

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LEIKEN LAURIA WEBER

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB TRÁFEGO DE  
PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO

CURITIBA

2017

LEIKEN LAURIA WEBER

ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB TRÁFEGO DE  
PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientadora: Profa. Dra. Karina Maria Vieira Cavalieri Polizelli.

Co-orientador: Prof. Dr. Samir Paulo Jasper.

CURITIBA

2017

W373a Weber, Leiken Lauria  
Atributos físicos de um latossolo vermelho sob tráfego de pulverizador autopropelido / Leiken Lauria Weber. - Curitiba, 2017.  
46 p.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.  
Orientadora: Karina Maria Vieira Cavalieri Polizelli  
Coorientador: Samir Paulo Jasper

1. Solos - Compactação. 2. Latossolo vermelho. 3. Mecânica do solo. 4. Máquinas agrícolas (Pulverizador) - Solos. I. Polizelli, Karina Maria Vieira Cavalieri. II. Jasper, Samir Paulo. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.

CDU 631.431.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO  
Mestrado e Doutorado



## PARECER

A Banca Examinadora designada para avaliar a defesa da Dissertação de Mestrado de **Leiken Lauria Weber**, intitulada: "**Atributos físicos de um latossolo vermelho sob tráfego de pulverizador autopropeido**", do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após análise do texto e arguição da candidata, emitem parecer pela "**APROVAÇÃO**" da referida Dissertação. A candidata atende assim um dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração Solo e Ambiente**.

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 15 de dezembro de 2017.

Profa. Dra. Karina Maria Vieira Cavalieri Polizeli, Presidente

Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza, 1º. Examinador

Prof. Dr. Osvaldo Guedes Filho, 1º. Examinador

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria e por colocar pessoas tão especiais ao meu lado, sem as quais certamente não teria chegado até aqui.

À minha família, em especial aos meus pais, Ulderico Oscar Weber (in memoriam) e Odete Lamonatto, meu infinito agradecimento. Sempre acreditaram em minha capacidade e me incentivaram aos estudos, me ensinaram a fazer o melhor de mim.

À professora e minha orientadora, Dr<sup>a</sup>. Karina Maria Vieira Cavalieri Polizeli, pela oportunidade, pelo conhecimento adquirido, pelo despertar do interesse pela ciência, pela paciência e compreensão.

Agradeço ao professor Samir Paulo Jasper pela parceria no presente estudo e ensinamentos.

Aos professores de modo geral, pelo conhecimento compartilhado e oportunidades.

Aos amigos de sempre, agradeço ao companheirismo, à amizade, às conversas e ao apoio.

Aos colegas de mestrado, agradeço imensamente as trocas de conhecimento, as oportunidades, o apoio nas coletas de dados em campo, e companheirismo em laboratório, obrigada por sempre poder contar com vocês!

Aos funcionários da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio e dedicação para que o trabalho fosse realizado. Em especial à Josianne Meyer, técnica do laboratório de física do solo, pelo apoio com as análises de laboratório e pelo companheirismo.

Agradeço muito a CNH (Centro de Treinamento New Holland) pela parceria com a disponibilização do pulverizador autopropelido.

À equipe do LATA (Laboratório de Adequação de Tratores Agrícolas), pelo empenho e parceria na coleta de dados do pulverizador autopropelido.

A CAPES pelo suporte financeiro durante a minha permanência no Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná.

À Universidade Federal do Paraná, por ter me acolhido durante a graduação e pós-graduação, totalizando um período de sete anos, no qual me proporcionou muito conhecimento e despertou meu interesse científico. E por ter aberto as portas e concedido o espaço para a realização desta pesquisa.

Enfim, Obrigada a todos que fizeram parte desta caminhada!

## RESUMO

O uso intensivo de máquinas é o maior responsável pelo aumento da compactação de solos agrícolas, devido à dimensão e intensidade de tráfego das máquinas utilizadas no campo. Objetivou-se neste trabalho determinar os efeitos de intensidades de tráfego do pulverizador autopropelido sobre atributos físicos do solo. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Canguiri da Universidade Federal do Paraná, município de Pinhais-PR. O clima é classificado como Cfb, subtropical úmido sem estação seca e precipitação anual média de 1390 mm. O solo é um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico, textura argilosa, cultivado por mais de 10 anos com milho para silagem, sob sistema de preparo convencional. O pulverizador autopropelido utilizado foi o da marca Case, modelo Patriot 350. O ensaio foi conduzido em faixas com quatro tratamentos, sendo T0, T1, T3 e T7, correspondente à nenhuma, uma, três e sete passadas respectivamente, com 7 repetições. Foram analisados porosidade total, macro e microporosidade, densidade do solo, resistência do solo à penetração (RP) e estabilidade de agregados nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. As variáveis analisadas apresentaram diferenças estatísticas significativas até a profundidade de 0,20 m. O aumento da intensidade de tráfego do pulverizador autopropelido provocou a diminuição da porosidade total do solo e de macroporos, enquanto aumentou o volume de microporos. A densidade do solo apresentou maior valor médio de 1,37 Mg m<sup>-3</sup> no ensaio com 7 passadas na profundidade de 0,10-0,20 m. Houve redução no índice de estabilidade de agregados com a intensidade de tráfego. O maior valor de RP determinado em campo foi de 1,79 MPa com umidade de 0,32 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. O tráfego do pulverizador autopropelido provocou alterações nos atributos físicos do solo, compactando-o, porém não houve degradação física do solo.

Palavras-chave: Compactação, número de passadas, resistência à penetração.

## ABSTRACT

The intensive use of machines has been the largest responsible for increasing soil agricultural compaction, due to the dimension of the machines used in the field. This study had the goal to determine the effects of self-propelled sprayer traffic on soil physical attributes. The experiment was carried out in the Experimental Canguiri Farm of Paraná Federal University, Pinhais-PR. The climate is classified as Cfb, subtropical humid with no dry season and average annual precipitation of 1,390 mm. Soil is an Oxisol with clay textured, cultivated for more than 10 years with corn for silage, under a conventional tillage system. The self-propelled sprayer used was a Case model Patriot 350. The assay was conducted in four treatments, T0, T1, T3 and T7 corresponding to none, one, three and seven wheel passes, with seven replicates. The attributes evaluated were: total porosity, macroporosity and microporosity, bulk density, soil penetration resistance and aggregate stability. The results presented significant statistical differences until the depth of 0.20 m. The increasing of self-propelled sprayer passes number caused the decreasing of total soil porosity and macroporosity, while increased the volume of micropores. The bulk density presented mean value of  $1.37 \text{ Mg m}^{-3}$  in the 7 passes (T7) in the depth of 0.10-0.20 m. There was a reduction in the stability aggregates index with the number of passes. The highest PR value determined at field was 1.79 MPa with a moisture of  $0.32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . The self-propelled sprayer traffic caused changes in the soil physical attributes, occurring soil compaction but without characterize physical degradation.

Keywords: Compaction, pass number, penetration resistance.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	15
2.2 PREPARO DO SOLO.....	15
2.3 CARACTERIZAÇÃO DO PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO .....	16
2.4 CONDUÇÃO DO ENSAIO.....	18
2.5 AMOSTRAGEM DO SOLO .....	19
2.6 ANÁLISES LABORATORIAIS .....	21
2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	24
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	38
<b>5 REFERÊNCIAS</b> .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de máquinas e equipamentos agrícolas passou por mudanças circunstanciais nos últimos 50 anos, marcado pela trajetória tecnológica que mudou a maneira dos produtores agrícolas realizarem o cultivo no campo. Com isso, faz-se cada vez maior a necessidade de máquinas e equipamentos agrícolas, mais eficientes, pois o benefício principal da mecanização é o aumento da produtividade. Atualmente a mecanização agrícola deixa de ser uma opção e se torna regra, uma vez que países que desejam competir em âmbito global, esta se torna a única forma que permite maior competitividade no mercado (Vian et al., 2013).

As máquinas agrícolas são classificadas de acordo com o seu uso no campo e os pulverizadores são os implementos mais utilizados durante o ciclo de cultivo (Bauer e Pereira, 2005). De acordo com Casali et al. (2011) pulverizadores são máquinas agrícolas que visam aperfeiçoar a aplicação de defensivos, para atingir o alvo adequadamente.

A classificação dos pulverizadores se faz de acordo com sua capacidade operacional e fonte de propulsão, existindo distintos modelos que vão desde o tipo costal com propulsão humana aos pulverizadores autopropelidos, que possuem fonte própria de propulsão, alta tecnologia e elevada capacidade operacional (Casali, 2015). Segundo esse autor os pulverizadores autopropelidos são máquinas complexas, de grande porte, com alto desempenho, grande capacidade de reserva de calda que permitem a variação das barras de pulverização quanto à posição, o dimensionamento do vão livre e da bitola, operando entre as velocidades de 15 e 30 Km/h, podendo chegar à velocidade de trabalho de até 40 km/h, em condições favoráveis.

As operações com pulverizadores no campo dependem do volume de pulverização a ser utilizado, que é consequência da aplicação efetiva, impossível de ser pré-estabelecida, pois depende de alguns fatores como: o alvo desejado, o tipo de ponta utilizado, as condições climáticas, a arquitetura da planta e o tipo de produto a ser aplicado (ANDEF, 2010).

O número de operações com pulverizadores é variável para cada cultura, sendo que a soja, recebe em média oito pulverizações; o milho, cinco; o algodão, dezoito; e a cana-de-açúcar, três (Cordeiro, 2016).

O uso intensivo de máquinas tem sido o maior responsável pelo aumento da compactação de solos agrícolas (Hamza e Anderson, 2005), sendo uma das grandes preocupações da agricultura moderna, devido à dimensão das máquinas utilizadas rotineiramente no campo (Sivarajan et al., 2017).

A compactação ocorre quando as forças mecânicas impostas pelo tráfego das máquinas são superiores à capacidade de suporte do solo (Sampietro e Lopes, 2016), e é agravada com a intensidade de tráfego em condições inadequadas de umidade (Sampietro e Lopes, 2015), podendo ocorrer máxima compactação quando a umidade do solo estiver próxima à capacidade de campo (Reichert, 2010). A intensidade de tráfego das máquinas agrícolas é considerada um dos fatores que mais afetam a compactação do solo, sendo estudado por vários autores (Lipiec et al., 2012; Barik et al., 2014; Cortez et al., 2014; Ahmadi e Ghaur, 2015; Amaral et al., 2017).

A textura e o teor de carbono no solo também influenciam o solo quanto à compactação. A textura determina o atrito entre as partículas do solo e o tipo de ligação entre elas (Lima et al., 2013), quanto maiores as partículas do solo, menor sua compressibilidade e agregação (Macedo et al., 2010). O carbono pode aumentar a estabilidade da estrutura do solo e diminuir a densidade, uma vez que as partículas orgânicas apresentam baixo peso molecular, sendo menor que a densidade dos sólidos do solo (Libardi, 2005; Braida et al., 2006).

A compactação interfere na densidade, porosidade, resistência do solo à penetração de raízes, dificulta o desenvolvimento de plantas e a dinâmica de água e nutrientes do solo (Cortez et al., 2014; Rossetti e Centurion, 2017), além de restringir a dinâmica dos gases (Aksakal e Oztas, 2010; Botta et al., 2010). Seus efeitos podem alterar importantes funções do solo relacionadas à infiltração, drenagem e capacidade de retenção de água, contribuindo para o escoamento superficial e erosão (Barik et al., 2014; Taghavifar e Mardani, 2014).

De acordo com Moraes et al. (2013) a identificação da magnitude e profundidade da compactação do solo pelo tráfego é importante para escalar o peso das máquinas agrícolas ou indicar práticas de manejo adequadas para aumentar a capacidade de suporte de carga do solo.

Segundo Cavalieri et al. (2008) as distintas cargas mecânicas aplicadas ao solo alteram seu arranjo estrutural, modificam a densidade e a distribuição dos poros. Neste sentido, a densidade do solo, a distribuição do tamanho dos poros, a resistência à penetração e a estabilidade de agregados são amplamente utilizados como indicadores de compactação do solo (Barik et al., 2011; Wendling et al., 2012; Stefanoski et al., 2013; Feitosa et al., 2015; Moraes et al., 2016).

O volume de poros do solo é facilmente perturbado na presença de fatores externos como o preparo do solo e a compactação (Stamati et al., 2013). A alteração estrutural do solo promove mudanças na porosidade, ocorrendo a redução do volume de macroporos e conseqüentemente da porosidade total (Cortez et al., 2014; Feitosa et al., 2015), em alguns casos há o aumento da microporosidade (Beutler et al., 2005; Schäffer et al., 2007; Souza et al., 2010; Souza et al., 2015).

Segundo Beutler et al. (2005) os poros resultam do arranjo estrutural das partículas do solo, que pode ser decorrente da fragmentação dos agregados pelo tráfego de máquinas, pois estas apresentam cargas superiores à máxima resistência interna dos agregados contribuindo para menor estabilidade dos mesmos. Já Dexter (1988) considera que durante a compactação, a estrutura do solo passa por alterações, sendo que os agregados do solo podem se reorganizar, podendo apresentar pouca estabilidade ocorrendo fraturas e as partículas das fraturas podem preencher os espaços entre agregados; e ainda a plasticidade do solo pode criar áreas de contato entre agregados.

O tráfego de máquinas agrícolas contribui para a alteração da estrutura do solo modificando o tamanho e a estabilidade dos agregados, sendo os microagregados classificados como os mais estáveis e menos suscetíveis às práticas agrícolas de manejo do que os macroagregados (Wendling et al., 2012), pois os microagregados são oriundos da união de partículas primárias livres e

agregados de tamanho silte, quais são unidos por agentes ligantes permanentes (matéria orgânica humificada, óxidos e aluminossilicatos), enquanto que os macroagregados provém da união de microagregados por agentes ligantes temporários (raízes ou hifas de fungos) e transientes (polissacarídeos derivados de microorganismos ou plantas) (Salton et al., 2008).

De acordo com Beutler et al. (2006) o aumento na compactação em função da intensidade de tráfego de máquinas agrícolas sobre o solo aumenta a densidade do solo, que possui relação estreita com a maioria dos atributos físicos. As pesquisas apontam que o seu aumento proporciona a diminuição da porosidade total, da macroporosidade, o conseqüente aumento da microporosidade, o aumento da resistência mecânica do solo à penetração e a diminuição da estabilidade de agregados do solo (Barik et al., 2014; Cortez et al., 2014; Ahmadi e Ghaur 2015).

A resistência do solo à penetração (RP) é o atributo utilizado na maioria das pesquisas para avaliar a compactação do solo (Keller et al., 2015), por estar diretamente relacionado ao crescimento das plantas (Letey, 1985; Imhoff et al., 2000). Segundo Ehlers (1983) os valores de RP podem variar. Valores impeditivos ao crescimento radicular de culturas de 2 MPa (Taylor et al. 1966) são muito utilizados (Tormena et al., 1998; Hamza e Anderson, 2005; Neiva Junior et al., 2015; Sivarajan et al., 2017)

Devido ao intenso uso de máquinas no sistema agrícola e seus efeitos sobre o solo, a busca por alternativas tecnológicas, que possibilitam o manejo correto do solo vem crescendo nas últimas décadas. Com isso, a recomendação do uso correto de equipamentos que disponham de máximo rendimento e menor custo operacional têm sido evidenciados no meio agrícola (Nagaoka et al., 2003; Bauer et al., 2009; Berisso et al., 2013). Assim os pulverizadores autopropelidos são apresentados pelos fabricantes como máquinas de alto rendimento, que causam baixa compactação do solo. Porém, as pesquisas em maioria são direcionadas a tratores (Lipiec et al., 2012; Cortez et al., 2014; Amaral et al., 2017) e implementos de arrasto (Raghavan et al., 1976; Soane et al., 1980; Yavuzcan et al., 2005), havendo uma escassez de dados científicos para pulverizadores autopropelidos.

Assim a hipótese deste trabalho é que o pulverizador autopropelido não causa compactação do solo, independentemente da intensidade de tráfego ou número de passadas realizadas durante uma safra. Objetivou-se, portanto, determinar os efeitos do tráfego do pulverizador autopropelido sobre atributos físicos do solo, indicando a ocorrência de compactação e degradação física do solo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Canguiri da Universidade Federal do Paraná, município de Pinhais-PR, nas coordenadas geográficas: -25°22'38" e -25°24'46" S, -49°09'05" e -49°06'40" O. O clima de acordo com Alvares et al. (2013) é classificado como Cfb, subtropical úmido sem estação seca e precipitação anual média de 1390 mm. O município de Pinhas localiza-se no primeiro planalto paranaense à 893 m de altitude em relação ao nível do mar, e pertence à formação geológica Guabirotuba (Salamuni e Stellfeld, 2001).

O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distrófico húmico, textura argilosa (Oliveira Junior et al., 2010) e cultivado por mais de 10 anos com milho para silagem, sob sistema de preparo convencional. Características do solo são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1-CARACTERÍSTICAS DO LATOSSOLO VERMELHO: TEXTURA, TEOR DE CARBONO, DENSIDADE DE PARTÍCULA (DP) E UMIDADE VOLUMÉTRICA ( $\theta$ ) NO MOMENTO DO ENSAIO.

Profundidade	Argila	Silte	Areia	Carbono	Dp	$\theta$
m	g kg <sup>-1</sup>				Mg.m <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup>
0,00-0,10	606	115	279	28,97	2,69	0,337
0,10-0,20	610	108	282	29,99	2,75	0,425
0,20-0,30	628	105	267	21,93	2,75	0,455
0,30-0,40	634	95	271	16,17	2,78	0,467

FONTE: A autora (2017).

### 2.2 PREPARO DO SOLO

O solo foi preparado com intervalos de 90 dias. O primeiro preparo foi realizado no mês de maio de 2016, com subsolador da marca Marchesan, modelo Asamatic 450, acoplado ao trator da marca New Holland, modelo T7 260, a uma profundidade de trabalho de 0,40 m. Em agosto do mesmo ano foi realizada uma

gradagem superficial de aproximadamente 0,10 m com uma grade aradora da marca Marchesan, acoplada ao trator New Holland 7630. As operações foram realizadas a fim de eliminar possíveis camadas compactadas e plantas invasoras. O solo permaneceu em pousio até a realização do ensaio com o pulverizador autopropelido, que ocorreu 70 dias após o último preparo.

### 2.3 CARACTERIZAÇÃO DO PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO

O pulverizador autopropelido utilizado foi o da marca Case, modelo Patriot 350, com suspensão hidráulica ativa, tanque de produto com capacidade para 3500 litros e tanque de combustível com capacidade para 454 litros (Figura 1). Durante o ensaio do pulverizador, o tanque de combustível estava com  $\frac{1}{4}$  de sua capacidade e o tanque de produto com capacidade máxima.

A pesagem do pulverizador foi realizada em balanças de plataforma da marca CELMIG, composta por quatro sapatas, modelo CM-1002 (Figura 2). O peso total do pulverizador foi de 13.486 kg.

Os pneus montados no pulverizador foram do modelo 380/90R46 157A8/157B TL com largura de 0,405 m, diâmetro de 1,833 m e circunferência de 5,486 m, com calibragem de 372,31 kPa para todos os pneus.

FIGURA 1-PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO CASE PATRIOT 350



FONTE: A autora (2017).

FIGURA 2-PESAGEM PULVERIZADOR EM BALANÇAS DE PLATAFORMA DA MARCA CELMIG, COMPOSTA POR QUATRO SAPATAS, MODELO CM-1002.



FONTE: A autora (2017).

A área de contato dos pneus foi medida a partir da impressão do pneu sobre o solo em todas as rodas do pulverizador. O contorno dos pneus foi marcado com serragem, a fim de delimitar suas impressões (Figura 3). As impressões deixadas no solo foram registradas em fotografias digitais e analisadas utilizando o software AutoCAD 2011, no qual foi realizada a correção da escala e a determinação das áreas de contato.

FIGURA 3-IMPRESSÃO DA ÁREA DE CONTATO DO PNEU TRASEIRO ESQUERDO DO PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO.



FONTE: A autora (2017).

A pressão média de contato do rodado com o solo foi obtida pela relação entre a massa total da máquina e a área de contato dos pneus com o solo, utilizando a Equação 1 descrita por Mialhe (1980). A pressão de contato dos pneus com o solo obtidas foram de 213,87; 209,87; 220,90; e 216,49 kPa para os pneus dianteiro direito (DD), traseiro direito (TD), dianteiro esquerdo (DE) e traseiro esquerdo (TD).

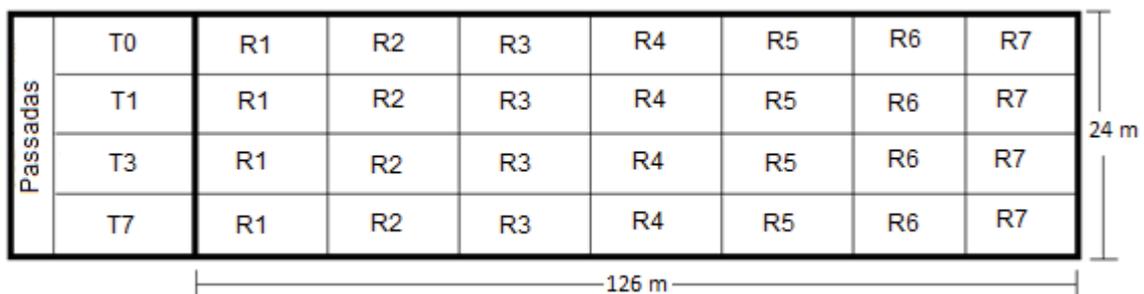
$$Pm = \frac{W}{S} \quad (1)$$

Em que Pm é a pressão média aplicada ao solo pelo rodado (KPa); W é a carga suportada pelo rodado (N); e S a área de contato do pneu (m<sup>2</sup>).

## 2.4 CONDUÇÃO DO ENSAIO

O ensaio foi realizado em área de 3.024 m<sup>2</sup>, sendo 126 m de comprimento por 24 m de largura. Conduzido em faixas e distribuído em quatro tratamentos: T0 - nenhuma passada do pulverizador autopropelido; T1 - uma passada; T3 - três passadas; e T7 - sete passadas; e sete repetições (Figura 4).

FIGURA 4-ESQUEMA DA ÁREA EXPERIMENTAL, CONTENDO A DISPOSIÇÃO DOS TRATAMENTOS (T0, T1, T3 E T7) E REPETIÇÕES (R1 A R7) DAS PASSADAS DO PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO.



FONTE: A autora (2017).

Devido à grande variação do número de pulverizações realizadas nas diversas culturas anuais, o número de passadas foi escolhido considerando um valor médio entre três e sete pulverizações, que são mais usuais para produção de culturas nas lavouras brasileiras. Contudo, não há um dado específico sobre o número de pulverizações realizado.

O tráfego do pulverizador foi realizado de forma que os pneus dianteiros e traseiros passassem na mesma área em passadas sobrepostas, com velocidade média operacional de  $8,33 \text{ m s}^{-1}$  e com as barras de aplicação do pulverizador abertas.

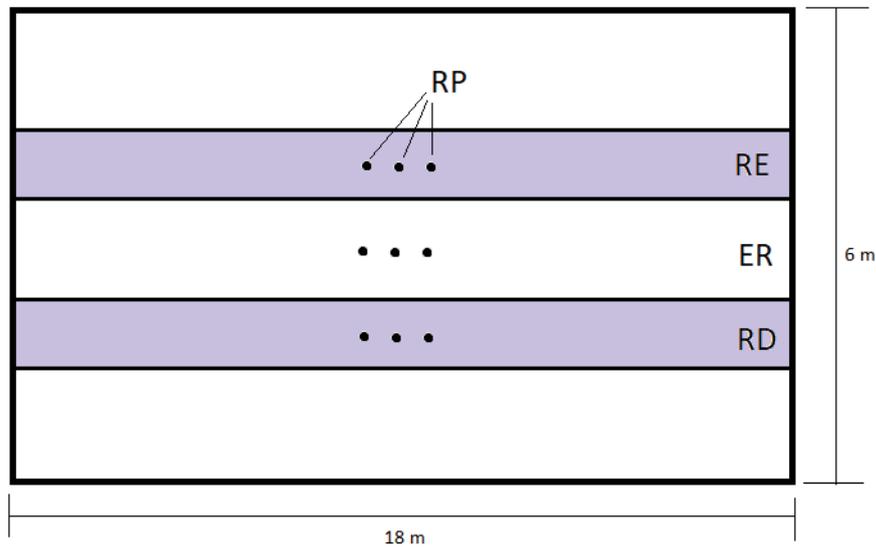
A umidade no momento do ensaio estava próxima à capacidade de campo (Tabela 1), que geralmente ocorre dois ou três dias após uma chuva ou irrigação, em solos permeáveis e de estrutura e textura uniformes (Aguiar Netto et al., 1999).

## 2.5 AMOSTRAGEM DO SOLO

Imediatamente após os ensaios de tráfego, foi coletada uma amostra de solo deformada em cada parcela, com auxílio de um trado calador nas camadas de 0-0,10, 0,10-0,20, 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório para determinação da umidade no momento do ensaio.

Dados de resistência à penetração (RP) de campo foram coletados no dia seguinte ao ensaio, com penetrômetro digital de campo Eijkelkamp, e novamente realizada a coleta de solo para umidade até a profundidade de 0,40 m. A amostragem foi realizada em três pontos: rodado direito (RD), entrerrodados (ER) e no rodado esquerdo (RE) (Figura 5), em cada repetição dos tratamentos, sendo três inserções por ponto amostrado, totalizando 252 inserções em toda área experimental, com o mesmo operador.

FIGURA 5-ESPACIALIZAÇÃO DOS PONTOS DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (RP) EM CADA PARCELA EXPERIMENTAL: RD – RODADO DIREITO; ER – ENTRERRODADOS; RE - RODADO ESQUERDO DO PULVERIZADOR.



FONTE: A autora (2017).

Após 30 dias da realização do ensaio com o pulverizador foi realizada a amostragem com a abertura de trincheiras em camadas de solo nas profundidades de 0-0,10 m, 0,10-0,20 m, 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m (Figura 6). Foram coletadas amostras indeformadas em cilindros metálicos de 0,034 m de altura por 0,047 m de diâmetro interno, nas mesmas posições da Figura 4, totalizando 336 amostras. As amostras permitiram determinar a densidade do solo ( $D_s$ ), porosidade e RP em laboratório.

Monólitos foram coletados no RD e ER com o auxílio de uma pá reta, nas dimensões de 0,10 m de profundidade por 0,10 m de largura por 0,10 m de comprimento. O material foi armazenado em sacos plásticos e transportado até o laboratório sem sobreposição para não ocorrer deformação dos agregados. Além das amostras para análise de agregação foram retiradas dos monólitos alíquotas deformadas para a realização de análises de granulometria, densidade de partículas e teor de carbono.

FIGURA 6-TRINCHEIRAS ABERTAS EM CAMADAS DE SOLO, NAS POSIÇÕES DOS RODADOS E ENTERRERRODADOS.



FONTE: A autora (2017).

## 2.6 ANÁLISES LABORATORIAIS

As amostras de solo sem estrutura preservada, para determinação da umidade, tanto no momento do ensaio quanto na coleta de dados para RP, foram levadas ao laboratório, retiradas dos sacos plásticos e determinadas às respectivas massas de solo úmido. Em seguida, foram levadas à estufa a 105° C e secas durante 48 horas. Após a secagem determinou-se a massa de solo seco para o cálculo da umidade gravimétrica.

Para determinação do carbono as amostras foram secas a 40 °C, destorroadas e passadas em peneiras com malha de 2 mm e armazenadas em sacos plásticos até o momento das análises. O carbono foi determinado com método colorimétrico desenvolvido por Cantarella et al. (2001).

O preparo das amostras para a determinação da textura do solo e densidade de partículas foi o mesmo. As amostras foram levadas a estufa em 105 °C, peneiradas em malha de 2 mm e embaladas em sacos plásticos até o momento das análises. A textura do solo foi determinada com o método do densímetro de Bouyoucos (Gee e Bauder, 1986), baseando-se na Lei de Stokes. A densidade de

partículas ( $D_p$ ) foi obtida com o método do balão volumétrico modificado, descrito em Gubiani et al. (2006).

As amostras de solo com estrutura indeformada foram saturadas em bandeja até a água atingir cerca de 2/3 da altura da amostra. Após a saturação, as amostras foram submetidas ao potencial de -10 kPa, em câmara de Richards, usado como equivalente à umidade retida na microporosidade, medindo-se a massa úmida das amostras ao atingirem o equilíbrio no referido potencial. Posteriormente, as mesmas amostras foram saturadas novamente, e equilibradas no potencial de -2 kPa. Após atingirem o equilíbrio, as mesmas foram preparadas para a determinação da resistência à penetração (RP) em laboratório, utilizando um penetrômetro de bancada desenvolvido por Figueiredo et al. (2011).

O preparo das amostras foi realizado de acordo com Moreira et al. (2014), adaptando tempos de secagem em estufa a 60 °C. Foram tomados 6 diferentes tempos de secagem, sendo eles: 20, 100, 180, 260, 340 e 420 minutos. Cada tempo de secagem foi composto por 48 amostras, sendo 12 amostras de cada tratamento. Após a obtenção dos dados de RP, as amostras foram secas em estufa a 105 °C para determinar a massa de solo seco. A curva de resistência do solo à penetração (CRS) foi ajustada considerando um modelo não-linear, conforme Busscher (1990), descrito na Equação 2.

$$RP = a\theta^b D_s^c \quad (2)$$

Em que RP: resistência do solo à penetração (MPa);  $\theta$ : conteúdo de água do solo ( $m^3 m^{-3}$ );  $D_s$ : densidade do solo ( $Mg m^{-3}$ ); e a, b e c: coeficientes obtidos no ajuste do modelo aos dados.

De acordo com Grossman & Reinsch (2002), utilizando o método do anel volumétrico foi determinada a densidade do solo ( $D_s$ ), utilizando a Equação 3.

$$D_s = \frac{M_s}{V_t} \quad (3)$$

Em que  $D_s$ : densidade do solo seco ( $\text{Mg m}^{-3}$ );  $M_s$ : massa de solo seco (Mg);  $V_t$ : Volume total do anel volumétrico ( $\text{m}^{-3}$ ).

A porosidade total foi obtida utilizando a densidade de partículas de acordo com a Equação 4.

$$\alpha = \left(1 - \frac{D_s}{D_p}\right) 100 \quad (4)$$

Em que,  $\alpha$ : porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ );  $D_s$ : densidade do solo seco ( $\text{Mg m}^{-3}$ );  $D_p$ : densidade de partícula ( $\text{Mg m}^{-3}$ ).

A macroporosidade foi determinada pela diferença entre porosidade total e microporosidade de acordo com Reichardt e Timm (2004).

O preparo das amostras para a determinação da estabilidade de agregados foi realizado ainda com a umidade de campo. As amostras foram destorroadas manualmente até passar por peneira de malha de 8,00 mm e, posteriormente, foram secas em estufa a 40 °C.

O diâmetro médio ponderado via seca (DMPs) foi determinado com as amostras de solo sendo passadas em jogo de peneiras de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm, em um agitador eletromagnético, na frequência de 100 rpm durante 10 minutos, utilizando a Equação 5 (Kemper e Rosenau, 1986). Posteriormente, as amostras foram armazenadas em potes plásticos conforme cada classe de agregados.

$$DMP_s = \sum_{i=1}^a (x_i \cdot w_i) \quad (5)$$

Em que DMPs; diâmetro médio ponderado seco;  $x_i$  = diâmetro médio das classes (mm); e  $w_i$  = proporção (%) de cada classe de agregados em relação ao total de classes.

Para realizar as análises de diâmetro médio ponderado via úmida (DMPu) foi realizada a recomposição de 50 g de solo mantendo o peso proporcional de cada classe de agregados secos. Peneiras com as mesmas malhas utilizadas para

determinação dos agregados secos foram submersas em água, sem o umedecimento prévio do solo (processo slaking), com o auxílio do aparelho de Yoder (1936), as amostras foram agitadas durante 10 minutos. O solo retido em cada peneira foi seco a 105 °C durante 24 h. Posteriormente, foi determinada a massa e a percentagem de agregados estáveis em cada classe de agregados, e calculou-se o DMPu de acordo com a Equação 6 (Kemper e Rosenau, 1986).

$$DMPu = \sum_{i=1}^a (xi.wi) \quad (6)$$

Em que DMPu: diâmetro médio ponderado úmido; xi = diâmetro médio das classes (mm); e wi= proporção (%) de cada classe de agregados em relação ao total de classes.

O diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado de acordo Demarchi et al. (2011), com a Equação 7.

$$DMG = \exp \left\{ \frac{\sum [\ln(xi) \times PI]}{\sum PI} \right\} \quad (7)$$

O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi calculado segundo Wendling et al. (2005), com a Equação 8.

$$IEA = \frac{DMPu}{DMPs} \quad (8)$$

Em que IEA: índice de estabilidade de agregados; DMPu: diâmetro médio ponderado úmido; e DMPs: diâmetro médio ponderado seco.

## 2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos à análise de variância (Anova) e ao teste Tukey a 5% de probabilidade para comparação entre médias. A significância dos coeficientes da CRS foi atribuída quando não houve ocorrência do valor zero dentro dos limites de confiança (Glantz & Slinker, 1990). As análises foram realizadas com o software

SAS (SAS, 2000). Para análise de estabilidade de agregados foi utilizado o erro padrão, pela ferramenta de análise de dados do software Microsoft Excel (2010).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo (Ds) apresentou incremento de acordo com o aumento da intensidade de tráfego nos rodados, nas profundidades 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m (Tabela 2).

TABELA 2-VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE DO SOLO (DS) NOS RODADOS E ENTERRRODADOS DE ACORDO COM O NÚMERO DE PASSADAS DO PULVERIZADOR NO LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO HÚMICO.

Profundidade 0,00-0,10 m				
	T0	T1	T3	T7
	Mg.m <sup>-3</sup>			
Rodado	1,32 a	1,17 bc	1,26 ab	1,32 a
Enterrrodado	1,06 a	1,11 a	1,07 a	0,99 a
Profundidade 0,10-0,20 m				
	T0	T1	T3	T7
	Mg.m <sup>-3</sup>			
Rodado	1,29 b	1,30 ab	1,33 ab	1,37 a
Enterrrodado	1,29 a	1,26 a	1,26 a	1,27 a
Profundidade 0,20-0,30 m				
	T0	T1	T3	T7
	Mg.m <sup>-3</sup>			
Rodado	1,27 a	1,25 a	1,25 a	1,22 a
Enterrrodado	1,23 a	1,25 a	1,29 a	1,21 a
Profundidade 0,30-0,40 m				
	T0	T1	T3	T7
	Mg.m <sup>-3</sup>			
Rodado	1,19 a	1,14 ab	1,07 b	1,10 ab
Enterrrodado	1,19 a	1,13 a	1,12 a	1,07 a

Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, comparativamente em cada profundidade e em cada posição. T0=0 passada; T1= 01 passada; T3=03 passadas; e T7=07 passadas.

FONTE: A autora (2017).

A camada superficial do solo apresentou diferenças significativas nos tratamentos T3 e T7 com relação à área não trafegada, apresentando maior valor médio de 1,32 Mg m<sup>-3</sup> no ensaio com 7 passadas. Os resultados estão de acordo com os encontrados por Cortez et al. (2014), que ao analisar o tráfego de diferentes tratores com diferentes distribuições de cargas observou aumento crescente de Ds, conforme a intensidade do tráfego na profundidade até 0,10 m, em Argissolo Amarelo.

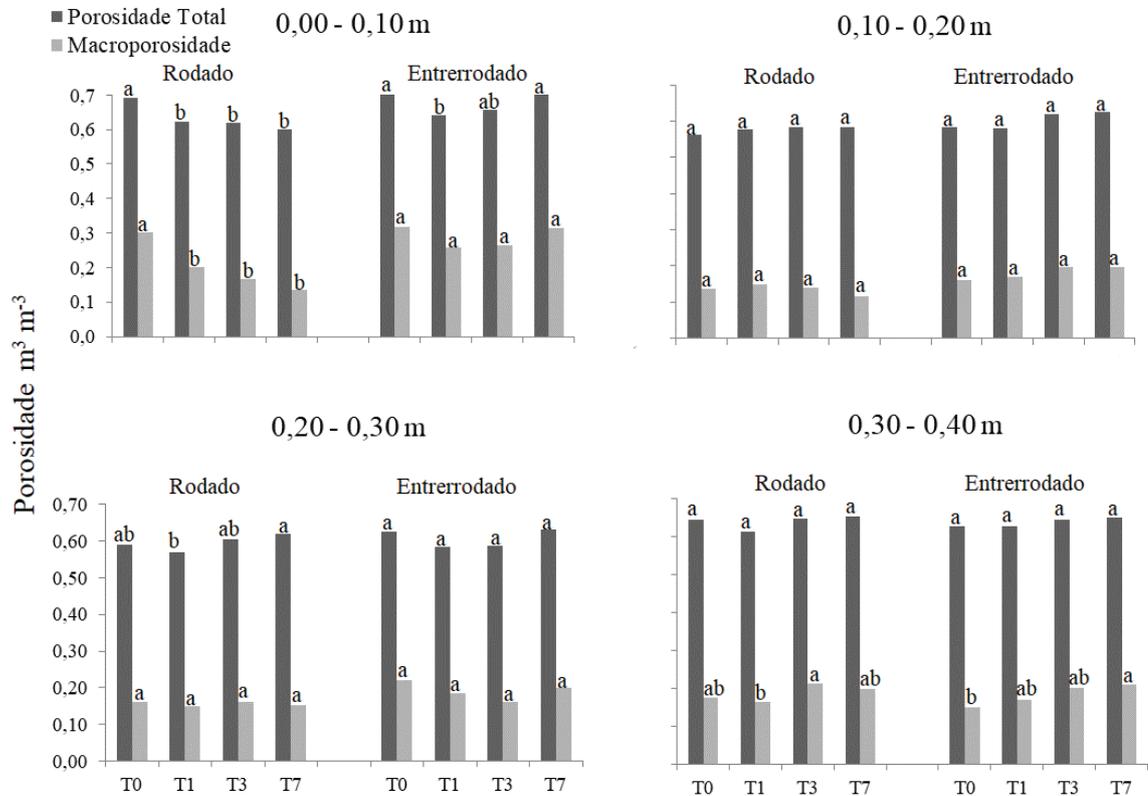
A profundidade de 0,10-0,20 m apresentou resultados estatisticamente diferentes apenas em T7 ( $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$ ), para o rodado. Os tratamentos T0, T1 e T3 não apresentaram diferenças estatísticas. Bonini et al. (2011), ao avaliar a intensidade de tráfego (1, 3 e 5 passadas) de um rolo compactador, sobre um Latossolo argiloso e seus efeitos sobre a produtividade do trigo, observaram o aumento significativo da Ds em todas as camadas avaliadas até 0,30 m, e em todas as passadas, com os maiores valores na camada de 0,10-0,20 ( $1,39 \text{ Mg m}^{-3}$ ). De forma similar, os maiores valores de Ds também foram obtidos nesta camada para a maior intensidade de tráfego, sugerindo que o pulverizador autopropelido proporciona transmissão de carga alterando a Ds até 0,10-0,20 m, no Latossolo estudado.

A compactação depende da umidade do solo, implicando em maior ou menor capacidade de suporte de carga, conforme o conteúdo de água no momento do tráfego. Os ensaios de tráfego com o pulverizador autopropelido foram realizados sob umidade elevada, próximo à capacidade de campo, condição favorável à compactação do solo. Ahmadi e Ghaur (2015) em estudo avaliando o efeito do tráfego de um trator John Deere 3350 em solo argiloso, com diferentes níveis de umidade e tráfego, observaram maiores valores de Ds onde ocorreram maiores valores de umidade, chegando a média máxima de  $1,78 \text{ Mg m}^{-3}$  na quarta passada do trator. No presente estudo os maiores valores de Ds não ultrapassaram  $1,37 \text{ Mg m}^{-3}$ , valor abaixo do que Reichert et al. (2009) propõem como valores de Ds associados à compactação com riscos de restrição ao crescimento radicular, situando-se acima de  $1,53 \text{ Mg m}^{-3}$  em solos com teores de argila em torno dos 60%.

O aumento da intensidade de tráfego do pulverizador autopropelido provocou a diminuição da porosidade total do solo ( $\alpha$ ) em 13% em T7 e de 10% em T1 e T3, apresentando diferenças significativas quando comparados com T0. Porém entre os tratamentos T1, T3 e T7 não houve diferença significativa.

A mesma tendência foi verificada com o volume de macroporos, com redução de 33, 43 e 53% para T1, T3 e T7 respectivamente (Gráfico 1).

GRÁFICO 1-POROSIDADE TOTAL E MACROPOROSIDADE NAS PROFUNDIDADES AVALIADAS SOB INTENSIDADES DE TRÁFEGO DO PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO.



T0 = nenhuma passada; T1 = 01 passada; T3 = 03 passadas; e T7 = 7 passadas. Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, comparativamente em cada profundidade e em cada posição.

FONTE: A autora (2017).

Em contrapartida, foi possível verificar leve aumento no volume de microporos de 7,69; 15,38; e 17,94 % respectivamente para T1, T3 e T7. No entanto, esse aumento foi estatisticamente significativo nos ensaios com 3 e 7 passadas comparados com a área não trafegada (T0). Esse resultado, difere do de Amaral et al. (2017), que ao avaliar o efeito da intensidade de tráfego (0, 4, 6 e 8 passadas) de um trator de 9,9 Mg em Latossolo Vermelho de textura argilosa, os autores não observaram diferenças significativas para os resultados de microporosidade.

Silva e Kay (1997) relatam que a microporosidade sofre muita influência da textura e do teor de C orgânico do solo, e pouco é influenciada pelo aumento da Ds,

originada do tráfego de máquinas e implementos agrícolas. Porém, o estudo revela que a microporosidade teve efeito do tráfego na camada superficial do solo.

A redução da macroporosidade também foi observada por Lipiec et al. (2012), em área de plantio convencional de longo prazo (30 anos) com rotação de culturas de cevada, trigo e leguminosas, submetidos à intensidade de tráfego de um trator agrícola de massa 3,4 Mg, com tratamentos de compactação de 0, 3 e 5 passadas. Os resultados apontaram a diminuição da porosidade total da camada arada (0,05-0,15 m), de 38% para 34,7% e 33,2% respectivamente.

Barik et al. (2014), ao estudar o efeito da compactação sobre os atributos físicos do solo, antes e depois do tráfego de máquinas no cultivo convencional de milho para silagem, observou que na profundidade de 0,00-0,10 m, a porosidade total após o tráfego de máquinas apresentou decréscimo de 12,1%, enquanto que nas profundidades 0,10–0,20 m e 0,20–0,30 m houve decréscimo de 5,5% e 6,6%, respectivamente, evidenciando que a camada superficial do solo sofre maior efeito da intensidade de tráfego.

Embora tenha havido o decréscimo de porosidade do solo, observa-se que não há aeração do solo deficiente, uma vez que todos os resultados mantiveram o volume de macroporos acima de 10% (Grable e Siemer, 1968). Segundo Prevedelo e Armindo (2015), para as plantas terem um bom desenvolvimento, a porosidade de aeração do solo não deve ser menor que 10 a 15%. Enquanto, Klein (2014) considera que a macroporosidade do solo menor que 10% impõe limites ao completo desenvolvimento radicular das plantas.

Pelo contrário, há um excesso de macroporosidade no Entrerrodados, principalmente na camada de 0-0,10 m, reduzindo a proporção de retenção de água no solo pelos microporos, devido ao preparo convencional realizado na camada. Isso também pode ser verificado no Rodado para o T0.

Para as camadas subjacentes atribui-se o alto valor médio de macroporosidade ao Latossolo Vermelho, que tem por característica alta macroporosidade, advinda da estrutura predominantemente granular presente nestes solos.

A umidade na capacidade de campo foi atribuída ao potencial de -10 kPa, correspondendo ao valor médio de  $0,44 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no rodado;  $0,42 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no entrerrodado;  $0,43 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no solo não trafegado e  $0,45 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  no solo trafegado. Desta forma, o aumento do tráfego na camada de 0-0,10 m acabou contribuindo para aumentar a retenção de água no Rodado, mesmo havendo redução da porosidade total, gerando um efeito positivo da compactação do solo sob preparo convencional, visto que o revolvimento do solo pode sim deixar o solo muito desagregado. Beutler et al. (2002) ao estudar a retenção de água em Latossolos sob diferentes usos, afirma que o aumento da densidade do solo apresenta efeitos positivos na retenção de água no solo.

Os resultados de agregação do solo indicam que na camada superficial do solo, por onde o pulverizador trafegou, houve aumento dos valores de DMPu, DMPs e DMG à medida que aumentou o número de passadas do pulverizador (Tabela 3), ocorrendo diferenças significativas em T3 e T7, quanto à área não trafegada (T0).

TABELA 3-DADOS MÉDIOS DE DMPU E DMPS NOS RODADOS E ENTERRERRODADOS DO TRÁFEGO DO PULVERIZADOR AUTOPROPELIDO.

Tratamento	Rodados			Entrerrodados		
	DMPu	DMPs	DMG	DMPu	DMPs	DMG
0,00 – 0,10 m						
T0	1,66 c	2,08 b	0,77 b	1,63 a	2,09 b	0,77 b
T1	1,98 bc	2,82 ab	0,90 b	2,04 a	2,61 ab	0,95 ab
T3	2,40 ab	3,53 a	1,22 a	2,26 a	3,21 a	1,07 a
T7	2,51 a	3,56 a	1,24 a	2,32 a	3,19 a	1,14 a
0,10 – 0,20m						
T0	1,56 b	2,21 b	0,74 b	1,47 b	2,20 b	0,72 b
T1	2,30 a	3,20 a	1,20 a	2,43 a	3,30 a	1,26 a
T3	2,09 ab	3,51 a	1,10ab	2,10 a	3,49 a	1,13 a
T7	2,12 ab	3,40 a	1,08ab	2,10 a	3,32 a	1,07 ab
0,20 – 0,30 m						
T0	1,80 a	2,64 b	0,92 c	1,80 a	2,64 b	0,94 a
T1	2,16 a	3,39 a	1,27 a	2,16 a	3,39 a	1,29 a
T3	1,86 a	3,48 a	1,10 b	1,86 a	3,48 a	1,12 a
T7	1,96 a	3,33 a	1,10 b	1,96 a	3,33 a	1,10 a

0,30 – 0,40 m						
T0	1,83 a	2,43 b	0,99 a	1,83 a	2,43 b	1,00 a
T1	2,19 a	3,32 a	1,17 a	2,19 a	3,32 a	1,25 a
T3	2,37 a	3,45 a	1,43 a	2,37 a	3,45 a	1,43 a
T7	2,11 a	3,15 a	1,02 a	2,11 a	3,15 a	1,21 a

Letras diferentes indicam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, comparativamente em cada profundidade e em cada posição. T0 = nenhuma passada; T1= 01 passada; T3=03 passadas; e T7=7 passadas.

FONTE: A autora (2017).

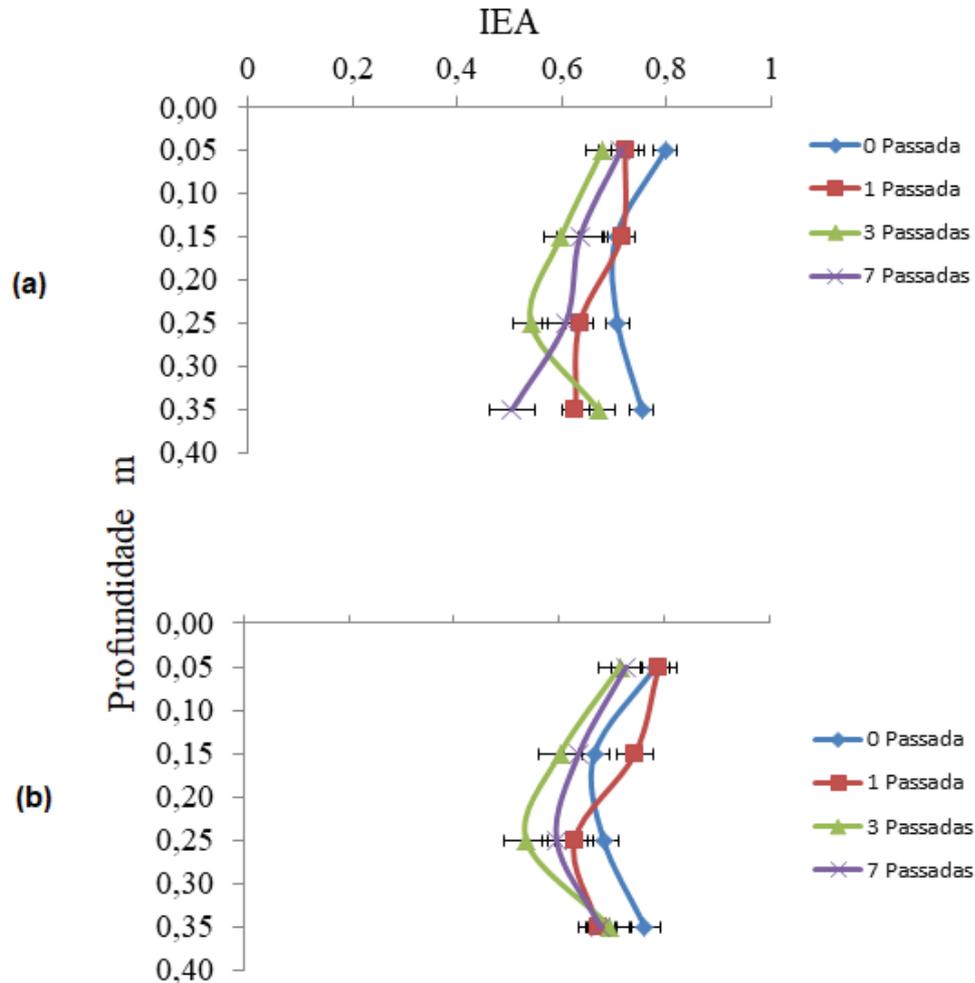
Esse comportamento poderia ser atribuído aos agentes orgânicos envolvidos na estabilização dos macroagregados, principalmente as raízes das plantas daninhas presentes durante o período de pousio. Segundo Bastos et al. (2005) as raízes podem apresentar ação mecânica, promovendo pressão nos constituintes do solo, e ação química por meio das secreções. Lembrando que a área estudada ficou em pousio durante 30 dias após o ensaio do pulverizador até a data da coleta dos monólitos.

O IEA na profundidade de 0,10 m foi superior em T0, seguido de T1, T7 e T3 (Figura 7), havendo uma queda de 15,18% no IEA entre o maior e menor valor.

O decréscimo de IEA com a intensidade de tráfego é compatível com os resultados obtidos por Beutler et al. (2005) e Barik et al. (2014), e pode ser atribuído à destruição dos macroagregados, decorrentes da modificação da estrutura do solo em função da compactação.

Embora os resultados tenham apresentado alterações na estrutura do solo, os valores de DMPu e DMPs estão próximos a 2 mm, que de acordo com Tisdall e Oades (1982), são classificados como macroagregados.

FIGURA 7-VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ESTABILIDADE DE AGREGADOS (IEA)



(a) rodados e (b) enterrodados. As barras dos erros indicam  $\pm se$  ( $n=7$ ).

Fonte: A autora (2017).

A RP determinada em campo, na camada de 0,00-0,40 m de profundidade, apresentou diferenças significativas, em todos os tratamentos, apenas na profundidade de 0,00-0,05 m, com valores médios nos rodados de 1,79, 1,35, 0,91 e 0,44 MPa, respectivamente para T7, T3, T1 e T0 (Figura 8). Já na profundidade de 0,05-0,10 m, apenas os tratamentos T1 e T7 obtiveram diferenças significativas. As demais profundidades, tratamentos e posições foram estatisticamente iguais. A tendência crescente dos valores de RP com o aumento da intensidade de tráfego, na camada superficial do solo, também foi observado por Moraes et al. (2013).

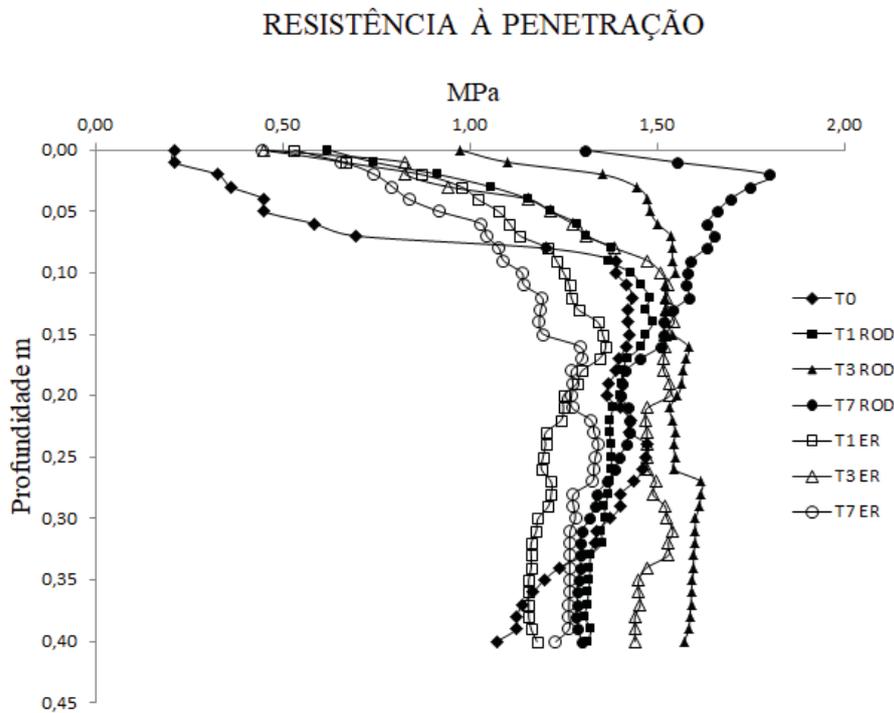
Mesmo havendo incremento de RP na camada superficial do solo, os valores apresentados não caracterizam impedimento ou restrição ao desenvolvimento

radicular, considerando o valor de 2 MPa como referência, para a umidade na qual foi determinada. Diferente de Beutler et al. (2008), que ao analisar o efeito da intensidade de tráfego (1, 2, 4 e 6 passadas) de um trator de 11 Mg em Latossolo Vermelho, pode observar que o aumento do número de passadas proporcionou valores impeditivos de RP (6,75 MPa na sexta passada) para a cultura da soja até a profundidade de 0,25 m, constatando o efeito negativo do tráfego tanto na camada superficial do solo, quanto nas camadas subjacentes.

A coleta dos dados de RP em campo foi realizada um dia após o ensaio com o pulverizador autopropelido, com valores de umidade na camada superficial do solo de 0,29; 0,37; 0,34 e 0,32  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ , respectivamente para os tratamentos T0, T1, T3 e T7. Considerando que os valores de RP variam em função da umidade e da densidade do solo (Ds) e podem alterar a interpretação dos níveis de compactação (Moraes et al., 2012). o aumento dos valores de RP no presente trabalho é influenciado pelo aumento da Ds (Tabela 2), pois há pouca variação de umidade.

Na profundidade de 0,10-0,20 m, embora tenham sido observados os maiores valores de Ds, as RP's foram menores que na camada 0,00-0,10 m, a tendência pode ser atribuída aos maiores valores de umidade encontrados na camada, que foram de 0,45; 0,43; 0,44; e 0,44  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  respectivamente para os tratamentos T0, T1, T3 e T7. O declínio dos valores de RP foi contínuo até os 0,40 m, devido à diminuição dos valores de Ds e ao aumento de umidade em profundidade, com valores médios de umidade de 0,47  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para todos os tratamentos.

FIGURA 8-RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE RAÍZES DO LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO HÚMICO, NOS RODADOS E ENTERRERRODADOS, NA CAMADA DE 0,00-0,40 M.



T0= testemunha; T1 ROD = 1 passada nos rodados; T3 ROD= 3 passadas nos rodados; T7 ROD= 7 passadas nos rodados; T1 ER: 1 passada entrerrodados; T3 ER: 3 passadas entrerrodados; T7 ER: 7 passadas entrerrodados.

FONTE: A autora (2017).

O modelo ajustado para a curva de resistência à penetração (CRS) explicou acima de 95% ( $r^2 > 0,95$ ) da variabilidade de RP em todos os tratamentos. O sinal dos coeficientes das equações indica variação positiva de RP com relação à Ds e variação negativa em relação à  $\Theta$ , o que está de acordo com vários estudos desenvolvidos em solos de todo o mundo (Letey, 1985; Busscher et al,1990; Tormena et al, 1998; Imhoff et al, 2000; Blainski, 2008).

As equações descritivas da CRS, para o Latossolo no rodado e entrerrodado, assim como para sem tráfego e com tráfego são apresentadas, nas equações 9 a 12:

-CRS no rodado

$$RP = 1,166Ds^{4,403} \theta^{-0,104} \quad R^2 = 0,95 \quad (9)$$

-CRS no entrerrodado

$$RP = 0,677 Ds^{5,697} \theta^{-0,172} \quad R^2 = 0,92 \quad (10)$$

-CRS sem tráfego

$$RP = 1,7924Ds^{2,890} \theta^{-0,117} \quad R^2 = 0,95 \quad (11)$$

-CRS com tráfego

$$RP = 1,022Ds^{4,240} \theta^{-0,098} \quad R^2 = 0,94 \quad (12)$$

Em que RP = resistência à penetração do solo (MPa); Ds = densidade do solo ( $Mg m^{-3}$ ) e  $\theta$  = conteúdo de água do solo ( $m^3 m^{-3}$ ).

O solo no rodado e o solo trafegado apresentaram maiores valores no coeficiente b que está associado à Ds, indicando que o aumento da Ds nestes tratamentos altera a porosidade do solo em decorrência da maior fricção entre as partículas e o aumento da coesão entre elas, atuando diretamente no aumento da RP.

Os resultados indicam que o efeito da Ds na CRS prepondera ao efeito de  $\theta$ . Observando-se a curva de resistência à penetração (Figura 9), verifica-se que sob Ds baixas ( $<1,1 Mg m^{-3}$ ) o comportamento da RP no rodado e entrerrodado são similares, com valores de RP próximos de 2 MPa, na capacidade de campo, ou seja, nesta condição de umidade e densidades a RP não é limitante e não apresenta diferenças entre o rodado e entrerrodado do pulverizador, o que pode ser atribuído ao efeito lubrificante da água que desempenha papel importante no controle da RP (Blainski, 2008).

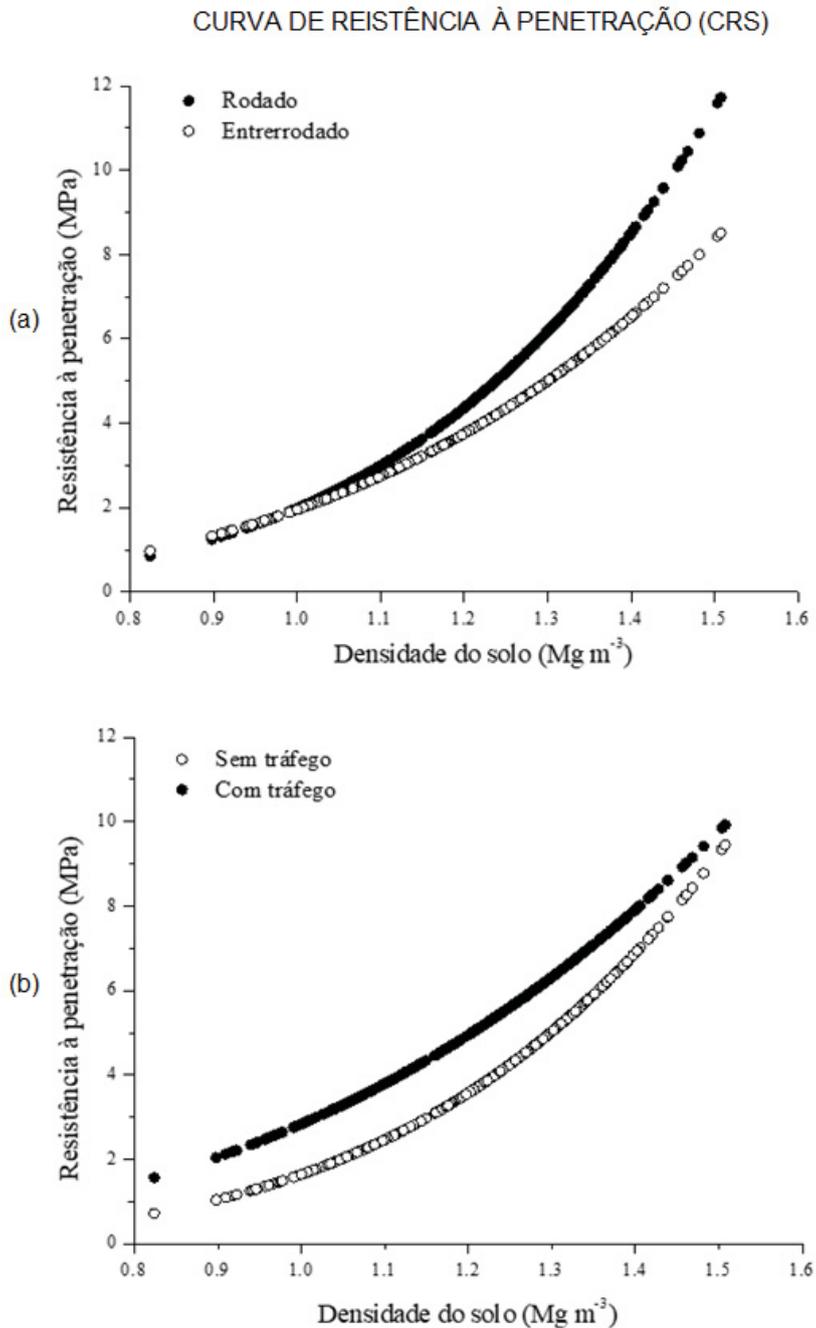
A CRS dos rodados apresentou valores de RP acima de 2 MPa, valor no qual se inicia a restrição ao desenvolvimento de plantas, à partir de  $1,0 Mg m^{-3}$  de Ds, já

Blainsk et al. (2008) ao estudar um Latossolo de textura média para uso de culturas anuais, observou esta RP com Ds de  $1,75 \text{ Mg m}^{-3}$  para umidade na capacidade de campo, isso evidencia o efeito da textura do solo, uma vez que o solo por eles estudado apresenta  $170, 40$  e  $790 \text{ g kg}^{-1}$  de argila, silte e areia, respectivamente.

Para valores de Ds maiores que  $1,1 \text{ Mg m}^{-3}$  observa-se que os valores de RP para a posição enterrado são menores, e a medida que a Ds aumenta, aumenta também a diferença de RP entre as posições, ficando evidente que o efeito do tráfego do pulverizador autopropelido no rodado é acentuado a medida que a Ds aumenta.

Quanto à área trafegada e não trafegada nota-se, comportamento similar entre as duas curvas, porém a CRS da área trafegada apresenta valores maiores de RP, demonstrando assim o efeito do tráfego do pulverizador. No início da curva foi possível observar o aumento de 100 % nos valores de RP em relação à área não trafegada para uma mesma Ds, e a medida que Ds aumenta a diferença entre área trafegada e não trafegada diminui, e ambos apresentam valores de RP próximos de  $9,5 \text{ MPa}$  quando a Ds apresentou valores de  $1,5 \text{ Mg m}^{-3}$ .

FIGURA 9 - CURVA DE RESISTÊNCIA DO SOLO À PENETRAÇÃO (CRS) EM FUNÇÃO DE DS SOB UMIDADE EQUIVALENTE AO POTENCIAL DE -10 KPA, CONSIDERADO COMO CAPACIDADE DE CAMPO.



(a) CRS nos rodados e enterrodados, (b) CRS da área trafegada e não trafegada.

FONTE: A autora (2017).

## 4 CONCLUSÕES

O tráfego do pulverizador autopropelido provocou alterações nos atributos físicos do Latossolo estudado, à medida que houve aumento do número de passadas, obtendo maiores efeitos no tratamento com sete passadas e na camada de 0,00-0,10 m.

Ocorreu transmissão de carga em profundidade, afetando a densidade do solo até 0,20 m. Houve aumento de DMPu, DMPs e DMG, na camada 0,00-0,10 m, principalmente em T3 e T7. No entanto, o IEA se reduziu com o aumento do tráfego. A maior RP foi constatada em T7, na camada de 0,00-0,05 m, porém não apresentou valores impeditivos ao desenvolvimento de culturas, considerando que o maior valor encontrado foi de 1,79 MPa.

A intensidade de tráfego do pulverizador sob o Latossolo apresentou resultados que conferem compactação do solo, porém os valores encontrados não caracterizaram degradação da estrutura física do solo.

## 5 REFERÊNCIAS

AGUIAR NETTO, A.O.; NACIF, P.G.S.; REZENDE, J.O. **Avaliação do conceito de capacidade de campo para um latossolo amarelo coeso do estado da Bahia**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.23,n.3,p. 661-667, fev. 1999.

AHMADI, I.; GHOUR, H. **Effects of soil moisture content and tractor wheeling intensity on traffic-induced soil compaction** Iman. Journal of Central European Agriculture, Isfahan, v.16, n.4, p. 489-502, jan. 2015.

AKSAKAL, E.L.; OZTAS, T. **Changes in distribution patterns of soil penetration resistance within a silage corn field following use of heavy harvesting equipments**. Turkish Journal Agriculture and Forestry, Erzurum, v. 34, n.2, p. 173-179, jan. 2010.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. **Koppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-723, dez. 2013.

AMARAL, K.F.S.; ROSA, H.A.; GIESE, V; MONTIEL, C.B.; BRONDANI, S.T.; SECCO, D. **Propriedades físico-hídricas de um latossolo argiloso após compactação induzida mecanicamente**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, Tupã, v.11, n.3, p. 308-316, set. 2017.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE DEFESA VEGETAL. **Manual de aplicação de produtos fitossanitários**. São Paulo: ANDEF. 2010.

BARIK, K.; CANBOLAT, M.Y.; YANIK, R; ISLAM, K.R. **Compressive behavior of soil as affected by aggregate size with different textures in Turkey**. Journal of Animal and Plant Sciences, Paquistão, v. 21, n.2, p. 186-192, jan. 2011.

BARIK, K; AKSAKA, L.E.; ISLAM, R.K.; SARI, S; ANGIN, I. **Spatial variability in soil compaction properties associated with field traffic operations**. Catena, Amsterdam, v.120, n.1, p.122-133, mai. 2014.

BASTOS, R.S; MENDONÇA, E.S; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. **Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.29, n.1, p.21-31, jan./fev. 2005.

BAUER, F.C.; PEREIRA, F.A.R. Fitossanidade e produção agrícola. In: BAUER, F.C.; VARGAS JÚNIOR, F.M. **Produção e gestão agroindustrial.** Campo Grande: UNIDERP, 2005. cap.2, p.44.

BAUER, F.C.; PEREIRA, F.A.R.; SCHEEREN, B.R.; BRAGA, L.W. **Diagnóstico das condições, tempo de uso e manutenção de pulverizadores no estado de mato grosso do sul.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.29, n.3, p.501-50, jul./set. 2009.

BERISSO, F.E.; SCHOJONNING, P.; LAMANDÉ, M.; WEISSKOPF, P.; STETTLER, M.; KELLER, T. **Effects of the stress field induced by a running tyre on the soil pore system.** Soil and Tillage Research, v.131, n.1, p.36-46, jul. 2013.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA Z.M.; ANDRIOLI, I.C.G.; ROQUE, C.G. **Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.26, n.3, p.829-834, jul./set. 2002.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, CG.; FERRAZ, M.V. **Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.29, n.6, p.843-849, nov./dez. 2005.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; SILVA, A.P. **Efeito da compactação na produtividade de Cultivares de soja em latossolo vermelho.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.30, n.5, p. 787-794, set./out. 2006.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P.; CENTURION, M.A.P.C.; LEONEL, C.L.; FREDDI, O.S. **Soil compaction by machine traffic and least limiting water range related to soybean yield.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.43, n.11, p.1591-1600, nov. 2008.

BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J. GUIMARÃES, R.M.L. **Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, n.3, p.975-983, mai/jun. 2008.

BONINI, A.K.; SECCO, D.; SANTOS, R.F.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Atributos físico-hídricos e produtividade de trigo em um latossolo sob estados de compactação.** Ciência Rural, Santa Maria, v.41, n.9, p.1543-1548, set. 2011.

BOTTA, G.F.; TOLON-BECERRA, A.; LASTRA-BRAVO, X.; TOURN, M. **Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max L.*) yields in Argentinean pampas.** Soil and Tillage Research, v.110, n.1, p.167-174, set. 2010.

BOUYOUCOS, G.J. **Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils.** Agronomy Journal, v.54, n.5, p.464-465, set. 1962.

BRAIDA, J.A.; REICHERT, J.M.; VEIGA, M.; REINERT, D.J. **Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, jul./ago. 2006.

BUSSCHER, W.J. **Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to common water content.** Agricultural Society of Agricultural Engineers, Michigan, v.33, n.2, p. 519-524, mar. 1990.

CANTARELLA H.; QUAGGIO J.A.; VAN RAIJ B. Determinação da matéria orgânica. In: VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: IAC, 2001. p.173-180.

CASALI, A.L.; FARIAS, M.S.; SCHLOSSER, J.F.; ROMANO, L.N.; UHRY, D. **Conformidade do posto de operação de pulverizadores autopropelidos.** Engenharia na agricultura, Viçosa, v.19, n.6, p.548-556, dez. 2011.

CASALI, A.L. **Caracterização, avaliação e classificação dos pulverizadores autopropelidos produzidos no Brasil**. 2015. 127f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3632/CASALI%2c%20ANDRE%20LUI%20S.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em 02 fev. 2017.

CAVALIERI, K.M.V.; ARVIDSSON, J.; SILVA, A.P.; KELLER, T. **Determination of precompression stress from uniaxial compression tests**. Soil and Tillage Research, v.98, n.1, p.17-26, jan. 2008.

CORDEIRO, L. Quase metade das aplicações de agrotóxicos é desperdiçada por erros. **G1 Paraná**. Curitiba. 15 Abr. 2016. Caminhos do Campo. Disponível em: <http://g1.globo.com/pr/parana/caminhos-do-campo/noticia/2016/04/quase-metade-das-aplicacoes-de-agrotoxicos-e-desperdicada-por-erros.html>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

CORTEZ, J.W.; OLSZEWSKI, N. PIMENTA, W.A.; PATROCÍNIO FILHO, A.P.; SOUZA, E.B.; NAGAHAMA, H.J. **Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um argissolo amarelo**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, v.38, n.3, p.1000-1010, mai./jun.2014.

DEMARCHI, J.C.; PERUSI, M.C.; PIROLI, E.D. **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**. Pesquisa Aplicada e Agritecnologia, Guarapuava, v.4, n.2, p.7-29, mai./ago. 2011.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. Soil and Tillage Research, v.11, n.3-4, p.199-238, jun. 1988.

EHLERS, W.; KOPKE, U.; HESSE, F.; BÖHM, W. **Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil**. Soil & tillage research, v.3, n.3, p.261-275, jul. 1983.

FEITOSA, J.R.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M.M.; CECO, P.R. **Influência da pressão interna dos pneus e da velocidade de deslocamento nos parâmetros operacionais de um trator agrícola e nas propriedades físicas do solo.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.35, n.1, p.117-127, jan./fev. 2015.

FIGUEIREDO, G.C.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; GIAROLA, N.F.B.; MORAES, O.; ALMEIDA, B.G. **Desenvolvimento de um consolidômetro pneumático: modelagem da compactação, penetrometria e resistência tênsil de agregados de solo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.35, n.2, p.389-402, abr. 2011.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. v.1. p.383-411.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. **Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potential and elongation of corn roots.** Soil Science Society of American Journal, Madison, v.32, n.2, p.180-186, mar. 1968.

GLANTZ, S.A.; SLINKER, B.K. **Primer of applied regression and analysis of variance.** New York, Mc Graw Hill, 1990.

GROSSMAN, R.B.; REINSCH, T.G. Bulk density and linear extensibility, In: Dane J.H, Topp G.C, **Methods of soil analysis: Physical methods.** Madison: Soil Science Society of America. 2002; 201-228.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento.** Ciência Rural, Santa Maria, v.36, n.2, p.664-668, abr. 2006.

HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. **Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions.** Soil and Tillage Research, v.82, n.2, p.121-145, jun. 2005.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. **Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, jul. 2000.

KELLER, T.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A.; GIAROLA, N.F.B.; CAVALIERI, K.M.V.; STELLER, M. **SoilFlex-LLWR: linking a soil compaction model with the least limiting water range concept**. Soil Use and Management, v.31, n.2, p.321-329, fev. 2015.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution, In: KLUTE A. Methods of soil analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986; p.425-442.

KLEIN, V.A. Estrutura do Solo. In: \_\_\_\_\_. **Física do Solo**. 3. ed. Passo Fundo: UPS, 2014. p. 52-53.

LETEY, J. **Relationship between soil physical properties and crop production**. New York. Advances Soil Science. 1985.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo, USP. 2005.

LIMA, R.P.; DE LEÓN, M.J.; SILVA, A.R. **Compactação do solo de diferentes classes texturais em áreas de produção de cana-de-açúcar**. Revista Ceres, Viçosa, v.60, n.1, p.16-20, jan/fev. 2013.

LIPIEC, J.; HAJNOS, M.; ŚWIEBODA, R. **Estimating effects of compaction on pore size distribution of soil aggregates by mercury porosimeter**. Geoderma, v. 179-180, n.1, p.20-27, jun. 2012.

MACEDO, V.R.M.; SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V. **Influência de tensões compressivas na pressão de precompactação e no índice de compressão do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.14, n.8, p.856-862, mar. 2010.

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo. Edusp. 1980.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R. **Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.36, n.6, p.1395-1406, nov./dez. 2012.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; JULIO, C.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R. **Soil Penetration Resistance In A Rhodic Eutrudox Affected By Machinery Traffic And Soil Water Content**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.33, n.4, p.748-757, jul./ago. 2013.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J.C.; SILVA, V.R.; LUZ, F.B. **Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil**. Soil and Tillage Research, v.155, n. 1, p.351-362, jan. 2016.

MOREIRA, W.H.; PETEAN, L.P.; BETIOLI JUNIOR, E.; TORMENA, C.A.; FIGUEIREDO, G.C.; SILVA, A.P. **Método alternativo para quantificação do intervalo hídrico ótimo em laboratório**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.38, n.1, p.158-165, jan./fev. 2014.

NAGAOKA, A.K.; LANÇAS, K.P.; CASTRO NETO, P.; LOPES, A.; GUERRA, S.P.S. **Resistencia do solo à penetração após o tráfego com dois tipos de pneus utilizando-se um equipamento para ensaio dinâmico**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.7, n.2, p. 387-393, mai./ago. 2003.

NEIVA JÚNIOR, E.; ROCHA, W.W.; PIRES, B.S.; FARNEZI, M.M.M.; DIAS JUNIOR, M.S.; FREITAS, D.F.B.; SILVA, E.B.; CARVALHO, G.A.O. **Compressibility and penetrability of latossolo vermelho-amarelo distrófico (oxisol) under varied management systems and land uses**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.39, n.1, p.86-93, jan./fev. 2015.

OLIVEIRA JUNIOR, J.C.; SOUZA, L.C.P.; MELO, V.F. **Variabilidade de atributos físicos e químicos de solos da formação Guabirotuba em diferentes unidades de amostragem.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.34, n.5, p. 1491-1502, set./out. 2010.

PREVEDELO, C.L.; ARMINDO, R.A. Relações massa-área-volume. In:\_\_\_\_\_. **Física do solo com problemas resolvidos.** 2. ed. Curitiba. UFPR, 2015.

RAGHAVAN, G.S.V.; MCKYES, E.; CHASS, M. **Soil compaction patterns caused by off-road vehicles in eastern canadian agricultural soils.** Journal of Terramechanics, v.13, n.2, p.107-215. Jul.1976.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações.** 2 Edição. São Paulo: Manole, 2004.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINER, D.J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. **Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils.** Soil and Tillage Research, v.102, n.2, p.242-254, mar. 2009.

REICHERT J.M.; REINERT J.D.; SUZUKI L.E.A.S.; HORN R. Mecânica do Solo. In: JONG VAN LIER Q. **Física do Solo.** Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2010. p. 29-102.

ROSSETTI, K.V.; CENTURION, J.F. **Indicadores de qualidade em Latossolos compactados e suas relações com o crescimento do sistema radicular do milho.** Revista Agroambiente, Boa Vista, v.11, n.3, p.181-190, jul./set. 2017.

SALAMUNI, E.; STELLFELD, M.C. **Banco de dados geológicos geo-referenciados da bacia sedimentar de Curitiba (PR) como base de sistema de informação geográfica (SIG).** Boletim Paranaense de Geociências, Curitiba, v.49, n.1, p.21-32, jan. 2001.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M. CONCEIÇÃO PC, FABRÍCIO AC; MACEDO MCM, BROCH DL. **Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.32, n.1, p11-21, jan./fev. 2008.

SAMPIETRO, J.A.; LOPES, E.S. **Compactação causada pelo tráfego de feller buncher e skidder em um neossolo regolítico sob distintas umidades**. Ciência Florestal, Santa Maria, v.25, n.1, p.239-248, jan./mar. 2015.

SAMPIETRO, J.A.; LOPES, E.S. **Compactação de um Cambissolo causada por máquinas de colheita florestal especializada com geoestatística**. Floresta. Curitiba, v.46, n.3, p. 307-314, mai. 2016.

SCHÄFFER, B.; ATTINGER, W.; SCHULIN, R. **Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery - Soil physical and mechanical aspects**. Soil and Tillage Research, v.93, n.1, p.28-43, mar. 2007.

SILVA, A.P.; KAY, B.D. **Estimating the least limiting water range of soils from properties and management**. Soil Science Society American Journal, Madison, v.61, n.3, p. 877-883, mai. 1997.

SIVARAJAN, S.; MAHARLOOEIA, M.; BAJWAA, S.G.; NOWATZKIA, J. **Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield**. Soil and Tillage Research, v.175, n.1, p. 234-243, jan. 2017.

SOANE, B.D.; BLACKWELL, P.S.; DICKSON, J.W.; PAINTER, D.J. **Compaction by agricultural vehicles: a review II. Compaction under tyres and other running gear**. Soil and Tillage Research, v. 1,n.1, p. 373-400, dez. 1980.

SOUZA, F.R.S.; ROSA JUNIOR, E.J.; FIETZ, C.R.; BERGAMIN, A.C.; VENTUROSO, L.R.; ROSA, Y.B.C.J. **Atributos físicos e desempenho agrônomo da cultura da soja em um Latossolo vermelho distroférrico submetido a dois sistemas de manejos**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.34, n.6, p.1357-1364, nov./dez. 2010.

SOUZA, J.M.; BONOMO, R.; BONOMO, D.Z.; PIRES, F.B. **Índice S em solo subsolado da região dos Tabuleiros Costeiros, Espírito Santo**. Magistra, Cruz da Almas, v.27, n.1, p.14-22, jan./mar. 2015.

STAMATI, F.; NIKOLAIDIS, N.P.; BANWART, S.A.; BLUM, W.E. **A coupled carbon, aggregation, and structure turnover (CAST) model for topsoils**. GeoDerma, v.211-212, p.51-64, dez. 2013.

STEFANOSKI, D.C.; SANTOS, G.G.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A.; PACHECO, L.P. **Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física**. Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.17, n.12, p.1301-1309, ago. 2013.

TAGHAVIFAR, H.; MARDAN, A. **Effect of velocity, wheel load and multipass on soil compaction**. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, Iran, v.13, n.1, p. 57-66, jan. 2014.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. **Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials**. Soil Science, v.102, n.1, p.18-22, jul. 1966.

TISDALL, J.M.; OADES, J.M. **Organic matter and waterstable aggregates in soil**. European Journal of Soil Science, v. 33, n.2, p.141-163, jun. 1982.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. **Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.22, n.4, p.573-581, out/dez. 1998.

VIAN, C.E.F.; ANDRADE JUNIOR, A.M.; BARICELO, L.G.; SILVA, R.P. **Origens, evolução e tendências da indústria de máquinas agrícolas**. Revista de Economia e Sociologia Rural, Brasília, v.51, n. 4, p.719-754, out./dez. 2013.

WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. **Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob**

**diferentes manejos.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.40, n.5, p. 487-494, mai. 2005.

WENDLING, B.; FREITAS, I.C.V.; OLIVEIRA, R.C.; 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, Uberlandia, v.28, n.1, p. 256-265, mar. 2012.

YAVUZCAN, H.G.; MATTHIES, D.; AUERNHAMMER, H. **Vulnerability of Bavarian silty loam soil to compaction under heavy wheel traffic: impacts of tillage method and soil water content.** Soil and Tillage Research, v.84, n.2, p.200-215, dez. 2005.