

Comissão 3.2 - Manejo e conservação do solo e da água

PERSISTÊNCIA DO EFEITO DE INTERVENÇÕES MECÂNICAS PARA A DESCOMPACTAÇÃO DE SOLOS SOB PLANTIO DIRETO⁽¹⁾

Marta Sandra Drescher⁽²⁾, Flávio Luiz Foletto Eltz⁽³⁾, José Eloir Denardin⁽⁴⁾ & Antônio Faganello⁽⁵⁾

RESUMO

A compactação tornou-se uma das principais causas de degradação do solo em áreas agrícolas, estando diretamente relacionada ao sistema de manejo do solo adotado e, muitas vezes, demandando práticas de descompactação para mitigar esse problema. Este trabalho objetivou avaliar a duração do efeito de intervenções mecânicas, como a aração e escarificação do solo associadas à ação de semeadora de plantio direto equipada com mecanismos rompedores de solo tipo discos e discos + facão, como práticas mitigadoras da compactação de um solo manejado sob o Sistema Plantio Direto (SPD), por meio da avaliação de atributos físicos do solo e do esforço de tração. O estudo foi realizado no município de Coxilha, na região Norte do Rio Grande do Sul, localizado nas coordenadas geográficas de 28°10'18,7" S e 52°22'39,89" O, sobre um Latossolo Vermelho, em experimento instalado no ano de 2001 em área com histórico de oito anos sob SPD. Nessa área foram realizadas intervenções mecânicas anuais, mediante a aração e escarificação do solo, anteriores à implantação da cultura de verão. Os tratamentos de manejo do solo constituíram-se da testemunha, com manutenção ininterrupta do SPD por 16 anos e por seis períodos de tempo de condução desse sistema (7,5; 6,5; 5,5; 4,5; 3,5; e 2,5 anos) após a escarificação ou aração, aplicados nas parcelas principais. Nas subparcelas foram aplicados dois tratamentos de dispositivo de aplicação do adubo no sulco de semeadura (discos duplos defasados e facão + discos). O delineamento experimental adotado foi de blocos completos casualizados com parcelas

⁽¹⁾ Extraído da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Recebido para publicação em 5 de dezembro de 2010 e aprovado em 7 de julho de 2011.

⁽²⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS) da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista CNPq. E-mail: martadrescher@gmail.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, UFSM. E-mail: flavioeltz@gmail.com

⁽⁴⁾ Pesquisador da Embrapa-Trigo. CEP 99001-970. E-mail: denardin@cnpt.embrapa.br

⁽⁵⁾ Pesquisador da Embrapa-Trigo. CEP 99001-970. E-mail: afaganel@cnpt.embrapa.br

subdivididas e três repetições. Os resultados indicaram a existência de compactação na camada subsuperficial do solo, situada entre 7 e 15 cm, evidenciada por aumentos na densidade e redução na porosidade total e macroporosidade do solo em todos os tratamentos avaliados. Observou-se que a intervenção mecânica apresenta potencial efêmero para mitigar a compactação e melhorar a estrutura do solo, com duração de até dois anos e meio dos atributos porosidade total e macroporosidade após a escarificação, e a densidade do solo depois da aração. Nos demais atributos avaliados, tais benefícios deixaram de ser perceptíveis em período inferior a dois anos e meio após a intervenção mecânica, o que não provocou alterações na força exercida na barra de tração do trator agrícola, comparativamente à testemunha. Contudo, o mecanismo facão + discos de rompimento do solo na semeadora foi efetivo em alterar os atributos avaliados, aumentando a macroporosidade, diminuindo a microporosidade, a densidade do solo e o esforço de tração e auxiliando, assim, na mitigação da compactação do solo.

Termos de indexação: compactação do solo, atributos físicos do solo, demanda de tração, sistema de manejo de solo.

SUMMARY: *PERSISTENCE OF MECHANICAL INTERVENTIONS EFFECT FOR SOIL DECOMPACTION IN NO-TILLAGE SYSTEMS*

Compaction has become one of the main causes of soil degradation in agricultural areas. It is directly related to the soil management system, often requiring decompaction practices to mitigate the problem. This study aimed to determine the duration of the effects of mechanical soil decompaction, e.g., by plowing and chiseling, associated with soil breaking devices on the seeders, for example disks and disk-ripper, to mitigate the compaction of soil under no tillage; soil physical properties and the force exerted by the traction bar were evaluated. The study was carried out in Coxilha, in the north region of Rio Grande do Sul (Brazil) (28°10'18.7" S, 52°22'39.89" W), on a Red Oxisol. The experiment was installed in 2001, in an area for eight years under no-tillage (NT). In this area, mechanical interventions of soil plowing and chiseling were annually performed, prior to summer crop planting. The treatments consisted of one control (uninterrupted NT for 16 years) and six NT periods (7.5; 6.5; 5.5; 4.5; 3.5, and 2.5 years) after chiseling and plowing in the main plots. In the subplots, two fertilizer treatments were applied in the sowing furrow (disks or disk-ripper). The experiment was evaluated in a randomized block design in split plots and three replications. Results indicated the existence of soil compaction in the subsurface layer (7–15 cm), evidenced by increases in soil density and reduction in soil total porosity and macroporosity in all treatments. It was observed that the effects of mechanical intervention to mitigate compaction and improve the soil structure were ephemeral, with a durability of up to two and a half years after chiseling for total porosity and macroporosity and for soil density in the plowing treatments. For the other parameters, these benefits were no longer detectable less than two and a half years after intervention. Mechanical intervention caused no alterations in the force exerted by the traction bar, in comparison with the control. However, the soil breaking mechanism of the disk-ripper on the seeder was effective in altering the appraised parameters, increasing soil macroporosity and reducing microporosity, soil density and traction force, thus mitigating soil compaction.

Index terms: soil compaction, soil physical properties, draft power, soil management system.

INTRODUÇÃO

O Plantio Direto (PD) foi introduzido no Sul do Brasil no fim dos anos de 1960 (Borges, 1993) como um simples método de preparo de solo e implementado sob o modelo de produção de trigo (*Triticum aestivum*

L.)/soja (*Glycine max* (L.) Merr.). A partir de meados da década de 1980, recebeu a denominação Sistema Plantio Direto (SPD), quando passou a ser conceituado como um complexo de técnicas destinado à exploração de sistemas agrícolas produtivos (Denardin et al., 2001). Nos preceitos desse complexo de técnicas, além

da restrição à mobilização de solo apenas na linha de semeadura e da manutenção dos resíduos culturais na superfície, já contemplados no conceito de PD, passaram a ser consideradas essenciais à diversificação de espécies via rotação e, ou, consorciação de culturas e a cobertura permanente do solo, seja por plantas vivas, seja por restos culturais (Denardin et al., 2001).

Após cerca de 40 anos desde o início da adoção do PD na região de clima subtropical úmido do Brasil, contudo ainda se observam frustrações de safra motivadas por déficit hídrico por ocasião da ocorrência de pequenos períodos sem chuva, até mesmo inferiores a 10 dias (Denardin et al., 2008b). Esse problema está associado à acentuada estratificação do solo na camada de 0 a 20 cm, seja em relação à estrutura do solo, seja em relação à distribuição dos nutrientes (Araujo et al., 2004; Cavalcante et al., 2007; Denardin et al., 2009), o que limita o crescimento de raízes na camada superficial do solo.

As razões para o surgimento dessas formas de degradação do solo, com ênfase na sua compactação, são atribuídas por Denardin et al. (2008a) ao descumprimento de alguns preceitos fundamentais da agricultura conservacionista que, em vez de resultar na implementação do SPD, recai na adoção simplista do PD como prática de conservação do solo, insuficiente para a sustentação da agricultura na Região Sul do país. Nesse sentido, normalmente se observa nas lavouras o tráfego indiscriminado de máquinas e implementos agrícolas, bem como o manejo inadequado do sistema integração lavoura-pecuária, o uso de semeadoras equipadas exclusivamente com discos para abrir os sulcos de semeadura, a fertilização do solo recorrentemente na superfície ou na camada de 0 a 5 cm e a calagem excessiva, tanto em dose quanto em frequência de aplicação. Além disso, verifica-se a incipiente rotação de culturas, com produção de resíduos em quantidade, qualidade e frequência aquém da demanda biológica do solo. Em razão dessas ocorrências, processos de compactação do solo destacam-se como problemas recorrentes e demandantes de soluções técnicas.

A compactação do solo, embora constitua um problema agrícola antigo, ainda é encontrada em solos manejados sob PD na camada de aproximadamente 5 a 20 cm (Abreu et al., 2003; Genro Junior et al., 2004; Suzuki et al., 2008), configurando-se em uma das principais causas limitantes da maximização do rendimento das plantas cultivadas.

Entre os impactos decorrentes da compactação do solo, ressaltam-se as alterações no volume e distribuição do tamanho dos poros e, conseqüentemente, nos fluxos de água e de gases (Taylor; Brar, 1991). No processo de compactação do solo, os agregados são fracionados (Tavares Filho et al., 1999) por pressão ou dispersão, resultando na aproximação entre as partículas e na redução do tamanho dos poros do solo. Assim, o volume de macroporos, responsáveis pela aeração e pela drenagem interna do solo, é reduzido,

podendo ocorrer incremento no volume de meso e microporos, responsáveis pela retenção de água em médias e altas tensões (Reichert et al., 2007). Em síntese, solo compactado ou adensado apresenta redução da porosidade total e da macroporosidade, assim como aumento da microporosidade e densidade do solo (Klein; Libardi, 2002). Portanto, porosidade e densidade do solo, por se constituírem em propriedades estreitamente relacionadas à compactação do solo (Reichert et al., 2007) e por serem sensíveis ao efeito de sistemas de manejo sobre a estrutura do solo, de fácil determinação e pouco influenciadas pelo teor de água no processo de coleta das amostras de solo, são frequentemente empregadas como indicadores satisfatórios desses tipos de degradação do solo.

Aliados aos prejuízos causados à estrutura do solo e ao crescimento e desenvolvimento das plantas, os processos de compactação do solo também interferem diretamente no desempenho de máquinas e implementos agrícolas, promovendo, dentre outros, incremento na demanda de potência para tração. Quando a compactação do solo se torna limitante ao crescimento e desenvolvimento das culturas, é necessária a adoção de medidas mitigatórias. Para isso, a prática corriqueira tem sido a escarificação do solo que, ao romper a camada superficial encrostada e a camada subsuperficial compactada, eleva o volume do solo, aumentando a porosidade e reduzindo a densidade do solo (Kochhann & Denardin, 2000). Eventualmente, a aração também é empregada como prática para mitigação da compactação do solo, desde que o disco atinja profundidade maior do que a camada compactada. Essas práticas de descompactação, todavia, além de serem onerosas, não necessariamente implicam aumento de rendimento das culturas, ocasionando, por vezes, até mesmo redução (Veiga et al., 2008). Além disso, Busscher et al. (2002) atentaram para o fato de que esse efeito é de curta duração devido ao processo natural de reconsolidação do solo, resultante da ação da chuva e dos ciclos de umedecimento e secagem (Hillel, 1998), mesmo na ausência de tráfego.

Atualmente se observa a procura por métodos alternativos de mitigação da compactação do solo para aqueles tradicionalmente empregados, tendo sido preconizado o emprego de semeadoras equipadas com facão associado ao disco de corte, para descompactação na linha de semeadura. Sistemas dessa natureza permitem a mitigação da compactação do solo mediante o aumento da porosidade e a redução da densidade e da resistência mecânica do solo à penetração no local específico onde crescerão as raízes da planta cultivada, mas com efeito significativo quando a compactação estiver restrita à camada superficial. Segundo Koakoski et al. (2007), a adoção de mecanismo rompedor de solo tipo facão em semeadoras de plantio direto pode ocasionar aumento de 24,3 % na porosidade do solo, comparativamente à adoção exclusiva de discos. Esses mesmos autores verificaram ainda que o uso do facão proporciona, também, menores valores

de resistência à penetração do que o disco duplo na linha de semeadura, especialmente na camada de 10 a 15 cm.

Este trabalho objetivou avaliar a duração do efeito de intervenções mecânicas, como a aração e escarificação do solo, associadas à ação de semeadora de plantio direto equipada com mecanismos rompedores de solo tipo discos e discos+facão, como práticas mitigadoras da compactação de um solo manejado sob o Sistema Plantio Direto, por meio da avaliação de atributos físicos do solo e do esforço de tração.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Coxilha, RS, Brasil, localizado nas coordenadas geográficas de 28°10'18,7" de latitude Sul e 52°22'39,89" de longitude Oeste, com altitude de 695 m acima do nível do mar. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico húmico (Streck et al., 2008), de textura argilosa (Quadro 1), manejado sob SPD desde 1993. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é subtropical úmido, Cfa, com regime pluviométrico bem distribuído durante o ano e precipitação pluvial normal variando de 1.300 a 1.800 mm ano⁻¹, com maiores valores em maio e junho (Nimer, 1989).

O experimento foi instalado em 2001, em área de lavoura com histórico de oito anos de uso e manejada sob SPD. Os tratamentos, em número de 13, foram constituídos por uma testemunha, representada pela manutenção ininterrupta do SPD por 16 anos, ou seja, oito anos do histórico da área experimental manejada sob SPD e mais oito anos da condução do ensaio (SPD contínuo) e 12 tratamentos constituídos por seis intervalos de tempo de condução do ensaio sob SPD (7,5; 6,5; 5,5; 4,5; 3,5; e 2,5 anos) após as intervenções mecânicas com arado de discos+grade de discos (A) e escarificador equipado com rolo destorroador (E) (Quadro 2). A mobilização do solo, por meio de aração ou escarificação, foi realizada na primavera da respectiva safra, antecedendo o estabelecimento das culturas de soja e milho.

Quadro 1. Composição granulométrica do solo (Latossolo Vermelho distrófico húmico) da área experimental

Camada	Areia	Silte	Argila	Densidade de partícula
cm	g kg ⁻¹			Mg m ⁻³
0 a 7	317	209	474	2,70
7 a 15	304	202	494	2,68
15 a 20	307	203	490	2,70
0 a 20	306	193	501	2,68

Os subtratamentos, em número de dois, foram constituídos pela ação de uma semeadora de plantio direto equipada com discos duplos defasados, tanto para a deposição de fertilizante quanto para a deposição de sementes no solo, e com facão para a deposição de fertilizantes e discos duplos defasados para a deposição de sementes no solo. O delineamento experimental foi de blocos completos casualizados com parcelas subdivididas e três repetições, com as parcelas principais medindo 12 x 8 m e as subparcelas, 6 x 8 m.

A rotação de culturas utilizada compreendeu ciclos de três anos com a seguinte sequência de espécies: trigo (*Triticum aestivum* L.)/soja (*Glycine max* (L.) Merr.), ervilhaca (*Vicia sativa* L.)/milho (*Zea mays* L.) e aveia-branca (*Avena sativa* L.)/soja.

A adubação de base, em cada safra agrícola e com especificidade para cada espécie cultivada, foi realizada na linha de semeadura, em conformidade com os resultados das análises de fertilidade do solo determinados em amostras de solo coletadas na camada de 0 a 10 cm (SBCS-CQFS, 2004). O manejo de pragas, doenças e plantas daninhas foi realizado de acordo com as indicações técnicas específicas para cada cultura.

As avaliações dos atributos físicos e do esforço de tração foram realizadas em junho de 2009, sendo os atributos físicos do solo avaliados a densidade, porosidade total, micro e macroporosidade do solo, pelo método do anel volumétrico (Embrapa, 1997). Os anéis volumétricos, de aço inoxidável, mediam 2,5 cm de altura por 5,6 cm de diâmetro, perfazendo volume de 61,58 cm³. A coleta das amostras foi realizada em três profundidades, adotando-se, para a identificação das camadas estratificadas de solo, o método do perfil cultural (Blancaneaux et al., 1995; Tavares Filho et al., 1999), e buscando, com isso, homogeneidade estrutural do solo por camada. Por esse método,

Quadro 2. Caracterização dos tratamentos

Tratamento	Safra sob SPD ⁽¹⁾	Anos sob SPD ⁽²⁾
T - Testemunha - SPD contínuo	16 + 16	8 + 8
A7 - aração do solo - verão 2001/02	15	7,5
E7 - escarificação do solo - verão 2001/02	15	7,5
A6 - aração do solo - verão 2002/03	13	6,5
E6 - escarificação do solo - verão 2002/03	13	6,5
A5 - aração do solo - verão 2003/04	11	5,5
E5 - escarificação do solo - verão 2003/04	11	5,5
A4 - aração do solo - verão 2004/05	9	4,5
E4 - escarificação do solo - verão 2004/05	9	4,5
A3 - aração do solo - verão 2005/06	7	3,5
E3 - escarificação do solo - verão 2005/06	7	3,5
A2 - aração do solo - verão 2006/07	5	2,5
E2 - escarificação do solo - verão 2006/07	5	2,5

⁽¹⁾ SPD: Sistema Plantio Direto. ⁽²⁾ No tratamento-testemunha, manteve-se sob SPD por oito anos antes do ensaio e oito durante.

admite-se como primeira profundidade a camada superficial, de estrutura granular e com elevada concentração de raízes (aproximadamente entre 0 e 7 cm); como segunda profundidade, a camada subsuperficial, percebida como de estrutura maciça e com menor concentração de raízes (aproximadamente entre 7 e 15 cm); e a terceira profundidade, a camada com estrutura em blocos típica do Latossolo Vermelho húmico, praticamente sem a presença de raízes (aproximadamente entre 15 e 25 cm). A amostragem foi efetuada em um ponto de cada unidade experimental correspondente aos subtratamentos.

O esforço de tração, expresso em kN, foi avaliado por meio de uma haste sulcadora de semeadora, com o auxílio de um anel octogonal acoplado a um módulo de aquisição de dados, equipado com pontes extensiométricas. Esse equipamento dinamométrico, instalado entre o carro porta-ferramenta e a haste sulcadora, foi configurado para a taxa de aquisição de 22 dados por segundo. A haste sulcadora, com 1,2 cm de espessura, foi ajustada para atuar até 13 cm de profundidade, e o trator motriz, marca Valmet com dupla tração, deslocou-se à velocidade de 3,2 km h⁻¹. A avaliação do esforço de tração pelo conjunto trator+carro porta-ferramenta e dinamômetro foi processada perpendicularmente às linhas de semeadura das unidades experimentais, obtendo-se, assim, dados resultantes dos tratamentos e dos subtratamentos.

Os resultados dos atributos avaliados foram submetidos à análise de variância e ao teste de hipóteses, para a interação entre os fatores alocados na parcela principal (períodos de adoção do Sistema Plantio Direto) e na subparcela (mecanismos sulcadores da semeadora) e para os efeitos principais dos fatores da parcela principal e da subparcela, nas três camadas avaliadas (0 a 7, 7 a 15 e 15 a 25 cm). Assim, no teste de hipóteses, a hipótese de interação nula, ou seja, $H_0: \varphi(AD) = 0$, com 5 % de probabilidade de erro, não foi rejeitada em nenhuma das camadas avaliadas, concluindo-se que a interação observada não é significativa e pode ser atribuída ao acaso. Assim, uma vez que tanto os fatores casualizados na parcela principal quanto na subparcela são qualitativos, sua interpretação foi realizada por teste de hipóteses e comparação múltipla de médias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade e porosidade do solo

Os dados analíticos (Quadro 3) de densidade e porosidade do solo apontam a presença de compactação do solo na camada de 7 a 15 cm, corroborando os resultados de Abreu et al. (2003), Genro Junior et al. (2004) e Suzuki et al. (2008), os quais apontam esse problema como frequente em solos manejados sob SPD. Tal situação pode ser evidenciada pelo incremento nos

valores de densidade do solo e redução da porosidade total e da macroporosidade nessa camada, comparativamente à camada de 0 a 7 cm. Esse comportamento diferenciado entre as camadas de solo pode ser atribuído à existência, na camada superficial, de maior concentração de matéria orgânica, maior atividade biológica e maior intensidade dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, além da ação dos mecanismos rompedores de solo que equipam as semeadoras. A importância do efeito dos mecanismos sulcadores da semeadora sobre a estratificação do perfil do solo manejado sob SPD é citada por Genro Junior et al. (2004), os quais verificaram que a camada de 0 a 5 cm é mobilizada em cerca de 30 % a cada operação de semeadura das culturas de inverno, que são semeadas, em média, com espaçamento entre fileiras de plantas da ordem de 0,17 m. Esse nível de mobilização de solo que ocorre no estabelecimento das culturas de inverno, associado à mobilização de solo no estabelecimento das culturas de verão, em pouco tempo promove mobilização do solo em toda a camada superficial do solo manejado sob SPD. Como reflexo desses processos, não houve expressão do efeito dos tratamentos na camada de 0 a 7 cm em nenhum dos atributos avaliados.

Em contrapartida, a camada de 7 a 15 cm está mais sujeita à concentração das cargas aplicadas na superfície do solo devido ao tráfego de máquinas e animais (Voorhees, 1983), e há ineficiência das forças naturais (ciclos de umedecimento e secagem) em reduzir a densidade do solo nessa camada. Dessa forma, práticas de manejo que resultem em algum grau de revolvimento do solo nessa camada, como a ocasional aração ou escarificação, promoverão maiores efeitos sobre essa camada do que sobre a camada superficial. Isso pode ser observado no quadro 3, em que a expressão dos tratamentos de preparo (aração e escarificação no SPD) foi perceptível apenas na segunda camada, entre 7 e 15 cm. Resultados semelhantes foram obtidos por Abreu et al. (2004), os quais observaram um estado de compactação maior na profundidade de 7,5 cm nos tratamentos sem mobilização de solo, o que foi atribuído ao efeito cumulativo de pressões de máquinas e implementos sobre o solo e, ainda, à acomodação natural das partículas. A terceira camada amostrada apresentou comportamento similar ao da camada de 7 a 15 cm para os atributos físicos avaliados sem, contudo, mostrar diferenças estatísticas entre os valores encontrados.

O efeito das intervenções com aração ou escarificação para a mitigação da compactação sobre os atributos físicos do solo foi efêmero, ou seja, as melhorias nos atributos físicos desapareceram em poucos ciclos de cultivo. Assim, o menor valor de densidade do solo foi encontrado no tratamento em que a intervenção foi realizada há dois anos e meio (A2), ao passo que o maior valor ocorreu na área escarificada há quatro anos e meio (E4). Tais resultados indicam que, quatro anos e meio após a

Quadro 3 Densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo em um Latossolo Vermelho distrófico húmico, manejado sob Sistema Plantio Direto há 16 anos e após diferentes períodos da operação de aração ou escarificação

Tratamento	Profundidade (cm)			CV (%)
	0 a 7	7 a 15	15 a 25	
	Densidade do Solo (Mg m ⁻³)			
T - Testemunha - SPD contínuo	1,15 B a	1,31 A ab	1,39 A a	7,08
A7 - aração há 7,5 anos	1,14 B a	1,39 A ab	1,31 A a	7,64
A6 - aração há 6,5 anos	1,04 B a	1,34 A ab	1,38 A a	4,88
A5 - aração há 5,5 anos	1,14 B a	1,30 A ab	1,30 A a	6,02
A4 - aração há 4,5 anos	1,23 A a	1,32 A ab	1,32 A a	8,61
A3 - aração há 3,5 anos	1,20 B a	1,33 A ab	1,31 A a	5,04
A2 - aração há 2,5 anos	1,16 B a	1,20 AB b	1,30 A a	5,71
E7 - escarificação há 7,5 anos	1,16 B a	1,30 AB ab	1,31 A a	7,43
E6 - escarificação há 6,5 anos	1,16 B a	1,37 A ab	1,35 A a	6,33
E5 - escarificação há 5,5 anos	1,05 B a	1,34 A ab	1,35 A a	5,22
E4 - escarificação há 4,5 anos	1,16 B a	1,42 A a	1,38 AB a	10,05
E3 - escarificação há 3,5 anos	1,15 B a	1,37 A ab	1,29 A a	5,37
E2 - escarificação há 2,5 anos	1,12 B a	1,27 AB ab	1,34 A a	7,54
CV (%)	13,68	6,68	5,79	
	Porosidade Total (m ³ m ⁻³)			
T - Testemunha - SPD contínuo	0,48 A a	0,40 B b	0,41 B a	6,05
A7 - aração há 7,5 anos	0,47 A a	0,42 B ab	0,43 B a	6,19
A6 - aração há 6,5 anos	0,52 A a	0,43 B ab	0,44 B a	2,22
A5 - aração há 5,5 anos	0,48 A a	0,44 B ab	0,43 B a	5,59
A4 - aração há 4,5 anos	0,46 A a	0,44 A ab	0,44 A a	5,81
A3 - aração há 3,5 anos	0,47 A a	0,43 B ab	0,43 B a	5,64
A2 - aração há 2,5 anos	0,47 A a	0,44 ABab	0,41 B a	4,77
E7 - escarificação há 7,5 anos	0,49 A a	0,45 A ab	0,45 A a	6,62
E6 - escarificação há 6,5 anos	0,50 A a	0,42 B ab	0,42 B a	6,41
E5 - escarificação há 5,5 anos	0,51 A a	0,44 B ab	0,44 B a	4,67
E4 - escarificação há 4,5 anos	0,50 A a	0,43 B ab	0,44 ABa	8,05
E3 - escarificação há 3,5 anos	0,52 A a	0,44 B ab	0,45 B a	6,13
E2 - escarificação há 2,5 anos	0,52 A a	0,48 AB a	0,45 B a	5,97
CV (%)	9,27	7,14	6,46	
	Microporosidade (m ³ m ⁻³)			
T - Testemunha - SPD contínuo	0,35 ABa	0,3 B a	0,36 A a	5,50
A7 - aração há 7,5 anos	0,33 B a	0,35 A a	0,35 A a	4,49
A6 - aração há 6,5 anos	0,32 B a	0,35 B a	0,38 A a	5,30
A5 - aração há 5,5 anos	0,34 A a	0,35 A a	0,36 A a	6,76
A4 - aração há 4,5 anos	0,35 A a	0,34 A a	0,36 A a	5,52
A3 - aração há 3,5 anos	0,36 A a	0,36 A a	0,36 A a	4,56
A2 - aração há 2,5 anos	0,35 A a	0,34 A a	0,35 A a	5,43
E7 - escarificação há 7,5 anos	0,35 A a	0,35 A a	0,37 A a	5,97
E6 - escarificação há 6,5 anos	0,35 A a	0,35 A a	0,37 A a	8,60
E5 - escarificação há 5,5 anos	0,34 A a	0,34 A a	0,36 A a	5,67
E4 - escarificação há 4,5 anos	0,36 A a	0,36 A a	0,36 A a	6,37
E3 - escarificação há 3,5 anos	0,35 A a	0,35 A a	0,36 A a	5,26
E2 - escarificação há 2,5 anos	0,36 A a	0,35 A a	0,36 A a	8,57
CV (%)	10,70	6,25	6,41	
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			
T - Testemunha - SPD contínuo	0,13 A a	0,07 Bb	0,05 B a	41,02
A7 - aração há 7,5 anos	0,14 A a	0,06 Bb	0,07 B a	37,81
A6 - aração há 6,5 anos	0,20 A a	0,08 Bab	0,05 B a	19,41
A5 - aração há 5,5 anos	0,13 A a	0,09 ABab	0,07 B a	26,75
A4 - aração há 4,5 anos	0,11 A a	0,09 Aab	0,08 A a	43,49
A3 - aração há 3,5 anos	0,11 A a	0,06 Bab	0,07 B a	25,20
A2 - aração há 2,5 anos	0,12 A a	0,10 ABab	0,06 B a	33,65
E7 - escarificação há 7,5 anos	0,14 A a	0,10 ABab	0,07 B a	36,71
E6 - escarificação há 6,5 anos	0,15 A a	0,06 Bb	0,06 B a	49,48
E5 - escarificação há 5,5 anos	0,17 A a	0,10 Bab	0,08 B a	20,92
E4 - escarificação há 4,5 anos	0,14 A a	0,07 Ab	0,08 A a	52,40
E3 - escarificação há 3,5 anos	0,17 A a	0,09 Bab	0,09 B a	23,92
E2 - escarificação há 2,5 anos	0,16 A a	0,13 ABa	0,09 B a	36,01
CV (%)	41,99	27,90	26,81	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula dentro de cada atributo na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

intervenção mecânica, o solo apresentou atributos muito similares ao da área mantida sob SPD por 16 anos. Esse comportamento pode ser atribuído ao processo natural de reconsolidação do solo, resultante da chuva e dos ciclos de umedecimento e secagem (Hillel, 1998), além do efeito do tráfego de máquinas (Campos et al., 1995; Tarawaly et al., 2004).

A área escarificada há dois anos e meio (E2) apresentou o maior valor da porosidade total do solo (Quadro 3), diferindo apenas da testemunha, manejada há 16 anos sob SPD. Assim, os demais tratamentos, contemplando diferentes períodos de adoção do SPD, mostraram comportamento similar ao da testemunha. O mesmo padrão de comportamento foi observado na macroporosidade. Porém, nesse atributo o efeito da escarificação foi totalmente anulado quatro anos e meio após a escarificação, igualando-se ao da testemunha e diferindo apenas do tratamento escarificado há dois anos e meio (E2). Resultado semelhante foi obtido por Tavares Filho et al. (2006), os quais analisaram o efeito da escarificação em um Latossolo Vermelho distroférrico manejado sob PD por mais de 20 anos, os quais verificaram que, após um ano de cultivo, a área escarificada não mais diferia da área-testemunha com 20 anos sob PD. Entretanto, Pierce et al. (1992) relataram que o efeito da escarificação pode persistir por período de tempo maior em solo de textura franco-arenosa, indicando que a durabilidade da escarificação do solo está intimamente relacionada à classe de textura do solo avaliado.

A microporosidade do solo não respondeu às alterações das práticas de manejo do solo aplicadas, não havendo, portanto, diferença significativa entre os tratamentos em nenhuma das camadas amostradas. Esse comportamento de baixa resposta

da microporosidade às intervenções com aração e escarificação também foi observado por Pagliai (1994) & Ferreira et al. (1999). Isso foi atribuído por Silva e Kay (1997) ao fato de a microporosidade do solo ser fortemente influenciada pela textura e teor de carbono orgânico e muito pouco influenciada pelo aumento da densidade do solo originada do tráfego de máquinas, implementos e outros sobre o solo, justificando, dessa forma, a ausência de resposta neste estudo.

Os subtratamentos, representados pela semeadora equipada com discos duplos defasados e com disco de corte + facão, apresentaram diferenças significativas na camada de 7-15 cm para os atributos densidade, macroporosidade e microporosidade do solo (Quadro 4). As diferenças nos subtratamentos sobre as propriedades físicas do solo apenas nessa camada podem ser explicadas pelo fato de, na camada amostrada superficialmente (0 a 7 cm), ocorrer a atuação dos dois mecanismos de rompimento do solo (discos duplos e disco + facão). Já na segunda camada amostrada (7 a 15 cm) ocorreu apenas a atuação do mecanismo disco + facão, em razão de esse mecanismo atuar até 12 cm de profundidade, razão por que não se poderia esperar alteração nos atributos físicos do solo na última camada amostrada (15 a 25 cm).

Assim, ao observar os dados do quadro 4, percebe-se que a semeadora equipada com mecanismos rompedores de solo tipo disco de corte + facão diminuiu a densidade e microporosidade do solo e aumentou a macroporosidade, comparativamente à semeadora equipada com discos duplos defasados, o que pode ser atribuído à maior profundidade de atuação do facão em relação aos discos. Esses resultados são semelhantes aos observados por Koakoski et al. (2007), que verificaram que o mecanismo rompedor de solo

Quadro 4. Densidade, porosidade total, microporosidade e macroporosidade do solo em um Latossolo Vermelho distrófico húmico manejado sob Sistema Plantio Direto com emprego de semeadora equipada com mecanismos sulcadores tipo discos duplos defasados e disco de corte + facão

Atributo avaliado	Camada	Subtratamento		CV
		Discos duplos	Disco + Facão	
	cm			%
Densidade do Solo ($Mg\ m^{-3}$)	0 a 7	1,15 A b	1,14 A b	10,2
	7 a 15	1,36 A a	1,30 B a	7,1
	15 a 25	1,34 A a	1,33 A a	5,8
Porosidade Total ($m^3\ m^{-3}$)	0 a 7	0,49 A a	0,49 A a	6,1
	7 a 15	0,43 A b	0,44 A b	5,7
	15 a 25	0,43 A b	0,43 A b	6,0
Microporosidade ($m^3\ m^{-3}$)	0 a 7	0,34 A b	0,34 A b	10,4
	7 a 15	0,35 A ab	0,34 B b	6,6
	15 a 25	0,36 A a	0,36 A a	5,8
Macroporosidade ($m^3\ m^{-3}$)	0 a 7	0,15 A a	0,15 A a	35,5
	7 a 15	0,08 B b	0,09 A b	37,3
	15 a 25	0,07 A b	0,07 A c	37,9

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

tipo facão gerou, em média, porosidade total do solo 24,3 % superior à alcançada pelo mecanismo rompedor de solo tipo discos na camada de 0 a 8 cm.

Esforço de tração

Os valores de esforço de tração obtidos neste estudo (Figura 1) corroboram aqueles observados por Cepik et al. (2005) e Bortolotto et al. (2006). Contudo, os diferentes períodos de adoção do SPD, a partir da aração ou da escarificação, não apresentaram diferenças significativas. Esses resultados confirmam aqueles obtidos por Mahl et al. (2004), os quais, em estudo realizado em Nitossolo Vermelho, observaram que 18 meses após a escarificação não havia mais benefícios sobre os atributos de força de tração, potência na barra de tração, consumo de combustível e capacidade de campo efetiva. No entanto, contradizem os resultados de Da Rosa et al. (2008), que verificaram que a demanda de potência requerida pela haste sulcadora aumentou com o tempo transcorrido desde a realização da escarificação até quatro anos após, quando não era mais possível observar o efeito da escarificação em Latossolo Vermelho distrófico.

Os menores valores de esforço de tração obtidos nas parcelas cuja semeadura era realizada com semeadora equipada com facão (Figura 2), tanto no solo mantido ininterruptamente sob plantio direto quanto em diferentes períodos após a aração ou escarificação, sustentam a hipótese de que o emprego, em semeadoras para plantio direto, de elementos rompedores de solo tipo facão, de ação profunda

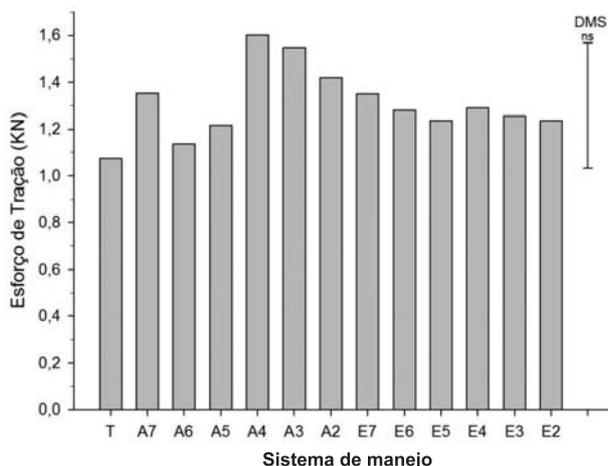


Figura 1. Esforço de tração em um Latossolo Vermelho distrófico húmico manejado sob Sistema Plantio Direto, submetido à aração há 7,5 anos (A7), 6,5 anos (A6), 5,5 anos (A5), 4,5 anos (A4), 3,5 anos (A3) e 2,5 anos (A2), à escarificação há 7,5 anos (E7), 6,5 anos (E6), 5,5 anos (E5), 4,5 anos (E4), 3,5 anos (E3) e 2,5 anos (E2) e há 16 anos sob Sistema Plantio Direto contínuo (T). Obs.: A barra vertical corresponde à diferença mínima significativa pelo teste de Tukey a 5 %.

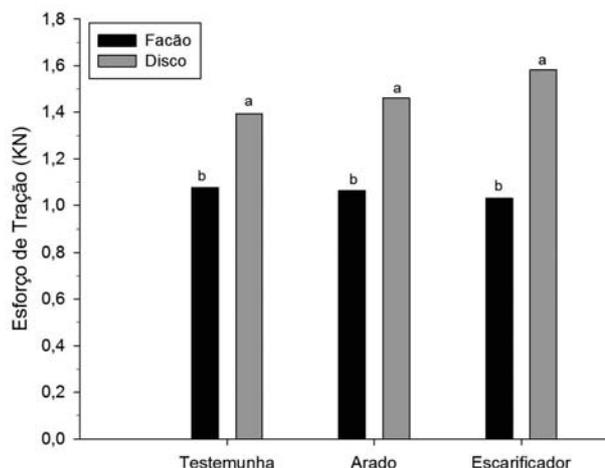


Figura 2. Esforço de tração em um Latossolo Vermelho distrófico húmico manejado sob Sistema Plantio Direto há 16 anos e submetido à aração, à escarificação e à ação de semeadora equipada com dois mecanismos rompedores de solo (discos duplos e disco + facão). Obs.: Os dados foram contrastados pelo teste de Tukey a 5 %, dentro de cada sistema de manejo do solo.

projetado para atuar na camada compactada, promove mitigação da compactação nessa camada. Tais resultados estão em concordância com os de Casão Júnior et al. (2000), os quais verificaram que os sulcadores do tipo facão, providos com adequados ângulos de ataque nas hastes e nas ponteiros, têm maior facilidade de penetração no solo e, com isso, maior potencial para rompimento da camada compactada situada na profundidade de ação do dispositivo, repercutindo, assim, em menor exigência de tração nas operações posteriores.

CONCLUSÕES

1. Todos os tratamentos apresentaram aumento nos valores de densidade do solo e redução na porosidade total e macroporosidade do solo na camada entre 7 e 15 cm de profundidade, em comparação com a camada superficial de 0 a 7 cm, indicando a existência de compactação na camada de 7 a 15 cm.

2. A intervenção mecânica em solo manejado sob Sistema Plantio Direto, mediante a aração ou a escarificação, mostrou potencial efêmero para mitigar a compactação do solo.

3. O mecanismo rompedor de solo tipo disco + facão que equipa semeadora para plantio direto mostrou-se mais efetivo em alterar os atributos avaliados do que a intervenção mecânica com aração ou escarificação em solo manejado sob Sistema Plantio Direto, mitigando a compactação do solo e reduzindo o esforço de tração nas operações posteriores.

AGRADECIMENTOS

À Embrapa Trigo, por permitir o uso da área experimental, pela coordenação do projeto e pelo apoio técnico e financeiro para a execução deste trabalho.

LITERATURA CITADA

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 28:519-531, 2004.
- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo franco arenoso sob plantio direto. Ci. Rural, 33:275-282, 2003.
- ARAÚJO, A.M.; TORMENA, C.A. & SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. R. Bras. Ci. Solo, 28:337-345, 2004.
- BLANCANEAU, P.; FREITAS, P.L. & AMÁBILE, R.F. Sistematização e adaptação da metodologia para caracterização do perfil cultural. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE A METODOLOGIA DO PERFIL CULTURAL, Londrina, 1991. Trabalhos apresentados. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 1995. 28p.
- BORGES, G.O. Resumo histórico do plantio direto no Brasil. In: PLANTIO direto no Brasil. Passo Fundo, Aldeia Norte, Embrapa-CNPT/Fundacep Fecotrigo/Fundação ABC-1993. p.13-18.
- BORTOLOTTI, V.C.; PINHEIRO NETO, R. & BORTOLOTTI, M.C. Demanda energética de uma semeadora-adubadora para soja sob diferentes velocidades de deslocamento e coberturas do solo. Eng. Agríc., 26:122-130, 2006.
- BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J. & FREDERICK, J.R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. Soil Tillage Res., 68:49-57, 2002.
- CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J.; NICOLodi, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas sistemas de manejo do solo. R. Bras. Ci. Solo, 19:121-126, 1995.
- CASÃO JÚNIOR, R.; ARAÚJO, A.G. & RALISH, R. Desempenho da semeadora-adubadora Magnum 2850 em plantio direto no basalto paranaense. Pesq. Agropec. Bras., 35:523-32, 2000.
- CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; PEREIRA, G.T. & SOUZA, Z.M. Variabilidade espacial de MO, P, K e CTC do solo sob diferentes usos e manejos. Ci. Rural, 37:394-400, 2007.
- CEPIK, C.T.C.; TREIN, C.T. & LEVIEN, R. Força de tração e volume de solo mobilizado por haste sulcadora em semeadura direta sobre campo nativo, em função do teor de água no solo, profundidade e velocidade de operação. Eng. Agríc., 25:447-457, 2005.
- DA ROSA, D.P.; REICHERT, J.M.; SATTLER, A.; REINERT, D.J. & MENTGES, M.I. & VIEIRA, D.A. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. Pesq. Agropec. Bras., 43:395-400, 2008.
- DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. & SANTI, A. Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo. R. Plantio Direto, 18:33-34, 2008a.
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; BACALTCHUK, B.; SATTLER, A.; DENARDIN, N.D.A.; FAGANELLO, A. & WIETHÖLTER, S. Sistema plantio direto: fator de potencialidade da agricultura tropical brasileira. In: ALBUQUERQUE, A.C.S. & SILVA, A.G., ed. Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2008b. v.1. p.1251-1273.
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A. & SATTLER, A. Evolução da área cultivada sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. 32p. (Embrapa Trigo. Documentos, 29)
- DENARDIN, J.E.; SCHAEFFER, R.; FAGANELLO, A. & KOCHHANN, R.A. Heterogeneidade física de um Latossolo argiloso manejado sob sistema plantio direto. Passo Fundo, Embrapa Trigo, 2009. 16 p. html (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento online, 70). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/bp/p_bp70.htm>
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURTI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 23:515-524, 1999.
- GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 28:477-484, 2004.
- HILLEL, D. Environmental soil physics. New York, Academic Press, 1998. 770p.
- KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. R. Bras. Ci. Solo, 26:857-867, 2002.
- KOAKOSKI, A.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; SOUZA, L.C.F. & REIS, E.F. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora. Pesq. Agropec. Bras., 42:725-731, 2007.
- KOCHHANN, R.A. & DENARDIN, J.E. Implantação e manejo do sistema plantio direto. Passo Fundo, Embrapa-CNPT, 2000. 36p.
- MAHL, D.; GAMERO, C.A.; BENEZ, S.H.; FURLANI, C.E.A. & SILVA, A.R.B. Demanda energética e eficiência da distribuição de sementes de milho sob variação de velocidade e condição de solo. Eng. Agríc., 24:150-157, 2004.

- NIMER, E. *Climatologia do Brasil*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE - Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1989. 442p.
- PAGLIAI, M. Micromorphology and soil management. *Develop. Soil Sci.*, 22:623-640, 1994.
- PIERCE, F.J.; FORTIN, M. & C. STATON, M.J. Immediate and residual effects of zone-tillage in rotation with no-tillage on soil physical properties and corn performance. *Soil Tillage Res.*, 24:149-165, 1992.
- REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E. & REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, A.P. & KAY, B.D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:877-883, 1997.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Porto Alegre, SBCS/Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400p
- STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E. & PINTO L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. Porto Alegre, Emater/RS, 2008. 222p.
- SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & LIMA, C.L.R. Estimativa da susceptibilidade à compactação e do suporte de carga do solo com base em propriedades físicas de solos do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:963-973, 2008.
- TARAWALY, M.A.; MEDINA, H.; FRÓMETA, M.E. & ITZA, C.A. Field compaction at different soil-water status: effects on pore size distribution and soil water characteristics of a Rhodic Ferralsol in Western Cuba. *Soil Tillage Res.*, 76:95-103, 2004.
- TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B.; RIBON, A.A. & BARBOSA, G.M.C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Ci. Rural*, 36:996-999, 2006.
- TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F.; MEDINA, C.C.; BALBINO, L.C. & NEVES, C.S.V.J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:393-399, 1999.
- TAYLOR, H.M. & BRAR, G.S. Effect of soil compaction on root development. *Soil Tillage Res.*, 19:111-119, 1991.
- VEIGA, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a Southern Brazilian Hapludox. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1437-1446, 2008.
- VOORHEES, W.B. Relative effectiveness of tillage and natural forces in alleviating wheel-induced soil compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47:129-133, 1983.