

IMPLICAÇÕES DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO RENDIMENTO DE GRÃOS DE CULTIVOS AGRÍCOLAS

Natália Pereira^{1*}; Deonir Secco¹; Luiz Antônio Zanão Júnior¹; Emmanuelle Albara Zago¹; Francisco de Assis Guedes Junior¹; Luana Salete Celante¹; Natacha Barchinski Galant¹; Robson Andrei Sanches de Almeida¹

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Curso de Pós-Graduação Strictu Sensu em Engenharia de Energia na Agricultura.
Rua Universitária, 2069 – Jardim Universitário. CEP: 85819-110, Cascavel PR - Brasil. *E-mail: pe.nataliaa@gmail.com.

RESUMO: Praticamente todas as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são afetadas de alguma maneira pela compactação. Níveis elevados de compactação do solo tendem a inibir o crescimento e desenvolvimento de plantas e comprometer severamente a qualidade do solo e conseqüentemente a produção agrícola. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo relatar, por meio de revisão bibliográfica, os efeitos da compactação do solo no rendimento de grãos dos cultivos agrícolas. Gramíneas são mais sensíveis a estados de compactação que as leguminosas, a exemplo do milho e trigo que apresentam baixo potencial para se estabelecer em solos compactados e em consequência apresentam rendimento de grãos reduzidos. Soja e feijão apresentam certa resistência à compactação e podem obter bons rendimentos se tiver disponibilidade de água no solo. Mamona, girassol e cana-de-açúcar tendem a apresentar susceptibilidade à compactação do solo. Os níveis críticos de compactação do solo estabelecidos a partir de indicadores de qualidade podem resultar em menor produção de grãos dependendo da espécie, das condições de umidade e do tipo de solo.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade do solo, produtividade, sistema de manejo.

GRAINS YIELD OF AGRICULTURAL CROPS AFFECTED BY SOIL COMPACTION

ABSTRACT: Practically all the physics, chemistry and biological properties of soil are affected somehow by the compaction. High levels of soil compaction tend to inhibit the growing and the development plants and to compromise severely the soil quality and consequently the crop production. With that, the present work has how the purpose to report, trough bibliographic revision, the effects of soil compaction on the grains yield of agricultural crops. Grasses are more sensitive to compaction states than the legumes, how example of maize and wheat wich presents low potential for the stabilization in compacted soils and reduced yield. Soybean and bean presents certain resistance to compaction and can to obtain goods yield if it has water availability. Castor beans, sunflower and sugar cane tend to present susceptibility to soil compaction. The critic levels established of soil compaction from quality indicators can to result in lower grains production depending of the specie, the humidity conditions and the type of the soil.

KEY WORDS: soil quality, productivity, management system.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Introdução

A qualidade física do solo é um assunto que tem recebido crescente atenção, de forma que a Organização das Nações Unidas (ONU) decretou 2015 como o Ano Internacional dos Solos alertando ao mundo a importância fundamental da conservação dos solos para o meio ambiente, a produção de alimentos e a sustentabilidade agrícola (FAO, 2015). Características do solo que representam sua qualidade, tais como: densidade, taxa de infiltração de água, erodibilidade, dentre outras, estão fortemente relacionados ao estado de compactação desse solo. Níveis elevados de compactação, além de prejudicar a qualidade física do solo, tendem a inibir o crescimento e desenvolvimento de plantas.

Praticamente todas as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são afetadas de alguma maneira pela compactação do solo. A compactação afeta todos os processos de transporte que ocorrem nos solos como a aeração; permeabilidade do solo ao ar, à água, ao calor; infiltração; e redistribuição, além dos processos de transformações químicas e biológicas, de impedimentos mecânicos na emergência de plântulas e no desenvolvimento de raízes. (Prevedello e Armindo, 2015). Com isso, a compactação pode comprometer severamente a qualidade do solo e conseqüentemente a produção agrícola.

A atividade agropecuária é a principal causadora da compactação do solo por meio da redução do volume e aumento da densidade devido ao pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (Hamza e Anderson, 2005). E também a principal afetada, pois o aumento da compactação a níveis críticos de qualidade física do solo compromete o desenvolvimento e produção de culturas anuais, permanente e pastagens (Fidalski, 2009).

Em estudo realizado por Silva et al. (2006), com diferentes espécies em um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico sob diferentes níveis de compactação comprovou que a compactação reduziu significativamente o crescimento e desenvolvimento de algodão, milho e soja. Outro estudo com arroz de sequeiro, produzido em Latosso Vermelho de textura média, relatou decréscimos na produtividade com o aumento da compactação do solo, relatando aumento da resistência do solo a penetração (Beutler et al., 2004). Para o feijão o solo compactado acarreta fortes restrições no desenvolvimento e produção, além de ter pouca eficiência como planta descompactadora (Farias et al., 2013).

A compactação é um processo preocupante para o rendimento das culturas, um levantamento sobre como a compactação pode prejudicar a produção de grãos pode ser uma

ferramenta para esclarecer e conscientizar sobre as consequências do manejo inadequado no cenário atual de produtividade agrícola. Com isso, o presente trabalho teve como objetivo relatar, por meio de revisão bibliográfica, os efeitos da compactação do solo no rendimento de grãos dos cultivos agrícolas.

Compactação do solo

A compactação do solo representa a principal limitação física para o desenvolvimento das plantas. É considerada uma consequência do uso e manejo do solo pela ação antrópica, caracterizada pelo aumento da densidade e redução do volume do solo e da porosidade total provocada por compressão, ocasionando um rearranjo mais denso das partículas do solo (Curi, 1993).

Densidade do solo (D_s) é definida como a relação entre a massa de sólidos secos do solo e seu volume total, tendo como unidades de medida, no Sistema Internacional, Mg/m^3 (Viana, 2009). No volume total do solo é incluído o volume de sólidos e o de poros do solo. Porém, havendo modificação do espaço poroso haverá alteração da D_s . O uso principal da densidade do solo é como indicador da compactação, assim como medir alterações da estrutura e porosidade do solo (Ceretta et al., 2007).

A D_s está intimamente relacionada com a estrutura e textura do solo, em geral, solos com texturas semelhantes quanto maior a densidade, mais compacto é o solo e menos definida é a sua estrutura (Meurer, 2007). Sendo que a estrutura se refere ao agrupamento das unidades de partículas do solo que formam agregados, e a textura se refere a distribuição das partículas de acordo com seu tamanho e das proporções de areia, silte e argila que compõem o solo.

Em solos arenosos a D_s é mais elevada, variando de 1,2 a 1,8 Mg/m^3 , e em solos argilosos os valores são de 0,9 a 1,7 Mg/m^3 . Valores de D_s que indicam compactação do solo e podem prejudicar o crescimento radicular está em torno de 1,55 Mg/m^3 para solos arenosos e 1,35 Mg/m^3 para solos argilosos (Reichert et al., 2003).

Inversamente proporcional à D_s e diretamente essencial para o crescimento de raízes e movimento de ar, água e solutos no solo está a porosidade do solo. A porosidade representa espaço do solo não ocupado por sólidos e ocupado pela água e ar no espaço poroso, definido como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo. A textura e a estrutura dos solos explicam em grande parte o tipo, tamanho, quantidade e continuidade dos poros. Esta propriedade física do solo é comumente classificada em microporosidade e macroporosidade, sendo que os microporos são responsáveis pela retenção e armazenamento

de água no solo e os macroporos pela aeração e pelo aumento de infiltração de água no solo (Reinert e Reichert, 2006; Sá e Júnior, 2005; Meurer, 2007).

A proporção de poros varia conforme o nível de compactação do solo e também de acordo com a sua classe textural. Em solos arenosos a proporção de macroporos é maior e em solos argilosos a proporção de microporos é maior. A aeração do solo é realizada pelos macroporos e que atende a demanda de respiração da vida biológica do solo, pois há uma necessidade contínua de troca de oxigênio e CO₂ entre a atmosfera e o solo. Normalmente, 10 % de macroporos são o necessário para suprir a demanda respiratória do solo, mas quando há compactação o nível de macroporos é bem menor (Karlen et al., 2001; Dias Junior, 2000).

Além disso, a compactação afeta a temperatura do solo que é responsável pelas taxas de evaporação e aeração do solo, importantes para a intensidade das reações químicas. A variação da temperatura do solo interfere na germinação, no crescimento radicular, na absorção de água e nutrientes pelas plantas e na atividade microbiana do solo (Hillel, 1998).

Um importante fator controlador da compactação do solo é a umidade, pois o fenômeno de compressão causado pelo uso de máquinas agrícolas é agravado quando o conteúdo de água do solo é elevado (Silva e Cabeda, 2006). Neste sentido a textura tem grande influencia na susceptibilidade do solo à compactação. Solos argilosos possuem capacidade de reter maior quantidade de água e suportam maiores pressões do que os solos arenosos por isso são mais susceptíveis a compactação (Suzuki, et al., 2008).

A resistência a penetração (RP) também está diretamente ligada à ocorrência da compactação, causada pela sua intensa relação com a redução de densidade e porosidade do solo assim como redução da umidade. Valores de RP a partir de 2,0 MPa em nível de capacidade de campo caracteriza um alto grau de compactação do solo (Silva, 2011).

Todas essas propriedades físicas afetadas pela compactação do solo sofrem influência da textura e mineralogia do solo e do sistema de produção agrícola utilizado. No sistema plantio direto, a movimentação mínima do solo contribui para a permanência de restos culturais no solo o ano todo aumentando do teor de matéria orgânica além de manter o teor de água mais elevado e reduzir a erosão do solo. Mas, por outro lado, o sistema plantio direto de forma contínua associada ao manejo incorreto de máquinas e implementos agrícolas leva a formação de uma camada subsuperficial de compactação do solo sendo uma das principais causas de degradação física do solo e de prejuízos no rendimento de culturas (Silveira et al., 2008).

Já no plantio convencional, sem o aspecto conservacionista do solo, com a maior mobilização do solo diminui a compactação, propiciando menor densidade e maior

porosidade total, porém seu efeito é temporário (Bussher et al., 2002; Silveira et al., 2001). Entretanto, o sistema plantio direto, utilizado de maneira correta, ao longo do tempo diminui a densidade do solo pelo aporte de matéria orgânica na camada superficial ocasionando melhorias na estrutura do solo. Uma importante prática que deve ser realizada nesse sistema de cultivo é a rotação de culturas com a implantação de espécies com sistema radicular agressivo que leva a formação de bioporos estáveis que reduzem a compactação do solo através da pressão exercida pelas raízes (Cubilla et al., 2002; Nicoloso et al., 2008).

Efeitos da compactação no rendimento das culturas

A produção de alimentos e fibras no mundo depende fundamentalmente da disponibilidade de terras apropriadas para a exploração agrícola e pecuária em quantidade e qualidade. Os cultivos mais importantes são os de grãos, que ocupam uma extensa área, responsáveis por 66 % da alimentação mundial e largamente produzido em muitos países (Scolari, 2005).

Segundo o IBGE (2015), a estimativa de produção nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas totalizou 204,3 milhões de toneladas com destaques para cana, arroz, feijão, mamona, milho, soja, girassol, sorgo e trigo. Diversos estudos comprovam que a compactação do solo pode diminuir o desenvolvimento e rendimento destas culturas.

Pesquisas promissoras desenvolvidas pela comunidade científica demonstram de que maneira a compactação pode ser um fator degradante para o solo como perda de volume e implicações danosas no movimento de água e gases no seu interior. E ajuda a entender como tudo isso pode afetar o desenvolvimento e rendimento das culturas. A interferência da compactação sobre a absorção de nutrientes, o desenvolvimento da planta e o rendimento de grãos dependem também, entre outros fatores, da espécie cultivada.

De modo geral, gramíneas são mais sensíveis a estados de compactação que as leguminosas (Pacce et al., 1999; Secco et al., 2009). Em níveis médio de compactação em Latossolo Vermelho, Secco et al. (2009), verificaram o rendimento de grãos menor em 17 % na cultura do milho, já em solos onde houve a escarificação o rendimento foi 38 % maior. Freddi et al. (2009) observaram produtividade de milho significativamente menor em solos que apresentaram valores de RP igual a 2,15 MPa. Foloni et al. (2003) evidenciaram redução de 20 % de massa seca da parte aérea com RP igual a 1,4 MPa enquanto que Freddi et al. (2008), relatam que para ter um bom rendimento de milho em Latosso Vermelho a Ds deve ser de até 1,38 Mg/m³.

Um dos principais componentes para se obter elevadas produtividades de milho está correlacionada com o bom crescimento da parte aérea das plantas, em condições de menor Ds, proporcionando grande produção de massa seca de raízes com pequeno diâmetro. No estudo de Foloni et al. (2003) foi verificado que não houve crescimento radicular do milho abaixo da camada compactada além de acentuado aumento no diâmetro das raízes indicando que esta espécie possui baixo potencial para se estabelecer em solos compactados.

O trigo tem comportamento semelhante ao do milho em solos compactados, Secco et al. (2009), relatam decréscimos no rendimento de trigo em solo com Ds igual a $1,62 \text{ Mg/m}^3$ e RP de 2,65 MPa na ordem de 18 a 34 % em dois Latossolos argilosos. Seguindo esta lógica, Klein et al. (2008), ao estudar o rendimento de trigo em sistema de plantio direto com a utilização de escarificação do solo, diminui a Ds e aumentou a porosidade de aeração, desse modo aumentou a produtividade de trigo em 628 kg/ha.

Plantas de arroz sequeiro, conforme estudo realizado em vasos utilizando solo de várzea classificado como Neossolo Flúvico por Medeiros et al. (2005), teve acentuada redução no desenvolvimento com o aumento da compactação causada pelas restrições na disponibilidade de nutrientes e pelo aumento da RP das raízes. A compactação limitou a aeração do solo e conseqüentemente a mineralização da matéria orgânica e o fornecimento de nitrogênio (N) o que levou a uma redução em 24% do número de perfilhos. E, visto que a quantidade de perfilhos contribui diretamente para o rendimento de grãos (Sangoi et al., 2011; Franco et al., 2011), a produtividade de arroz de sequeiro é comprometida em níveis elevados de compactação de solo.

Outro estudo realizado em campo com Latossolo Vermelho distrófico por Beutler et al. (2004), onde a compactação foi gerada por diferentes quantidades de passada lado a lado de um trator, relatou significativas reduções na produtividade de arroz. No arroz irrigado, entretanto, os componente de rendimento e produtividade não são afetadas pela compactação do solo, porque em sistemas de cultivo de arroz irrigado a ocorrência da irrigação após da germinação beneficia o desenvolvimento radicular das plantas tornando inexpressivas as influências de propriedades físicas do solo e da compactação (Beutler et al., 2014).

No cultivo de feijão é recomendado a não compactação do solo, pois pode bloquear o bom desenvolvimento da raiz e dificultar a busca por água e nutrientes, salientando-se que o feijão possui baixa capacidade de crescimento de raiz em solos compactados (Epagri, 2012). Neste sentido, estudos comprovam que a compactação do solo pode prejudicar o desenvolvimento do feijão. Lima et al. (2006), num estudo conduzido em Argissolo Vermelho distrófico verificou uma grande diferença no desenvolvimento do feijoeiro em plantio direto

com compactação adicionada mas diretamente relacionada ao estresse hídrico na fase vegetativa e, no manejo escarificado, obteve maior rendimento do feijão, porém esse efeito foi evidenciado apenas no primeiro ano em relação ao baixo rendimento nos anos seguintes sugerindo uma rápida acomodação das partículas do solo.

Collares et al. (2008), constataram, em pesquisa realizada em Latossolo Vermelho argiloso com compactação adicional, redução em 17 % da produtividade de feijoeiro; Amado et al. (2009), também observaram baixo rendimento de feijão em Latossolo Vermelho distrófico associado a compactação do solo, da mesma forma, Pessoa et al. (2012) relatam prejuízos no desenvolvimento radicular e parte aérea causado pela compactação vinculados a baixa umidade. O prejuízo no crescimento de plantas de feijão em solo compactado pode ser compensado no rendimento de grãos se houver disponibilidade de água na fase reprodutiva (Gubiani et al., 2014).

Estudo de Gubiani, et al. (2014) comprovou que o rendimento de grãos em diferentes níveis de compactação teve grande dependência da irrigação, em solo compactado o efeito da irrigação aumentou o rendimento de grãos e em solos descompactados (escarificado) o efeito da irrigação foi mais efetivo no crescimento da parte aérea das plantas. Solos em estado de capacidade de campo e elevados teores de nutrientes, maior grau de compactação e valores crescente de RP não prejudica o rendimento de grãos do feijoeiro (Santos et al., 2005; Suzuki et al., 2007).

No cultivo de soja em torno de 75 % do desenvolvimento radicular se distribuem nos primeiros 15 cm de solo através dos macroporos (Cardoso et al., 2006). Segundo Rosolem (1994), se a camada compactada subsuperficial inibe o crescimento radicular em profundidade, o desenvolvimento da parte aérea passa a ser dependente da oferta de água e nutrientes do solo na camada superficial. Desse modo, a soja pode ser menos susceptível a compactação do solo por ter grande parte das raízes crescendo na camada superficial.

Secco et al. (2004) ao avaliarem o efeito da compactação, induzida por rolo compactador, no cultivo de soja observaram que, mesmo com aumento da Ds e da RP, não houve comprometimento no rendimento de grãos. Secco (2003) relata que esta é uma cultura que apresenta certa resistência a diferentes estados de compactação do solo, possivelmente há um efeito compensatório da planta, quando há limitações impostas pelo solo, em produzir maior número de ramificações e maior número de grãos por vagem. Nicoloso et al. (2008) cultivando soja em solos com alto nível de compactação, em um ano com elevadas precipitações, observaram elevados rendimentos de grãos, neste caso a grande umidade do solo provavelmente amenizou os efeitos da compactação.

Há uma relação inversa entre RP e umidade do solo, associada a maior coesão entre as partículas minerais do solo (Abreu et al., 2004). Em sistemas de manejo de plantio direto e plantio direto escarificado, Klein e Camara (2007), não evidenciaram diferenças no rendimento de grãos de soja e constataram que o valor de RP de 2,0 MPa não representa limitação para o desenvolvimento de plantas de soja, resultado semelhante foi observado por Foloni et al. (2006). Contudo, decréscimos na produtividade de soja foram relatados por Beutler et al. (2006) em níveis de compactação com RP de 2,24 a 2,97 MPa causada pelo tráfego de máquinas. Assim, níveis maiores de compactação, com RP acima de 2,0 MPa, diminuem a área de solo explorada pela soja e prejudica a eficiência de absorção de água e nutrientes refletindo em menor rendimento de grãos.

A mamona apresenta tendência de susceptibilidade à compactação do solo, Silva et al. (2010), obtiveram maior produção de grãos de mamona na ausência de manejo mecânico das plantas de cobertura e relataram que o uso de implementos específicos para o manejo da palhada podem acarretar desvantagens como alto custo e aumento da compactação do solo. O girassol também é uma cultura que apresenta menor rendimento em solos compactados (Castro; Farias, 2005), bem como a cana-de-açúcar pode ter o rendimento de colmos severamente reduzido em solo compactado (Fagundes, et al., 2014).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os níveis críticos de compactação do solo estabelecidos a partir de indicadores de qualidade podem resultar em menor produção de grãos dependendo da espécie, das condições de umidade e do tipo de solo. Vários estudos demonstram que a compactação do solo tem prejudicado o rendimento de grãos em muitos cultivos, principalmente em solos com teor de argila mais elevado. A prática de escarificação para descompactar o solo não necessariamente aumenta 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.

REFERÊNCIAS

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.
- AMADO, T.J.C.; PES, L.Z.; LAMAINSKI, C.L.; SCHENATO, R.B. Atributos químicos e físicos de Latossolos e sua relação com os rendimentos de milho e feijão irrigados. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 831-843, 2009.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SILVA, A.P. da; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Compactação do solo e intervalo hídrico ótimo na produtividade de arroz de sequeiro. **Pesq. agrop. bras.**, v.39, p.575-580, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; SILVA, A.P. da. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 787-794, 2006.

BEUTLER, A.N.; MUNARETO, J.D.; GRECO, A.M.F.; POZZEBON, B.C.; GALON, L.; GUIMARÃES, S.; BURG, G.; SCHIMIDT, M.R.; DEAK, E.A.; GIACOMELI, R.; ALVES, G.S. Manejo do solo, palha residual e produtividade de arroz irrigado por inundação. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, p. 1153-1162, 2014.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; FREDERICK, J.R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil Till. Res.**, v.68, p. 49-57, 2002.

CARDOSO, E.G.; ZOTARELLI, L.; PICCININ, J.L.; TORRES, E.; SARAIVA, O.F.; GUIMARÃES, M. F. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, v.41, p.493-501, 2006.

CASTRO, C.; FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R.M.V.B. C. et al. **Girassol no Brasil**. Londrina: EMBRAPA, 2005. p. 163-218.

CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. da; REICHERT, J. M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade brasileira de ciência do solo, v. 5, p. 49-134, 2007.

COLLARES, G.L.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 933-942, 2008.

COMISSÃO TÉCNICA SUL-BRASILEIRA DE FEIJÃO. **Informações técnicas para o cultivo de feijão na Região Sul brasileira**. 2.ed. Florianópolis: Epagri, 2012. 157p.

CUBILLA, M.; REINERT, D.J.; AITA, C.; REICHERT, J.M. Plantas de cobertura do solo: uma alternativa para aliviar a compactação em sistema plantio direto. **R. Plantio Direto**, v. 71, p.29-32, 2002.

CURI, N. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993.

DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo. In: **Tópicos de Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.55-94, 2000.

FAGUNDES, E.A.A.; SILVA, T.J.A.; BONFIM-SILVA, E.M. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo submetidas a níveis de compactação. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, p.188-193, 2014.

FAO. Food na agriculture organization. 2015, **Año Internacional de los Suelos**. Disponível em < <http://www.fao.org/soils-2015/es/>> acesso em 05 de Junho de 2015.

FARIAS, L.N.; BONFIM-SILVA, E.M.; PIETRO-SOUZA, W.; VILARINHO, M.K.C.; SILVA, T.J.A.; GUIMARÃES, S.L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 497-503, 2013.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; CECATO, U.; BARBERO, L.M.; LUGÃO, S.M.B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.43, p.1583-1590, 2008.

FOLONI, J.S.S.; LIMA, S.L.; BULL, L.T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 30, p. 49-57, 2006.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesq. agropec. bras.**, v. 38, p. 947-953, 2003.

FRANCO, D.F.; CORREIA, L.A.V.; MAGALHÃES JR, A.M.; ZONTA, E.P.; ANTUNES, I. F.; SILVA, M.G.; KRUGER, F.O. Arranjo espacial de plantas e contribuição do colmo principal e dos perfilhos na produção de grãos do arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). **R. Bras. Agrociência**, v.17, p.32-41, 2011.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J. F.; DUARTE, A.P.; LEONEL, C.L. Compactação do solo e produção de cultivares de milho em Latossolo Vermelho. i – características de planta, solo e índice S. R. **Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 793-803, 2009.

FREDDI, O.S.; FERRAUDO, A.S.; CENTURION, J.F. Análise multivariada na compactação de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p. 953-961, 2008.

GUBIANI, P.I.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Interação entre a disponibilidade de água e compactação do solo no crescimento e desenvolvimento do feijoeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 38, p. 765-773, 2014.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Till. Res.**, v. 82, p. 121-145, 2005.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. Academic Press. 1998. 770p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da produção agrícola – Maio 2015**. Fascículo indicadores do IBGE. 2015.

KARLEN, D.L.; ANDREWS, S.S.; DORAN, J.W. Soil quality: Current concepts and applications. **Adv. Agron.**, San Diego, v.74, p.1-40, 2001.

KLEIN, V.A.; CAMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em latossolo vermelho sob plantio direto escarificado. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 221-227, 2007.

LIMA, C. L. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J M.; SUZUKI, L.E.A.S.; GUBIANI, P.I. Qualidade físico-hídrica e rendimento de soja (*Glycine max* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris*

L.) de um Argissolo Vermelho distrófico sob diferentes sistemas de manejo. **Ciência Rural**, v.36, p.1172-1178, 2006.

MEDEIROS, R. D.; SOARES, A. A.; GUIMARÃES, R. M. Compactação do solo e manejo da água. I: efeitos sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. **Ciênc. agrotec.**, v. 29, p. 940-947, 2005.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.; BARROS, V.H.; FONTES, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.65-90.

NICOLOSO, R.S.; AMADO, T.J.C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M.E.; GIRARDELO, V.C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 32, p.1723-1734, 2008.

PACE, L. et al. Desenvolvimento radicular e acúmulo de nutrientes em adubos verdes de verão submetidos à compactação do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, **Programas e Resumos**. Viçosa: SBSC, 1999.

PESSOA, A.A.; OLIVEIRA, L.A.; FERREIRA, R.B.; SILVA, R.R.; ALVES, S.M.F. Desenvolvimento da cultura do feijão decorrente de diferentes níveis de compactação do solo. **Centro Científico Conhecer**, v.8, p. 582-589, 2012.

PREVENDELLO, C.L.; ARMINDO, R.A. **Física do solo: com problemas resolvidos**. 2 ed. Curitiba: Celso Luiz Prevendello, 2015. 474 p.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ci. Amb.**, v. 27, p. 29-48, 2003.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste. **Ciência Rural, Santa Maria**, v. 36, n. 6, p. 1930-1935, 2006.

ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, vol.18, p. 491-497, 1994.

SÁ, M. A.C. de; JÚNIOR, J. D. G. S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005. 26p.

SANGOI, L.; VARGAS, V. P.; SCHIMITT, A.; PLETSC, A. J.; VIEIRA, J.; SALDANHA, A.; SIEGA, E.; CARNIEL, G. MENGARDA, R. T.; PICOLI JUNIOR, G. J. disponibilidade de nitrogênio, sobrevivência e contribuição dos perfilhos ao rendimento de grãos do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 183-191, 2011.

SANTOS, P. A.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; KITAMURA, A. E.; FREITAG, E. E.; VANZELA, L. S. Correlação linear e espacial entre o rendimento de grãos do feijoeiro e a resistência mecânica à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico. **R. Bras. Ci. Solo**, v, 29, p. 287-295, 2005.

SCOLARI, D. D. G. **Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil**. EMBRAPA-RONDONIA. 2005.

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

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; ROS, C.O. da. Produtividade de soja e propriedades físicas de um latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.797-804, 2004.

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

SILVA, A. J. N. da; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.921-930, 2006.

SILVA, G.J.; MAIA, J.C.S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um latossolo vermelho-escuro distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 31-40, 2006.

SILVA, A.G. da; CRUSCIOL, C.A C.; SORATTO, R.P.; COSTA, C.H.M. da; NETO, J.F. Produção de fitomassa e acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura e cultivo da mamona em sucessão no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.40, p. 2092-2098, 2010.

SILVA, S. G. C. **Variação temporal da densidade do solo e do grau de compactação de um Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado**. 2011. 65p. Dissertação (Mestrado em ciências). Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, 2011.

SILVEIRA, P.M. da; SILVA, O.F. da; STONE, L. F.; SILVA, J.G. da. Efeitos do preparo do solo, plantio direto e de rotações de culturas sobre o rendimento e a economicidade do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 257-263, 2001.

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, J. G. da. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um latossolo. **Bioscienc. Journal**, v. 24, p. 53-59, 2008.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J. M.; LIMA, C.L.R. de. Estimativa de susceptibilidade a compactação e do suporte de carga do solo com base em porosidades físicas do solo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 963-973, 2009.

SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; LIMA, C.L.R. de. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesq. agropec. bras., Brasília**, v.42, p.1159-1167, 2007.

VIANA, J.H.M. **Determinação da densidade de solos e de horizontes cascalhentos.** Comunicado técnico 154, Embrapa. 2009. 65p.