

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E PREPARO REDUZIDO COM DIFERENTES PLANTAS DE COBERTURA¹**Marcio André Francziskowski², Edleusa Pereira Seidel³, Emerson Fey⁴, Katiely Aline Anschau⁵ & Marcos Cesar Mottin⁶

1 - Parte da dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agronomia da UNIOESTE

2 - Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia pela UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon-PR. E-mail: marciofzk@gmail.com

3 - Engenheira Agrônoma, Professora titular da UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon-PR. E-mail: edleusaseidel@yahoo.com.br.

4 - Engenheiro Agrônomo, Professor titular da UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon-PR. E-mail: emerson.fey@unioeste.br.

5 - Engenheira Agrônoma, Mestre em Agronomia pela UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon-PR. E-mail: katy_aline@hotmail.com.

6 - Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia pela UNIOESTE/Marechal Cândido Rondon-PR. E-mail: marcos.c.mottin@hotmail.com.

Palavras-chave:densidade
escarificação mecânica
porosidade
resistência à penetração**RESUMO**

Várias são as maneiras possíveis de se trabalhar o solo para melhorar suas propriedades físicas, amenizando os efeitos prejudiciais da compactação e aumentando a capacidade e eficiência de armazenamento de água no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de plantas de cobertura cultivadas em plantio direto e preparo reduzido nas propriedades físicas do solo. O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em delineamento de blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas foram alocados dois sistemas de manejo: plantio direto e preparo reduzido do solo com o uso de escarificador de hastes. As subparcelas constaram do cultivo de diferentes espécies vegetais de inverno: trigo; um mix de aveia preta com ervilha forrageira; e um mix de aveia preta com nabo forrageiro. O preparo reduzido com escarificador foi eficiente para descompactar o solo, promovendo aumento da porosidade de aeração e diminuição da densidade e resistência a penetração, mas não promoveu alterações na estabilidade dos agregados do solo. Os mixes de plantas de cobertura com diferentes famílias aumentaram os macroporos na superfície do solo, mas atuaram igualmente na agregação do solo e na resistência do solo à penetração.

Keywords:density
mechanical scarification
porosity
penetration resistance**SOIL PHYSICAL PROPERTIES IN NO-TILLAGE AND REDUCED TILLAGE SYSTEMS WITH DIFFERENT COVER CROPS****ABSTRACT**

There are several possible ways of working the soil to improve its physical properties, mitigating the damaging effects of compaction and increasing the capacity and efficiency of soil water storage. The objective of this work was to evaluate the effect of cover crops grown under reduced tillage system and no-tillage system on soil physical properties. The experiment was conducted at State University of Western Paraná's Experimental Station, in a randomized block design, in a subdivided plot scheme, with four replications. Two management systems were allocated for the plots: no-tillage and reduced soil preparation with the use of stems ripper. The subplots consisted of the cultivation of different winter plant species: wheat; a mixture of black oats and forage pea; and a mixture of black oats with forage turnip. The reduced tillage preparation was efficient to decompress the soil, increasing aeration porosity and decreasing density and resistance to penetration, but did not promote changes in soil aggregate stability. The mix of cover crops with different families increased the macropores on the soil surface, but also acted on soil aggregation and soil resistance to penetration.

INTRODUÇÃO

A produção brasileira de grãos ocupa uma área de 60,7 milhões de hectares (CONAB, 2017), dos quais 35 milhões de hectares são manejados sob sistema de plantio direto (SPD). No estado do Paraná, mais de 91% das áreas agrícolas são manejadas no SPD, aproximadamente 5.319.966 hectares (FEBRAPDP, 2015).

Um dos fatores limitantes para a obtenção do potencial máximo de produtividade das culturas manejadas em plantio direto têm sido as alterações nos atributos físicos do solo, principalmente redução na macroporosidade e aumento na densidade. A compactação causa redução na infiltração de água e aeração do solo. Dessa forma, afeta diretamente o crescimento radicular das plantas (SEKI et al., 2015), levando a uma diminuição da absorção de nutrientes, causando decréscimo da produtividade (KLEIN; BASEGGIO; MADALOSSO, 2009). No SPD, a compactação do solo ocorre geralmente na profundidade entre 0,07 e 0,15 m (SPERA et al., 2011; DRESCHER et al., 2016).

Alternativas eficazes para reduzir a compactação do solo são a rotação de culturas, a adição de adubos orgânicos e o uso de plantas de cobertura (SEIDEL et al., 2015). Estas práticas são essenciais para consolidação do SPD (MOURA et al., 2012). Espécies de plantas como crotalária, feijão-de-porco e milho modificam a estrutura do solo após seu cultivo, proporcionando aumentos no diâmetro médio geométrico dos agregados do solo e reduzindo a resistência deste à penetração (CARDOSO et al., 2013).

Mais evidências nas alterações das propriedades físicas e químicas do solo têm sido observadas com o cultivo de diversas famílias de plantas de cobertura em consórcio, fato ligado à atuação de diferentes sistemas radiculares sobre o solo (DONEDA et al., 2012; SANCHEZ et al., 2014), bem como à decomposição dos resíduos vegetais que atuam na agregação do solo. Espécies da família *Poaceae* são eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados do solo e as plantas da família *Fabaceae* em incrementar nitrogênio ao solo (LOSS et al., 2015), proporcionando uma cobertura com relação carbono/nitrogênio intermediária no solo.

Uma prática mitigadora da compactação do solo adotada por agricultores da região Oeste do Paraná em áreas consolidadas de plantio direto é a escarificação do solo com escarificadores de hastes, a fim de reduzir a densidade do solo, a resistência à penetração e aumentar a porosidade de aeração do solo. Porém, esse efeito persiste por pouco tempo e nem sempre favorece o aumento da produtividade da cultura (DRESCHER et al., 2012).

O preparo reduzido do solo realizado com escarificadores de hastes diminui as operações agrícolas, quando comparado ao preparo convencional, resultando em menor incorporação de resíduos vegetais e inversão do solo, menor custo do preparo e redução das perdas de solo e água por erosão. Porém, esta prática de manejo, quando comparada ao SPD, acelera as perdas de carbono do solo, resultante da decomposição da matéria orgânica (ROSSET et al., 2014).

Dessa forma, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de plantas de cobertura, cultivadas em sistema de preparo reduzido e plantio direto, nas propriedades físicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, localizada em Entre Rios do Oeste, Paraná, Brasil (24° 68' S e 54° 28' W), a 244 metros de altitude em relação ao nível do mar. O clima, de acordo com a classificação de Koppen, é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfa), com precipitação média anual de 1.600 a 1.800 milímetros (CAVIGLIONE et al., 2000).

A área do estudo foi conduzida por mais de 14 anos em sistema de semeadura direta, sendo cultivada com milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* L.), no período primavera/verão; e trigo (*Triticum aestivum* L.), aveia-preta (*Avena strigosa* S.) e milho (*Zea mays* L.) no período outono/inverno.

Antes da instalação do experimento, uma amostra de solo da camada de 0,0 a 0,20 m foi coletada para caracterização granulométrica e química, com os seguintes resultados: pH em água de 5,79; Al³⁺ 0,00 cmol_c dm⁻³; matéria orgânica 19,14 g dm⁻³; fósforo 13,92 mg dm⁻³; Ca²⁺ 6,06

$\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg^{2+} $3,05 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K^+ $1,42 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e saturação por bases de 75%. Quanto à composição granulométrica, o solo apresentou: 525 g kg^{-1} de argila, 400 g kg^{-1} de silte e 75 g kg^{-1} de areia, sendo classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico típico, textura argilosa segundo metodologia de Santos et al. (2014).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram os dois manejos de solo: plantio direto e preparo reduzido do solo (escarificação). As subparcelas constaram do cultivo de diferentes espécies vegetais de inverno: trigo (*Triticum aestivum* L.); um mix de aveia preta (*Avena strigosa* S.) com ervilha forrageira (*Pisum sativum* L.); e um mix de aveia preta (*Avena strigosa* S.) com nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). Cada subparcela possuía área total de 210 m^2 (14 m de largura por 15 m de comprimento).

O preparo do solo reduzido foi realizado com escarificador modelo SPDA, equipado com sete hastes, espaçadas a 375 mm, ponteiras de 75 mm de largura, conjugado com discos de corte na frente das hastes e rolo destorroador/nivelador na parte traseira do equipamento, com profundidade de trabalho até 0,30 m.

A semeadura das culturas foi realizada com uma semeadora-adubadora de precisão da marca Semeato, com espaçamento entre linhas de 0,17 m. Na semeadura do trigo, cultivar CD 150, utilizouse 132 kg ha^{-1} de sementes. Para a semeadura do mix de ervilha forrageira, cultivar IAPAR 83, com aveia preta, cultivar Embrapa 139, utilizaram-se 25 e 30 kg ha^{-1} de sementes, respectivamente; e, para estabelecer o mix de aveia preta, cultivar Embrapa 139, com nabo forrageiro, cultivar IPR 116, utilizaram-se 30 e 5 kg ha^{-1} de sementes, respectivamente. A adubação de base foi a mesma para todas as culturas, utilizando-se 250 kg ha^{-1} do fertilizante formulado 10-15-15 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$).

Transcorridos 120 dias após a semeadura das plantas de cobertura e do trigo, foi realizada a dessecação química em área total com 1.080 g ha^{-1} de equivalente ácido de herbicida glifosato, e posteriormente realizou-se o manejo mecânico das plantas, sendo roçadas rentes ao chão com auxílio de roçadeira tracionada por trator.

Após o manejo das plantas de cobertura foram coletadas quatro amostras indeformadas de solo (anéis volumétricos de 50 cm^3) por tratamento, nas camadas de 0,0-0,10, 0,11-0,20, 0,21-0,30 e 0,31-0,40 m de profundidade para determinação de macroporosidade, microporosidade, porosidade total e densidade do solo, seguindo-se a metodologia proposta por Donagema et al. (2011). A partir dos dados da porosidade total, a proporção macroporosidade/volume total de poros (MA/VTP) foi também calculada.

Coletaram-se monólitos de solo nas camadas 0,0-0,20 e 0,21-0,40 m, para determinar a estabilidade dos agregados via úmida. Os monólitos foram levados ao laboratório para secarem à sombra e ao ar por 72 horas; após isso, foram levemente destorroados com as mãos e peneirados, recolhendo-se os agregados com tamanho de 4,76 e 8,0 mm. A determinação foi de acordo com o método descrito por Kemper & Chepil (1965), em agitador mecânico tipo Yoder, com oscilação vertical durante 10 minutos, com trinta oscilações por minuto. O conjunto de peneiras utilizadas no tamizamento úmido foi 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm de abertura de malha. Os valores obtidos nos peneiramentos foram usados para cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade dos agregados em água (IEA).

A determinação da resistência mecânica do solo à penetração foi realizada a campo, em solo com $0,27 \text{ g g}^{-1}$ de água, mediante uso de um penetrômetro digital da marca Falker® modelo PLG 1020. Considerou-se como unidade observacional cinco pontos amostrais por tratamento, composta pela média aritmética dos valores obtidos pelo penetrômetro, a cada 0,025 m de profundidade, em um perfil total de 0,40 m. Os valores de resistência a penetração (RP) foram transformados para a unidade de MPa.

Todos os dados do experimento foram submetidos à análise de variância (ANOVA), por meio do teste F (Fisher) a 5% de probabilidade, e para a comparação das médias foi utilizado o teste Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve efeito para a interação sistema de manejo do solo e plantas de cobertura, mas apenas efeito isolado. Os manejos do solo apresentaram diferenças na macroporosidade e densidade do solo. A microporosidade e a porosidade total do solo não foram afetadas pelos sistemas de manejo do solo. O preparo reduzido do solo resultou em aumento de 37% na macroporosidade do solo até 0,10 m, em relação à área cultivada no SPD, bem como uma redução média na densidade do solo de 10% até a profundidade 0,20 m. Estas melhorias foram em decorrência da mobilização de parte do solo pelas hastes escarificadoras. Embora as hastes tivessem 0,30 m de profundidade, não foram observadas melhorias físicas abaixo de 0,20 m (Tabela 1).

Observa-se que abaixo de 0,10 m de profundidade os valores da macroporosidade do solo são menores que 0,10 m³ m⁻³. Abaixo desse valor, a macroporosidade é considerada restritiva às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, podendo limitar a presença de oxigênio para as raízes das plantas e para a macro e microfauna do solo. As densidades do solo nas profundidades de 0,0-0,10 e 0,11-0,20 m, no plantio direto, foram, respectivamente, de 1,41 e 1,47 Mg m⁻³. O valor de 1,47 Mg m⁻³ é considerado como fator impeditivo ao desenvolvimento radicular, entretanto, não promoveu decréscimos de produtividade das culturas. Corroborando os resultados, Klein et al. (2008) verificaram que, após sete meses do manejo do solo com escarificação mecânica, o cultivo do trigo mostrou-se eficiente em manter a macroporosidade e densidade do solo inicial.

Tabela 1. Valores médios de macro e microporosidade, porosidade total (Pt), relação de macroporos/volume total de poros (MA/VTP) e densidade do solo (Ds) avaliados nas camadas de 0,0-0,10, 0,11-0,20, 0,21-0,30 e 0,31-0,40 m após manejo das plantas de cobertura

Fator de variação	Porosidade (m ³ m ⁻³)			Relação MA/VTP	Ds Mg m ⁻³	Porosidade (m ³ m ⁻³)			Relação MA/VTP	Ds Mg m ⁻³
	Macro	Micro	Pt			Macro	Micro	Pt		
0,0 - 0,10 m						0,11 - 0,20 m				
Sistema de Manejo										
Preparo reduzido	0,11*	0,42 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,21	1,26*	0,09 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,17	1,35*
Plantio direto	0,08	0,44	0,52	0,15	1,41	0,07	0,45	0,52	0,13	1,47
CV %	17,35	4,93	2,91		7,52	21,92	5,60	5,67		5,40
Planta de cobertura										
Aveia + Ervilha	0,10a	0,43 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,19	1,28 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,15	1,43 ^{ns}
Aveia + Nabo	0,10a	0,43	0,53	0,19	1,34	0,08	0,44	0,52	0,15	1,41
Trigo	0,08b	0,43	0,51	0,16	1,38	0,08	0,44	0,52	0,15	1,38
CV %	10,31	8,55	7,85		10,59	18,60	6,08	5,91		5,28
0,21 - 0,30 m						0,31 - 0,40 m				
Sistema de Manejo										
Preparo reduzido	0,07 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,14	1,43 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,12	1,41 ^{ns}
Plantio direto	0,06	0,46	0,52	0,12	1,44	0,07	0,45	0,52	0,13	1,38
CV %	24,35	5,23	1,49		4,27	16,84	2,77	4,40		4,37
Planta de cobertura										
Aveia + Ervilha	0,06 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,12	1,42 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,13	1,42 ^{ns}
Aveia + Nabo	0,06	0,45	0,51	0,12	1,43	0,06	0,45	0,51	0,12	1,37
Trigo	0,06	0,45	0,51	0,12	1,44	0,07	0,46	0,53	0,13	1,40
CV %	10,24	3,77	2,17		2,67	23,60	1,76	4,09		3,55

* Significativo pelo teste F (p<0,05). ^{ns}: Não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna em cada camada não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). CV: Coeficiente de variação.

Mazurana et al. (2011) também observaram melhorias físicas após a escarificação do solo.

As plantas de cobertura melhoraram a macroporosidade do solo na profundidade de 0 a 0,10 m. As áreas com aveia+ervilha e aveia+nabo, cujas plantas possuem sistemas radiculares fasciculado e pivotante, apresentaram maior macroporosidade ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) em comparação às áreas com trigo ($0,08 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Isso porque a área explorada por diferentes raízes de plantas promove maior rompimento de camadas compactadas; além disso, libera mucilagens, exsudatos que aumentam a atividade microbiana (SEIDEL et al., 2017) e favorecem a agregação do solo e sua estabilidade (MAZURANA et al., 2011).

Os diferentes manejos e as diferentes plantas de cobertura não apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$) quanto ao estado de agregação (Tabela 2). A estabilidade dos agregados é dependente de vários fatores, destacando-se os físicos, químicos e biológicos. Em Latossolos, em cuja mineralogia predominam argilas do tipo 1:1, óxidos de ferro e alumínio, os principais agentes agregantes são os óxidos e não a matéria orgânica (SIXT et al., 2004), por isso não houve efeito das diferentes plantas de cobertura. Observa-se pelo índice de agregação maior que 91% que os agregados são muito estáveis em água.

Quando o solo é manejado em SPD, há

uma tendência de aumento no DMP e DMG dos agregados do solo em comparação com o sistema convencional de cultivo, como verificado por Salton et al. (2008). Esta melhoria está relacionada ao aumento da diversidade microbiológica e ao incremento contínuo de matéria orgânica (MATOS et al., 2008; LOSS et al., 2011; WENDLING et al., 2012). Entretanto, neste trabalho, as plantas de cobertura ainda não sofreram decomposição e mineralização, e por isso não houve total efeito da matéria orgânica atuando como agente cimentante na formação de agregados maiores (CARDOSO et al., 2013); além disso, as plantas, ao se decomporem, deixam espaços vazios, que são os bioporos (DEBIASI et al., 2010; SANCHEZ et al., 2012), os quais contribuíram para melhoria da estrutura do solo.

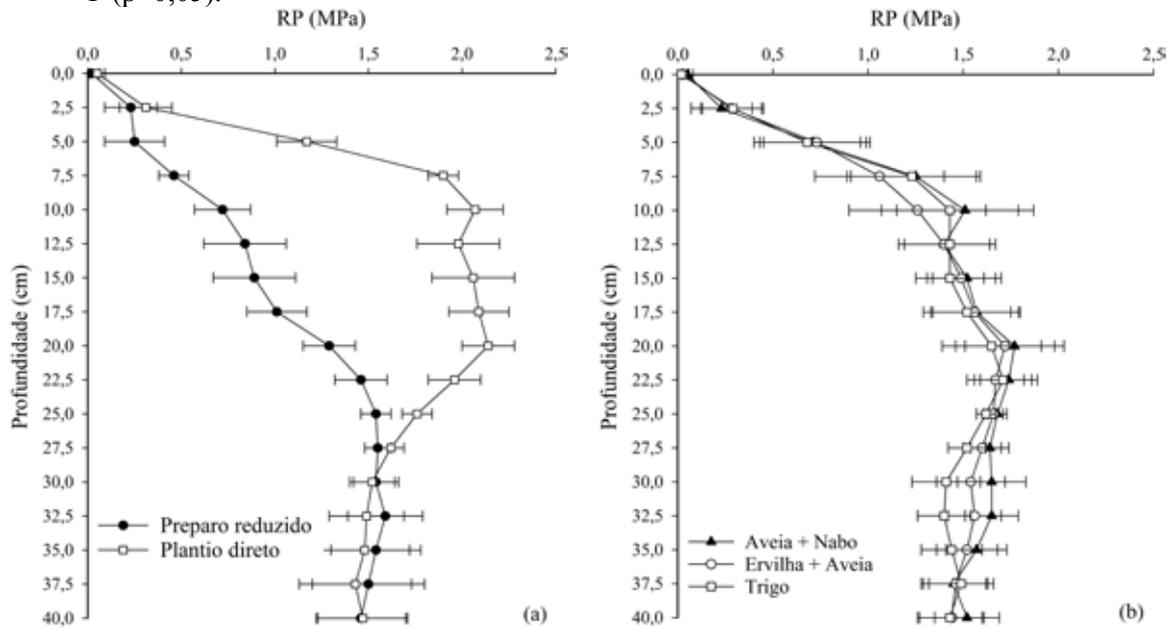
Nas Figuras 1a e 1b são apresentados os resultados médios para resistência do solo à penetração (RP) nos dois manejos e com as plantas de cobertura. Não houve efeito para a interação, entretanto, houve efeito isolado para o sistema de manejo do solo. No preparo reduzido (escarificação mecânica), a resistência do solo à penetração até 0,25 m foi estatisticamente menor em relação ao tratamento plantio direto (Figura 1a). Embora as hastes do escarificador tenham 0,30 m de profundidade, sua atuação efetiva em descompactar ficou em 0,25 m.

Tabela 2. Valores médios de diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade dos agregados (IAE) avaliados nas camadas de 0,0-0,20 e 0,21-0,40 m após manejo das plantas de cobertura

Fator de variação	DMP (mm)		DMG (mm)		IAE (%)	
	0,0 - 0,20 m	0,21 - 0,40 m	0,0 - 0,20 m	0,21 - 0,40 m	0,0 - 0,20 m	0,21 - 0,40 m
Sistema de Manejo						
Preparo reduzido	2,32 ^{ns}	1,71 ^{ns}	1,42 ^{ns}	1,07 ^{ns}	92,43 ^{ns}	91,27 ^{ns}
Plantio direto	2,27	1,80	1,57	1,13	92,98	90,12
CV %	20,34	7,64	9,37	14,05	2,55	6,01
Planta de cobertura						
Aveia + Nabo	2,22 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,48 ^{ns}	1,11 ^{ns}	92,50 ^{ns}	91,01 ^{ns}
Ervilha + Aveia	2,31	1,74	1,52	1,09	91,89	90,60
Trigo	2,35	1,72	1,49	1,10	93,72	90,48
CV %	9,05	12,85	15,61	15,94	3,28	2,28

^{ns}: não significativo pelo teste F ($p < 0,05$). CV: Coeficiente de variação.

Figura 1. Resistência do solo à penetração em MPa, até a profundidade de 0,40 m, determinada após manejo das plantas de cobertura. A comparação entre tratamentos a cada 0,025 m foi realizada por meio da barra contendo o valor da diferença mínima significativa (Dms), obtida pelo teste F ($p < 0,05$).



Observa-se que a RP obtida no plantio direto atingiu valores próximos ou superiores ao limite crítico, que é 2,0 Mpa. RP acima deste valor pode comprometer o desenvolvimento radicular da maioria das culturas, principalmente se as condições climáticas foram adversas (DRESCHER et al., 2016). Os resultados demonstraram que a escarificação foi eficiente em diminuir camadas compactadas, o que é corroborado por Nicoloso et al. (2008) e Mazurana et al. (2011), que observaram diminuição da RP do solo em áreas cultivadas sob SPD após o preparo reduzido com escarificadores em Latossolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo, respectivamente.

Não houve diferença estatística para a RP entre as plantas de cobertura (Figura 1b). Esperava-se que o mix de espécies vegetais, com sistema radicular fasciculado e pivotante, pudesse contribuir na redução da RP, mas isso não se confirmou. Reinert et al. (2008) e Sanchez et al. (2012) também não observaram mudanças na RP do solo após cultivo com plantas de cobertura. Resultados contrários foram observados por Cardoso et al. (2013), entretanto com outras espécies cultivadas (milheto,

crotalária e feijão-de-porco).

CONCLUSÕES

- As plantas de cobertura cultivadas em manejos diferenciados não promoveram alterações nas propriedades físicas do solo. Houve apenas o efeito isolado para macroporosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração.
- O preparo reduzido com escarificador foi eficiente para descompactar o solo, promovendo aumento da porosidade de aeração e diminuição da densidade e resistência à penetração, mas não promoveu alterações na estabilidade dos agregados do solo.
- Os mixes de plantas de cobertura com diferentes famílias aumentaram os macroporos na superfície do solo, mas não atuaram igualmente na estabilidade dos agregados e na resistência do solo à penetração.
- A estabilidade dos agregados não foi alterada pelo manejo do solo e nem pelas plantas de cobertura utilizadas neste experimento.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por fornecer bolsas de estudos aos autores. Ao Prof. Dr. Claudio Yuji Tsutsumi, pelo auxílio na análise estatística do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARDOSO, D.P.; SILVA, M.L.N.; CARVALHO, G.J.de; FREITAS, D.A.F.de; AVANZI, J.C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciência Agrárias**, Recife, v.8, n.3, p.375-382, 2013.

CAVIGLIONE, J.H.; KIIHL, L.R.B.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina, Instituto agrônomo do Paraná (IAPAR), 2000. CD- ROM.

CONAB: COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Décimo primeiro levantamento/Agosto 2017, safra 2016/2017. Brasília, v.4, n.11, p.1-171, 2017.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C.R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K.M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.45, n.6, p.603-612, jun. 2010.

DONAGEMA, G.K.; CAMPOS, D.V.B.de; CALDERANO, S.B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J.H.M. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 230p, 2011.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; MIOLA, E.C.C.; GIACOMINI, D.A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, p.1714-1723, nov./dez. 2012.

DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G.L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em Latossolo Vermelho sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.6, p.1836-1844, nov./dez. 2012.

DRESCHER, M.S.; REINERT, D.J.; DENARDIN, J.E.; GUBIANI, P.I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G.L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.51, n.2, p.159-168, fev. 2016.

FEBRAPDP, Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área cultivada no Sistema de Plantio Direto na palha - Brasil**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/Ev_area_pd_brasil.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2016.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.38, n.2, p.109-112, mar./abr. 2014.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. cap.9, p.449-510.

KLEIN, V.A.; VIEIRA, M.L.; DURIGON, F.F.; MASSING, J.P.; FÁVERO, F. Porosidade de aeração de um Latossolo Vermelho e rendimento de trigo em plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.2, p.365-371, mar./abr. 2008.

KLEIN, V.A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.9, p.2475-2481, 2009.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B.S.; KOUCHER, L.P.; OLIVEIRA, R.A.; KURTZ,

C.; LOVATO, P.E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J.J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.39, n.4, p.1212-1224, jul./ago. 2015.

MATOS, E.S.; MENDONÇA, E.S.; LEITE, L.F.C.; GALVÃO, J.C.C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.9, p.1221-1230, set. 2008.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: Alterações na estrutura do solo e rendimento das culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1197-1206, jun./ago. 2011.

MOURA, J.B.; MARASCA, I.; MENESES, L.A.S.; PIRES, W.M.; MEDEIROS, L.C. Resistência a penetração do solo em pastagem cultivada com *Brachiaria Decumbens* sob aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v.5, n.3, p.162-169, set./dez. 2012.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELLO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.1723-1734, jul./ago. 2008.

REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.5, p.1805-1816, set./out. 2008.

ROSSET, J.S.; LANA, M.C.; PEREIRA, M.G.; SCHIAVO, J.A.; RAMPIM, L.; SARTO, M.V.M.; SEIDEL, E.P. Carbon stock, chemical and physical

properties of soils under management systems with different deployment times in western region of Paraná, Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.35, n.6, p.3053-3072, nov./dez. 2014.

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

SANCHEZ, E.; MAGGI, M.F.; GENÚ, A.M.; MULLER, M.M.L. Winter cover crops, plant biomass production and soil resistance. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.5, n.3, p.33-40, set./dez. 2012.

SANCHEZ, E.; MAGGI, M.F.; GENÚ, A.M.; MULLER, M.M.L. Propriedades físicas do solo e produtividade de soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Revista Magistra**, Cruz das Almas, v.26, n.3, p.266-271, jul./set. 2014.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.Á.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4ª edição, Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2014. 376p.

SEIDEL, E.P.; MATTIA, V.; MATTEI, E.; CORBARI, F. Produção de matéria seca e propriedades físicas do solo na consorciação milho e braquiária. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.14, n.1, p.18-24, jan./mar. 2015.

SEIDEL, E.P.; REIS, W.Dos; MOTTIN, M.C.; FEY, E.; SCHNEIDER, A.P.R.; SUSTAKOWSKI, M.C. Evaluation of aggregate distribution and selected soil physical properties under maize-jack bean intercropping and gypsum rates. **African Journal of Agricultural Research**, Nigéria, v. 12, n.14, p.1209-1216, abr. 2017.

SEKI, A.S.; SEKI, F.G.; JASPER, S.P.; SILVA, P.R.A; BENEZ, S.H. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.46, n.3, p.460-468, 2015.

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

SPERA, S.T.; ESCOSTEGUY, P.A.V.; DENARDIN,

J.E.; KLEIN, V.A.; SANTOS, H.P.dos. Atributos químicos restritivos de Latossolo Vermelho distrófico e tipos de manejo de solo e rotação de culturas. **Revista Agrarian**, Dourados, v.4, n.14, p.324-334, 2011.

WENDLING, B.; VINHAL-FREITAS, I.C.; OLIVEIRA, R.C. de; BABATA, M.M.; BORGES, E.N. Densidade, agregação e porosidade do solo em áreas de conversão do cerrado em floresta de pinus, pastagem e plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.28, n.1, p.256-265, mar. 2012.