

RESISTÊNCIA DO SOLO AGRÍCOLA SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO: CAUSAS E EFEITOS

Francisco de Assis Guedes Júnior^{1*}; Deonir Secco¹; Aracéli Ciotti de Marins²; Helton Aparecido Rosa¹; Luana Salete Celante¹; Emmanuelle Albara Zago¹; Natália Pereira¹; Natasha Barchinski Galant¹ e Robson Andrei Sanches de Almeida¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná- Unioeste, Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura – PPGEA. Rua Universitária Nº 2069-Jardim Universitário. CEP: 85819-110 CEP: 85819-110 - Cascavel PR – Brasil *E-mail: franciscoguedes.chico@hotmail.com

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPr – Toledo –Paraná-Brasil.

RESUMO: Entender a resistência do solo à penetração é o primeiro passo para orientar as ações de uso e manejo visando a sustentabilidade dos cultivos agrícolas e compreender as relações que envolvem o sistema solo-água-planta. É de grande relevância o conhecimento dos atributos diretamente associados a resistência do solo de forma a evitar ações que afete negativamente esta. A compactação do solo pode ser avaliada por vários atributos do solo, dentre os existentes, destacam-se a densidade do solo e a resistência do solo à penetração. Assim este trabalho objetiva analisar as relações causa x efeito da resistência do solo à penetração em áreas manejadas sob sistema plantio direto.

PALAVRAS CHAVE: relações solo-água-planta; compactação do solo; densidade do solo.

SOIL RESISTANCE UNDER PLANTING SYSTEM DIRECT CAUSE AND EFFECT

ABSTRACT: Understanding the soil penetration resistance is the first step to guide the use and management actions aimed at the sustainability of crops and understand the relationships involving the soil-water-plant system. It is highly relevant knowledge of the attributes directly associated with soil resistance to avoid actions that negatively affects this. Soil compaction can be assessed by various attributes of the soil, from the existing, stand out from the soil density and soil penetration resistance. So this study aims to analyze the relationship because x soil resistance to penetration effect in managed areas under no-till system.

KEYWORDS: soil-water-plant relationships; soil compaction; bulk density.

REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Características gerais do plantio direto.

Um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira foi a introdução do Sistema Plantio Direto (SPD) no Sul do Brasil, a partir do início da década de 1970. Seu objetivo básico inicial foi controlar a erosão hídrica. O desenvolvimento desse sistema só se tornou possível graças a um trabalho conjugado de agricultores, pesquisadores, fabricantes de semeadoras, e técnicos interessados em reverter o processo acelerado de degradação do solo e da água verificado em nosso país. Em solos de igual declividade, o SPD reduz em cerca de 75% as perdas de solo e em 20% as perdas de água, em relação às áreas onde há revolvimento do solo (Oliveira et al., 2002). Um dos sistemas conservacionistas mais efetivos no momento é o Sistema Plantio Direto, que permite, antes de mais nada, aumentar o estoque de matéria orgânica no solo e de melhorar a sua qualidade (Bayer et al. 2000; Machado & Freitas, 2004)

O sistema plantio direto é uma das mais eficientes estratégias para a melhoria da qualidade e do potencial produtivo do solo agrícola (Amado et al., 2007). Pois a semeadura é realizada em solo coberto por palha e, portanto, com o mínimo de revolvimento da camada superficial do solo, tende a minimizar a formação de camadas compactadas no solo; apesar disso, a utilização continuada do plantio direto pode resultar em aumento da densidade do solo (Secco et al., 2004).

Esse sistema de produção requer cuidado na sua implantação mas, depois de estabelecido, seus benefícios se estendem não apenas ao solo, mas, também, ao rendimento das culturas e à competitividade dos sistemas agropecuários. Devido à drástica redução da erosão, o Plantio direto reduz o potencial de contaminação do meio ambiente por sedimentos, e dá ao agricultor maior garantia de renda, pois a estabilidade da produção é ampliada, em comparação aos métodos tradicionais de manejo de solo. Por seus efeitos benéficos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, pode-se afirmar que o Sistema Plantio Direto (SPD) é uma ferramenta essencial para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas agropecuários, (Embrapa, 2011).

O sistema plantio direto (SPD) tem sido reconhecido como o sistema de manejo do solo mais importante para a sustentabilidade dos agroecossistemas brasileiros. A expansão da área agrícola manejada sob SPD, hoje estimada em cerca de 32 milhões de

hectares, só foi possível em função do desenvolvimento continuado de soluções tecnológicas para superar os problemas e as dificuldades relacionadas ao manejo desse sistema, bem como para aperfeiçoá-lo e adaptá-lo às diferentes regiões do país. No entanto, apesar dos quase 40 anos de pesquisas e observações acumuladas por produtores, técnicos e pesquisadores, alguns problemas ainda persistem e, merecem ser melhor estudados. Dentre eles, destaca-se a existência, em quase todas as áreas sob SPD, de uma camada de maior grau de compactação, geralmente posicionada a 0,1-0,2 m de profundidade (Debiasi et al., 2010; Franchini et al., 2011; Bottega et al., 2011).

Levantamentos de campo realizados pela Embrapa Soja indicam que, em aproximadamente 45% das áreas cultivadas com soja no verão e milho no outono inverno em solos argilosos do Paraná, o grau de compactação na camada de 0,1-0,2 m é limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Franchini et al., 2009; Franchini et al., 2011). A compactação do solo reduz a produtividade das culturas, principalmente em safras caracterizadas por excesso ou deficiência hídrica. Isso porque a degradação da qualidade física do solo diminui o desenvolvimento radicular e a disponibilidade de água, oxigênio e nutrientes às plantas. Além disso, a compactação exerce efeitos negativos sobre o ambiente, aumentando as perdas de água e nutriente, as emissões de gases causadores do efeito estufa e a poluição dos recursos hídricos.

Além de aumentar a resistência do solo à penetração das raízes (Moraes et al., 2012), limitando a profundidade e o volume de solo explorado pelas raízes em busca de água e nutrientes (Bergamin et al., 2010), a compactação do solo reduz a porosidade total, a macroporosidade, a aeração, a capacidade de infiltração de água (Dias Junior & Pierce, 1996) e a condutividade hidráulica saturada do solo (Silva et al., 2009). A resistência do solo à penetração (RP) tem sido usada por vários pesquisadores para quantificar a qualidade estrutural do solo, além de identificar a presença de camadas com maior grau de compactação. Portanto, na tomada de decisão para a realização de descompactação do solo em SPD, tem sido utilizado valores considerados limitantes (Reichert et al., 2007; Betioli Júnior et al., 2012) fixos de RP independente do tipo de solo, ou sistema de manejo.

O valor mais comumente utilizado é de 2 MPa (Tormena et al., 1998; Silva et al., 2008; Lima et al., 2012). Porém, recentemente, trabalhos de pesquisa têm apontado a possibilidade de aumentar os valores limitantes de RP para 3,5 MPa em condição de

SPD consolidado, com a justificativa da presença de poros contínuos e biológicos, os quais favorecem o crescimento do sistema radicular das culturas em áreas com menores RP (Tormena et al., 2007; Betioli Júnior et al., 2012).

Neste sentido, é possível que os valores limitantes de RP ao crescimento radicular das plantas variem em função do sistema de manejo do solo utilizado. Práticas de manejo do solo para controle da compactação do solo, baseadas na escarificação periódica, têm sido usadas por vários autores (Tavares Filho et al., 2006; Silva et al., 2012). Porém, o efeito residual das intervenções com aração ou escarificação sobre os atributos físicos do solo desapareceram em poucos ciclos de cultivo (Drescher et al., 2011) ou em períodos inferiores a seis meses (Silva et al., 2012) ou a um ano (Tavares Filho et al., 2006).

Outra medida que vem sendo preconizada para melhorar a qualidade física de solos compactados envolve a adoção de modelos de produção que contemplem plantas com elevado potencial de produção de fitomassa e caracterizadas por um sistema radicular abundante, profundo e agressivo. Embora o efeito da rotação de culturas sobre a qualidade física do solo no SPD tenha sido objeto de diversas pesquisas (Genro Junior et al., 2009; Lanzasova et al., 2010; Debiasi et al., 2010; Costa et al., 2011), ainda persistem dúvidas a respeito da eficiência dessa prática na mitigação de camadas compactadas de solo. Isso ocorre porque os benefícios da rotação de culturas sobre a qualidade física do solo nem sempre são detectados, o que pode ser atribuído principalmente ao fato de a maioria dos trabalhos serem embasados em experimentos de curto-médio prazo, sem levar em consideração o tempo de adoção do SPD.

O presente trabalho visa realizar um estudo bibliográfico para entender como os atributos associado a resistência do solo sob sistema plantio direto: Causas e efeitos. A compactação do solo pode ser avaliada por vários atributos do solo, dentre os existentes, destacam-se a densidade do solo e a resistência mecânica do solo à penetração (RMPS). Pois a densidade do solo é considerada o atributo físico mais comum em avaliação de compactação de solos em experimentos sobre plantio direto e preparo convencional de solo (Silva et al., 2009).

Características gerais da resistência do solo

A resistência do solo à penetração (RP) pode ser alterada pelo teor de água no solo, densidade solo, e das condições climáticas e dos sistemas de manejo de cultivos a

qual a cultura está inserida. Assim a (RP) simula a força que as raízes das plantas podem exercer para o seu desenvolvimento sendo influenciada pela densidade, umidade, textura e estrutura do solo. Por isso é importante o realizar o monitoramento do solo, levando em consideração ao contínuo uso agrícola, pelo uso freqüente de máquinas, e assim correlacionar as técnicas favoráveis e econômicas, (Carvalho *et al.* 2012).

A (RP) é uma estimativa do impedimento mecânico que o solo oferece às raízes, sendo um dos mais comumente citados fatores físicos que afetam o crescimento das raízes (Silva *et al.*, 2008). Um dos atributos físicos adotados como indicativo da compactação do solo é a (RS), por apresentar relação direta com o crescimento das plantas e por ser mais eficiente na identificação de estados de compactação comparada à densidade do solo (Freddi *et al.*, 2006) de fácil e rápida determinação (Reinert e Reichert, 2006), em solo sob semeadura direta e convencional (De Vita *et al.*, 2007; Ralisch *et al.*, 2008). A qualidade física é a capacidade do solo proporcionar ao sistema radicular das plantas condições de um ambiente favorável ao seu crescimento e desenvolvimento (Silva *et al.*, 2009).

Para a avaliação dos sistemas produtivos, tem se utilizados diversos indicadores de qualidade física do solo, dentre os mais utilizados, destacam-se a densidade do solo, variáveis de porosidade do solo (Michelon *et al.*, 2009), resistência do solo à penetração (Klein *et al.*, 2009), teor de água no solo, água disponível, índice S (Fidalski; Tormena, 2007), intervalo hídrico ótimo, curva de retenção de água (Blainski *et al.*, 2009, 2012) e, ainda pouco utilizada, a curva de resistência do solo à penetração (Blainski *et al.*, 2008).

As principais relações dos indicadores de qualidade física do solo têm sido realizadas com parâmetros morfológicos (área foliar, crescimento de parte aérea e radicular) das culturas, porém, a relação entre compactação do solo em SPD e produtividade de grãos é um assunto com quantidade pequena de publicações científicas, mesmo que já tenham transcorrido 40 anos de SPD (Gubiani, 2012), mesmo utilizando outros índices, tais como, o intervalo hídrico ótimo, na maior parte das relações com produtividade de grãos os indicadores mais frequentes são a densidade do solo (Ds) e a (RS), (Beutler *et al.*, 2008).

Os níveis críticos de resistência mecânica do solo, para o crescimento radicular das plantas, variam com o tipo de solo e a espécie cultivada (Martins *et al.* 2009). Assim, recomenda-se sua avaliação quando o teor de água do solo estiver próximo ao valor da capacidade de campo. Entretanto, quando obtida no momento em que a

umidade do solo aproxima-se de 2/3 da microporosidade (solo friável/macio) (Reichert et al. 2007, Rosa Filho 2008), a maioria dos trabalhos tem adotado a seguinte classificação de resistência à penetração (RP), estabelecida por Arshad et al. (1996): a) extremamente baixa: $RP < 0,01$ MPa; b) muito baixa: $0,01 \leq RP < 0,1$ MPa; c) baixa: $0,1 \leq RP < 1,0$ MPa; d) moderada: $1,0 \leq RP < 2,0$ MPa; e) alta: $2,0 \leq RP < 4,0$ MPa; f) muito alta: $4,0 \leq RP < 8,0$ MPa; e g) extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa.

Valores baixos de macroporosidade podem resultar em má drenagem, baixa aeração e aumento da resistência do solo à penetração de raízes, sendo um dos indicadores de degradação do solo (Stolf et al., 2011). A importância dos microporos está relacionada à relação solo-água-planta, pois estes poros são responsáveis pela armazenagem e retenção de água no solo (Souza et al., 2010).

De acordo com Andreotti et al. (2008) para a consolidação e sucesso do sistema de plantio direto, é de fundamental importância a implantação de culturas para a produção de palha, em quantidade adequada à cobertura do solo. Os autores relatam a dificuldade de produção e manutenção de cobertura vegetal em regiões mais quentes devido ao acelerado processo de decomposição.

A resistência do solo é altamente afetada pela textura, sendo frequentemente usada para a indicação comparativa de compactação por causa da facilidade e rapidez no qual numerosas medidas podem ser feitas (Mantovani, 2002).

Imhoff *et al.* (2000), observaram que a curva de resistência à penetração do solo permite identificar áreas com resistência potencialmente limitante ao crescimento das raízes e estabelecer a umidade e a densidade do solo crítica para o desenvolvimento das plantas. Os mesmos autores consideram que o nível crítico de resistência à penetração, em solos sob pastagem, era de 2,5 MPa.

Características gerais da compactação do solo

Com a aplicação de cargas ao solo, ocorre sua compactação, resultando em modificações na sua estrutura, com aumento da densidade e da resistência à penetração, redução da porosidade total e alteração na distribuição do tamanho de poros, com aumento dos microporos e redução dos macroporos, ou porosidade de aeração (poros maiores que 50 mm), além de afetar diversos atributos do solo, como a condutividade

hidráulica permeabilidade do solo, infiltração de água e outras características ligadas à porosidade (Tormena & Roloff, 1996; Beutler et al., 2001; Stone et al., 2002).

Em condições de solo altamente compactado, o sistema radicular se concentra na superfície do solo limitando o acesso à água e nutrientes, e ainda favorece a ocorrência de processos erosivos (Reichert et al., 2007a). Por isso as plantas poderem explorar maior volume de solo, a sua resistência ao crescimento das raízes deve ser baixa. Por outro lado há grande preocupação com o aumento das áreas agrícolas com a compactação do solo, o que se deve em grande parte às operações mecanizadas realizadas sem considerar a umidade ideal do solo (Reichert et al., 2007b).

A compactação do solo pode ser avaliada por vários atributos do solo, dentre os existentes, destacam-se a densidade do solo e a (RMPS). Pois a densidade do solo é considerada o atributo físico mais comum em avaliação de compactação de solos em experimentos sobre plantio direto e preparo convencional de solo (Silva et al., 2009).

Essas alterações físicas, provocadas pela compactação, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura, que o demilimitar o crescimento e desenvolvimento das plantas (Figura 2) e causar problemas ambientais (Guimarães et al., 2002; Stepniewski et al., 2002). A compactação do solo, ao reduzir a infiltração de água, aumenta o risco de erosão e de déficit hídrico e nutricional das plantas, fazendo com que as raízes se desenvolvam na superfície (Rosolem et al., 1994; Moraes et al., 1995). Em função disso, a compactação do solo tem provocado perda de sua produtividade, levando-o à degradação.

O plantio direto apesar de inúmeros benefícios, se manejado incorretamente pode ocasionar problemas de compactação do solo, traduzindo em um aumento de densidade e diminuição da porosidade do solo, diminuindo a capacidade de infiltração de água. Juntamente com o avanço da tecnologia do plantio direto com o intuito de obter produção em quantidade e qualidade, o tráfego de máquinas em solo úmido prejudica o estado físico do solo, também sua qualidade estrutural, o que leva à um maior risco de compactação no local. (Oliveira, 2013).

De acordo com Collares et al. (2006), quando existe a compactação, ocorrem alterações estruturais no solo devido à reorganização das partículas e de seus agregados, o que aumenta a densidade (D_s) e resistência do solo à penetração (RP) e reduz a macroporosidade (Macro), inibindo assim o crescimento e o desenvolvimento radicular das plantas.

O grande problema que o SPD vem sofrendo é a formação de uma camada com maior grau de compactação, a qual se localiza, geralmente, em uma profundidade equivalente a 0,08-0,20 m (Franchini et al., 2009; Genro Junior et al., 2009; Secco et al., 2009). Para reduzir este problema, alguns pesquisadores vêm indicando a utilização da escarificação periódica do solo (Camara; Klein, 2005; Klein et al., 2009) como ferramenta para romper camadas compactadas. Desde que bem executada, a escarificação é capaz de romper camadas compactadas de solo de modo imediato (Klein; Camara, 2007), mas seus efeitos persistem, em geral, por um período efêmero, igual ou inferior a um ano (Veiga et al., 2007; Debiasi et al., 2009; Reichert et al., 2009; Silva, S. G. C. et al., 2012), uma vez que essa operação não elimina a causa do problema (Franchini et al., 2009). Neste sentido, a utilização de sistemas de rotação de culturas que contemplem plantas com elevado potencial de produção de fitomassa e dotadas de um sistema radicular abundante e agressivo vem sendo indicada como opção para evitar a formação de camadas compactadas e melhorar a qualidade física do solo.

Efeito das rotações de cultura na estrutura do solo

Uma das medidas preconizadas para melhorar a qualidade física de solos compactados é a adoção de sistemas de rotação de culturas que contemplem plantas com elevado potencial de produção de fitomassa e caracterizadas por um sistema radicular abundante, profundo e agressivo. O efeito da rotação de culturas sobre a qualidade física do solo no SPD foi objeto de diversas pesquisas (Genro Junior et al., 2009; Franchini et al., 2012), embora ainda persistam dúvidas a respeito da eficiência dessa prática na mitigação de camadas compactadas de solo. Os benefícios da rotação de culturas sobre a qualidade física do solo nem sempre são detectados, o que pode ser atribuído principalmente ao fato de a maioria dos trabalhos serem embasados em experimentos de curto-médio prazo, sem levar em consideração a fase em que se encontra o SPD. Assim, é necessário que a qualidade física do solo sob sistemas de rotação de culturas seja estudada em experimentos de longo prazo em 26 SPD, com diferentes tempos de adoção do sistema de manejo. Por outro lado, as informações atualmente disponíveis não são suficientes para indicar sequências de culturas que, em longo prazo, sejam capazes de evitar a formação de camadas compactadas limitantes.

As alterações que ocorrem na estrutura do solo, evidenciadas por modificações de sua densidade, afetam a resistência mecânica do solo à penetração, a porosidade

total, a distribuição do diâmetro dos poros, a porosidade de aeração, a armazenagem e a disponibilidade de água as plantas, bem como, a dinâmica da água na superfície e no perfil do solo, (Klein, 1998; Camara & Klein, 2005a; Vieira, 2006).

A importância dos microporos está relacionada à relação solo-água-plantas, pois estes poros são responsáveis pela armazenagem e retenção de água no solo (Souza et al., 2010).

Impacto da escarificação na estrutura do solo

A escarificação nem sempre resulta em aumentos na produtividade das culturas (Franchini et al., 2011). Enquanto que, em alguns trabalhos, aumentos de produtividade do trigo (Klein et al., 2008) e milho (Secco et al., 2009) foram atribuídos à escarificação esporádica no SPD, em outros (Collares et al., 2006, 2008; Debiasi et al., 2010; Franchini et al., 2011), essa prática reduziu a produtividade de culturas como a soja, o milho, o trigo e o feijão. A decisão em torno da necessidade ou não da escarificação no SPD deve ser criteriosa, tendo vista o custo relativamente elevado da operação, o aumento da suscetibilidade do solo à compactação pelo tráfego, a destruição da estrutura e a redução da cobertura do solo (Reichert et al., 2007). Assim, Tavares Filho et al. (2006) recomendam que sistemas que incluam a rotação de culturas e a adoção de culturas de cobertura devem ser a primeira opção para melhorar a qualidade física do solo em áreas sob SPD.

Efeitos no Sistema Plantio Direto

Entre as alterações ocasionadas pela compactação, especificamente em regiões úmidas, uma delas é a redução na porosidade de aeração. O efeito negativo desta sobre o desenvolvimento das plantas ocorre por deficiência na difusão de gases junto ao sistema radicular das plantas (Stepniewski et al., 1994). Alguns desses efeitos, segundo Sojka (1992), são o fechamento dos estômatos, o murchamento das plantas, a necrose das raízes, a obstrução do xilema à água e o desbalanço nutricional e hormonal das plantas.

A densidade do solo (D_s) fornece indicações a respeito do estado de sua estrutura, sobretudo em sua influência em propriedades como infiltração e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e utilizada também na avaliação da compactação dos solos (Guariz et al., 2009).

De acordo com Mercante et al. (2003) a resistência do solo à penetração é uma propriedade física relativamente fácil de ser obtida e, de certa forma, de ser correlacionada com a densidade e com a macroporosidade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema plantio direto deve ser analisado com critério e exige conhecimento das praticas conservacionistas para melhorar a qualidade da estrutura do solo e aumentar o rendimento de grãos, pois depende de se conhecer o comportamento da planta de interesse frente aos estados de compactação, disponibilidade de água e tipo de solo. Generalizações não devem ser feitas, uma vez que existem outras variáveis que influenciam no rendimento de grãos em condições de lavoura.

REFERÊNCIAS

ANDREOTTI, M. et al. Produtividade do milho safrinha e modificações químicas de um latossolo em sistema plantio direto em função de espécies de cobertura após calagem superficial. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 109-115, 2008.

AMADO, T. J. C. et al. A safra recorde analisada pelos mapas de rendimento no RS. **Revista Plantio Direto**, Passo fundo, n. 101, p. 18-23, 2007a.

BAYER, C.; MIELNICZUCK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTINETO, L.; FERNANDES, S. B. V. Organic matter storage in a sandy clay loam acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil Tillage Research*, Amsterdam, v. 54, p. 101-109, 2000.

BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; LEMPP, B.; SOUZA, C.M.A. & SOUZA, F.R. Anatomia radicular de milho em solo compactado. **Pesq. agropec. bras.**, 45:299-305, 2010.

BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W.H.; TORMENA, C.A.; FERREIRA, C.J.B.; SILVA, A.P. & GIAROLA, N.F.B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, 36:971-982, 2012.

BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 1, p. 167-177, jan./mar. 2001.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 6, p. 626-631, 2008.

COSTA, M.S.S.M.; PIVETTA, L.A.; COSTA, L.A.M.; PIVETTA, L.G.; CASTOLDI, G. & STEINER, F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações. **R. Bras. Eng. Agríc.**, 15:810-815, 2011.

CARVALHO, J. J.; MASIERO, F. C.; LANÇAS, K. P.; RODRIGUES, E.C.P. avaliação da resistência do solo sob dois sistemas de manejo: plantio direto e convencional. **Revista científica eletrônica de Agronomia**, Garça-SP, v.22, n.2, p.x-x, dez 2012.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. & KAISER, D.R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:1663-1674, 2006.

DIAS JUNIOR, M. S. & PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. **R. Bras. Ci. Solo**, 20:175-182, 1996.

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, 2010.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; OLIVEIRA, F. A.; MACHADO, T. M. Ajuste de grades amostrais para o mapeamento da resistência à penetração de um Latossolo Bruno. n: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. 74 C. de C. (Ed.). Agricultura de precisão: um novo olhar. São Carlos: **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, p.138-142, 2011.

DRESCHER, M S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E. & FAGANELLO, A. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob **EMBRAPA**, <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/>, acesso em 24/05/2011, 09:58.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Londrina: **Embrapa Soja**, 2011. 52p. (Embrapa Soja. Documentos, 327).

FRANCHINI, J.C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A.A.; TONON, B.C.; FARIAS, J.R.B.; OLIVEIRA, M.C.N. & TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil, *Field Crop Res.*, 137:178-185, 2012.

FREDDI, O. S. et al. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 113-121, 2006.

CAMARA, R.K.; KLEIN, V.A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.789-796. 2005a.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 65-73, 2009.

GUARIZ, H. R.; PICOLI, M.H.S.; CAMPANHARO, W.A.; CECÍLIO, R.A. Variação da Umidade e da Densidade do Solo sob Diferentes Coberturas Vegetais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Cruz Alta, v.4, n. 2, p.3293-3296, 2009.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, maio/ago. 2002.

GUBIANI, P. I. Regularidade de resposta da cultura do milho à compactação do solo. 2012. 152f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

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, p. 1493-500, 2000.

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, 2008.

KLEIN, V.; 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.

LIMA, C.L.R.; MIOLA, E.C.C.; TIMM, L.C.; PAULETTO, E.A. & SILVA, A.P. Soil compressibility and least limiting water range of a constructed soil under cover crops after coal mining in Southern Brazil. **Soil Tillage Res.**, 124:190-195, 2012.

MARTINS, M. V. et al. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 31, n. 1, p. 147-154, 2009.

MANTOVANI, E. C. Técnicas de avaliação da compactação dos solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, Cuiabá, 2002. *Resumos Expandidos*. Cuiabá: SBSCS, 2002. CD-ROM.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 54, n. 2, p. 393-403, 1995.

MORAES, M.T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J.C. & SILVA, V.R. Correction of resistance to penetration by pedofunctions and a reference soil water content. **R. Bras. Ci. Solo**, 36:1395-1406, 2012.

OLIVEIRA, F.H.T.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; CANTARUTTI, R.B. e BARROS, N.F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, v. 2, p.393-486, 2002.

OLIVEIRA P.. Qualidade estrutural de um latossolo vermelho submetido à compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 37, n. 3, June 2013 .

RALISCH, R. et al. Resistência a penetração de um Latossolo-Vermelho-Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.4, p. 381-384, 2008.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo – protótipos e testes. **Ciência Rural**, 36: 1931 – 1935, 2006.

REICHERT, J. M. et al. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. 7. ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2007. p. 49-135.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, p. 310-319, 2009.

ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. da S.; SACRAMENTO, L. V. S. do. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 2, p. 259-266, 1994.

SECCO, D. Estados de compactação de dois Latossolos sob plantio direto e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 108p. (Tese de Doutorado).

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, D. J.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BORTOLUZZI, E. C. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. **R. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, v.33, n. 5, p.1097-1104, 2009.

SOJKA, R.E. Stomatal closure in oxygen-stressed plants. **Soil Science Society of America Journal**, v.154, p.269-280, 1992.

STEPNIEWSKI, W. et al. Effects of compaction on soil aeration properties. In: SOANE, B.D.; OUWERKERK, C. (Ed.). **Soil compaction in crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1994. p.167-189.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p.207-212, maio/ago. 2002.

SILVA, V. R. da. et al., Resistência mecânica do solo à penetração pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Ciência Rural**, v.30, n.5, 2000.

SILVA, A. P.; TOMENA, C. A.; FIDASKI, J.; INHOFF, S. Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1-10, 2008.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. & BORTOLUZZI, E. C. Soil water dynamics related to the degree of compaction of two brazilian Oxisols under no-tillage. **R. Bras. Ci. Solo**, 33:1097-1104, 2009.

SILVA, S. G. C.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; SÁ, J. C. M. Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 547-555, 2012.

SOUZA, F. R.; ROSA JUNIOR, E. J.; FIETZ, C. R.; BERGAMIN, A. C.; VENTUROSO, L. R.; ROSA, Y, B. C. J. Atributos físicos e desempenho agrônomico 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, 2010.

STOLF, R.; THURLER, A. M.; BACCHI, O. O. S.; REICHARDT, K. Method to estimate soil macroporosity and microporosity based on sand content and bulk density. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 447-459, 2011.

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. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 996-999, 2006.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 333-339, maio/ago. 1996.

TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 33-42, 2008.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, n. 1-2, p. 104-113, 2007.