



Capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho com diferentes sistemas de manejo

Felipe Bonini da Luz⁽¹⁾; Moacir Tuzzin de Moraes⁽²⁾; Daniel Aquino de Borba⁽¹⁾; Cícero Ortigara⁽¹⁾; Carlos Augusto Bonini Pires⁽³⁾; Lucas Aquino Alves⁽¹⁾; José Alcides Soares de Freitas⁽¹⁾; Vanderlei Rodrigues da Silva⁽⁴⁾; Henrique Debiasi⁽⁵⁾; Julio Cezar Franchini⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Estudante; Universidade Federal de Santa Maria campus Frederico Westphalen (UFSM/FW); Linha 7 de Setembro, s/n, BR 386, Km 40 Frederico Westphalen – RS, CEP: 98400-000; boninisolos@gmail.com ⁽²⁾ Estudante, Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ⁽³⁾ Estudante, UFSM; ⁽⁴⁾ Professor; UFSM/FW ⁽⁵⁾ Pesquisador, EMBRAPA SOJA.

RESUMO: O entendimento do processo compressivo do solo em função da umidade e a sua relação com o manejo é fundamental para manter a qualidade estrutural dos solos agrícolas e obtenção de elevadas produtividades. O presente trabalho teve o objetivo de estudar o processo de endurecimento pelo envelhecimento (*age hardening*) por meio de modelos de capacidade de suporte de carga do solo (MCSC) e do tempo de adoção e escarificação do sistema plantio direto em um Latossolo Vermelho Distroférico muito argiloso. O estudo foi desenvolvido em delineamento experimental de blocos ao acaso, com cinco tratamentos (sistemas de manejo do solo) e oito repetições. Os sistemas de manejo do solo foram o preparo convencional; preparo mínimo com escarificação anual ou a cada três anos; e sistema plantio direto com 11 ou 24 anos. Amostras indeformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m para quantificação dos MCSC. As amostras foram equilibradas em diferentes potenciais matriciais (-6; -33; -100 e -500 kPa) e submetidas ao ensaio de compressão uniaxial para obtenção da pressão de pré-consolidação e consequentemente os MCSC. Os resultados apontam que há diferenças significativas entre os MCSC dos manejos estudados. O sistema plantio direto com 24 anos apresentou os maiores valores de pressão de pré-consolidação para mesma densidade do solo e umidade próxima a capacidade de campo em todas as camadas, demonstrando maior capacidade de suporte de carga e maior resistência a compactação adicional.

Palavras-chave: pressão de pré-consolidação, sistema plantio direto, *age hardening*.

INTRODUÇÃO

O uso intensivo e indiscriminado de máquinas e implementos agrícolas nas operações de manejo do solo e das culturas, quando realizadas de forma inapropriada ou em condições de conteúdo de água do solo inadequados são responsáveis por causar degradação da estrutura do solo (Silveira et al., 2008). Assim, as atividades agrícolas mecanizadas quando realizadas com o conteúdo de água do solo, próximo da umidade ótima de compactação, ocasiona aumento da densidade do solo e diminuição da macroporosidade (Saffih-Hdadi et al., 2009), causando ao

solo um estado de compactação mais elevado (Roque et al., 2010).

Os sistemas de manejo do solo alteram as propriedades mecânicas do solo. Visto que o sistema plantio direto (SPD), apesar de ser consolidado como melhor técnica de conservação de solos tropicais, tem sido criticado por apresentar problemas, tais como, camadas sub-superficiais compactadas, podendo apresentar limitações físicas ao crescimento radicular de algumas espécies cultivadas. Na busca por solucionar problemas de compactação no SPD, tem sido adotado alguns manejos como a escarificação do solo, para proporcionar condições adequadas de crescimento às plantas (Girardello et al., 2014).

No SPD as adições de resíduos, associados à ausência de revolvimento, melhoram a estrutura do solo promovendo incrementos na agregação do solo (Braidia et al., 2006), entretanto, pode ocorrer incrementos na força de ligação dos agregados do solo, proporcionados por processos de endurecimentos pelo envelhecimento (*age hardening*) (Dexter, 1988).

Neste contexto, a hipótese deste estudo é de que o uso do SPD ao longo do tempo possa apresentar benefícios para a estrutura do solo em função de que mesmo sem elevar o nível de compactação (densidade do solo) o solo possa suportar maior carga sem que ocorram deformações adicionais. Assim, o presente trabalho teve o objetivo de estudar o processo de endurecimento pelo envelhecimento (*age hardening*) por meio de modelos de capacidade de suporte de carga do solo e do tempo de adoção e escarificação do SPD em Latossolo Vermelho

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na Fazenda experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR. O solo é de origem basáltica, enquadrado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como Latossolo Vermelho Distroférico com textura muito argilosa (710 g kg⁻¹ de argila, 82 g kg⁻¹ de silte, e 208 g kg⁻¹ de areia). A densidade de partículas, na camada de 0-0,30 m, é de 2,90 Mg m⁻³.

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com oito repetições e cinco. Os sistemas de manejo do



solo foram constituídos por: (i) sistema preparo convencional utilizando grade de discos, pesada, a uma profundidade média de 0,15 m, seguida de grade de discos, leve, até 0,08 m de profundidade, antes de cada cultivo de inverno e verão (SPC); (ii) sistema preparo mínimo com escarificação a cada ano (SPM1); (iii) sistema preparo mínimo com escarificação a cada três anos (SPM3); (iv) SPD contínuo por 11 anos, implantado em 2001 (SPD11) e (v) SPD contínuo por 24 anos, implantado em 1988 (SPD24). Os teores médios de carbono orgânico do solo na camada de 0,0-0,10 m, foram de 18,9 g kg⁻¹ (SPC); 19,9 g kg⁻¹ (SPM1); 19,8 g kg⁻¹ (SPM3); 20,6 g kg⁻¹ (SPD11); e 21,9 g kg⁻¹ (SPD24).

Amostras indeformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, utilizando anéis de aço inox com volume de aproximadamente 100 cm³. Em cada parcela foram retiradas 3 amostras indeformadas por camada, com isso retirou-se um total de 72 amostras por tratamento, totalizando 360 amostras e posteriormente encaminhadas ao laboratório.

Os modelos de capacidade de suporte de carga do solo (MCSC) foram obtidos por meio da divisão das amostras em quatro grupos, as quais foram saturadas e posteriormente cada grupo foi submetido a um dos seguintes potenciais matriciais de água no solo: -6, -33, -100 e -500 kPa, por meio de pressões aplicadas em câmaras de Richards com placas porosas. Ao atingirem o equilíbrio em cada potencial as amostras foram pesadas e submetidas ao ensaio de compressão uniaxial automatizada. O ensaio de compressão uniaxial foi composto por aplicações contínuas e sucessivas de pressões (25; 50; 100; 200; 400; 800 e 1.600 kPa) preestabelecidas nas amostras indeformadas de solo.

A curva de compressão foi ajustada por meio do software *Compress*, sendo a pressão de pré-consolidação (σ_p) obtida pelo método 3 de Casagrande. Os MCSC foram obtidos a partir do ajuste da σ_p ao modelo não linear proposto por Busscher (1990) em função do conteúdo volumétrico de água no solo (θ) e da densidade do solo (D_s).

$$\sigma_p = aD_s^b \theta^c$$

onde, σ_p : pressão de pré-consolidação (kPa); D_s : densidade do solo (Mg m⁻³); θ : conteúdo volumétrico de água no solo (m³ m⁻³) e a , b e c : parâmetros empíricos obtidos a partir do ajuste dos modelos.

Os ajustes dos MCSC foram realizados por meio do software *SAS Learning Edition* (2000). As equações de ajuste da σ_p foram submetidas à análise de variância (teste F, $p < 0,05$). A σ_p foi ajustada em uma D_s fixa de 1,15 Mg m⁻³, relacionando a toda a amplitude de θ observado nos potenciais em que foi determinado a σ_p . Os MCSC dos diferentes sistemas de manejo do solo, em cada camada, foram comparados entre si. Para isso, foram utilizados os valores de σ_p em cada manejo do solo em diferentes θ próximo a capacidade de campo (θ_{cc}) (oito repetições, sendo 0,37; 0,38; 0,39; 0,40; 0,41; 0,42; 0,43 e 0,44 m³ m⁻³), os quais foram submetidos à análise de variância (Teste F, $p < 0,05$) e quando significativos analisados pelo teste T ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quando os fatores do solo (textura, teor de matéria orgânica, D_s e porosidade) se mantêm constantes, o conteúdo de água do solo é o fator que governa a magnitude da compressibilidade (Saffih-Hdadi et al., 2009). Assim, fixando-se a D_s da camada de 0,0-0,10 m em 1,15 Mg m⁻³, foi possível observar a redução da σ_p em função do aumento do θ (**Figura 1**). Estes resultados corroboram com Pacheco e Cantalice (2011), os quais devem-se a diminuição da coesão entre as partículas sólidas ocasionadas pelo maior conteúdo de água, a qual reduz sua resistência interna do solo, tornando-o mais suscetível ao processo compressivo, possibilitando uma redução da capacidade de suportar cargas em função do aumento do conteúdo de água do solo.

Na camada de 0,0-0,10 m, no SPD24 os valores de σ_p em função do conteúdo de água do solo, em uma mesma D_s com umidade na capacidade de campo (θ_{cc}) acima de 0,33 m³ m⁻³ foram maiores (64 kPa) em comparação aos demais manejos SPM1 (57 kPa), SPM3 (39 kPa), SPD11 (49 kPa) e SPC (59 kPa) (**Figura 1a**). Assim, o SPD24 demonstra que pode suportar maiores cargas, em mesmas D_s , quando submetido a compressões em θ_{cc} , na camada de 0,0-0,10 m.

Na camada de 0,10-0,20 m, os MCSC indicam que houve um incremento dos valores de pressão de σ_p em função do tempo sem revolvimento do solo para uma mesma D_s em função do θ (**Figura 1b**). Nesta camada, o SPD24 apresentou maiores valores do que observados no SPD11, demonstrando assim, que o incremento no tempo de adoção do SPD proporciona que a matriz do solo apresente maior resistência à deformações, assim, há um fortalecimento da estrutura do solo, mantendo os agregados mais estáveis na camada de 0,10-0,20 m. Os incrementos dos valores de σ_p no MCSC, na camada de 0,10-0,20 m, do SPD24 em relação aos demais sistemas de manejo (**Figura 1b**) estão relacionados aos efeitos do SPD a longo prazo no “endurecimento” da estrutura dos agregados do solo pela matéria orgânica do solo e a ausência de rompimento destes agregados por métodos mecânicos, por mais de duas décadas.

Na **Figura 1b** visualiza-se que na camada de 0,10-0,20 m os sistemas de manejo com mobilização do solo SPM1 (54 kPa), SPM3 (73 kPa) e SPC (59 kPa) apresentam para uma mesma D_s (1,15 Mg m⁻³) e θ_{cc} , menor σ_p em relação ao SPD24 (160 kPa) e SPD11 (94 kPa), evidenciando o efeito do “endurecimento” da estrutura do solo pelo tempo da ausência da mobilização do solo. Na camada de 0,10-0,20 m o aumento da resistência da estrutura do solo a pressões externas no SPD24 em relação aos demais sistemas de manejo expressos pelos maiores valores de σ_p e pelo MCSC superior, podem estar relacionados ao aumento do estoque de carbono no solo, que pode resultar no aumento da cimentação e estabilidade de agregados no SPD24.

Os MCSC na camada de 0,20-0,30 m apresentaram comportamento similar à camada de 0,0-0,10 m (**Figura**



1c). Assim, além do SPD24 apresentar os maiores valores de σ_p para toda faixa de conteúdo de água do solo estudada, houve um aumento dos valores de σ_p do SPC e SPM1, em relação a camada de 0,10-20 m, principalmente no θ_{cc} . Assim, verifica-se que o SPD de longa duração em Latossolos muito argilosos, confere ao solo maiores valores de σ_p , possibilitando o incremento do suporte de carga do tráfego de máquinas agrícolas mesmo em condições de solo no θ_{cc} . Estas informações possibilitam um manejo diferenciado, quando possível, no que se refere ao tráfego de máquinas, momento das operações agrícolas em conteúdo de água adequado respeitando a capacidade de suporte de carga do solo.

CONCLUSÕES

O sistema plantio direto implantado a mais de duas décadas (SPD24) apresentou maior suporte de carga (pressão de pré-consolidação) em mesma densidade do solo e conteúdo volumétrico de água próximo a capacidade de campo em todas as camadas, demonstrando ser mais resistente a compactação adicional em relação aos demais sistemas de manejo (SPC, SPM1, SPM3 e SPD11), evidenciando os efeitos do processo de endurecimento pelo envelhecimento.

REFERÊNCIAS

Braida JA, Reichert JM, Veiga M, Reinert DJ. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. R Bras Ci Solo. 2006;30:605-14.

Vasconcelos RFB, Cantalice JRB, Moura GBA, Rolim MM, Montenegro CEV. Compressibilidade de um Latossolo Amarelo distrocoeso não saturado sob diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. R Bras Ci Solo. 2012;36:525-36.

Busscher WJ. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. Trans ASAE. 1990;33:519-24.

Dexter AR. Advances in characterizations of soil structure. Soil Till Res. 1988;11:199-38.

Girardello VC, Amado TJC, Santi AL, Cherubin MR, Kunz J, Teixeira TG. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. R Bras Ci Solo. 2014;38:1234-44.

Pacheco EP, Cantalice JRB. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. R Bras Ci Solo. 2011;35:403-15.

Roque AAO, Souza ZM, Barbosa RS, Souza GS. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. Pesq Agropec Bras. 2010;45:744-50.

Saffih-Hdadi K, Défossez P, Richard G, Cui YJ, Tang AM, Chaplain VA. method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. Soil Till Res. 2009;105:96-03.

Silveira PM, Stone LF, Alves Júnior J, Silva JG. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. Biosci J. 2008;24:53-9.

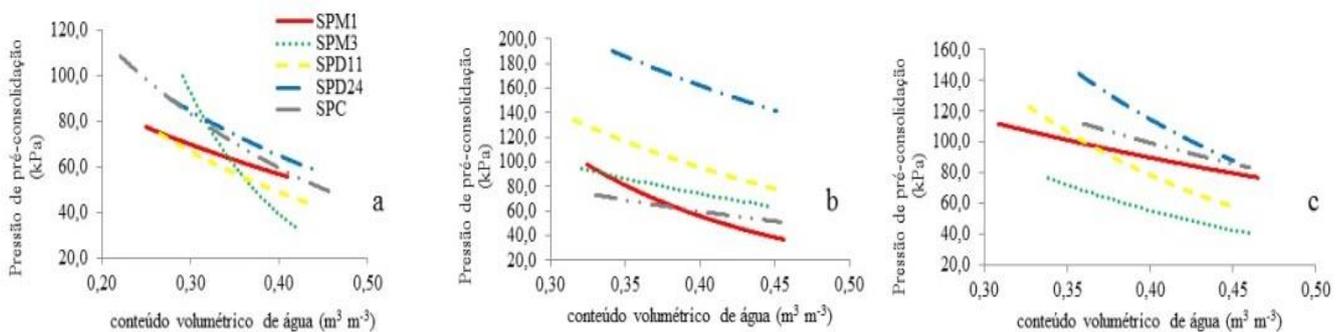


Figura 1. Modelos de capacidade de suporte de carga do solo para cada manejo do solo na densidade fixa de 1,15 Mg m⁻³, na camada de 0,0-0,10 m (a); 0,10-0,20 m (b); 0,20-0,30 m (c). SPM1: sistema de preparo mínimo escarificado anualmente; SPM3: sistema de preparo mínimo com escarificação a cada três anos; SPD11: SPD contínuo por 11 anos; SPD24: SPD contínuo por 24 anos; SPC: sistema de preparo convencional.