-5 cm centímetros para o sistema de SD em relação aos manejos convencionais, divergindo do trabalho de Cássaro et al. (2011), também estudando um Latossolo Vermelho submetido ao sistema de plantio direto e plantio convencional por longo prazo, e comprovaram que o não revolvimento do solo promoveu aumento da Micro do solo também em camadas subsuperficiais. O aumento de microporosidade relatado não implicou incremento na CAD na maioria das camadas avaliadas (Tabela 3).

Somente houve diferença significativa na profundidade de 5-10 cm, com redução da CAD para AA, AD e AD/GA em relação à GA, SD e CN. Os valores encontrados estão abaixo da capacidade ideal de armazenamento de água no solo, conforme sugerido por Reynolds et al. (2002), que se situa entre 0,15 e 0,20 m^3 m^{-3}.

O índice S foi similar a Ds na separação dos manejos, com exceção apenas na camada superficial, em que apenas o CN mostrou maior qualidade estrutural (tabela 3). Considerando o limite de S < 0,025 para solos degradados fisicamente e S ≥ 0,045 para solo com boa qualidade física, como determinado por Andrade e Stone (2009) para solos de cerrado, o índice S se manteve na maioria dos tratamentos e profundidades acima de 0,045 (Tabela 3), mostrando uma adequada distribuição do tamanho dos poros e, portanto, uma boa qualidade física do solo.

Sumário das observações

A adoção do sistema de preparo convencional por longos períodos altera a estrutura do Latossolo Vermelho distrófico, observado principalmente pelo aumento da densidade em subsuperfície e diminuição da estabilidade de agregados (DMG, DMP e IEA) quando comparados com a SD e a CN.

O sistema arado de disco/grade aradora mostrou ser o pior tratamento em relação aos demais sistemas, mostrando um aumento da densidade do solo, redução da matéria orgânica, da capacidade de água disponível e da macroporosidade.

Os métodos de preparo alteraram a curva de retenção de água do solo (CRA) quando comparados à área de cerrado nativo, com redução da umidade associado aos maiores potenciais, destacando o tratamento arado de disco/grade aradora, principalmente na camada até 20 cm. Portanto, foram menos efetivos em promover condições favoráveis às plantas.

O sistema de semeadura direta proporcionou os melhores resultados na qualidade física do solo para os atributos físicos DMG, DMP, IEA e classes de agregados de 8-2 mm.

Agradecimentos

Ao professor Anderson Latini, ao técnico da Embrapa Cleber Alves da Cruz, a Martha Cristina Pereira Ramos, à Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), ao CNPq, à Fapemig e à Embrapa Milho e Sorgo.

Referências

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. Relações de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 415-424, 2005.

ANDRADE, R. da S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 382-388, 2009.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 337-345, mar./abr. 2004.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 88, n. 2, p. 153-160, 2002.

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 227-234, 2010.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; GUIMARÃES, R. M. L.; NANNI, M. R. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 79-87, 2012.

BOGNOLA, I. A.; DEDECEK, R. A.; LAVORANTI, O. J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 61, p. 37-49, 2010.

BRIGHENTI, I.; ALMEIDA, J. A.; HOFER, A. Mineralogia e gênese de argissolos das serras do Tabuleiro/Itajaí, Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1057-1071, 2012.

CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H. dos; TIRITAN, C. S.; CUNHA JÚNIOR, J. R. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, v. 25, p. 128-135, 2012.

CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 19, p. 121-126, 1995.

CARNEIRO, M. A.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 99-105, 1990.

CÁSSARO F. A. M.; BORKOWSKI, A. K.; PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; SAAB, S. C. Characterization of a Brazilian clayey soil submitted to conventional and no-tillage management practices using pore size distribution analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 111, n. 2, p. 175-179, 2011.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systens in a red latosol in the state of Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 65, p. 45-51, 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

CHAVES, A. A. A.; LACERDA, M. P. C.; GOEDERT, W. J.; RAMOS, M. L. G.; KATO, E. Indicadores de qualidade de Latossolo vermelho sob diferentes usos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 446-454, 2012.

CORAZZA, E.; SILVA, J.; RESCK, D.; GOMES, A. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 425-432, 1999.

COSTA, E. A.; GOEDERT, W. J.; SOUSA, D. M. G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1185-1191, 2006.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 100-105, 2010.

DEMARQUI, J. C.; PERUSI, M. C.; PIROLI, E. L. Análise da estabilidade de agregados de solos da microbacia do Ribeirão São Domingos, Santa Cruz do Rio Pardo-SP, sob diferentes tipos de uso e ocupação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, p. 7-29, 2011.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201-214, jun. 2004.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STAWART, B. A. (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 3-21.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes: Experimental Designs package. **Revista Package,** v. 1, p. 1-2, 2013.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S. de; SILVA JÚNIOR, J. M. T. da. Indicadores da qualidade do solo, em sistema de rotação, na Chapada do Apodi, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 3, p. 353-361, 2008.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. D. S.; CAMPOS, D. V. B. D.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 1198-1204, 2010.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências do Solo,** v. 36, p. 909-920, 2012.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G.; FERNANDES, R. B. A.; ANDRADE, C. L. T. Atributos físico-hídricos e carbono orgânico de um argissolo após 23 anos de diferentes manejos. **Revista Caatinga,** v. 25, p. 128-136, 2012.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 635-686.

LANZANOVA, M. E.; ELTZ, F. L. F.; NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. F. C.; REINERT, D. J.; ROCHA, M. R. Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 5, p. 1333-1342, 2010.

LANZANOVA, M. E.; NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; REINERT, D. J. Efeito de sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto em alguns atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciencias Agrarias**, v. 7, n. 3, p. 388-393, 2012.

LANGE, A.; CARVALHO, J. L. N.; DAMIN, V.; CRUZ, J. C.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J. Doses de nitrogênio e de palha em sistema de plantio direto de milho no Cerrado. **Revista Ceres**, v. 53, n. 306, p. 171-178, mar./ abr. 2006.

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; SILVA, J. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. **Revista Ciência Agronômica,** v. 44, p. 16-23, 2013.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JÚNIOR, 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,** v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MARCOLAN, A. L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** v. 30, p. 163-170, 2006.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MÜLLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1197-1206, 2011.

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; JÚNIOR, A. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1196-1206, 2013.

NIERO, L. A. C.; DECHEN, S. C. F.; COELHO, R. M.; DE MARIA, I. C. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um Latossolo Vermelho distroférrico com usos

e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1271-1282, 2010.

OLIBONE, D.; ENCIDE-OLIBONE, A. P.; ROSOLEM, C. A. Least limiting water range and crop yields as affected by crop rotations and tillage. **Soil Use and Management**, v. 26, n. 4, p. 485-493, 2010.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 2, p. 327-336, 2004.

PIGNATARO NETTO, I. T.; KATO, E.; GOEDERT, W. J. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob pastagens com diferentes históricos de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 1441-1448, 2009.

PORTELLA, C. M. R.; GUIMARÃES, M. F.; FELLER, C.; FONSECA, I. C. B.; TAVARES FILHO, J. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1868-1877, 2012.

REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

ROZANE, D. E.; CENTURION, J. F.; ROMUALDO, L. M.; TANIGUCHI, C. A. K.; TRABUCO, M.; ALVES, A. U. Estoque de carbono e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob diferentes manejos. **Bioscience Journal**, v. 26, p. 24-32, 2010.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 11-21, jan./fev. 2008.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SECCO, D.; ROS, C. O. da; SECCO, J. K.; FIORIN, J. E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho Argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 3, p. 407-414, 2005.

SEVERIANO, E. D. C.; OLIVEIRA, G. C. D.; DIAS JÚNIOR, M. de S.; COSTA, K. A. D. P.; SILVA, F. G.; FERREIRA FILHO, S. M. Structural changes in Latosols of the Cerrado region: I - Relationships between soil physical properties and least limiting. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 5, p. 773-782, 2011.

SILVA, M. A. S.; MAFRA, A. L.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo**. Ciência Rural**, v. 35, p. 544-552, 2005.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A.; OLIVEIRA, L. M. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 338-345, maio/jun. 2012.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. S**oil and Tillage Research,** v. 79, p. 7-31, 2004.

TAYLOR, S. A.; ASHCROFT, G. L. **Physical edaphology**: the physics of irrigated and nonirrigated soils. San Francisco: W. H. Freeman, 1972. 533 p.

TOPP, G. C.; REYNOLDS,W. D.; COOK, F. J.; KIRBY, J. M.; CARTER, M. R. Physical attributes of soil quality. In: GREGORICH, E. G.; CARTER, M. R. (Ed.). **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Amsterdam: Elsevier, 1997. p. 21-58. (Developments in Soil Science, v. 25).

TRINDADE, E. F. S.; VALENTE, M. A.; MOURÃO-JÚNIOR, M. M. Propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas de manejo da capoeira no nordeste paraense. **Revista Agroecossistemas**, v. 4, p. 50-67, 2012.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, l980.

VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. R. **The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils**. Riverside: Salinity Laboratory, 1991.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J. da; CAVALCANTE, D. M. Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 309-316, 2010.

VERMA, S.; SHARMA, P. K. Long-term effects of organics, fertilizers and cropping systems on soil physical productivity evaluated using a single value index (NLWR). S**oil and Tillage Research**, v. 98, p. 1-10, 2008.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I. C.; OLIVEIRA, R. C. de; BABATA, M. M.; BORGES, E. N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 256-265, 2012.

ZINN, Y. L.; LAL, R.; RESCK, D. V. S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.

Literatura Recomendada

ARAÚJO, F. S.; SALVIANO, A. A. C.; LEITE, L. F. C.; SOUZA, Z. M.; SOUSA, A. C. M. Physical quality of a yellow latossol under integrated crop-livestock system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 3, p. 717-723, 2010.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos Cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 3, p. 167-177, 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 829-834, 2002.

BOGNOLA, I. A.; MAIA, C. M. B. de F.; DEDECEK, R. A.; ANDRADE, G. de C. **Estabilidade de agregados e DMG determinados por via úmida**

e via seca, em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantios de E. dunnii. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 1998.

CALEGARI, A.; TOURDONNET, S.; TESSIER, D.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; HARGROVE, W.; GUIMARÃES, M. F.; TAVARES FILHO, J. Influence of soil management and crop rotation on physical properties in a long-term experiment in Paraná, Brazil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 44, p. 2019-2031, 2013.

CARDUCCI, C. E.; OLIVERIA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 77-86, 2011.

COSTA, F. D. 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**, v. 27, p. 527-535, 2003.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates: In: BLAKE, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.). **Methods of soil analysis**: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 499-510.

LAL, R.; PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F. J. (Ed.). **Soil management for sustainability**. Ankeny: Soil Water Conservation Society, 1991. p. 1-5.

LI, L.; CHAN, K. Y.; NIU, Y.; OATES, A.; DEXTER, A. R.; HUANGET, G. Soil physical qualities in an Oxic Paleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, v. 113, n. 2, p. 82-88, jun. 2011.

MATIAS, S. S. R.; BORBA, J. A.; TICELLI, M.; PANOSSO, A. R.; CAMARA, F. T. da. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, p. 331-338, 2009.

MAZURAK, A. P. Effect of gaseous phase on water-stable synthetic aggregates. **Soil Science**, v. 69, p. 135-148, 1950.

MELO FILHO, J. F. D.; CARVALHO, L. L. D.; SILVEIRA, D. D. C.; SACRAMENTO, J. A. A. S. D.; SILVEIRA, E. C. P. Índice de qualidade em um Latossolo Amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1168-1177, 2009.

PETRY, M. T.; ZIMMERMANN, F. L.; CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; KUNZ, J. H. Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 531-539, 2007.

REICHARDT, K. Capacidade de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 211-216, 1988.

REYNOLDS, W. D.; DRURY, C. F.; YANG, X. M.; TAN, C. S. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, p. 466-474, 2008.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 313-319, 1997.

Esta publicação está disponível no endereço:
https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo/publicações

Embrapa Milho e Sorgo
Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone: (31) 3027-1100
Fax: (31) 3027-1188
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

1ª edição
Formato digital (2018)

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Governo Federal

Comitê Local de Publicações da Unidade Responsável

Presidente
Sidney Netto Parentoni

Secretário-Executivo
Elena Charlotte Landau

Membros
Antonio Claudio da Silva Barros, Cynthia Maria Borges Damasceno, Maria Lúcia Ferreira Simeone, Roberto dos Santos Trindade e Rosângela Lacerda de Castro

Revisão de texto
Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica
Rosângela Lacerda de Castro (CRB 6/2749)

Tratamento das ilustrações
Tânia Mara Assunção Barbosa

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Tânia Mara Assunção Barbosa

CGPE 14744