



## Uso do índice S como parâmetro complementar da qualidade física em Latossolos

Karina de Vares Rossetti <sup>1\*</sup> e José Frederico Centurion <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Estado de Mato Grosso “Carlos Alberto Reyes Maldonado” – Campus Tangará da Serra – MT, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus Jaboticabal – SP, Brasil

\*Autor correspondente: krossetti@bol.com.br

Recebido: 17/08/2022; Aceito: 29/11/2022

**Resumo:** Geralmente, as alterações na estrutura do solo são avaliadas por meio de indicadores de qualidade física do solo. Desta maneira, para não haver desperdício de ordem financeira, objetivou-se avaliar se o índice S pode ser utilizado como indicador da qualidade física do solo assim como outros indicadores: diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), densidade do solo (Ds), macroporosidade (macro), microporosidade do solo (micro), altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade do milho. O estudo foi realizado por meio da compactação induzida por tratores em um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e em um Latossolo Vermelho Eutrófico (LVef), cultivados com milho. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com cinco tratamentos, três camadas (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) e quatro repetições, para cada classe de solo. Os tratamentos foram: SC: preparo convencional sem compactação adicional; C24 e C44= duas e quatro passadas do trator de 4 Mg, respectivamente; C210 e C410= duas e quatro passadas do trator de 10 Mg, respectivamente. Os maiores valores de S no C24 (0,085) e C44 (0,077) no LVef não resultaram em coerência com os valores de macro (C24= 0,186 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e C44= 0,195 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) e de Ds [C24= 1,33 Mg m<sup>-3</sup> (0-0,10 m), 1,39 Mg m<sup>-3</sup> (0,10-0,20 m), 1,36 Mg m<sup>-3</sup> (0,20-0,30 m) e C44= 1,50 Mg m<sup>-3</sup> (0-0,10 m), 1,44 Mg m<sup>-3</sup> (0,10-0,20 m) e 1,40 Mg m<sup>-3</sup> (0,20-0,30 m)]. O índice S não pode ser utilizado como um parâmetro complementar aos demais atributos avaliados neste estudo.

**Palavras-chave:** Estrutura do solo; Uso e manejo do solo; Milho.

## S-index use as complementary parameter of physical quality in Oxisols

**Abstract:** In generally, physical quality indicators of the soil evaluate the soil structure alterations. So that there is no waste of financial resources, this work aimed to verify if the S-index may be used as physical quality indicator of the soil as well as other indicators: mean geometric diameter (MGD), mean weight diameter (MWD), soil density (Ds), soil macroporosity (macro), soil microporosity (micro), height, diameter and kernel yield of the corn. This work was carried out through the compression induced by agricultural machinery traffic in Oxisols – Haplustox (LVd) and an Eustrtox (LVef), grown with corn. The experiment was conducted in a randomized block design in split-plots, with five treatments, three soil layers (0-0.10, 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m) and four replications for each soil class. The treatments were: NC= conventional tillage without additional compression; C24 and C44= two and four passes of a 4 Mg tractor, respectively and C210 and C410= two and four passes of a 10 Mg tractor, respectively. The highest S-index values in C24 (0.085) and C44 (0.077) in LVef did not result in consistency with the macro values (C24= 0.186 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e C44= 0.195 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) and the Ds [(C24= 1.33 Mg m<sup>-3</sup> (0-0.10 m), 1.39 Mg m<sup>-3</sup> (0.10-0.20 m), 1.36 Mg m<sup>-3</sup> (0.20-0.30 m) and C44= 1.50 Mg m<sup>-3</sup> (0-0.10 m), 1.44 Mg m<sup>-3</sup> (0.10-0.20 m) and 1.40 Mg m<sup>-3</sup> (0.20-0.30 m)] of these treatments. The S-index can be not as a complementary parameter to the other attributes evaluated in this work.

**Key-words:** Soil structure; Soil use and management; Corn.

---

### 1. INTRODUÇÃO

Tanto o tipo como o tempo de adoção de manejos promovem diversas alterações nos parâmetros físicos de solo, tais como, na distribuição de poros, densidade do solo e agregação, os quais interferem na capacidade de retenção e infiltração de água (LOSS et al., 2009). Dessa maneira, as modificações nesses parâmetros físicos do solo são mais pronunciadas quando ocorre a transição de ambientes naturais para sistemas agrícolas.

É de conhecimento que o sistema convencional de preparo do solo, reduz a estabilidade de agregados e acelera a decomposição da matéria orgânica, todavia aumenta o volume de poros, a permeabilidade e o fluxo de ar, facilitando o crescimento das raízes das plantas dentro da camada preparada. Essas alterações se devem, segundo Silva et al. (2012), ao efeito benéfico temporário da escarificação em reduzir a densidade do solo. Foi estabelecido por esses autores, que após seis meses de preparo convencional a densidade do solo passou a ter um acréscimo em 20% e que tal comportamento estável ocorreu por mais um ano, tendendo a um estado de estabilização.

A baixa qualidade física do solo ocorre com a diminuição da capacidade de infiltração de água, do escoamento superficial, da baixa aeração, do sistema radicular reduzido e da dificuldade de mecanização (PINTO et al., 2018). Neste sentido, os impactos do manejo na qualidade física do solo têm sido quantificados utilizando-se propriedades físicas relacionadas com a estabilidade de agregados, a densidade e a porosidade do solo (ARATANI et al., 2009). Há também a utilização do índice S, que avalia a porosidade estrutural. Essa corresponde às microfendas, fendas, bioporos e poros macroestruturais resultantes do uso e manejo, sendo o maior valor de S equivalente a maior inclinação da curva de retenção de água, indicando melhor distribuição de poros e maior quantidade de poros com maior diâmetro (DEXTER, 2004).

Conforme Li et al. (2011) atributos indicadores da qualidade física do solo estão inter-relacionados porque todos refletem a estrutura do solo, mas a medição de todos esses atributos pode consumir muito tempo e, é desejável obter um parâmetro simples para a avaliação global. O parâmetro S, segundo os autores, pode servir a esse propósito, mas a teoria precisa ser validada em solos submetidos a práticas de manejo diferentes.

Segundo Dexter (2004), com base em informações sobre valores críticos de matéria orgânica em solos da Polônia e da Inglaterra, estabelecem que o limite entre solos com boa e pobre qualidade estrutural ocorre no valor aproximado de  $S = 0,035$ , porém esse valor não refere-se a solos tropicais. Assim, Andrade & Stone (2009) realizaram um estudo com o índice S que abrangeu solos sob cerrado das regiões centro-oeste e nordeste do Brasil e verificaram que o valor limite de  $S = 0,045$  mostrou-se adequado à divisão entre solo de boa qualidade estrutural e solo com tendência a se tornar degradado, enquanto valores de  $S \leq 0,025$  indicam solos inteiramente degradados fisicamente.

De acordo com Cunha et al. (2011), o índice S mostrou-se adequado como indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) sob sistema de cultivo convencional e plantio direto. Além disso, esses pesquisadores observaram que houve correlação significativa e negativa entre o índice S e a densidade e a microporosidade do solo, e positiva entre o mesmo e a macroporosidade, porosidade total e teor de matéria orgânica do solo. Conforme Rossetti & Centurion (2018), o índice S pode ser utilizado para avaliar a qualidade do solo junto com a macroporosidade e a altura de milho em LVd. Ressalta-se que para Lier (2012), o uso do índice S necessita de cautela. Pois, segundo esse autor o valor desse índice como indicador, em termos absolutos, não determina a qualidade física de um solo, uma vez, que tal índice não apresenta valores limite que independem do tipo de solo e ambiente. Assim, o objetivo geral deste estudo foi avaliar se o índice S pode ser utilizado como indicador da qualidade física do solo e como objetivo específico o intuito foi verificar quais parâmetros podem ser utilizados junto com o índice S para avaliar a qualidade física em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e em Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), após a compactação induzida por tráfego de máquinas agrícolas cultivados com milho.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no município de Jaboticabal, SP, que se localiza nas coordenadas geográficas de  $21^{\circ}14'05''$  S,  $48^{\circ}17'09''$  W, com altitude de 615 m. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, com verão quente e inverno seco, precipitação pluvial média anual de 1.428 mm e temperatura média de  $21^{\circ}\text{C}$ . Os solos da área de estudo foram classificados conforme Santos et al. (2018) em Latossolo Vermelho Distrófico, típico, textura média, A moderado, caulínítico-hipoférrico (LVd) e Latossolo Vermelho Eutroférico, típico, textura argilosa, A moderado, caulínítico-oxídico (LVef). Os solos apresentaram, na camada de 0-0,20 m, 348 e 560  $\text{g kg}^{-1}$  de argila, 598 e 240  $\text{g kg}^{-1}$  de areia, 54 e 200  $\text{g kg}^{-1}$  de silte e 2,89 e 2,74  $\text{Mg m}^{-3}$  de densidade de partículas (EMBRAPA, 2011), respectivamente, no LVd e LVef.

Antes da instalação dos experimentos, foi realizado o preparo convencional do solo a 0,30 m de profundidade, por meio da gradagem possuindo o equipamento 18 discos de 660 mm (26"); grade leve off-set, modelo: ATCR, com sete discos em cada seção (duas), com discos de 0,61 m e distância entre discos de 0,23 m. O delineamento

experimental foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os efeitos aleatorizados às parcelas foram: solo preparado no sistema convencional e sem tráfego adicional de trator (SC); duas (C24) e quatro (C44) passadas do trator de 4 Mg, respectivamente; duas (C210) e quatro (C410) passadas do trator de 10 Mg. A compactação do solo foi então realizada por meio da passagem dos rodados desses tratores, perfazendo toda a superfície das parcelas, de forma que os pneus comprimissem áreas paralelas entre si. Dessa forma, o número de vezes que os tratores trafegaram variou conforme o tratamento; o tráfego foi sobreposto ao anterior, de forma que toda área de cada parcela fosse trafegada com número igual de vezes. Sendo os tratamentos constituídos como as parcelas e as camadas (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) como subparcelas. Com a finalidade de se ter apenas uma referência para os atributos físicos do solo, utilizou-se uma área de mata nativa (MN) em LVd e outra em LVef.

Os tratamentos foram estabelecidos em novembro de 2013, quando o solo possuía um conteúdo de água próximo da capacidade de campo de 0,12 a 0,22 kg kg<sup>-1</sup> para o LVd e LVef, respectivamente na camada de 0-0,20 m (EMBRAPA, 2011). Para estabelecer os tratamentos SC e C24, utilizou-se o trator de 56 kW (70 cv), com pressão de inflação nos pneus dianteiros R1 de 83 kPa e nos pneus traseiros (R1 18.4-30) com 96 kPa, tração 4 x 2 e massa de 4 Mg, com distribuição de 30% da massa total nas rodas diagonais dianteiras e 70% nas rodas radiais traseiras. Para os tratamentos C210 e C410 foram utilizados uma pá carregadora de 105 kW (143 cv), tração 4 x 4, pneus 17.5 R 25, radial (L-3), massa de 10 Mg, com a concha vazia. As operações foram realizadas em velocidade ≤ 5 km h<sup>-1</sup>, com pneus calibrados e em bom estado de conservação.

A semeadura do milho (híbrido simples Maximus) foi efetuada em dezembro de 2013, utilizando-se uma semeadora-adubadora de plantio direto com cinco linhas. O mecanismo sulcador do solo da semeadora foi retirado para não eliminar os possíveis efeitos negativos da compactação, sendo utilizado somente o disco de corte do dosador de sementes. A densidade de semeadura foi de cinco a seis sementes por metro linear, com espaçamento entrelinhas de 0,90 m. As parcelas experimentais foram constituídas de cinco linhas de semeadura com 6 m de comprimento, considerando-se área útil da parcela as três linhas centrais, desprezando-se 1,5 m de cada extremidade, totalizando cada área útil da parcela com 5,4 m<sup>2</sup>.

A adubação na semeadura foi baseada nos dados presentes na Tabela 1 e consistiu da aplicação de 250 kg ha<sup>-1</sup> da formulação N-P-K (8-28-16) e 30 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de zinco para a obtenção da produtividade esperada de 6 a 8 Mg ha<sup>-1</sup>, para a cultura do milho segundo a recomendação de Raij et al. (2001). A adubação de cobertura foi realizada no estádio V6 da cultura com 250 kg ha<sup>-1</sup> da formulação N-P-K (30-0-10) em superfície, ao lado da linha de semeadura, com a mesma semeadora-adubadora. Para os tratamentos culturais utilizou-se o trator de 77 kW (105 cv), tração 4 x 2 TDA (tração dianteira auxiliar) e massa de 7 Mg, com pressão de inflação de 95 kPa nos pneus dianteiros (14.9- 24R1) e 110 kPa nos traseiros (19.4-34 R1), com distribuição de 40 % da massa total nas rodas radiais dianteiras e 60% nas rodas radiais traseiras.

**Tabela 1.** Características químicas do Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e do Latossolo Vermelho Eutrófico (LVef) na camada de 0-0,20 m, antes da implantação do experimento.

Solo	pH	MO	Presina	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	SB	CTC	V
	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmolc dm <sup>-3</sup> -----						%
LVd	5,6	14	40	2,0	21	17	20	40	60	67
MN <sub>LVd</sub>	6,0	16	45	3,5	39	22	10	64	74	86
LVef	4,9	24	61	2,7	30	12	27	45	72	62
MN <sub>LVef</sub>	5,8	31	55	3,3	42	30	15	75	90	83

MO: matéria orgânica do solo; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases.

Para a determinação dos atributos físicos, foram coletadas, em janeiro de 2014, em cada parcela, 120 amostras indeformadas na entrelinha da cultura com cilindros de 53,18 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup> (0,032 m de altura e 0,046 m de diâmetro) e mais 24 amostras indeformadas referente à área de MN. As amostras foram saturadas por 24 h e submetidas às tensões de -0,001, -0,003, -0,006, -0,01, -0,033, -0,06, -0,1 e -0,3 MPa, em câmaras de Richards. Ao atingirem o equilíbrio, foram pesadas e na sequência as amostras foram secas em estufa a 105° C, durante 24h, para a determinação do conteúdo de água retido em cada tensão e da densidade do solo (Ds). A microporosidade (micro) foi determinada por secagem e a macroporosidade (macro) foi calculada como sendo a diferença entre a porosidade total e a micro. A tensão de -1,5 MPa foi determinada em psicrômetro de termopar do modelo WP4-T Dewpoint Potential Meter (EMBRAPA, 2011).

Os resultados obtidos foram então ajustados, por meio do programa Soil Water Retention Curve-SWRC (DOURADO NETO et al., 2001), à curva de retenção de água no solo (CRA) por meio do modelo de Van Genuchten (1980):

$$\theta = \frac{(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}})}{[1 + (\alpha h)^n]^{-m} + \theta_{\text{res}}} \quad (1)$$

em que:  $\theta$  = conteúdo de água no solo ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ );  $\theta_{\text{sat}}$  e  $\theta_{\text{res}}$  = conteúdo de água na saturação e residual ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), respectivamente;  $h$  = módulo do potencial matricial (MPa);  $\alpha$ ,  $n$  e  $m$  são os parâmetros do modelo.

Determinou-se, com base nos parâmetros obtidos, o índice  $S$ , tangente à curva característica de água no solo no ponto de inflexão, com o uso da equação proposta por Dexter (2004):

$$S = -n(\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-(1+m)} \quad (2)$$

em que:  $S$  = valor da inclinação da CRA no seu ponto de inflexão;

$\theta_{\text{sat}}$  = conteúdo de água na saturação ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$\theta_{\text{res}}$  = conteúdo de água residual ( $\text{kg kg}^{-1}$ );

$m$  e  $n$  = parâmetros empíricos da equação.

Nesse mesmo período, amostras foram coletadas nas entrelinhas da cultura do milho com auxílio de um enxadão, para obter a estabilidade de agregados em todas as camadas avaliadas no experimento. Para avaliar a estabilidade de agregados via úmida, os torrões foram secos ao ar, desmanchados naturalmente e foram usados 50 g de solo passados em peneira de 7,93 mm e retiradas em peneira de 4,0 mm, os quais foram pré-umedecidos, conforme o princípio de Kemper & Chepil (1965). Em seguida, as amostras foram colocadas no aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,125 mm de diâmetro de abertura de malha, conforme descrito por Yoder (1936). Transcorridos 15 min, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para latas de alumínio com o auxílio de jatos de água e secas em estufa a 105°C, por 24 h, para posterior pesagem. A partir dos valores dessas massas, foram calculados o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), conforme Kemper & Chepil (1965).

No estádio R6 da cultura do milho, foi determinada a altura das plantas entre o solo e a inserção da base do pendão enquanto o diâmetro do colmo foi determinado utilizando-se a média de duas leituras do segundo internódio do colmo por meio do paquímetro digital. Utilizaram-se 10 plantas/área útil da parcela. A produtividade de grãos de milho foi obtida extrapolando-se a produção de grãos da área útil da parcela para 1 ha, ajustando-se a umidade dos grãos para 13%.

Os resultados obtidos foram então submetidos à análise de variância pelo software Assistat versão 7.7 beta e quando significativas às médias foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Uma vez que já se sabe que o índice  $S$  não pode ser avaliado isoladamente, a proposta foi verificar quais parâmetros do solo e da planta de milho podem ser utilizados conjuntamente com esse índice para avaliar a qualidade estrutural do solo. Para isso, analisou-se o índice  $S$  e os demais parâmetros do solo e da planta também por regressão múltipla pelo software Statistica versão 7.0.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estabilidade de agregados (Tabela 2), verificada por meio do DMG, demonstrou comportamento semelhante entre todos os tratamentos SC, C24, C44, C210 e C410 entre si quando comparados na camada de 0,10-0,20 m no LVD e para todas as camadas (0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m) no LVEf. Constatou-se nessas situações, indício de degradação estrutural na mesma intensidade para todos os tratamentos nessas camadas. Uma vez, que os atributos físicos, como o DMG e o DMP, em ambos os solos são inferiores aos valores quantificados na MN.

O nível de desagregação nos tratamentos submetidos por compactações induzidas por tratores foi igual ou inferior ao SC. Logo, neste estudo não ocorreu a formação de “falsos agregados”, ou seja, não teve o efeito de “agregação mecânica” devido à tensão exercida pela compactação que levaria à união de partículas sob alto conteúdo de água no solo. Condição semelhante a este resultado, também foi observado por passadas de tratores com 4, 7 e 10 Mg em LVD e LVEf (ROSSETTI & CENTURION, 2018). Assim, pode-se afirmar que nesses solos o número de passadas e a massa do trator não interferiu para a formação da agregação mecânica em tratamentos sob compactação induzida. Segundo Nunes et al. (2015), a ruptura de agregados após a escarificação do solo, resulta em

um aumento de microagregados e uma redução na estabilidade de agregados. Tipicamente, o SC conduz para a destruição dos macroagregados, aumentando o número de microagregados no solo.

**Tabela 2.** Diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP) em Latossolos sob diferentes intensidades de tráfego e camadas.

Tratamento	DMG	DMP	DMG	DMP
	-----LVd-----		-----LVef-----	
0-0,10 m				
SC	2,04 Aa	3,44 Aa	3,04 Aa	4,12 ABa
C24	1,04 BCa	2,13 Ba	3,37 Aa	4,42 Aa
C44	1,03 BCab	1,93 Ba	2,32 Ab	3,27 Bb
C210	1,26 Ba	2,03 Ba	2,74 Aa	3,54 ABa
C410	0,61 Ca	0,81 Cb	2,55 Aa	3,54 ABa
MN	5,37	5,64	5,74	5,85
0,10-0,20 m				
SC	1,32 Ab	2,26 ABb	3,22 Aa	4,21 ABa
C24	1,17 Aa	2,09 ABa	3,45 Aa	4,36 ABa
C44	1,27 Aa	2,41 Aa	3,48 Aa	4,49 Aa
C210	1,03 Aa	1,77 ABa	2,46 Aa	3,33 Ba
C410	0,91 Aa	1,45 Bab	2,72 Aa	3,81 ABa
MN	4,80	5,28	5,56	5,74
0,20-0,30 m				
SC	1,42 Ab	2,40 ABb	2,60 Aa	3,55 ABa
C24	1,49 Aa	2,77 Aa	2,21 Ab	3,16 ABb
C44	0,66 Bb	1,04 Cb	2,67 Ab	3,76 Ab
C210	0,82 Ba	1,31 Ca	2,42 Aa	3,40 ABa
C410	1,00 ABa	1,79 BCa	1,78 Ab	2,62 Bb
MN	3,45	4,43	5,18	5,49
F <sup>1</sup>	14,12**	20,95**	1,94 <sup>ns</sup>	2,09 <sup>ns</sup>
F <sup>2</sup>	0,94 <sup>ns</sup>	1,05 <sup>ns</sup>	14,19**	16,14**
F <sup>1x2</sup>	4,88**	6,75**	2,75*	3,98**
CV(%) <sup>1</sup>	23,49	20,59	25,64	19,91
CV(%) <sup>2</sup>	24,36	22,77	16,03	11,31

SC: sem compactação, C24 e C44: duas e quatro passadas do trator de 4 Mg, respectivamente, C210 e C410: duas e quatro passadas do trator de 10 Mg, respectivamente. MN: mata nativa. LVd: Latossolo Vermelho Distrófico e LVef: Latossolo Vermelho Eutroférico. <sup>(1)</sup> Coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) <sup>(2)</sup> Coeficiente de variação referente às camadas (subparcelas). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); letras maiúsculas referem-se à comparação de tratamentos nas linhas; minúsculas comparam camadas de um mesmo tratamento na coluna; <sup>ns</sup>= não significativo; \*significativo ( $p < 0,05$ ) e \*\* significativo ( $p < 0,01$ ).

Em ambos os solos, pode-se constatar maiores valores de DMG e DMP na MN concordando com estudo de Rossetti et al. (2013) em LVd. Esses autores verificaram, que o manejo do solo proporcionou redução dos índices de agregação e assim pode-se comprovar a perda de estabilidade dos agregados devido ao uso agrícola, em relação à MN. Apesar da menor dependência da MO na estabilidade de microagregados em solos tropicais, esse atributo também influenciou na agregação da MN. Este padrão é decorrente do maior aporte de material vegetal na MN, propiciando aumento dos teores de MO e, conseqüentemente, incremento da agregação do solo. Situação similar foi comprovada por Balin et al. (2017), os quais puderam afirmar que a partir da camada de 0,10-0,20 m de um Latossolo Vermelho, a área de MN apresentou o maior DMG em relação às áreas com atividade antrópica. Segundo os autores acima, este fato evidencia o maior estado de organização do solo sob sistema natural, mesmo em condição de menor carbono orgânico total.

No que se refere à micro no LVd e no LVef e à macro no LVef não houve diferença significativa quando comparou-se as camadas avaliadas com as compressões utilizadas (F<sup>1x2</sup>) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Densidade do solo (Ds), Macroporosidade (macro) e Microporosidade (micro) em Latossolos, sob diferentes intensidades de tráfego e camadas.

Tratamento	Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	Micro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Micro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Macro (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )
	-----LVd-----		-----LVef-----	
SC	1,57 b	0,218 a	0,313 a	0,278 a
C24	1,78 a	0,197 ab	0,344 a	0,186 b
C44	1,72 a	0,201 ab	0,332 a	0,195 b
C210	1,76 a	0,187 ab	0,339 a	0,200 b
C4	1,73 a	0,165 b	0,348 a	0,187 b
MN	1,50	0,210	0,244	0,398
F	20,60**	2,70 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	5,03**
CV (%)	3,66	21,18	18,45	28,87
Camada				
0-0,10 m	1,65 b	0,194 a	0,328 a	0,219 a
MN	1,32	0,216	0,247	0,450
0,10-0,20 m	1,75 a	0,192 a	0,345 a	0,202 a
MN	1,62	0,204	0,205	0,385
0,20-0,30 m	1,74 a	0,195 a	0,331 a	0,207 a
MN	1,58	0,209	0,279	0,359
F	6,60**	0,03 <sup>ns</sup>	0,55 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>
F <sup>(1x2)</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	2,15 <sup>ns</sup>	1,31 <sup>ns</sup>	1,39 <sup>ns</sup>
CV (%)	5,91	20,14	16,35	28,31

SC: sem compactação, C24 e C44: duas e quatro passadas do trator de 4 Mg, respectivamente, C210 e C410: duas e quatro passadas do trator de 10 Mg, respectivamente. MN: mata nativa. LVd: Latossolo Vermelho Distrófico e LVef: Latossolo Vermelho Eutroférico. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>(1)</sup> CV (parcelas) <sup>(2)</sup> CV (subparcelas). <sup>ns</sup>= não significativo e <sup>\*\*</sup> significativo ( $p < 0,01$ ).

Verificou-se diferença significativa somente para os atributos físicos, como macro no LVd e Ds no LVef (Tabela 4). O comportamento no LVd para o C44 é o único que corrobora a observação relatada por Freddi et al. (2009), de que o tráfego de tratores modifica a macro apenas na camada superficial (0-0,20 m). Neste estudo, a macro no C44 para esse solo diferiu da camada de 0-0,10 m (0,213 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>) para 0,20-0,30 m (0,129 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>). Constatou-se em ambos os solos, valores de macro  $> 0,10$  m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, que é o mínimo necessário para as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo, e crítico para o crescimento das raízes da maioria das culturas (REICHERT et al., 2007). Neste sentido, o volume de macroporos entre 0,09 – 0,13 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> é considerado ideal para o desenvolvimento das culturas de acordo com Reynolds et al. (2009).

Verificou-se que a micro na sua quase totalidade em ambos os solos, não foi sensível às modificações causadas pelo tráfego dos tratores e nem ao preparo convencional. Esse comportamento pode ser justificado por causa da forte influência da micro do solo com a textura e o teor de matéria orgânica. As características intrínsecas de cada classe de solo estão altamente relacionadas à micro do solo; e para que se tenha qualquer possível alteração na granulometria e no teor de matéria orgânica do solo é necessário um período de longa duração. Porém, neste estudo pode-se constatar no LVd que a micro no SC foi superior apenas ao C410. Dessa maneira, esse resultado contraria as justificativas acima mencionadas sobre a influência da microporosidade do solo. Contudo, os autores consideram um resultado de pequena proporção em comparação a predominância dos demais tratamentos e camadas analisadas.

No LVef, a macro no SC foi superior e diferiu dos demais tratamentos com compactação induzida. Reforçando o fato de que a massa de 4 ou 10 Mg aliada a duas e quatro passadas de tratores não influenciou na macro. Resultado semelhante foi reportado por Soracco et al. (2015) para a macro, porosidade total e Ds do Argissolo (0-0,15 m) em comparação aos tratamentos sem tráfego de máquinas agrícola, com três e cinco passadas do trator de 3,8 Mg. Conforme esses autores, o efeito do tráfego de máquinas não proporcionou uma energia de compactação muito extrema e por isso as alterações dessas variáveis não persistiram depois de dois anos. Discordando desses resultados Bergamin et al. (2010), afirmaram que a aplicação de maior número de passadas do trator nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m, acarretou a redução da macro no PDC4 e PDC6 (plantio direto com compactação adicional por tráfego de trator de 5 Mg em quatro e seis passadas, respectivamente), em 26 e 44%, respectivamente, quando comparados ao tratamento PD (plantio direto com compactação adicional).

**Tabela 4.** Macroporosidade (macro) em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e Densidade do solo (Ds) em Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), sob diferentes intensidades de tráfego e camadas.

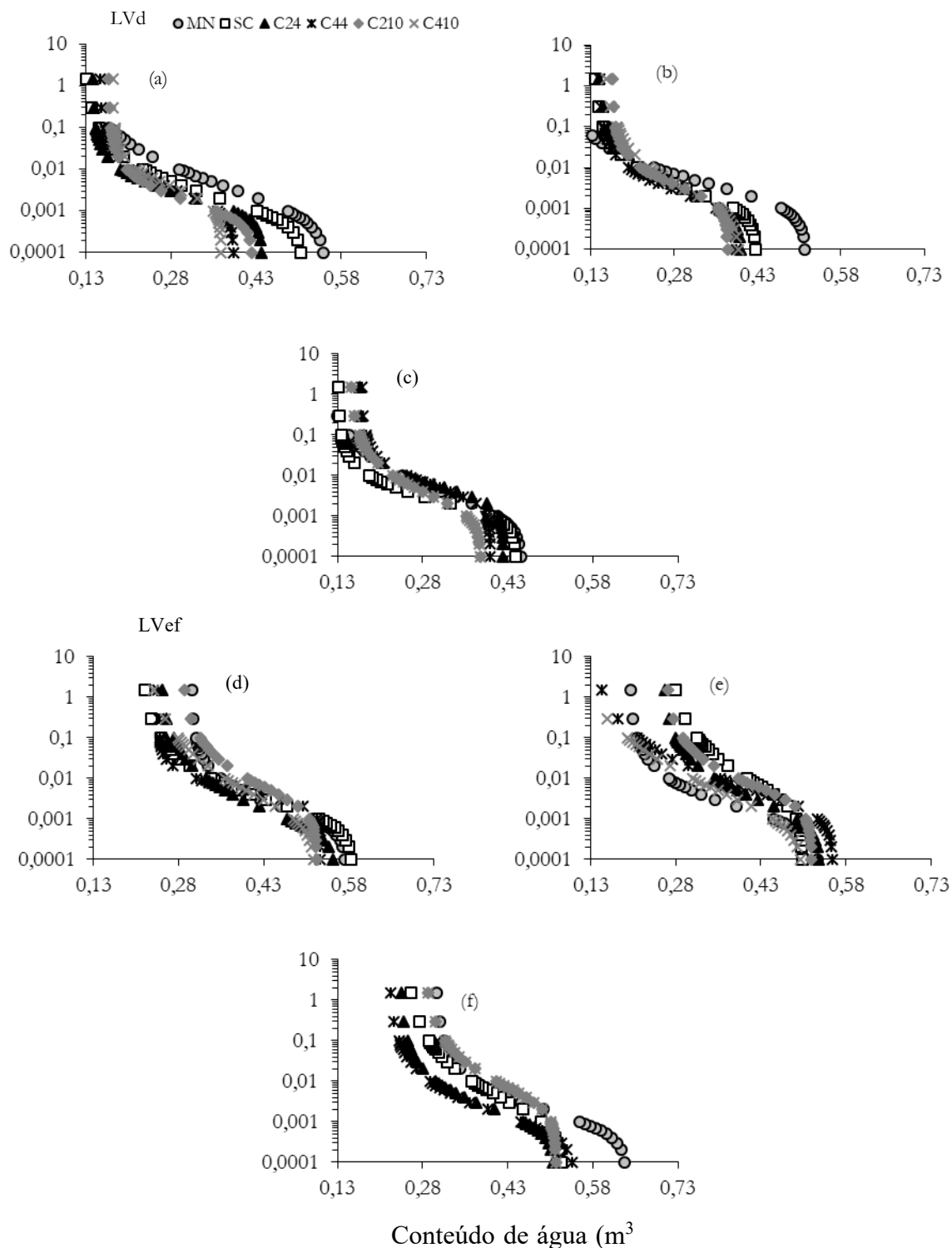
Camada (m)	SC	C24	C44	C210	C410	MN
<b>Macro (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>						
LVd						
0-0,10	0,246 Aa	0,192 ABa	0,213 ABa	0,138 Ba	0,168 ABa	0,299
0,10-0,20	0,178 Aab	0,137 Aa	0,156 Aab	0,133 Aa	0,179 Aa	0,238
0,20-0,30	0,136 Ab	0,198 Aa	0,129 Ab	0,207 Aa	0,185 Aa	0,219
	F <sup>1</sup> =0,53 <sup>ns</sup>		F <sup>2</sup> =2,81 <sup>ns</sup>		F <sup>1x2</sup> =2,87*	
	CV (%) <sup>1</sup> =29,48			CV (%) <sup>2</sup> =26,88		
Ds (Mg m <sup>-3</sup> )						
LVef						
0-0,10	1,15 Cb	1,33 Ba	1,50 Aa	1,40 ABa	1,41 ABa	0,77
0,10-0,20	1,23 Bb	1,39 Aa	1,44 Aab	1,39 Aa	1,36 Aa	1,06
0,20-0,30	1,32 Aa	1,36 Aa	1,40 Ab	1,43 Aa	1,43 Aa	1,13
	F <sup>1</sup> =12,68**		F <sup>2</sup> =1,95 <sup>ns</sup>		F <sup>1x2</sup> =4,54**	
	CV (%) <sup>1</sup> =5,79			CV (%) <sup>2</sup> =3,61		

SC: sem compactação, C24 e C44: duas e quatro passadas do trator de 4 Mg, respectivamente, C210 e C410: duas e quatro passadas do trator de 10 Mg, respectivamente. MN: mata nativa. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>(1)</sup> CV (parcelas) <sup>(2)</sup> CV (subparcelas). Letras maiúsculas referem-se à comparação de tratamentos nas linhas; minúsculas comparam camadas de um mesmo tratamento na coluna; <sup>ns</sup>= não significativo; \*significativo ( $p < 0,05$ ) e \*\* significativo ( $p < 0,01$ ).

A Ds do SC no LVd foi inferior em relação à todos os tratamentos. Segundo Vogelmann et al. (2012), o tráfego adicional com uma pá carregadora (10 Mg) em semeadura direta por 13 anos elevou a Ds do Argissolo Vermelho-Amarelo em relação ao sistema de semeadura direta na camada de 0-0,10 m (respectivamente 1,68 e 1,56 Mg m<sup>-3</sup>). No LVd a Ds sofreu um acréscimo da camada superficial (0-0,10 m) para as camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m. Nota-se, também, que no LVef a Ds no SC foi inferior às compressões estudadas até 0,20 m. Essas alterações observadas em ambos os solos devem-se, segundo Silva et al. (2012) ao efeito benéfico temporário da escarificação em reduzir a Ds no solo. Foi estabelecido por esses autores, que após seis meses de SC a Ds passou a ter um acréscimo em 20% e que tal comportamento estável ocorreu por mais um ano, tendendo a um estado de estabilização.

Resultado semelhante também foi constatado por Seki et al. (2015). Esses autores verificaram que 11 meses após o preparo do Nitossolo Vermelho Distroférico, cultivado por 10 anos em sistema de plantio direto, não havia a persistência do efeito da escarificação. Neste estudo, devido provavelmente ao alto teor de argila, os valores da Ds no LVef estão abaixo do valor crítico de 1,44 Mg m<sup>-3</sup>, com exceção ao C44 na camada de 0,10-0,20 m, como mencionado por Reichert et al. (2009). Porém, no LVd a Ds situou-se acima do crítico de 1,63 Mg m<sup>-3</sup> nos tratamentos com compactação induzida.

Nas tensões de -0,01 MPa (Figura 1), as maiores retenções de água no LVd entre os manejos cultivados ocorreram para o SC (0-0,10 m), C410 (0,10-0,20 m) e C24 e C44 (0,20-0,30 m). Quando se observa a curva de retenção de água (CRA) no LVef, esse foi superior no C210 (0-0,10 m), SC (0,10-0,20 m) e C210 e C410 (0,20-0,30 m). Evidencia-se que as CRAs seguiram a tendência LVd < LVef, e estão relacionadas diretamente à influência do teor da MO (Tabela 1) que pode determinar alterações na quantidade e distribuição de poros. A maior CRA em baixas tensões para o LVef oxidico em relação ao LVd caulinitico deve-se entre outros fatores, à mineralogia oxidica fração argila, que promove a formação de microagregados arredondados com menos de 1 mm, promovendo maior proporção de poros grandes e menor Ds. Diferente do presente estudo, Betioli Jr. et al. (2012) observaram relação positiva da CRA com a Ds, em Latossolo Vermelho manejado a mais de 30 anos sob plantio direto.



**Figura 1.** Curvas de retenção de água no Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), nas camadas de 0-0,10 m (a); 0,10-0,20 m (b) e 0,20-0,30 m (c) e no Latossolo Vermelho Eutrófico (LVef) nas camadas de 0-0,10 m (d); 0,10-0,20 m (e) e 0,20-0,30 m (f). SC: sem compactação, C24 e C44: duas e quatro passadas do trator de 4 Mg, respectivamente, C210 e C410: duas e quatro passadas do trator de 10 Mg, respectivamente e MN: mata nativa.

Nos tratamentos estudados foram verificados no LVd valores de índice S semelhantes (0,035 a 0,051) no SC, C24, C44, C210 e C410 (Tabela 5). Verificou-se nesse solo, que o incremento da massa do trator de 4 Mg para 10 Mg e também com a alteração de duas para quatro passadas não interferiram nos valores do índice S. Dessa maneira este resultado discorda com o de Rossetti & Centurion (2018) e portanto pode-se afirmar, que manejos com pequenas alterações em relação a passadas e massas dos tratores para o mesmo solo não é garantia de resultados



semelhantes quando ocorre a mudança de ano agrícola. Freddi et al. (2009) em LVd reportaram, que uma passada do trator de 4 Mg (considerado um trator leve e de pequeno porte) foi suficiente para reduzir o valor do índice S próximo ao valor de 0,035 nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m.

**Tabela 5.** Índice S para o Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e para o Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), sob diferentes intensidades de tráfego e sob mata nativa, em diferentes camadas.

Camadas (m)	SC	C24	C44	C210	C410	Média	MN
<b>Índice S</b>							
LVd							
0-0,10	0,045	0,053	0,047	0,030	0,038	0,043 ab	0,072
0,10-0,20	0,040	0,038	0,048	0,038	0,036	0,040 b	0,070
0,20-0,30	0,058	0,053	0,059	0,050	0,030	0,050 a	0,058
Média	0,048 A	0,048 A	0,051 A	0,039 A	0,035 A		
	F <sup>1</sup> = 2,40 <sup>ns</sup>		F <sup>2</sup> = 5,70 <sup>**</sup>		F <sup>1</sup> X <sup>2</sup> = 2,00 <sup>**</sup>		
	CV (%) <sup>1</sup> = 34,97			CV (%) <sup>2</sup> = 22,34			
LVef							
0-0,10	0,079	0,094	0,074	0,058	0,039	0,061 a	0,111
0,10-0,20	0,051	0,079	0,085	0,050	0,053	0,064 a	0,071
0,20-0,30	0,052	0,081	0,071	0,032	0,051	0,057 a	0,086
Média	0,061 AB	0,085 A	0,076 A	0,047 B	0,048 B		
	F <sup>1</sup> = 7,61 <sup>**</sup>		F <sup>2</sup> = 1,65 <sup>ns</sup>		F <sup>1</sup> X <sup>2</sup> = 1,05 <sup>ns</sup>		
	CV (%) <sup>1</sup> = 3,49			CV (%) <sup>2</sup> = 32,38			

SC: sem compactação, C24 e C44: duas e quatro passadas do trator de 4 Mg, respectivamente, C210 e C410: duas e quatro passadas do trator de 10 Mg, respectivamente. MN: mata nativa. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ); letras maiúsculas em itálico referem-se à comparação das médias de tratamentos e minúsculas em itálico comparam as médias de camadas. <sup>(1)</sup>Variação referente aos tratamentos (parcelas). <sup>(2)</sup>Variação referente às camadas (subparcelas). <sup>ns</sup>= não significativo; e <sup>\*\*</sup> significativo ( $p < 0,01$ ).

Para a condição do LVef todos os tratamentos apresentaram valores superiores a 0,045, limite considerado de acordo com Andrade & Stone (2009) como sendo o mais adequado para solos tropicais. Condição similar ( $S \geq 0,045$ ) também foi verificada por Nascimento et al. (2019), que constataram  $S = 0,064$  para a camada de 0-0,030 m para os usos das integrações lavoura-pecuária e de lavoura-pecuária-floresta. Neste estudo, o LVef não mostrou diferença significativa entre camadas para o índice S, porém o mesmo não ocorreu para a Ds. Constatou-se nesse solo que o C24 e C44 foram semelhantes entre si e superior ao C210 e ao C410. Nesse caso, pode-se observar que apenas com o aumento da massa do trator para 10 Mg foi suficiente para reduzir o valor do índice S para 0,047 (C210) e para 0,048 (C410). Logo, essa redução do S deve estar associada segundo Dexter (2004) à diminuição do pico da distribuição de frequência de poros, resultando em “achatamento” vertical da CRA, pela redução dos poros estruturais. Assim, os menores valores de S do C210 e C410 no LVef realmente corresponderam em decréscimo da macro e aumento da Ds. Todavia, para esse mesmo solo os maiores valores de S no C24 e C44 não resultaram em coerência com os valores de macro e de Ds desses tratamentos.

Ressalta-se que com base exclusivamente nos valores do índice S no LVD e no LVef, a estrutura física do solo não está extremamente degradada uma vez que os valores de S foram superiores a 0,020. Os maiores valores de S ocorreram na MN, tanto no LVd e LVef (0,067 e 0,071, respectivamente), em relação aos demais manejos. Dessa forma, pode-se afirmar que a área sem ação antrópica possui melhor qualidade física quando comparada às áreas manejadas. Esse resultado foi corroborado por Cunha et al. (2012), que também observaram em solo sob MN uma qualidade estrutural superior ao solo cultivado. Conforme Jardini & Amorim (2017), o melhor desempenho do índice S em áreas sem uso agrícola e pastagem natural indica a melhor configuração de poros no solo e, por tanto, melhores condições físico-hídricas para o crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas. Resultado semelhante também foi mencionado por Pinto et al. (2018), os quais reportaram maiores valores de S em florestas nativas na camada de 0-0,20 m e 0,20-0,50 m que estavam associadas com os baixos valores de Ds e altos valores de carbono orgânico em comparação a áreas com pastagem.

O tratamento SC no LVd apresentou produtividade de milho (Tabela 6) semelhante aos tratamentos C24, C44, C210 e C410. Mesmo tendo Ds do SC inferior em relação aos tratamentos com compactações induzidas por tratores. Além disso, ocorreu a não diferença da macro entre os tratamentos no LVd (exceção do C210 ser inferior

ao SC na camada de 0-0,10 m). Dessa maneira, pode-se afirmar que as alterações promovidas na estrutura deste solo não prejudicaram a produtividade de milho.

**Tabela 6.** Produtividade, altura de milho e diâmetro do colmo em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e para o Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), sob diferentes intensidades de tráfego.

Tratamento	Produtividade	Altura	Diâmetro	Produtividade	Altura	Diâmetro
	t ha <sup>-1</sup>	m	mm	t ha <sup>-1</sup>	m	mm
	-----LVd-----			-----LVef-----		
SC	4,13 a	1,99 a	18,51 a	6,91 a	2,09 a	20,57 a
C24	5,72 a	1,78 b	20,78 a	6,90 a	1,86 b	19,12 a
C44	5,25 a	1,69 bc	19,24 a	6,21 a	1,76 bc	19,27 a
C210	3,65 a	1,56 c	18,93 a	7,26 a	1,85 b	19,97 a
C410	3,77 a	1,35 d	17,96 a	6,75 a	1,67 c	19,27 a
F	3,07 <sup>ns</sup>	21,13 <sup>**</sup>	1,98 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	28,74 <sup>**</sup>	0,81 <sup>ns</sup>
CV (%)	23,50	5,49	7,90	18,08	3,16	6,97

SC: sem compactação, C24 e C44: duas e quatro passadas do trator de 4 Mg, respectivamente, C210 e C410: duas e quatro passadas do trator de 10 Mg, respectivamente. Médias seguidas da mesma letra, no sentido vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). <sup>ns</sup>= não significativo; e <sup>\*\*</sup> significativo ( $p < 0,01$ ).

Percebe-se que a produtividade de milho no LVef, assim como ocorreu no LVd não apresentou diferença entre os tratamentos. Apesar das modificações apresentadas para a Ds e para a macro no LVef, elas também não influenciaram negativamente na produtividade de milho neste solo. Ressalta-se a ocorrência de condições meteorológicas favoráveis decorrentes da precipitação pluviométrica durante o ciclo da cultura. Quando se observa os valores absolutos, a produtividade de milho no LVef apresentou uma maior expressão do que no LVd. Esse fato, deve-se aos maiores teores de MO (Tabela 1) e de argila no LVef que favoreceram a maior adsorção de água. Conforme Girardello et al. (2014), o crescimento do milho é sensível as alterações ocorridas na qualidade física do solo, todavia este estudo contraria esta afirmação, uma vez que não constatou-se redução na produtividade de milho.

Tendo em consideração o diâmetro do colmo, não houve diferença estatística entre os tratamentos em ambos os solos. Os menores valores de altura de milho, foram verificados no C410 no LVd e para a área no LVef em C44 e C410, sendo o C44 semelhante aos C24 e C210. Portanto, há um indicativo de que as plantas que receberam determinadas compactações adicionais (referente ao número de passadas e das massas dos tratores) encontraram limitações somente para crescer e não para a produtividade de milho.

Pode-se constatar na Tabela 7, que nenhum parâmetro seja do solo ou da planta de milho são úteis para analisar a qualidade em LVd e LVef em conjunto com o índice S. Ou seja, neste estudo o índice S não apresentou qualquer grau de dependência com algum parâmetro. Conforme Mota et al. (2020), o índice S correlaciona significativamente com parâmetros que relacionam a dinâmica dos poros no solo sendo diretamente e inversamente proporcionais a macro e a Ds, respectivamente. Ao verificar neste estudo, a relação do índice S com esses atributos pode-se constatar que não houve similaridade na sua totalidade para o comportamento no LVd e no LVef. A resposta entre índice S e a macro no LVd não apresentou coerência para o C210 na camada de 0-0,10 m (Tabelas 4 e 5). Já para o LVef esses atributos não coincidiram para os tratamentos C24 e C44 (Tabelas 3 e 5). Quando considera-se a relação entre índice S e Ds também não houve similaridade para o C24, C44, C210 e C410 no LVd e para o LVef ocorreu conformidade apenas nas situações do C210 e C410 (Tabelas 3 e 4). Condição parecida foi relatado por Moncada et al. (2015), em que afirmaram a não ocorrência de uma relação direta entre altos valores de S em solos temperados e tropicais de textura média com boa condição para produção de grãos e nem baixos valores de S corresponderam a condições limitantes. Segundo os autores, a proposta de apresentar um valor crítico de referência de S não é igualmente válida e nem aplicável igualmente para todas as classes de solo.

Sendo assim, este estudo evidencia a fragilidade do uso do índice S como indicador da qualidade física do solo. Com base nesse fato, pode-se aplicar a constatação de que o uso do índice S necessita de cautela (LIER, 2012). Pois, segundo esse autor o valor desse índice como indicador, em termos absolutos, não determina a qualidade física de um solo. Segundo Lima et al. (2014), o valor do S pode ser usado como parâmetro complementar para a descrição morfológica do solo no campo. O resultado deste estudo contraria esse argumento uma vez como foi mencionado na Tabela 7, o índice S não apresentou nenhum grau de dependência com algum parâmetro.

**Tabela 7.** Resumo da análise de regressão múltipla da variável dependente: Índice S em Latossolo Vermelho Distrófico (LVd) e para o Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef), sob diferentes intensidades de tráfego (N= 60).

LVd	$\beta$	erro padrão de $\beta$	B	erro padrão de B	t (51)	nível de p
Intercepto			0,132	0,096	1,379	0,174 <sup>ns</sup>
DMG <sup>(B)</sup>	-1,036	0,628	-0,076	0,046	-1,649	0,105 <sup>ns</sup>
DMP	0,881	0,631	0,036	0,026	1,395	0,169 <sup>ns</sup>
Ds	-0,262	0,187	-0,051	0,036	-1,402	0,167 <sup>ns</sup>
Macro	-0,189	0,229	-0,100	0,121	-0,824	0,414 <sup>ns</sup>
Micro	-0,082	0,209	-0,055	0,141	-0,393	0,696 <sup>ns</sup>
Altura	0,191	0,193	0,023	0,023	0,993	0,325 <sup>ns</sup>
Diâmetro	0,027	0,151	0,000	0,001	0,181	0,857 <sup>ns</sup>
Produtividade	0,043	0,172	0,001	0,004	0,252	0,802 <sup>ns</sup>
LVef	$\beta$	erro padrão de $\beta$	B	erro padrão de B	t (51)	nível de p
Intercepto			0,327	0,494	0,663	0,510 <sup>ns</sup>
DMG <sup>(B)</sup>	0,678	0,837	0,074	0,092	0,810	0,421 <sup>ns</sup>
DMP	-0,779	0,836	-0,082	0,088	-0,932	0,356 <sup>ns</sup>
Ds	0,017	0,231	0,012	0,173	0,072	0,943 <sup>ns</sup>
Macro	-0,510	0,556	-0,552	0,602	-0,917	0,363 <sup>ns</sup>
Micro	-0,504	0,488	-0,658	0,637	-1,033	0,306 <sup>ns</sup>
Altura	0,078	0,174	0,034	0,076	0,449	0,655 <sup>ns</sup>
Diâmetro	0,059	0,155	0,001	0,004	0,385	0,701 <sup>ns</sup>
Produtividade	0,128	0,158	0,011	0,014	0,806	0,424 <sup>ns</sup>

No LVd:  $r=0,384$ ;  $R^2=0,148$ ;  $R^2$  ajustado= 0,014;  $F(8,51)=1,11$ ;  $p < 0,375$ ; erro padrão estimado= 0,031.

No LVef:  $r=0,294$ ;  $R^2=0,086$ ;  $R^2$  ajustado= -----;  $F(8,51)=0,60$ ;  $p < 0,772$ ; erro padrão estimado= 0,076.

A constatação de Silva et al. (2012), de que o índice S é uma boa ferramenta de diagnóstico da qualidade estrutural do solo, deve ser analisada com critério. Assim, como a afirmação de Cavalieri et al (2011) que justificam a indicação do índice S na avaliação da qualidade física do solo. Esses autores baseiam no simples fato do comportamento do S ter sido similar a um outro índice consolidado nesse tipo de avaliação, que é o intervalo hídrico. Como para se obter o índice S é necessário determinar a curva de umidade do solo, fazer o ajuste a equação de van Genuchten e obter a derivada segunda, sugere-se um caminho mais simples que é a determinação da porosidade do solo (LIER, 2012).

#### 4. CONCLUSÕES

Neste estudo, o DMG, DMP, Ds, macro, micro e altura de milho podem valer-se como indicadores de qualidade física do solo, pois foram sensíveis as alterações na estrutura do solo impostas pelo manejo adotado.

O índice S não pode ser utilizado com um parâmetro complementar ao DMG, DMP, Ds, macro, micro, altura, diâmetro e produtividade de milho em LVd e LVef, após a compactação induzida pelo tráfego de máquina agrícola.

A maioria dos valores do índice S foram superiores a 0,045, porém não é recomendável o uso desse como indicador absoluto da qualidade física do solo.

#### 5. AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudo ao primeiro autor.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, R.S.; STONE, L. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.4, p.382-388, 2009. DOI: [doi.org/10.1590/S1415-43662009000400003](https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000400003)

- ARATANI, R.G.; FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.3, p.677-687, 2009. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832009000300020](https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000300020)
- BALIN, N.M.; ZIECH, A.R.D.; OLIVEIRA, J.P.M.O.; GIRARDELLO, V.C.; STUMPF, L.; CONCEIÇÃO, P.C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Agraria**, v.18, n.3, p.85-94, 2017. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832011000500008](https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500008)
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.681-691, 2010. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832010000300009](https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000300009)
- BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W.H.; TORMENA, C.A.; FERREIRA, C.J.B.; SILVA, A.P.; GIAROLA, N.F.B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p.971-982, 2012. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832012000300027](https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300027)
- CAVALIERI, K.M.V.; CARVALHO, L.A.; SILVA, A.P.S.; LIBARDI, P.L.; TORMENA, C.A. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1541-1549, 2011. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832011000500008](https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500008)
- CUNHA, E.Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P. de B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.56-63, 2012. DOI: [doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008](https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008)
- CUNHA, E. Q.; STONE, L.F.; FERREIRA, E.P. de B.; DIDONET, A.D.; MOREIRA, J.A.A.; LEANDRO, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I-Atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.2, p.589-602, 2011. DOI: [dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200028](https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200028)
- DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part I. Theory. Effects of soil texture, density, and organic matter, effects on root growth. **Geoderma**, v.120, n.3-4, p.201-214, 2004. DOI: [doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.004)
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D.R.; HOPMANS, J.W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S. **Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo van Genuchten**. Soil water retention curve, SWRC (version 3.0 beta). Piracicaba: USP, 2001. Disponível em <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/soft.htm>>. Acesso em: 05 jul. 2021.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de Métodos de Análises de Solo**. 2. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 230p. Disponível em <<https://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/>>. Acesso em: 01 set. 2011.
- FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; DUARTE, A.P.; PERES, F.S.C. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. II-Intervalo hídrico ótimo e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.4, p.805-818, 2009. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832009000400006](https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400006)
- GIRARDELLO, V.C.; AMADO, T.J.C.; SANTI, A.L.; CHERUBIN, M.R.; KUNZ, J.; TEIXEIRA, T. DE G. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.4, p.1234-1244, 2014. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832014000400020](https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000400020)
- JARDINI, D.C.; AMORIM, R.S.S. Uso do índice S na avaliação da qualidade físico-hídrica de solos do cerrado mato-grossense. **Revista Engenharia Agrícola na Agricultura**, v.25, n.2, p.107-115, 2017. DOI: [doi.org/10.13083/reveng.v25i2.728](https://doi.org/10.13083/reveng.v25i2.728)
- KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distributions of aggregates. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 449-510.
- 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 & Tillage Research**, v.113, n.2, p.82-88, 2011. DOI: [doi.org/10.1016/j.still.2011.02.007](https://doi.org/10.1016/j.still.2011.02.007)
- LIER, Q.J. Van. **Índice "S": um indicador da qualidade física do solo?** Boletim Informativo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 37, 2012. p. 24-27.
- LIMA, R.P.; SILVA, A.R.; OLIVEIRA, D.M.S. Análise de trilha de atributos físicos ma resistência à penetração de um Latossolo Amarelo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.1, n.1, p.65-74, 2014. DOI: [doi.org/10.32404/rean.v1i1.216](https://doi.org/10.32404/rean.v1i1.216)
- LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C.; SILVA, E.M.R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.1, p.68-75, 2009. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100010](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000100010)

- MONCADA, M.P.; BALL, B.C.; GABRIELS, D.; LOBO, D.; CORNELIS, W.M. Evaluation of soil physical quality index S for some Tropical and Temperate medium-textured soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.79, n.1, p.9-19, 2015. DOI: [doi.org/10.2136/sssaj2014.06.0259](https://doi.org/10.2136/sssaj2014.06.0259)
- MOTA, P.K.; SILVA, B.M.; BORGHI, E.; VIANA, J.H.M.; RESENDE, A.V.; MOURA, M.S. Soil physical quality in response to intensification of grain production systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.10, p.647-655, 2020. DOI: [doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n10p647-655](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n10p647-655)
- NASCIMENTO, D.M.; CAVALIERI-POLIZELI, K.M.V.; SILVA, A.H.; FAVARETTO, N.; PARRON, L.M. Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. **Soil & Tillage Research**, v.186, n.8, p.292-299, 2019. DOI: [doi.org/10.1016/j.still.2018.08.016](https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.016)
- NUNES, M.R.; DENARDIN, J.E.; PAULETTO, E.A.; FAGANELLO, A.; PINTO, L.F.S. Effect of soil chiseling on soil structure and root growth for clayey soil under no-tillage. **Geoderma**, v.259-260, n.12, p.149-155, 2015. DOI: [doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.003](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.06.003)
- PINTO, L.C.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; POGGERE, G.C.; OWENS, P.R.; CURI, N. A hydrogeological approach to a mountainous Clayey Humic Dystrudept in the Mantiqueira Range, Southeastern Brazil. **Scientia Agrícola**, v.75, n.1, p.60-69, 2018. DOI: [doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0144](https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0144)
- RAIJ, B. VAN.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285p.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. **Tópicos em ciência do solo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 49-134.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; HORN, R.; HAAKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil & Tillage Research**, v.102, n.3, p.242-254, 2009. DOI: [doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002](https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.002)
- REYNOLDS, W.D.; DRURY, C.F.; TAN, C.S.; FOX, C.A.; YANG, X.M. Use of indicators and pore volume function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v.152, n.3-4, p.252-263, 2009. DOI: [doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009)
- ROSSETTI, K.V.; CENTURION, J.F. Use of S-index as a structural quality indicator for compacted Latosols cultivated with maize. **Revista Caatinga**, v.31, n.2, p.455-465, 2018. DOI: [doi.org/10.1590/1983-21252018v31n222rc](https://doi.org/10.1590/1983-21252018v31n222rc)
- ROSSETTI, K.V.; CENTURION, J.F.; SOUSA NETO, E. L. Physical quality of an Oxisol after different periods of management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.6, p.1522-1534, 2013. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832013000600009](https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000600009)
- SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 586p.
- SEKI, A.S.; SEKI, F.G.; JASPER, S.P.; SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H. Efeitos de práticas de compactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.3, p.460-468, 2015. DOI: [doi.org/10.5935/1806-6690.20150027](https://doi.org/10.5935/1806-6690.20150027)
- SILVA, S.G.C.; SILVA, A.P. DA; GIAROLA, N.F.B.; TORMENA, C.A.; SÁ, J.C.M. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.2, p.547-555, 2012. DOI: [doi.org/10.1590/S0100-06832012000200024](https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200024)
- SORACCO, C.G.; LOZANO, L.A.; VILLARREAL, R.; PALANCAR, T.C.; COLLAZZO, D.J.; SARLI, G.O.; FILGUEIRA, R.R. Effects of compaction due to machinery traffic on soil pore configuration. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.2, p.408-415, 2015. DOI: [doi.org/10.1590/01000683rbc20140359](https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140359)
- VOGELMANN, E.S.; MENTGES, M.I.; REICHERT, J.M.; ROSA, D.P. DA; BARROS, C.A.P. DE; REINERT, D.J. Compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo trafegado e escarificado. **Ciência Rural**, v.42, n.2, p.291-297, 2012. DOI: [doi.org/10.1590/S0103-84782012005000004](https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000004)
- YODER, R.E.A. Direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society Agronomy**, v.28, n.5, p.337-351, 1936. DOI: [doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x](https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x)