



FELIPHE DA SILVA

**PREPARO OCASIONAL EM SISTEMA PLANTIO
DIRETO CONTÍNUO: EFEITOS NA CAPACIDADE DE
SUPORTE DE CARGA DO SOLO**

LAVRAS - MG

FELIPHE DA SILVA

**PREPARO OCASIONAL EM SISTEMA PLANTIO DIRETO
CONTÍNUO: EFEITOS NA CAPACIDADE DE SUPORTE DE
CARGA DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do curso de Engenharia
Agrícola, para Obtenção do título de Bacharel.

Professor Dr. Bruno Montoani Silva

Orientador

Doutorando MSc. Devison Souza Peixoto

Co-orientador

LAVRAS – MG

2019

“A minha mãe Conceição que sempre esteve comigo em todas as situações de minha vida.”

“A toda minha família e amigos que compartilham dessa etapa que considero como o fim de um ciclo.”

“A toda comunidade acadêmica como forma de contribuição para o desenvolvimento da pesquisa Brasileira.”

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que acima de tudo é nossa maior fonte de força.

A minha mãe Conceição que é meu pilar de sustentação e meu exemplo de ser humano, e toda minha família.

A Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica. A CAPES e a FAPEMIG.

A Fazenda Santa Helena e todo o pessoal envolvido, gestores, técnicos e colaboradores que além de disponibilizar a área de estudo foram extremamente comprometidos em ajudar e acompanhar os trabalhos envolvidos no experimento.

Ao professor Bruno Montoani Silva pela orientação, paciência e disposição para ajudar.

Ao doutorando Devison Souza Peixoto pela co-orientação, paciência e disposição para ajudar.

A toda equipe que compõe os técnicos do Departamento de Ciência do Solo em especial os envolvidos no Laboratório de Física do Solo, Doroteo e Dulce, pela paciência e disposição para ajudar.

A todos os amigos que fizeram parte desta equipe e estiveram presentes ao longo desses anos de trabalho duro e muita dedicação.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

Apesar dos inúmeros benefícios do sistema plantio direto (SPD), falhas na implantação, intensivo tráfego de máquinas e ineficiente rotação de culturas têm causado problemas de compactação do solo. Uma das formas de atenuar os problemas de compactação em SPD é por meio do preparo ocasional com subsolador ou escarificador. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os efeitos do preparo ocasional (POC) na pressão de preconsolidação do solo (σ_p) em SPD contínuo. O experimento foi implantado em faixas na Fazenda Santa Helena, Nazareno/MG, em Latossolo Vermelho-Amarelo. Os tratamentos foram: SPD contínuo por 12 anos (PDC); SPD escarificado a 0,26 m (PDE); SPD subsolado +1.440 kg ha⁻¹ de calcário incorporado (PDSCI); SPD subsolado + 1.440 kg ha⁻¹ de calcário superficial (PDSCS), em 4 repetições e nas camadas 0,00-0,05, 0,25-0,30 m. As amostras foram saturadas e submetidas a 7 potenciais matriciais, sendo: -4, -6, -10, -33, -100, -500 e -1500 kPa. Cada amostra foi submetida a um único potencial mátrico, pesada e nesta condição submetida ao ensaio de compressão uniaxial, nas pressões sucessivas e acumulativas de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa. Finalmente a amostra foi seca em estufa a 105 °C, por 48h, para quantificação da umidade gravimétrica (U_g), densidade do solo (D_s) e porosidade total (P_t). A partir do ensaio de compressão uniaxial foi determinada a σ_p em cada potencial mátrico. Para avaliar o impacto do POC foi utilizado o modelo de capacidade de suporte de carga (MCSC). Plotou-se o MCSC do PDC ($\sigma_p \times U_g$) com intervalo de confiança bootstrap a 95%. Os pares ($\sigma_p \times U_g$) dos tratamentos de preparo ocasional foram plotados sob o modelo e intervalo de confiança do PDC. A P_t e D_s foram submetidas a análise de variância e teste de médias. A P_t foi superior no PDSCI em comparação ao controle (PDC), na profundidade 0,00-0,05 m, e a camada superficial apresentou maior P_t e menor D_s que a subsuperficial. A maioria dos pares de pontos ($\sigma_p \times U_g$) do POC ficaram distribuídos na região “c” do MCSC do PDC para as duas camadas, sendo a subsolagem mais eficiente. Segundo a interpretação do MCSC, o POC promoveu um alívio de tensão no solo, reduzindo a σ_p e a resistência mecânica do solo, com conseqüente redução da compactação. O POC mitigou os efeitos da compactação do solo em SPD contínuo, com redução da D_s e aumento da P_t , com conseqüente redução da σ_p até a profundidade de 0,30 m.

Palavras-chave: subsolagem; escarificação; compressibilidade do solo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
2.1 Sistema de Plantio Direto (SPD)	8
2.2 Compactação.....	11
2.3 Pressão de preconsolidação (σ_p).....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5 CONCLUSÃO.....	26
6 REFERÊNCIAS	26

1 INTRODUÇÃO

A maior parte da produção de grãos brasileira está sob sistema de plantio direto (SPD), com mais de 32 milhões de hectares cultivados nesse sistema de manejo. No entanto, a compactação do solo em SPD tem sido frequentemente reportada na camada de 0,07-0,20m, principalmente em solos argilosos (Reichert et al., 2009; Farooq et al., 2011; Nunes et al., 2014; Nunes et al., 2015) e pode limitar a produtividade vegetal.

A compactação do solo se caracteriza pela resposta do solo ao sofrer uma pressão ou carga atuando na sua superfície, implicando diminuição do espaço poroso e consequente aumento de sua densidade. Esse processo reduz a infiltração de água, aumentando assim o escoamento superficial, potencializando os processos erosivos (Defosse & Richard, 2002; Dias Junior, 2000). A compactação reduz a aeração do solo (Gysi, 2001), e pode limitar a absorção de água e nutrientes pelas raízes, e assim causar decréscimo na produtividade das culturas. (Freddi, Centurion, Beutler, Arancine, & Leonel, 2007) Estima-se que a recuperação natural da estrutura do solo para a compactação superficial é de 10-20 anos (Dickerson, 1976; Jakolbsen, 1991) e na compactação em subsuperfícies de 50 a 100 anos (Greacen & Sands, 1980).

A principal causa da compactação dos solos é o tráfego excessivo e não planejado de máquinas agrícolas, com aplicação de uma pressão maior do que a capacidade de suporte de carga do solo. Como exemplo, entrada de máquinas nas áreas sem o devido cuidado com os fatores: umidade, pressão de inflação dos pneus, peso excessivo de máquinas e carregamentos. Essas operações realizadas sem o devido monitoramento da umidade do solo contribuem para causar compactação adicional do solo (Pedrotti & Dias Junior, 1996). O manejo inadequado do SPD pode agravar a compactação do solo devido ao não revolvimento do solo para remediação de possíveis falhas na implantação, dificuldades na execução de rotação de culturas, maior intensidade de tráfego e operações agrícolas em condições inadequadas de umidade do solo.

A compactação adicional ocorre quando é aplicado ao solo uma pressão maior que a pressão de preconsolidação, fazendo com que ele se deforme ao longo da reta de compressão virgem, que por sua vez representa o solo no seu estado plástico, não se recuperando quando sofre algum tipo de deformação (Dias Junior, 1994; Dias Junior &

Pierce, 1996). A condição para que ocorra compactação adicional do solo ou o crescimento das raízes vai depender da pressão de preconsolidação, a qual, é função da umidade do solo (Dias Junior, 1994; Kondo, 1998) e da densidade do solo inicial. A raiz da planta deve exercer uma pressão maior que a pressão de preconsolidação do solo para vencer a barreira mecânica ao crescimento, portanto, quanto menor for a pressão de preconsolidação do solo, menos resistência o mesmo oferece ao crescimento da planta. Essa resistência mecânica do solo associada a diminuição da aeração, e, a disponibilidade de água são os principais fatores físicos que influenciam diretamente no decréscimo da produtividade das culturas (Silva & Kay, 1996). A pressão de preconsolidação do solo também pode ser estimada por meio da resistência do solo a penetração (Dias Junior et al., 2004).

Algumas práticas visam minimizar os efeitos da compactação do solo, a exemplo da escarificação (Secco et al., 2009; Calonego e Rosolem, 2010; Calonego et al., 2017) e subsolagem (Qingjie et al., 2014; Bobade et al., 2016). No entanto, os resultados dos efeitos dessas práticas não se prolongam por muito tempo, entre 6 a 48 meses, para alguns atributos físicos, e suas consequências no aumento da produtividade das lavouras podem ser controversas (Busscher et al., 1995; Vieira & Klein, 2007; Mahl et al., 2008; Drescher et al., 2011; Nunes et al., 2014; Drescher et al., 2016).

Neste contexto, é necessário avaliar o impacto do preparo ocasional, pelas práticas de escarificação ou subsolagem, na pressão de preconsolidação do solo em sistema plantio direto contínuo. Essas informações são importantes para analisar o alívio na estrutura do solo provocados por essas intervenções e, assim, auxiliar na tomada de decisão quanto ao uso do preparo ocasional e em qual frequência deve ser realizado para alcançar maior produtividade e sustentabilidade da produção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema de Plantio Direto (SPD)

Diante de problemas causados pela erosão do solo na década de 70, que andavam juntos com o início da intensiva mecanização dos sistemas de cultivo com a utilização de grades e arados para o preparo do solo na região sul do Brasil, agricultores buscaram alternativas para amenizar os efeitos da chuva sob o solo solto e descoberto. Desse modo, uma alternativa de manejo que não sofresse tanto com as fortes chuvas na região ganharia força frente às adversidades encontradas na época na agricultura, foi então que um sistema onde eram abertos sulcos para deposição de sementes e fertilizantes sem a necessidade de revolvimento do solo surgiu como alternativa sendo batizado de “Plantio Direto”. Ao decorrer dos anos foi adotado em outras regiões do Paraná, posteriormente Brasil e América do Sul (FEBRAPDP, 2019).

Embora a difusão do sistema tenha acontecido primeiramente na região sul do Brasil, considerada pioneira na implantação do sistema dentro do cenário nacional, a adoção do SPD seguiu fortemente se estabelecendo em todo o país. O estado de Minas Gerais conhecido por se destacar na cafeicultura, vem crescendo ao longo dos anos consideravelmente em área e em produtividade adotando o sistema de cultivo mínimo na produção de grãos. Atualmente Minas Gerais possui uma área sob SPD de 1.863.303 ha que corresponde a aproximadamente 3% da área total do estado e 6% da área total em SPD no Brasil (IBGE, 2017).

O SPD é uma técnica de cultivo conservacionista que visa manter a qualidade física do solo, limitando o preparo somente ao sulco de semeadura, adotando como um de seus pilares a rotação de culturas, além de manter o solo sempre protegido por plantas de cobertura e resíduos vegetais de forma a amenizar os efeitos da erosão hídrica causada principalmente pelas gotas de chuva e escoamento superficial (EMBRAPA, 2005). O SPD pode ser dividido em duas fases temporais que distinguem os efeitos em decorrência da adoção do seu manejo sendo elas: fase inicial ou de instalação correspondente aos primeiros quatro ou cinco anos após o início do sistema, e a fase de estabilidade em que podem ser observadas alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Salet, 1994). Utilizando ferramentas de georreferenciamento para analisar a estrutura dos perfis do solo no estado de Goiás, verificou-se que a

consolidação do SPD se deu entre o 9º e o 10º ano após sua implantação (Neto et al. 2007)).

Vários pesquisadores (Vieira 1985; Cruz 1982; Baver et al., 1972) ressaltam que a cobertura vegetal associado ao manejo em SPD cria uma barreira natural contra a irradiação solar reduzindo as perdas de água por evaporação, além de dissipar a energia gerada pelo impacto das gotas de chuva e reduzir a velocidade do escoamento superficial (Castro 1989; Hernani et al., 1997; Stone & Silveira, 1999), mas deve ser tomado cuidado, pois esse manejo deve levar em consideração as particularidades encontradas em cada região como clima e tipo de solo (Caretta et al. 2002). O uso de cultivos de cobertura durante as entressafras é uma alternativa para manter a cobertura do solo além de trazer benefícios no que tange as propriedades físico-hídricas. É comum em SPD utilizar plantas com sistema radicular agressivo como braquiária, por exemplo, que através do aprofundamento e a alta densidade de raízes promovem a aproximação das partículas, estimulam a atividade microbiana onde são produzidos compostos que atuam na estabilização dos agregados resultando em maiores porcentagens de macroagregados, além disso, observa-se também maiores disponibilidades de água com o aumento da amplitude do IHO (Tormena et al., 2012).

A matéria orgânica que se acumula no sistema no decorrer dos anos de cultivo possui um importante papel atuando tanto na melhoria da fertilidade com o aumento da CTC e disponibilidade de nutrientes para as plantas (Belo et al., 2012; Conte et al., 2011; Vezzani & Mielniczuk, 2011), quanto na agregação e estabilização das partículas do solo, atuando através de ligações químicas entre as cadeias de carbono dos compostos orgânicos e as partículas minerais (Bayer & Mielniczuk, 2008). O processo de estabilização se dar através das ligações formadas pelos radicais dos compostos orgânicos com a superfície do mineral por meio de pontes de hidrogênio e força de Van der Waals, conferindo-lhe maior diâmetro médio, o que influencia diretamente na qualidade estrutural, melhorando as condições para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, a percolação de água no perfil e resistência aos agentes erosivos (Sá JCM et al 2014; So et al., 2009; Jin et al., 2011). A interação com a matéria orgânica reflete em indicadores de qualidade física do solo decorrentes da melhor agregação entre as partículas como densidade do solo (Ds), porosidade, aeração, capacidade de infiltração, percolação e retenção de água (Bayer & Mielniczuk, 2008, Zerzghi et al. 2010).

Foi observado por De Oliveira (2018) que a entrada de biomassa no sistema promovida pelo SPD de longo prazo (>20 anos) potencializa a formação de macroagregados do solo que possuem maior estabilidade (Six et al., 2002; Six & Paustain., 2014; Tisdall & Oades, 1982) conferindo-lhes a maior capacidade de aumentar os estoques de carbono orgânico, além disso pode ser inferido com base nos estudos de Gonçalves et al., (2019) que solos sob essas condições possuem alto potencial na redução de emissões de gases do efeito estufa potencializando também aumento de produtividade em culturas como o milho.

As técnicas envolvidas no manejo em SPD são cruciais para o máximo aproveitamento do potencial agrônômico das culturas, de modo a atuar no sistema através da manutenção e renovação dos estoques de carbono e da qualidade física do solo (Sá et al., 2015; Sá et al., 2014; Derpsch et al., 2014; Bortolon et al., 2016). Em comparação ao preparo convencional observa-se que há no SPD aumento dos estoques de carbono orgânico do solo (CTO) associado principalmente ao acúmulo de matéria seca proveniente das culturas de cobertura e resíduo vegetais, embora esse acúmulo dependa da eficiência do manejo realizado e do tipo de cultura implantada no sistema, e que se restringem as camadas superficiais do solo (Bayer et al., 2004; Bertol et al., 2004).

Embora o SPD venha sendo utilizado em larga escala e com ganhos cada vez maiores de produtividade relatados em todo território nacional, as condições em que são manejadas as culturas nesse sistema favorecem também o desenvolvimento de pragas e plantas daninhas, neste cenário o uso de defensivos agrícolas em grandes quantidades pode ser um fator de desvantagem do sistema.

Para que o SPD tenha a eficiência desejada como manejo conservacionista são necessários longos períodos de tempo, onde é indispensável que seus fundamentos sejam realizados de forma eficiente. Este cenário não é observado em grande parte das propriedades onde é adotado SPD, e mesmo que o manejo seja bem feito a maioria dos produtores tem verificado problemas na questão de compactação do solo induzido principalmente pelo tráfego indiscriminado e excessivo de máquinas agrícolas cada vez maiores e mais pesadas (Reichert et al., 2007).

Apesar de alguns autores (Soane 1990; Silva 2007) relatarem que a palhada acumulada no SPD pode atenuar os efeitos da compactação, pois dissipam parte da

energia transferida pelos rodados ao solo, esse efeito ainda se limita a camadas superficiais.

O uso intensivo do solo em SPD durante anos pode causar problemas de compactação, como verificado por diversos autores (Klein & Boller 1995; Hakansson & Medvedev, 1995; Silveira et al., 2008; Collares et al., 2008; Reichert et al., 2009), de modo que, para que se possa ser cultivado 3 culturas em um só ano são necessárias inúmeras operações mecanizadas que com o passar do tempo levam a degradação da estrutura do solo que mais cedo ou mais tarde vão ser observadas nas propriedades do solo com maior ou menor intensidade.

2.2 Compactação do solo

Em virtude da alta intensidade de uso dos solos agrícolas no cenário da agricultura moderna, a compactação vem sendo um dos principais causadores da degradação da estrutura do solo no mundo (Canillas & Salokhe., 2002; Honr et al., 2003). O processo de compactação implica na expulsão de ar e conseqüentemente na redução do volume de poros do solo, aumentando a quantidade de massa por unidade de volume (Dias Junior & Miranda, 2000). O aumento do número de operações em sistemas manejados sob SPD como operações de preparo ocasional, semeadura, tratos culturais e colheita, além do aumento do peso dos maquinários agrícolas vem sendo um dos causadores dos efeitos negativos na estrutura do solo nos últimos anos (Hillel, 2004; Reichert, 2007).

Embora houvesse grande avanço na tecnologia de máquinas, o tráfego realizado nas operações principalmente em teores de umidade do solo fora do estado friável contribui para o aumento dos problemas decorrentes da compactação (Richart, 2005). A susceptibilidade a compactação pode ser alterada dependendo da textura do solo e sua influência na retenção de água, coesão e densidade que determinarão a magnitude e o tipo de efeito compressivo, além disso, o acúmulo de matéria orgânica também pode alterar os efeitos provocados pela compactação (Braida et al, 2010).

A compactação reflete no solo as alterações de suas propriedades, sendo que as propriedades mais afetadas são as físico-hídricas. É decorrente desse processo um aumento na resistência a penetração das raízes, redução da macroporosidade e

porosidade total, sendo que essas alterações prejudicam a aeração do solo, pois o tamanho e continuidade de poros são reduzidos nesse processo. Em consequência, também é reduzida a infiltração de água já que o aumento da densidade cria barreiras físicas que impedem que o fluxo de água pelos poros seja eficiente, fazendo com que haja aumento de escoamento superficial que por si só já causa grandes perdas de solo e potencializa processos erosivos, podendo a vir causar perdas nas produtividades das culturas (Dias Junior, 2000; Silva et al., 2003; Beutler et al., 2005; Severiano et al., 2008; Araújo-Júnior et al., 2011; Pires et al., 2012).

Vários estudos como os de Hakansson & Voorhees (1998), Flowers & Lal (1998) e Beutler & Centurion (2003) observaram que a compactação restringe o crescimento radicular devido aos impedimentos mecânicos, onde a raiz não consegue exercer pressão suficiente para se aprofundar. Isso leva ao crescimento lateral, implicando em volumes menores de solo explorados, causando menores taxas de absorção de água e nutrientes, além de uma aeração deficiente, assim frente a esses fatores observa-se decréscimos expressivos de produtividade (Reichert, 2009).

Quando o solo é trafegado são transmitidas tensões mecânicas diretamente abaixo dos pneus e dependem do tipo de construção dos mesmos (Keller, 2005), por sua vez, essas tensões podem variar de acordo com a pressão de inflação, influenciando diretamente nas tensões transmitidas ao longo do perfil do solo, a distribuição da carga na área de contato do pneu e também com as características de cada solo (Biris et al., 2007; Schjonning & Lamandé, 2010). Observa-se que não só a pressão estática causa danos à estrutura do solo, mas também forças dinâmicas causadas pela vibração das máquinas tracionando implementos, bem como a patinação dos rodados sobre o solo (Horn et al. 1995).

As cargas aplicadas ao solo em decorrência do deslocamento das máquinas podem causar deformações nos agregados, visto que, o rompimento desses pode resultar na formação de fragmentos que vem a preencher os macroporos, resultando na diminuição da porosidade total e aumento da densidade do solo (Startsev & McNabb, 2001). Já foi observado também por Araújo-Junior & Dias Junior (2011) que a carga nos rodados, além de características do tamanho, da pressão de inflação e área de contato pneu-solo, é de suma importância nos estudos envolvendo compactação do solo.

Uma das características do manejo em SPD é o acúmulo de resíduos culturais na superfície do solo, que dentre vários benefícios já citados anteriormente pode ser um

mitigador dos efeitos de compactação. A presença da palhada na superfície pode promover efeito dissipador da energia gerada pelo deslocamento das máquinas sobre a superfície do solo através do aumento da área de contato dos pneus com o solo, reduzindo os efeitos da compactação em camadas superficiais (Soane, 1990). Também foi observado minimização dos efeitos do tráfego em Latossolo argiloso trafegado sobre resíduos florestais em comparação ao solo sem cobertura vegetal (Silva et al., 2007). Segundo um estudo feito por Rosim et al. (2012) em Latossolo Vermelho Distroférico maiores quantidades de palhada na superfície do solo resultaram em menores valores de resistência a penetração para mesma umidade evidenciando o efeito da palha na redução da compactação.

A rotação e sucessão de culturas podem ser feitas visando mitigar os problemas causados pela compactação. Alguns estudos comprovam a eficiência de plantas de cobertura com sistema radicular pivotante e bem desenvolvido, como nabo forrageiro, que através do crescimento de suas raízes promovem bioporos estáveis ao solo sendo observado aumento da macroporosidade, porosidade total e melhor estabilização dos agregados (Cubilla et al., 2002; Kubota et al., 2005). Por outro lado, a eficiência do método biológico de descompactação depende do nível de compactação que o solo apresenta, pois, o desenvolvimento radicular mesmo para plantas com essa finalidade pode ser prejudicado em elevados índices de densidade e resistência a penetração (Cubilla et al., 2002).

O método mais eficiente para romper camadas compactadas ainda é através de implementos destinados a essa finalidade, como subsolador e escarificador, que conseguem chegar a profundidades de trabalho que variam de 5 a abaixo de 30 cm, mantendo a cobertura vegetal sobre o solo (Martucci, 1985). Desse modo tem-se observado a recomendação do uso de preparo ocasional na mitigação da compactação (Blanco-Canqui & Ruis, 2018), pois são práticas que promovem a redução da densidade, resistência do solo a penetração, maior infiltração de água, com mínima mobilização de solo (Taylor & Beltrame, 1980).

Os efeitos decorrentes da escarificação já foram estudados por diversos autores sendo muito variável desde alguns meses (Camara & Klein, 2005; Reichert et al., 2009), até 4 anos (Rosa et al., 2008), mas essas observações tem de ser corroboradas com os manejos mecanizados e as particularidades climáticas de cada região podendo haver

maior ou menor reconsolidação do solo nesses ambientes (Busscher, Bauer & Frederick, 2002).

Vários indicadores podem ser relacionados para o diagnóstico da compactação do solo. A densidade do solo e a resistência a penetração das raízes (RP) são atributos que influenciam no desenvolvimento das plantas e na produtividade dos cultivos, sendo fortemente alterados quando há surgimento de camadas compactadas no solo, pois limitam as reservas de água e nutrientes para as plantas (Clark et al., 2003). Na literatura é citado o valor de limite crítico de RP de 2,00 MPa para o crescimento radicular da maioria das culturas (Taylor et al., 1966). Já alguns autores como Beutler et al., (2004) e Serafim (2007), sugerem que devem ser realizados mais estudos, pois cada cultura e ambiente de produção possui particularidades que devem ser levadas em consideração para melhor entender essa relação. Alguns pesquisadores encontraram valores específicos de RP limitante para cultura do milho cultivado em Latossolo Vermelho distroférico. Foloni et al. (2003) constataram que o crescimento radicular nesse ambiente foi prejudicado em 50% quando os valores de RP alcançaram 0,75 MPa, e totalmente inibido a 1,40 MPa.

São diversos os atributos utilizados como indicadores da qualidade estrutural do solo, porém nem todos são capazes de ter sensibilidade a ponto de relacionar as alterações do tipo de manejo realizado, possuir baixo custo para determinação e possibilitar uma integração com as funções do solo (Bochner, 2007). Embasado neste contexto, Dias Junior (1994) considerou a pressão de preconsolidação (σ_p) um indicador da susceptibilidade do solo a compactação descrevendo através de seus resultados a máxima pressão sofrida pelo solo no passado. Por permitir a predição do comportamento compressivo do solo vários autores como Oliveira et al. (2003) e Silva et al. (2010) relatam a importância do uso desta ferramenta no manejo conservacionista visando a conservação dos solos agrícolas.

2.3 Pressão de preconsolidação (σ_p)

A compressibilidade pode ser definida como a facilidade com que o solo não saturado sofre diminuição de volume em função de pressões aplicadas em sua superfície (Gupta & Allmaras, 1987). Desse modo a compressibilidade é dependente de fatores externos (Lebert & Horn, 1991), onde se destaca a intensidade e a frequência das cargas

aplicadas por máquinas agrícolas, o que nos leva a condições como carga por eixo, área de contato do rodado com o solo e não mais importante as pressões de inflação dos pneus (Castro Neto, 2001). Há também a influência de fatores internos como o histórico de tensão, umidade do solo ou potencial matricial, densidade inicial, textura e estrutura (Gupta et al., 1989; Dias Junior, 1994; Dias Junior, 1999). Portanto é de suma importância a caracterização física para entender o comportamento compressivo dos solos em busca de manejos sustentáveis para a produção de grãos.

Ao considerar uma mesma condição de manejo e tipo de solo, a umidade é o fator que mais influencia no comportamento compressivo do solo, fazendo com que as deformações sejam mais ou menos intensas, solos secos possuem maior capacidade de suportar cargas e solos úmidos, menor capacidade, tendo maiores deformações e sofrendo mais com o processo de compactação (Dias Junior, 1994). De qualquer modo excessivas pressões impostas aos solos podem gerar compactação independentemente do teor de umidade.

A fim de desenvolver manejos sustentáveis com base na prevenção da compactação o ensaio de compressibilidade é uma ferramenta muito usada em estudos com essa finalidade, altamente difundido nos dias atuais (Dias Junior & Pierce, 1995; Kondo & Dias Junior, 1999; Fritton, 2001; Oliveira et al., 2003; Dias Junior et al., 2012). Com os resultados da análise é possível obter a curva de compressão do solo, onde são plotados no eixo das abscissas os valores das pressões aplicadas em escala logarítmica, e os valores de densidade do solo em escala natural no eixo das ordenadas, como mostrado na Figura 1.

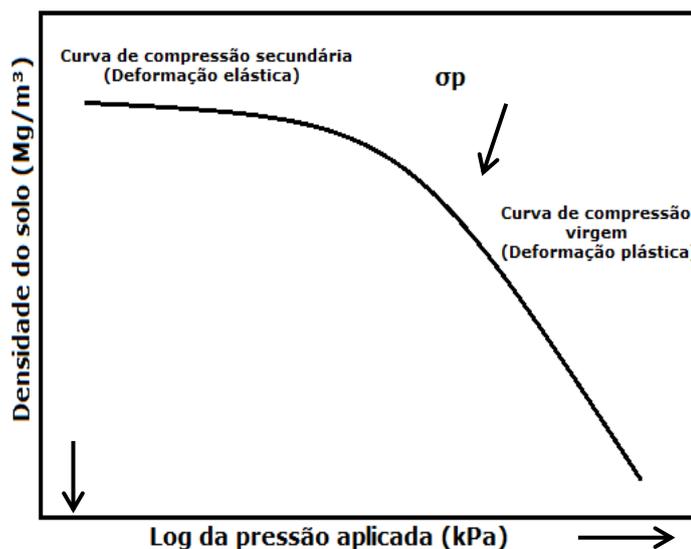


Figura 1: Curva de compressão do solo. Adaptada de Dias Junior (1994). Fonte: Dias Junior (1994).

Há uma separação espacial na curva de compressão denominado pressão de pré-consolidação (σ_p) que pode prever a máxima pressão que o solo pode suportar sem que haja compactação adicional, sendo assim um indicador da qualidade estrutural e uma medida de capacidade de suporte de carga de solos parcialmente saturados (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996; Dias Junior, 2000; Imhoff, 2001). A pressão de pré-consolidação (σ_p) divide a curva de compressão em duas regiões distintas representando resistência do solo as pressões aplicadas: curva de compressão secundária, onde a magnitude das pressões aplicadas são pequenas, elásticas e recuperáveis, e curva de compressão virgem, onde a pressão aplicada promove deformações plásticas e irreversíveis promovendo compactação adicional (Canarache et al., 2000; Fritton, 2001).

A pressão de pré-consolidação (σ_p) é um indicativo da máxima pressão que o solo sofreu no passado, e, portanto, representa o histórico de tensões sofridas pelo solo (Holtz & Kovacs, 1981; Dias Junior, 1994). Desse modo Dias Junior et al. (2005) avaliando as alterações estruturais causadas pelo tráfego indiscriminado de máquinas, dividiram o modelo de capacidade de suporte de carga em três regiões, de acordo com a Figura 2, a saber: a região “A” corresponde as pressões de pré-consolidação após o tráfego de máquinas maiores que o limite superior do intervalo de confiança

promovendo no solo compactação adicional; a região “B” compreende as pressões de preconsolidação após o tráfego de máquinas entre os limites do intervalo de confiança, de modo que essa região indica que se o solo for trafegado nas próximas operações mecanizadas com pressões maiores que o intervalo superior o solo sofrerá compactação adicional; a região “C” representa valores de pressão de preconsolidação após o tráfego de máquinas menores que o intervalo inferior de confiança, ou seja, o solo sofreu deformações elásticas e recuperáveis, esta é a região em que os solos devem ser trafegados para evitar a compactação.

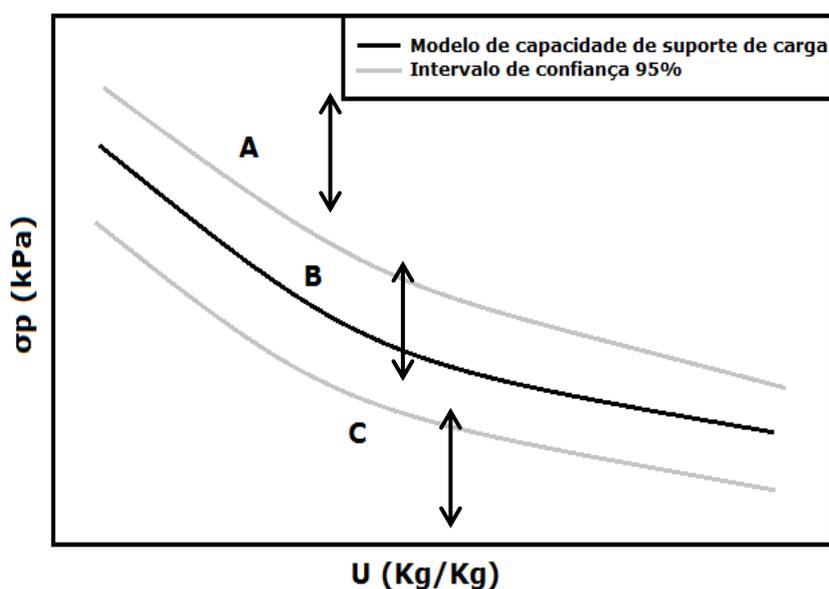


Figura 2: Modelo de capacidade de suporte de carga proposto por Dias Junior et al., (2005). Região A: compactação adicional; Região B: tendência de compactação; Região C: sem compactação. Adaptada de Dias Junior et al., (2005).

Os modelos de capacidade de suporte de carga têm sido amplamente estudado em solos sob silvicultura, com a finalidade de monitorar o impacto causado pelas máquinas na colheita florestal buscando construir manejos sustentáveis que visem à preservação da estrutura do solo (Dias Junior et al., 1999; Dias Junior et al., 2002; Dias Junior et al., 2003; Dias Junior et al., 2005). A construção dos modelos permite definir épocas e umidade adequada para que as operações mecanizadas possam ser realizadas sem que haja prejuízos à estrutura do solo, aumentando o potencial produtivo das áreas exploradas.

Os modelos de capacidade de suporte de carga já foram usados em estudos envolvendo diversas culturas como café (Kamimura et al., 2012), pastagem irrigada e plantio direto de milho (Pires et al., 2012), cana de açúcar (Souza et al., 2012; Filho et al., 2015), de modo que a linha de pesquisa estar sempre buscando responder qual o melhor manejo que possa alinhar boa produção com a conservação estrutural dos solos agrícolas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em outubro de 2015 na Fazenda Santa Helena, situada a 21° 15' 39'' S e 44° 31' 04'' W, a 1020 m de altitude, no município de Nazareno, mesorregião Campo das Vertentes, Estado de Minas Gerais, Brasil. O clima é do tipo Cwa (classificação de Köppen), com invernos secos e verões quentes e úmidos. A precipitação e a temperatura médias anuais são de 1300 mm e 19,7°C, respectivamente. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico típico (Santos et al., 2013), textura argilosa, correspondente ao Typic Hapludox (Soil Survey Staff, 2014). A distribuição média de argila, silte e areia na camada 0 – 0,30 m da área experimental foi de 530, 250 e 220 g kg⁻¹.

O experimento foi implantado em faixas, com 4 tratamentos e 4 repetições. As faixas foram instaladas com 18 m de largura por 80 m de comprimento (1440 m²), e as parcelas experimentais consistiram na subdivisão das faixas em 4 sub-faixas de 360 m². A largura de 18m corresponde a duas passadas da semeadora de grãos utilizada na fazenda. Os tratamentos consistiram em manejos no solo para descompactação, combinando condicionamento físico e químico do solo. O diagnóstico de compactação na área experimental se deu pelo tempo de implantação do PD, 10 anos, e foi confirmado pela análise visual do perfil do solo. Os tratamentos consistiram em: PD – plantio direto contínuo por 10 anos (controle); PDSCI – plantio direto com uso de subsolador adubador (KAMAQ) mais 1440 kg ha⁻¹ de calcário de alta reatividade (PRNT = 180%) aplicado entre 0,40 – 0,60m de profundidade, com espaçamento de 0,75 m entre hastes; PDE – plantio direto com uso de escarificador até 0,26 m; PDSCS – plantio direto com uso de subsolador (Ikeda) a 0,60 m de profundidade e aplicação de 1440 kg ha⁻¹ de calcário de alta reatividade (PRNT = 180%) em superfície.

Para avaliar o impacto do preparo ocasional na descompactação do solo foi determinada a pressão de preconsolidação (σ_p) em cada tratamento, como indicadora das alterações na estrutura do solo. Para tanto, foram coletadas amostras indeformadas 18 meses após a implantação do experimento em cada parcela experimental (4 tratamentos x 7 potenciais matriciais x 2 profundidades x 4 repetições), totalizando 224 amostras. Os potenciais matriciais foram: -4, -6, -10 e -33 kPa em mesa de tensão automatizada (Ecotech, Alemanha), -100, -500 e -1500 kPa em placa porosa numa câmara de Richards (Klute, 1986). As profundidades de avaliação foram: 0,0-0,05m e 0,25-0,30m. Essas amostras foram saturadas e posteriormente submetidas aos 7 potenciais matriciais para permitir verificar o efeito da umidade do solo na σ_p .

Cada amostra foi submetida a um único potencial matricial, pesada e nesta condição submetida ao ensaio de compressão uniaxial, utilizando um consolidômetro pneumático de anel flutuante, modelo S-450 TerraLoad (Durham Geo Enterprises, Stone Mountain, GA, EUA), nas pressões sucessivas e aditivas de 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 kPa por 4 minutos. Finalmente a amostra foi seca em estufa a 105-110 °C, por 24h, para quantificação do conteúdo de água e densidade do solo.

Com uso de planilha eletrônica os valores de pressão e deformação foram tratados e plotados, obtendo-se a curva de compressão do solo. Nesta curva a densidade do solo é plotada em função do logaritmo das pressões aplicadas. A partir da curva foi estimada a σ_p , observando a sugestão do método M1 para potencial matricial ≥ -100 kPa e M3 para potencial matricial < -100 kPa, conforme proposição de Dias Júnior e Pierce (1995).

Para avaliar o impacto do preparo ocasional (subsolagem e escarificação) na estrutura do solo sob plantio direto contínuo foi utilizado o modelo de capacidade de suporte de carga descrito por Dias Júnior et al. (2005). Para isso, foi plotado o modelo de capacidade de suporte de carga do solo sob plantio direto contínuo (σ_p x umidade gravimétrica) e o intervalo de confiança bootstrap a 95%. Os pares de pontos σ_p x umidade gravimétrica dos tratamentos de preparo ocasional foram plotados sobre o modelo e intervalo de confiança do sistema plantio direto contínuo. Os critérios de avaliação do impacto do preparo baseiam-se em três regiões. A região “a”, acima do intervalo de confiança superior, indica ocorrência de compactação adicional pelo preparo ocasional. A região “b”, no intervalo de confiança, indica que o preparo

ocasional não promoveu mudanças significativas na estrutura do solo. A região “c”, abaixo do intervalo de confiança, indica que o preparo ocasional promoveu alívio na estrutura do solo.

A densidade do solo e porosidade total foram determinadas para cada tratamento e efetuada análise de variância e teste de médias (Dunnnett $p < 0,05$). Utilizou-se o software R para os ajustes do modelo de capacidade de suporte de carga, análise de variância e teste de média.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentadas as médias de porosidade total e densidade do solo para cada tratamento nas duas profundidades avaliadas.

Tabela 1: Médias de porosidade total e densidade do solo nas camadas de 0,00-0,05 m e 0,25-0,30 m, para o plantio direto contínuo e os manejos de preparo ocasional.

Profundidade (m)	Tratamentos			
	PDC	PDSCI	PDE	PDSCS
Porosidade Total ($m^3 m^{-3}$)				
0,00 – 0,05	0,541 A	0,584*A	0,562 A	0,526 B
0,25 – 0,30	0,512 B	0,531 B	0,526 B	0,515 B
Densidade do Solo ($kg dm^{-3}$)				
0,00 – 0,05	1,14 A	1,02*A	1,03 A	1,13 A
0,25 – 0,30	1,28 B	1,20 B	1,16*B	1,25 B

PDC = Plantio Direto Contínuo (12 anos); PDSCI = Plantio Direto Subsulado + Aplicação de Calcário a 0,40 – 0,60 m; PDE = Plantio Direto Escarificado; PDSCS = Plantio Direto Subsulado + Aplicação de Calcário em Superfície. * diferença para o tratamento PDC na mesma profundidade. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença para a profundidade 0,25 – 0,30m no mesmo tratamento pelo teste de Dunnnett ($p < 0,05$). Fonte: Do autor:

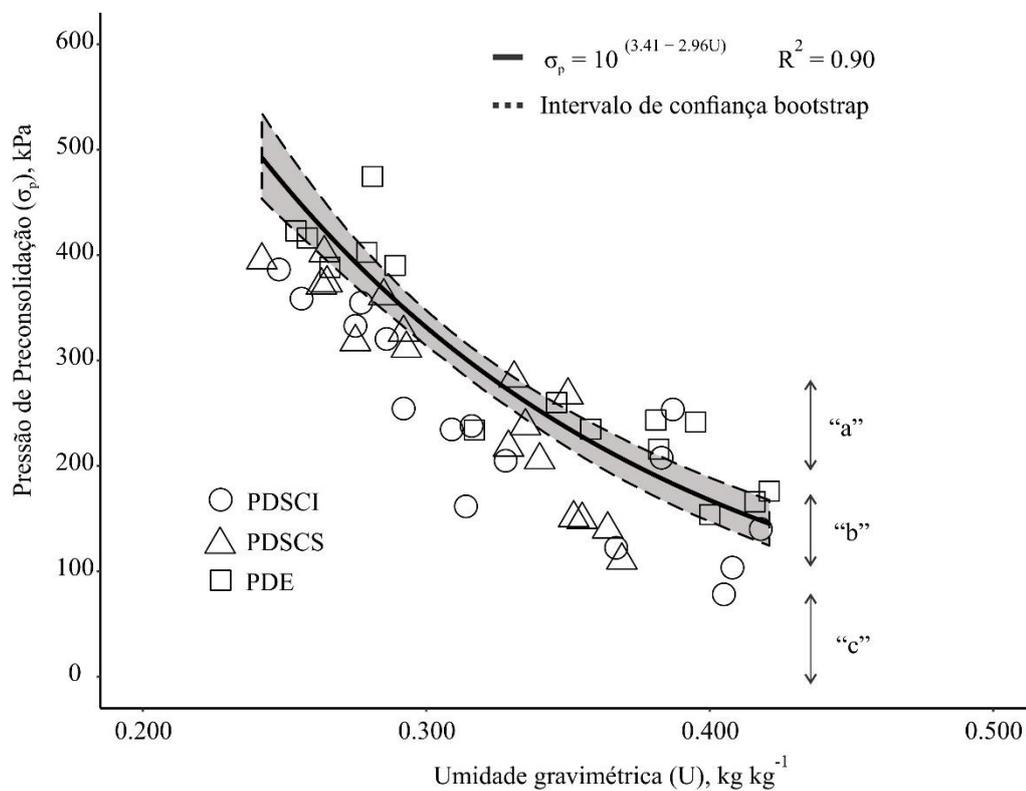
A porosidade total foi superior no PDSCI em comparação ao controle (PDC), na profundidade 0,00-0,05 m, não havendo diferença dos demais tratamentos em relação ao

controle. Exceto no PDSCS, a camada superficial (0,00-0,05 m) apresentou maior porosidade total que a camada subsuperficial (0,25-0,30 m), confirmando maior restrição ao crescimento radicular nessa camada, conforme verificado na avaliação realizada antes da implantação do experimento. Este resultado pode ser devido a haste sulcadora do implemento KAMAQ em promover maior persistência, em superfície, do efeito da subsolagem que o escarificador e o subsolador Ikeda, já que a avaliação foi realizada 2 anos e 6 meses após o preparo. O subsolador-adubador (KAMAQ) tem ponteira tipo cunha e o subsolador (Ikeda) tem ponteira tipo alada. Estudos demonstraram que o subsolador com ponteira alada promove maior distúrbio na estrutura do solo em comparação a ponteira em cunha (Kumar & Thakur, 2005). Maior distúrbio promove menor capacidade de suporte de carga, podendo haver a reconsolidação do solo em período mais curto.

Os valores de densidade do solo para todos os tratamentos foram maiores em profundidade do que na camada superficial. PDCSI e PDE apresentaram menor densidade do solo na camada superficial ($1,02 \text{ kg dm}^{-3}$) e subsuperficial ($1,16 \text{ kg dm}^{-3}$), respectivamente, em comparação ao controle ($1,14$ e $1,28 \text{ kg dm}^{-3}$). O maior valor de densidade do solo ocorreu no PDC na camada de 0,25-0,30 m, $1,28 \text{ kg dm}^{-3}$. Esse resultado corrobora avaliações iniciais em campo, que indicaram possível compactação a 0,25-0,30 m, e, portanto, a camada mais restritiva ao crescimento vegetal.

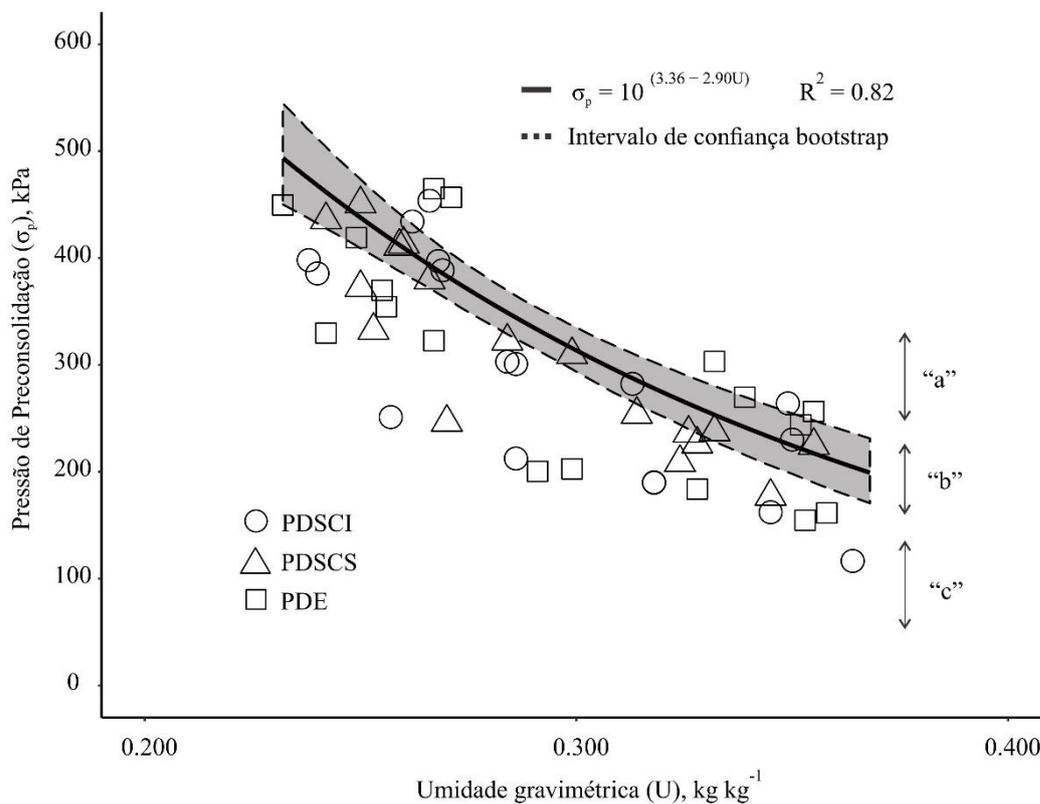
Nas figuras 3 e 4 são apresentados os modelos de capacidade de suporte de carga, modelados a partir das amostras do tratamento PDC (controle) nas duas profundidades avaliadas. Os pares de pontos (σ_p x umidade) foram plotados no modelo representando o impacto dos diferentes manejos de descompactação do solo no plantio direto. As equações e os parâmetros de ajuste dos modelos obtidos apresentaram alta significância ($p < 0,01$) e os coeficientes de determinação foram de 0,90 e 0,82 para as camadas de 0,00-0,05 m e 0,25-0,30 m, respectivamente.

Figura 3. Modelo de capacidade de suporte de carga ($\sigma_p = f(U)$) do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico na profundidade de 0,00-0,05 m sob plantio direto contínuo e pares de pontos ($\sigma_p \times$ umidade) para os tratamentos de preparo ocasional.



Fonte: Do autor.

Figura 4. Modelo de capacidade de suporte de carga ($\sigma_p = f(U)$) do Latossolo Vermelho Amarelo distrófico na profundidade de 0,25 – 0,30 m sob plantio direto contínuo e pares de pontos ($\sigma_p \times$ umidade) para os tratamentos de preparo ocasional.



Fonte: Do autor.

A maioria dos pontos referentes aos tratamentos de preparo ocasional com subsolador PDSCI e PDSC ficaram distribuídos abaixo do limite inferior do intervalo de confiança do modelo de capacidade de suporte de carga do PDC (Tabela 2).

Tabela 2: Porcentagem de pontos situados nas respectivas regiões do MCSC do PDC e os manejos de preparo ocasional para a profundidade de 0,00-0,05 m.

% de pontos	Tratamentos		
	PDSCI	PDSCS	PDE
Região “a”	6	6	40
Região “b”	12	12	47
Região “c”	81	81	13

PDSCI: Plantio direto subsolado – ponteira em formato de cunha – e aplicação subsuperficial de calcário; PDSCS: Plantio direto subsolado – ponteira alada – e aplicação superficial de calcário; PDE: Plantio direto escarificado – ponteira em formato de cunha. Fonte: Do autor.

Já o PDE apresentou apenas 13% dos pontos na região “c”. A maior concentração dos pontos observada abaixo da curva para PDSCI e PDSCS mostram que esses manejos de preparo ocasional foram eficientes em aliviar as tensões acumuladas sob sistema intensivo da produção de grãos, de modo que os valores de σ_p foram reduzidos em comparação ao PDC em toda a faixa de umidade. Esses resultados estão relacionados à alteração nos atributos físicos com o aumento da porosidade total e decréscimo da densidade do solo na camada superficial (Tabela 1), sendo que a pressão de preconsolidação apresentou maior sensibilidade aos manejos de descompactação na camada superficial evidenciando que os subsoladores (implementos considerados mais robustos) causaram maior alteração na superfície do solo em comparação ao escarificador.

O PDE foi menos eficiente em promover alívio estrutural na camada superficial (0,00 – 0,05 m) do solo, com 13% e 40% dos seus pontos nas regiões “c” e “a”, respectivamente. Esse efeito pode ser atribuído a reconsolidação das camadas superficiais em sistemas de plantio direto devido ao intensivo tráfego de máquinas, de modo que o implemento utilizado neste tratamento, um escarificador, promoveu menor grau de desestruturação do solo na camada superficial que é responsável pela absorção e distribuição da pressão de contato exercida pelos rodados no perfil do solo (Soane & van Ouwerkerk, 1994; Horn et al., 1995), sendo assim mais facilmente alterada com as operações subsequentes realizadas no manejo da safra.

Na figura 4 nota-se que em todos os tratamentos houve maior distribuição dos pontos na região “c”, com a porcentagem de distribuição apresentados pela Tabela 3.

Tabela 3: Porcentagem de pontos situados nas respectivas regiões do MCSC do PDC e os manejos de preparo ocasional para a profundidade de 0,25-0,30 m.

% de pontos	Tratamentos		
	PDSCI	PDSCS	PDE
Região “a”	19	0	24
Região “b”	25	47	23
Região “c”	56	53	53

PDSCI: Plantio direto subsolado – ponteira em formato de cunha – e aplicação subsuperficial de calcário; PDSCS: Plantio direto subsolado – ponteira alada – e aplicação superficial de calcário; PDE; Plantio direto escarificado – ponteira em formato de cunha. Fonte: Do autor.

Em profundidade todos os tratamentos aliviaram as tensões no solo, promovendo alteração estrutural de modo a causar um decréscimo, com menor ou maior intensidade, na σ do solo em relação ao PDC em toda faixa de umidade do solo. As camadas subsuperficiais tem maior resiliência quando comparadas as camadas superficiais sofrendo menor influência das pressões causadas pelo tráfego de máquinas, de modo que em profundidade o peso das máquinas exerce maior influência na estrutura do solo em comparação a pressão dos pneus (Soane & van Ouwerkerk, 1994; Horn et al., 1995), e, portanto, os resultados mostram que os efeitos desagregadores dos implementos se mostram presentes por maior período de tempo.

O efeito residual dos implementos utilizados no preparo ocasional, subsoladores e escarificadores, foi verificado 1,5 anos após a realização das operações. Estudos têm mostrado que a persistência das operações de escarificação e subsolagem é de 1 a 4 anos, e ressaltam que esses efeitos dependem da influência climática (ciclos de umedecimento e secagem) e da intensidade dos cultivos realizados com máquinas e implementos agrícolas (Busscher et al., 1995; Busscher et al., 2002; Camara & Klein, 2005; Nicoloso et al., 2008; Ralisch et al., 2001; Reichert et al., 2009). De maneira

geral, foi observado que os manejos de descompactação foram eficientes para aliviar os efeitos da compactação em sistema plantio direto contínuo até a profundidade de 0,30 m, levando o solo a um estado de menor pressão de preconsolidação e resistência mecânica.

5 CONCLUSÃO

O preparo ocasional (subsolagem e escarificação) mitigou os efeitos adversos da compactação do solo em sistema plantio direto contínuo, com redução da densidade do solo e aumento da porosidade total, com conseqüente redução da pressão de preconsolidação até a profundidade de 0,30 m, tendo seus efeitos observados 1,5 anos após a realização das operações.

A subsolagem foi mais eficiente em promover alívio na estrutura do solo sendo seu efeito residual observado por mais tempo em comparação a escarificação, de modo que o subsolador Ikeda leva ligeira vantagem dentre os subsoladores.

A pressão de preconsolidação se mostrou mais sensível as alterações estruturais causadas pelos implementos de descompactação, mostrando de maneira clara como se deu essa alteração em comparação a testemunha, sendo assim uma ferramenta adequada para avaliação da sustentabilidade estrutural e manejo dos solos agricultáveis.

6 REFERÊNCIAS

- Araujo Junior, C.F.; Dias Junior, M.S.; Guimarães, P.T.C. & Alcântara, E.N., 2011. Capacidade de suporte de carga e umidade crítica de um Latossolo induzida por diferentes manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 115-131.
- Baver, L.D.; Gardner, W.H. & Gardner, W.R., 1972. Soil structure: Evaluation and agricultural significance. In: Baver, L.D.; Gardner, W.H. & Gardner, W.R., eds. *Soil physics*. New York, John Wiley, 4, 178-223.
- Bayer, C.; Mielniczuk, J., 2008. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G.A.; Silva, L.S.; Canellas, L.P.; Camargo, F.A.O. *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Porto Alegre, Metrópole, 2, 7-18.

- Bayer, C.; Mielniczuk, J.; Martin-Neto, L.; Pevinato, A., 2004. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 39, 677-683.
- Belo, E.D.; Terra, F.D.; Rotta, L.R.; Vilela, L.A., & Paulino, H.B., 2012. Decomposição de diferentes resíduos orgânicos e efeito na atividade microbiana em um Latossolo Vermelho de cerrado. *Global Science and Technology*, 107-116.
- Beltrame, L.F.S.; Taylor, J.C., 1980. Causas e efeitos da compactação do solo. *Lavoura Arrozeira*, 33, 59-62.
- Bertol, I.; Albuquerque, J.A.; Leite, D.; Amaral, A.J.; Zoldan Junior, W.A., 2004. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas do campo nativo. *Revista Brasileira Ciência do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa, Brasil, 28, 155-163 .
- Beutler, A.N. & Centurion, J.F., 2003. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38, 849-856.
- Beutler, A.N. & Centurion, J.F., 2004. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39, 581-588.
- Beutler, A.N.; Centurion, J.F.; Roque, C.G.; Ferraz, M.V., 2005. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 843-849.
- Biris, S.S.; Maican, E.; Parachiv, G.; Vladut, V.; Bungescu, S., 2007. A model for prediction of stress state in soil below agricultural tyres using the finite element method. *Science Bulletin, Taipei*, 69, 19-28.
- Blainski, E.; Tormena, C.A.; Guimarães, R.M.L.; Nanni, M.R., 2012. Qualidade física de um latossolo sob plantio direto influenciada pela cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 79-87.
- Blanco-Canqui, H. ; Shaver, T.M.; Lindquist, J.L.; Shapiro, C.A.; Elmore, R.W.; Francis, C.A.; Hergert, G.W., 2015. Cover Culturas e Serviços de Ecossistemas: Insights de Estudos em Solos Temperados. *Agronomy Journal*, 107, 2449.
- Bobade, A.B.; Kshirsagar, S.K.; Deshmukh, M.R., 2016. The yield performance and economics under different tillage practices of soybean. *Advances in Life Sciences*, 5, 2755-2760.
- Bochner, J.K., 2007. Serviços ambientais gerados pela floresta de mata Atlântica na qualidade do solo. *Seropédica*, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 45. (monografia)

- Bortolon, L.; Bortolon, E.S.O.; Camargo, F.P.; Borghi, E., 2016. Obtenção de altas produtividades em sistemas agrícolas. *Fronteira Agrícola*, 12, 1-3.
- Braida, A.J.; Reichert, J.M.; Reinert, D.J., & Veiga, M., 2010. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 131-139.
- Busscher, W.J. *et al.*, 1995. Residual effects of slit tillage and subsoiling in a hardpan soil. *Soil and Tillage Research*, 35, 115-123.
- Busscher, W.J.; Bauer, P.J. & Frederick, J.R., 2002. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. *Soil and Tillage Research*, 68, 49-57.
- Busscher, W.J.; Bauer, P.J.; Frederick, J.R., 2002. Recomposition of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. *Soil and Tillage Research*, 68, 49-57.
- Busscher, W.J.; Edwards, J.H., Vepraskas, M.J.; Karlen, D.L., 1995. Residual effects of slit tillage and subsoiling in a hardpan soil. *Soil and Tillage Research*, 35, 115-123.
- Calonego, J.C.; Raphael, J.P.A.; Rigon, J.P.G.; Oliveira Neto, L.; Rosolem, C.A., 2017. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. *European Journal of Agronomy*, 85, 31-37.
- Calonego, J.C.; Rosolem, C.A., 2010. Soybean root growth and yield in rotation with cover crops under chiseling and no-till. *European Journal of Agronomy*, 33, 242–249.
- Camara, R.K.; Klein, V.A., 2005. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29, 789-796.
- Canarache, A.; Horn, R., & Colibas, I., 2000. Compressibility of soils in a long term field experiment with intensive deep ripping in Romania. *Soil and Tillage Research*, 56, 185-196.
- Canillas, E.C.; Salokhe, V.M.A., 2002. Decision support system for compaction assessment in agricultural soils. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, 65, 221-230.
- Carreta, C.A.; Basso, C.J.; Flecha, A.M.T.; Pavinato, P.S.; Vieira, F.C.B.; Mai, M.E.M., 2002. Manejo da adubação nitrogenada na sucessão aveia preta/milho, no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 26, 163-171.
- Castro Neto, P., 2001. Desenvolvimento e avaliação de equipamentos e metodologia para determinação de parâmetros físicos do solo relacionados a dias trabalháveis com máquinas agrícolas. 155. Doutorado (Doutorado em Energia na Agricultura)- Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP.

- Castro, O.M., 1989. Preparo do solo para a cultura do milho. Campinas: Fundação Cargill, (Fundação Cargill. Série Técnica,3), 41.
- Clark, L.J.; Whalley, W.R. & Barraclough, P.B., 2003. How do roots penetrate strong soil? *Plant Soil*, 255, 93-104.
- Collares, G.L.; Reinert, D.J.; Reichert, J.M.; Kaiser, D.R., 2008. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 933-942.
- Conte, O.; Anghinoni, I.; Carvalho, P.C.F.; Levien, R.; Wesp, C.L., 2011. Evolução de atributos físicos de solo em sistema de integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 46, 1301-1309.
- Cruz, J.E., 1982. Effect of crop rotation and tillage systems on some soil properties, root distribution and crop production. Tese (Doutorado) - Purdue University, West Lafayette, 220.
- Cubilla, M.; Reinert, D.J.; Aita, C., & Reichert, J.M., 2002. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. *Revista de Plantio Direto*, 71, 29-32.
- Da Rosa, D.P.; Reichert, J.M.; Sattler, A.; Reinert, D.J. & Mentges, M.I. & Vieira, D.A., 2008. Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43, 395-400.
- De Oliveira, F.A.; Sá, J.C.M.; Lal, R.; Tivet, F.; Briedis, C.; Inagaki, T.M.; Goncalves, D.R.P.; Romaniw, J., 2018. Macroaggregation and soil organic carbon restoration in a highly weathered Brazilian Oxisol after two decades under no-till. *Science of the total environment*, 621, 1559-1567.
- Definição do plantio direto. Disponível em: <https://www.embrapa.br/> Acesso em: 20/09/2019.
- Defosse, P. & Richard, G., 2002. Models of soil compaction due to traffic and their evaluation. *Soil and Tillage Research*, 67, 41-64.
- Derpsch, R.; Franzluebbbers, A.J.; Duiker, S.W., 2014. Why do we need to standardize no-tillage research?. *Soil and Tillage Research*, 137, 16-22.
- Dias Junior, M.S. & Pierce, F.J., 1995. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. *Soil Technology*, 8,139-151.
- Dias Junior, M.S. & Pierce, F.J., 1996. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20, 175-182.
- Dias Junior, M.S., 1994. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. East Lansing, Michigan State University 114. (Tese de Doutorado)

Dias Junior, M.S., 2000. Compactação do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez V., H.V. & Chafer, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1, 55-94.

Dias Junior, M.S.; Ferreira, M.M.; Fonseca, S.; Silva, A.R. & Ferreira, D.F., 1999. Avaliação da sustentabilidade estrutural dos solos em sistemas florestais na região de Aracruz — ES. *Revista Árvore*, 23, 371-380.

Dias Junior, M.S.; Gomes, A.N.; Andrade, S.C.; Azevedo, M.R., 2002. Avaliação da sustentabilidade da estrutura de Argissolos em sistemas florestais. *Cerne*, 8, 103-114.

Dias Junior, M.S.; Leite, F.P.; Lasmar Junior, E.; Araújo Junior, C.F., 2005. Traffic effects on the soil preconsolidation pressure due to eucalyptus harvest operations. *Scientia Agrícola*, 62, 248-255.

Dias Junior, M.S.; Leite, F.P.; Winter, M.E.; Pires, J.V.G., 2003. Avaliação quantitativa da sustentabilidade estrutural de um Latossolo Amarelo cultivado com eucalipto na região de Peçanha - MG. *Revista Árvore*, 27, 343-349.

Dias Júnior, M.S.; Miranda, E.E.V., 2000. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). *Ciência e Agrotecnologia*, 24, 337-346.

Dias Junior, M.S.; Silva, A.R.; Fonseca, S.; Leite, F.P., 2004. Método alternativo de avaliação da pressão de preconsolidação por meio de um penetrômetro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 28, 805-810.

Dickerson, B.P., 1976. Soil compaction after tree-length skidding in northern Mississippi. *Soil Science Society American Journal*, 40, 965-6.

Drescher, M.S.; Eltz, F.L.F.; Denardin, J.E.; Faganello, A., 2011. Persistência do efeito de intervenções mecânicas para a descompactação de solos sob plantio direto. *Brazilian Journal of Soil Science*, 35, 1713-1722.

Drescher, M.S.; Reinert, D.J.; Denardin, J.E.; Gubiani, P.I.; Faganello, A.; Drescher, G.L., 2016. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 159-168.

Farooq, M.; Flower, K.C.; Jabran, K.; Wahid, A.; Siddique, K.H.M., 2011. Crop yield and weed management in rainfed conservation agriculture. *Soil and Tillage Research*, 117, 172-183.

Filho, O.J.V.; Souza, Z.M.; Silva, R.B.; Lima, C.C.; Pereira, D.M.G.; Lima, M.E.; Sousa, A.C.M.; Souza, G.S., 2015. Capacidade de suporte de carga de Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar e efeitos da mecanização no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 50, 322-332.

Flowers, M.D., & Lal, R., 1998. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. *Soil and Tillage Research*, 48, 21-35.

Foloni, J.S.S.; Calonego, J.C. & Lima, S.L., 2003. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38, 947-953.

Freddi, O.S.; Centurion, J.F.; Beutler, A.N.; Arancine, R.G.; Leonel, C.L., 2007. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade na cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 627-636.

Fritton, D.D., 2001. An improved empirical equation for uniaxial soil compression for a wide range of applied stresses. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 678-684.

Fritton, D.D., 2001. Na improved empirical equation for uniaxial soil compression for a wide range of applied stresses. *Soil Science Society of America Journal*, 65, 678-648.

Gonçalves, D.R.P.; Furlan, F.J.F.; Ferreira, L.A.; Romaniw, J., 2019. Conservation agriculture based on diversified and high-performance production system leads to soil carbon sequestration in subtropical environments. *Journal of Cleaner Production*, 219, 136-147.

Greacen E.L.; Sands R., 1980. Compaction of forest soils: a review. *Australia Journal of Soil Research*, 18, 163-189.

Gupta, S.C.; Allmaras, R.R., 1987. Models to assess the susceptibility of soil to excessive compaction. *Advances in soil science*, New York, 6, 65-100.

Gupta, S.C.; Hadas, A.; Shafer, R.L., 1989. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: Larson, W.E.; Blake, G.R.; Allmaras, R.R.; Voorhees, W.B.; Gupta, S.C. (Ed). *Mechanical and related process in structured agricultural soils*. The Netherlands: Kluwer Academic, 137-152.

Gysi, M., 2001. Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic Switzerland. Field data and a critical state soil mechanics model approach. *Soil Tillage Research*, 61, 133-142.

Hakansson, I. & Medvedev, V.W., 1995. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. *Soil and Tillage Research*, 35, 85-97.

Hakansson, I. & Voorhees, W.B., 1998. Soil compaction. In: Lal, R.; Blum, W.H.; Valentine, C. & Steward, B.A. *Methods for assessment of soil degradation*. Boca Raton, CRS Press, (Advances in Soil Science), 167-179.

- Hanza, M.A. & Anderson, W.K., 2005. Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Tillage Research*, 82, 121-145.
- Hernani, L.C.; Salton, J.C.; Fabricio, A.C.; Dedecek, R. & Alves Júnior, A., 1997. Perdas por erosão e rendimentos de soja e trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21, 667-676.
- Hillel, D., 1998. *Environmental soil physics*. San Diego : Academic, 757.
- Histórico do plantio direto. Disponível em: <https://febrapdp.org.br/> Acesso em: 20/09/2019.
- Holtz, R.D. & Kovacs, W.D., 1981. *An introduction to geotechnical engineering*. New Jersey, Prentice-Hall, 733.
- Horn, R.; Baumgartl, T.; Kayser, R. & Baasch, S., 1995. Effect of aggregate strength on changes in strength and stress distribution in structured bulk soils. In: Hartge, K.H. & Stewart, R., eds. *Soil structure - its development and function*, 31-52.
- Horn, R.; Domzal, H.; Slowinskajurkiewicz, A., 1995. Soil compaction processes and their effects on the structure of arable soils and the environment. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, 35, 23-26.
- Horn, R.; Vossbrink, J., & BECKER, S., 2004. Modern forestry vehicles and their impacts on soil physical properties. *Soil and Tillage Research*, 79, 207-219.
- Horn, R.; Way, T.; Rostek, J., 2003. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. *Soil and Tillage Research*, 73, 101- 106.
- Imhoff, S.; Silva, A.P.; Dias Junior, M.S.; Tormena, C.A., 2001. Quantifying critical pressures for plant growth. *Brazilian Journal of Soil Science*, 25, 11–18.
- Jakobsen B.K and Pelham H.R., 1991. A conserved heptapeptide restrains the activity of the yeast heat shock transcription factor. *EMBO J* 10, 2, 369-75.
- Jin, V.L.; Johnson, M.V.V.; Haney, R.L.; Arnold, J.F., 2011. Potential carbon and nitrogen mineralization in soils from a perennial forage production system amended with class B biosolids. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 141, 461-465.
- Kamimura, K.M.; Dias Junior, M.S.; Guimarães, P.T.G.; Santos, G.R.; Oliveira, M.S., 2012. Capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho- Amarelo em uma lavoura cafeeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 1457-1465.
- Keller, T.A., 2005. Model for the prediction of the contact area and the distribution of vertical stress below agricultural tyres from readily available tyre parameters. *Biosystems Engineering*, London, 92, 85-96.

- Klein, V.A & Boller, W., 1995. Avaliação de diferentes métodos de manejos do solo e métodos de semeadura em área sob sistema de plantio direto. *Ciência Rural*, 25, 395-398.
- Klein, V.A. & Câmara, R.K., 2007. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 221-227.
- Kondo, M.K. & Dias Junior, M.S., 1999. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23, 211-218.
- Kondo, M.K., 1998. Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 105. (Tese de Mestrado)
- Kubota, A.; Hoshihara, K., & Bordon, J., 2005. Green-manure turnip for soybean based no-tillage farming systems in eastern Paraguay *Science Agricultural*, 62, 150-158.
- Kumar, A., & Thakur, T.C., 2005. An investigation into comparative test of conventional and winged subsoilers. *Annual International Meeting Sponsored by ASAE*, 51-61.
- Lebert, M.; Horn, R., 1991. A method to predict the mechanical strength of agricultural soils. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, 19, 275-286.
- Mahl, D.; Silva, R.B.; Gamero, C.A.; Silva, P.R.A., 2008. Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. *Acta Science Agronomy*, 30, 741-747.
- Martucci, F.C., 1985. Escarificador no preparo do solo. *A Granja*, Porto Alegre, 16, 44-46.
- Neto, O.C; Guimarães, M.D. & Fonseca, R.R., 2007. Análise do tempo de consolidação do sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 11, 489-496.
- Nicoloso, R.S.; Amado, T.J.C.; Schneider, S.; Lanzanova, M.E.; Girardello, C.; Bragagnolo, J., 2008. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1723-1734.
- Nunes, M.R.; Denardin, J.E.; Pauleto, E.A.; Faganello, A.; Pinto, L.F.S., 2015. Mitigation of clayey soil compaction managed under no-tillage. *Soil and Tillage Research*, 148, 119-126.
- Nunes, M.R.; Pauleto, E.A.; Denardin, J.E.; Faganello, A.; Pinto, L.F.S.; Scheunemann, T., 2014. Persistence of chiseling effects on the compaction of a Nitosol

under no-till in a humid subtropical region. *Brazilian Journal of Agricultural Research*, 49, 531-539.

Oliveira, G.C.; Dias Júnior, M.S.; Resck, D.V.S. & Curi, N., 2003. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38, 291-299.

Pedrotti, A. & Dias Junior, M.S., 1996. Compactação do solo: como evitá-la. *R. Agropecuária Catarinense* 9, 50-52.

Pires, B.S.; Dias Junior, M.S.; Rocha, W.W.; Araujo Junior, C.F.; Carvalho, R.C.R., 2012. Modelos de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 635-642.

Pires, S.B.; Dias Junior, M.S.; Rocha, W.W.; Araujo Junior, C.F.; Ribeiro, R.C., 2012. Modelo de capacidade de suporte de carga de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36, 635-642.

Qingjie, W.; Caiyun, L.; Hongwen, L.; Jin, H.; Sarker, K.K.; Rasaily, R.G.; Zhonghui, L.; Xiaodong, Q.; Hui, L.; Mchungh, A.D.J., 2014. The effects of no-tillage with subsoiling on soil properties and maize yield: 12-year experiment on alkaline soils of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 137, 43-49.

Ralisch, R.; Filho J.T.; Almeida M.V.P., 2001. Avaliação em um solo argiloso sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo à penetração. Congresso brasileiro de engenharia agrícola, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, CD-ROM.

Rarper, D.L., 2005. Agricultural traffic impacts on soil. *Journal of Terramechanics*, 42, 259-280.

Reichert, J.M.; Kaiser, D.R.; Reinert, D.J.; Riquelme, U.F.B., 2009. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quarto sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 44, 310-319.

Reichert, J.M.; Suzuki, L.E.A.S.; Reinert, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: Cerreta, C.A.; Silva, L.S.; Reichert, J.M. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 5, 49-134.

Reichert, J.M.; Suzuki, L.E.A.S.; Reinert, D.J.; Horn, R.; Håkansson, I., 2009. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. *Soil and Tillage Research*, 102, 242-254.

Richart, A. et al., 2005. Compactação do solo: causas e efeitos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, 27.

- Rosim, D.C.; de Maria, I.C., & Silva, R.L.; da Silva, A.P., 2012. Compactação de um Latossolo Vermelho distroférico com diferentes quantidades e manejos de palha em superfície. *Bragantia*, 71, 502.
- Sá, J. C. M. et al., 2015. Carbon depletion by plowing and its restoration by no-till cropping systems in oxisols of subtropical and tropical agro-ecoregions in Brazil. *Land Degradation & Development*, 26, 531-543.
- Sá, J.C.M.; Tivet, F.; Lal, R.; Briedis, C.; Hartman, D.C.; Santos J.Z.; Santos, J.B., 2014. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research*, 136, 38-50.
- Salet, L.R., 1994. Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto. Tese (mestrado em ciência do solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 110.
- Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumbrreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Cunha, T.J.F.; Oliveira, J.B., 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF, Embrapa, 3, 353.
- Schimiguel, R.; Sá, J.C.M.; Briedis, C.; Hartman, D.C.; Zuffo, J., 2014. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. *Synergismus Scientifica UTFPR*, 9, 1-5.
- Schjønning, P.; Lamandé, M., 2010. A note on the vertical stresses near the soil–tyre interface. *Soil and Tillage Research*, 108, 77–82.
- Secco, D.; Reinert, D.J.; Reichert, J.M.; Silva, V.R., 2009. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. *Ciência Rural*, 39, 58-64.
- Serafim, M.E., 2007. Desenvolvimento de um penetrógrafo de bancada visando a determinação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em diferentes sistemas de produção. Dourados, Universidade Federal da Grande Dourados, 79. (Tese de Mestrado)
- Severiano, E.C.; Oliveira, G.C.; Dias Junior, M.S.; Oliveira, L.F.C., & Castro, M.C., 2008. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais de um Latossolo e de um Cambissolo sob cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 14, 131-139.
- Silva, A.P.; Kay, B.D., 1996. The sensitivity of shoot growth of corn to the least limiting water range of soils. *Plant and Soil*, 184, 323-329.
- Silva, A.R.; Dias Junior, M.S.; Leite, F.P., 2007. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois Latossolos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42, 89-93.

- Silva, R.B.; Iori, P.; Silve, F.A.M. & Dais Júnior, M.S., 2010. Modelagem e determinação do estado crítico de consolidação a partir da relação massa e volume em solos canavieiros. *Revista de Ciências Agrárias*, 33, 376-389.
- Silva, V.R., 2003. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Dourados, Universidade Federal de Santa Maria, 171. (Tese Doutorado)
- Six, J. & Paustian, K., 2014. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. *Soil Biology and Biochemistry*, 68, 4-9.
- Six, J.; Conant, R.T.; Paul, E.A., 2002. Mecanismos de estabilização da matéria orgânica do solo: implicações para a saturação C de solos. *Plant and Soil*, 241, 155.
- Soane, B.D. & van Ouiverkerk C., 1994. Soil compaction in crop production. Amsterdam, Elsevier, (Development in Agricultural Engineering, 11).
- Soane, B.D., 1990. The role of organic matter in soil compactibility: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research*, 16, 179-201.
- Souza, G.S.; Souza, Z.M.; Araújo, F.S.; Barbosa R.S.; Silva, R.B., 2012. Compressibilidade do solo e sistema radicular da cana-de-açúcar em manejo com e sem controle de tráfego. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 47, 603-612.
- Startsev, A.D., & Nguyen, H.; McNabb, D.H., 2001. Soil wetness and traffic level effects on bulk density and air-filled porosity of compacted boreal forest soils. *Soil Science Society American Journal*, 65, 1238-1247.
- Stone, L.F. & Silveira, P.M., 1999. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34, 83-91.
- Taylor, H.M.; Roberson, G.M. & Parker Júnior, J.J., 1996. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Science Society American Journal*, 102, 18-22.
- Tisdall, J.M., & Oades, J.M., 1982. Matéria Orgânica e Agregados Estáveis em Água nos Solos. *European Journal of Soil Science*, 33, 141-163.
- Tormena, C.A.; Araujo, M.A.; Fidalski, J. & Costa, J.M., 2007. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférrico sob sistemas de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, 211-219.
- Vezzani, F.M., & Mielniczuk, J., 2011. Agregação e estoques de carbono em ambiente submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35, 213-223.

Vieira, M.J., 1985. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: Fancelli, A. L.; Torrado, P.V (Coord.). Atualização em plantio direto. Campinas: Fundação Cargill, 8, 163-179.

Vieira, M.L.; Klein, V.A., 2007. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31, 1271-1280.

Vieira, M.L.; Klein, V.A., 2007. Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31, 1271-1280.