

Estudos em Interações Solo-Raízes: uma revisão

Studies of soil-root interaction: a review

RESUMO

Bruno Henrique Drun
brunodrun@alunos.utfpr.edu.br
Estudante de Engenharia Ambiental, Voluntário de Iniciação Científica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Moacir Tuzzin de Moraes
mtmoraes@professores.utfpr.edu.br
Professor Orientador, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

Andressa Griebler Gusmão
andressagusmao@alunos.utfpr.edu.br
Estudante de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, Paraná, Brasil

A compactação do solo tem sido relatada como sendo uma das principais limitações físicas dos solos agrícolas. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática do impacto da densidade do solo no crescimento radicular de culturas de três grupos de espécies: culturas produtoras de grãos; espécies florestais; e culturas de cobertura do solo. Esta revisão seguiu o método PRISMA, o que resultou em 8 artigos, publicados entre 2001 e 2019. Para as culturas do crame e do trigo, densidades acima de $1,10 \text{ Mg m}^{-3}$ causam perda de qualidade de desenvolvimento e produção, já para o algodão o valor limitante é acima de $1,56 \text{ Mg m}^{-3}$, o qual impede a penetração da raiz pivante. O crescimento radicular e aéreo das espécies florestais foi reduzido linearmente, sendo mais afetado em densidades acima de $1,60 \text{ Mg m}^{-3}$, causando prejuízos ao desenvolvimento das mesmas. As culturas da aveia preta, do tremoço, do guandu e do milheto foram as mais tolerantes à compactação do solo. Graus de compactação intermediários promovem as melhores condições do solo ao crescimento radicular tanto de culturas produtoras de grãos, plantas de cobertura do solo e espécies florestais.

PALAVRAS-CHAVE: Densidade do solo. Crescimento radicular. Limitações físicas dos solos.

ABSTRACT

Soil compaction has been reported to be one of the main physical limitations of agricultural soils. The objective of this work was to carry out a systematic review of the impact of soil density on the root growth of crops from three groups of species: grain-producing crops; forest species; and land cover crops. This review followed the PRISMA method, which resulted in 8 articles, published between 2001 and 2019. For crambe and wheat crops, densities above 1.10 Mg m^{-3} cause loss of development and production quality, already for cotton, the limiting value is above 1.56 Mg m^{-3} , which prevents penetration of the root. The root and aerial growth of forest species was reduced linearly, being more affected at densities above 1.60 Mg m^{-3} , causing damage to their development. The cultures of black oats, lupine, pigeon pea and millet were the most tolerant to soil compaction. Intermediate degrees of compaction promote the best soil conditions for root growth of both grain-producing crops, ground cover plants and forest species.

KEYWORDS: Soil bulk density. Root growth. Soil physical limitations.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

A produção agrícola brasileira vem crescendo a cada ano e ganhando mais espaço nos mercados internacionais (CONAB, 2019), com isso tem se intensificado a busca por alimentos de qualidade. O aperfeiçoamento de técnicas de manejo dos solos e de sistemas integrados de produção (BIELUCZYK et al., 2020), tem sido fundamental para aumentos produtivos de culturas de grãos (RAKKAR et al., 2017), pastagens (BONETTI et al., 2015) e florestas (PAULA et al., 2013). O desenvolvimento adequado das culturas, se dá nos solos que apresentem qualidade estrutural suficiente e ausência de limitações físicas, químicas e biológicas (BENGOUGH et al., 2011). O crescimento radicular é limitado por fatores físicos, tais como a disponibilidade de água, temperatura, aeração e impedimento mecânico (compactação) (LETEY, 1985).

A compactação do solo é resultado de pressões aplicadas na superfície (DA SILVA et al., 2015; REINERT et al., 2008), e isso causa uma reorganização estrutural das partículas e agregados (MORAES et al., 2019), reduzindo a infiltração, redistribuição de água, as trocas gasosas, disponibilidade de oxigênio, macroporosidade e porosidade total, da penetração e ramificações das raízes e da sustentabilidade dos solos (BEUTLER, 2003; DIAS, 2014).

O impacto da compactação do solo no desenvolvimento radicular das culturas (BOTTA et al., 2010), pode ser mensurado por meio de diferentes parâmetros físicos dos solos, tais como a densidade do solo (REICHERT et al., 2009), macroporosidade, microporosidade (MORAES et al., 2018b), resistência do solo à penetração (MORAES et al., 2020), condutividade hidráulica (WHALLEY et al., 2004), aeração do solo (VALENTINE et al., 2012) e disponibilidade hídrica (TRON et al., 2015). Diversos estudos tentaram definir valores considerados como críticos ao crescimento radicular das culturas (BENGOUGH et al., 2011; MORAES et al., 2014; SILVA, 2004), entretanto, ainda persistem dúvidas, e não estão estabelecidos valores de diversos atributos físicos considerados como limitações físicas (MORAES et al., 2018a, 2020).

O sistema radicular das culturas, além de ser responsável pela extração de água e nutrientes, influencia no crescimento e produção das plantas, principalmente devido ao seu volume, comprimento, área superficial ao longo do perfil do solo (RAZUK, 2002). O crescimento das raízes no solo se dá por meio dos poros (SILVA et al., 2014), além de fissuras (JIN et al., 2013) e bioporos formados pelo desenvolvimento de culturas prévias (HAN; KAUTZ; KÖPKE, 2016). Assim, o crescimento radicular é limitado por fatores físicos, tais como a disponibilidade de água, temperatura, aeração e impedimento mecânico (LETEY, 1985).

Tendo em vista a importância de limites críticos de densidade do solo ao desenvolvimento das culturas, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática da literatura sobre as interações solo-raízes, com enfoque nos impactos da densidade do solo no crescimento radicular de culturas produtoras de grãos, espécies florestais e de espécies de cobertura do solo.

METODOLOGIA

Os procedimentos de revisão da literatura seguiram o método PRISMA (MOHER et al., 2009), os quais objetivam reduzir os problemas relacionados com os dados e aumentam a validade científica de revisões sistemáticas. Artigos científicos publicados em revistas indexadas nas bases de dados do Google Acadêmico e Periódicos CAPES foram consideradas para serem incluídas nesta seleção. Na pesquisa por artigos, publicados de 2001 até agosto de 2020, foram considerados os seguintes termos em inglês e português em artigos publicados no Brasil: "Interações solo-raízes", "Limitações físicas dos solos", "culturas de grãos", "espécies de cobertura do solo", "pastagem" e "espécies florestais", "root elongation", "soil physical limitation", "soil penetration resistance".

Dentre os artigos pesquisados, sete trabalhos atenderam aos critérios estabelecidos e foram selecionados para esta revisão sistemática. Três grupos de espécies foram separados para o estudo: **(i)** culturas produtoras de grãos: trigo (*Triticum aestivum*), algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) e crambe (*Crambe abyssinica*); **(ii)** espécies florestais: o mulungo (*Erythrina velutina*), o sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth) e a craibeira (*Tabebuia caraiba*) e; e **(iii)** espécies de pastagem ou cobertura do solo: aveia preta (*Avena strigosa*), milheto (*Pennisetum glaucum*), sorgo granífero (*Sorgum bicolor*), tremoço-azul (*Lupinus angustifolium*), guandu (*Cajanus cajan*), mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) e Braquiária (*Brachiaria brizantha*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 estão listados os artigos científicos, e algumas informações sobre os solos, culturas e parâmetros avaliados e utilizados nesta revisão. Dentre as culturas produtoras de grãos, a cultura do trigo foi avaliada por Rosa, Fontana e Resende (2019), em Cascavel-Paraná. O desenvolvimento radicular do trigo foi realizado em cilindros PVC (22 cm de altura e 26 cm de diâmetro) com cinco níveis de densidade e cinco repetições. Os resultados obtidos na literatura indicam que o sistema radicular fasciculado da cultura trigo tem potencial para chegar até 1 m de profundidade (BONFIM-SILVA; ANICÉSIO; SILVA, 2013). No Brasil a produção de trigo está concentrada na região sul, sendo muito utilizada em sistemas de rotação de culturas (ROSA; FONTANA; RESENDE, 2019). Aumentos da densidade de 0,9 Mg m⁻³ para 1,3 Mg m⁻³ causaram a redução do comprimento radicular do trigo em mais de 50% (Figura 1a). As reduções do crescimento das raízes de trigo impactam no desempenho da cultura, por exemplo, limita o acesso das raízes na busca de nutrientes no solo.

O crescimento radicular da cultura do algodoeiro foi estudado por Sirqueira et al. (2015) no município de Januária - Minas Gerais, em quatro níveis de compactação, cultivados em cilindros de PVC (diâmetro de 20 cm e altura de 35 cm), formado por três anéis, sendo os superiores e inferiores com 15 cm de altura (solo não compactado) e 5 cm nos centrais (com solos compactados). Na literatura há relatos da sensibilidade das raízes do algodoeiro à compactação do solo (MATERECHERA; DEXTER; ALSTON, 1991; TAYLOR; RATLIFF, 1969). Considerando o impacto do grau de compactação no crescimento radicular do algodoeiro (Figura

1b), observa-se que o alongamento radicular é reduzido linearmente a medida que há incrementos dos valores de densidade do solo. Níveis de compactação do solo, com valores de densidade acima de $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$ reduzem linearmente o crescimento radicular do algodoeiro, sendo que acima de $1,56 \text{ Mg m}^{-3}$ a raiz piovante sofreu impedimento a penetração. Em condições de solo arenoso, densidades do solo de $1,80 \text{ Mg m}^{-3}$ causaram reduções de mais de 50% em relação aos valores de crescimento radicular observados em baixos níveis de compactação ($1,10 \text{ Mg m}^{-3}$).

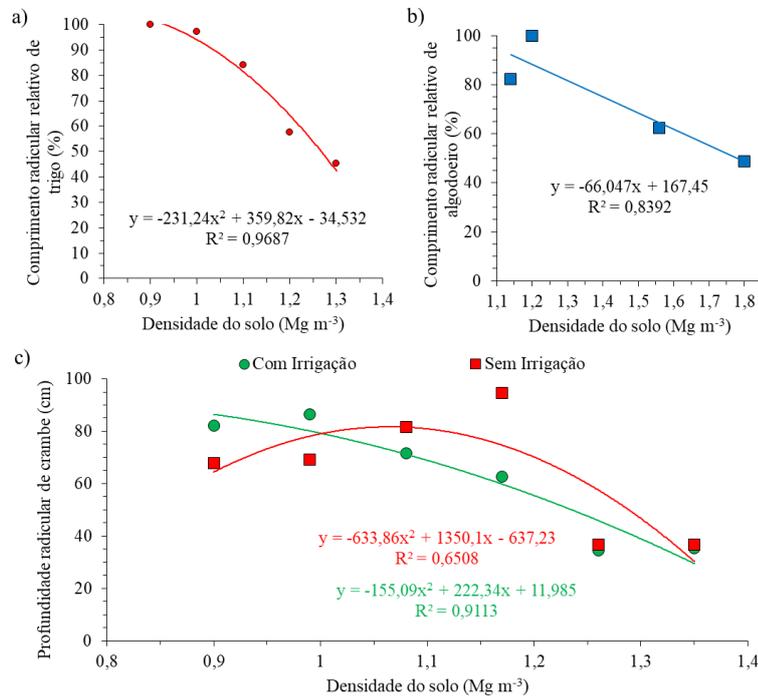
Tabela 1 – Descrição dos artigos científicos, características do solo, culturas e parâmetros selecionados para esta revisão.

Referência	Culturas avaliadas	Ds mínima (Mg m^{-3})	Ds máxima (Mg m^{-3})	Ds ótima (Mg m^{-3})	Parâmetro avaliados
Rosa, Fontana, Resende (2019)	Trigo	0,90	1,30	1,00	Crescimento radicular
Sirqueira et al. (2015)	Algodoeiro	1,14	1,80	1,20	Crescimento radicular
Dias (2014)	Crambe	0,90	1,35	1,17	Profundidade de radicular
Araújo (2015)	Craibeira, Molungo	1,35	1,80	1,24 a 1,35	Biomassa radicular
Araújo et al. (2018)	Sabiá	1,35	1,80	1,35	Biomassa radicular
Razuk (2002)	Braquiária	1,00	1,50	1,19	Crescimento radicular
Silva e Rosolem (2001)	Aveia-preta, milho, sorgo granífero, tremoço, guandu, mucuna	1,15	1,60	1,15 a 1,31	Crescimento radicular

Fonte: Autoria própria, 2020.

A profundidade radicular da cultura do crambe foi avaliada por Dias (2014), em Cascavel - Paraná, em seis densidades de um Latossolo Vermelho Distroférrico típico, com textura muito argilosa, cultivado em cilindros PVC (20 cm de diâmetro e 70 cm de altura) sendo aplicado ainda utilizado irrigação total e interrompida na floração. A profundidade radicular do crambe foi reduzida linearmente devido ao aumento do grau de compactação do solo em condição irrigada (Figura 1c). Entretanto, houve um decréscimo quadrático desta profundidade radicular quando estas plantas foram submetidas à irrigação somente até início da floração, e ficando sem irrigação nos períodos de florescimento e enchimento de grãos (Figura 1c). Em densidades intermediárias, $1,10$ a $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$ houve maiores crescimentos radiculares do crambe em condição de ausência de irrigação no período de florescimento (Figura 1c).

Figura 1 – Impacto da densidade do solo no crescimento radicular relativo de trigo (a) e algodoeiro (b) e impacto da densidade na profundidade do sistema radicular da cultura do crambe em áreas com ou sem irrigação contínua no período do florescimento (c).



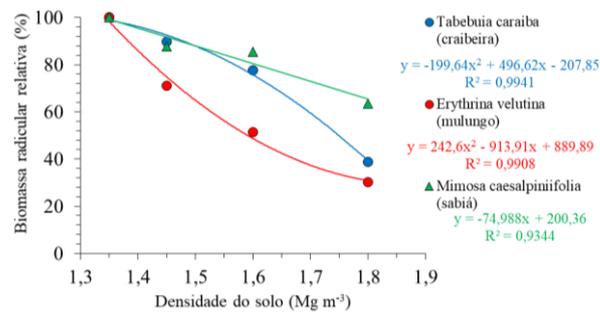
Fonte: Adaptado de Rosa, Fontana e Resende (2019) (a) de Sirqueira et al. (2015) (b) e de Dias (2014) (c).

O sistema radicular de espécies florestais, em muitas vezes, tem sido pouco estudado, e isso tem levado à escassez de informações sobre o impacto das limitações físicas ao crescimento radicular destas. O tráfego de máquinas, em áreas florestais, tem sido usado para todas as etapas do ciclo de florestas plantadas. Sendo que nos momentos de realização do preparo, colheita e transporte este tráfego ocorre diversas vezes pelos mesmos locais, o que causa um dos principais problemas do manejo florestal, a compactação do solo (ARAÚJO, 2015; ARAÚJO et al., 2018), reduzindo a macroporosidade e a capacidade de infiltração e de retenção de água nestes solos.

As espécies florestais consideradas neste estudo (mulungo, sabiá e craibeira) foram avaliadas por Araújo (2015), no município de Macaíba - Rio Grande do Norte, o qual realizou um experimento, em vasos PVC de 25 cm de altura, considerando quatro níveis de compactação de um Latossolo Amarelo com textura franco arenosa. O momento de avaliação da produção de biomassa radicular dependeu do desenvolvimento de cada espécie, sendo que para o mulungo (*Mimosa caesalpiniiifolia*) e o sabiá (*Erythrina velutina*) foram avaliados aos 60 dias após a emergência, já a espécie Craibeira (*Tabebuia caraíba*) foi avaliada aos 90 dias após a germinação. A biomassa radicular das três espécies florestais foi reduzida devido ao aumento do níveis de compactação do solo (Figura 2). As espécies de Craibeira (*Tabebuia caraíba*) e Molungo (*Erythrina velutina*) são mais resistentes aos níveis intermediários de compactação do solo (1,35 a 1,60 Mg m⁻³) arenoso do que a

espécie Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*). O aumento da densidade do solo de 1,35 para 1,60 Mg m^{-3} causou a redução dos valores de biomassa radicular da espécie Sabiá em até 50%, enquanto que para as outras duas, em apenas 20% (Figura 2).

Figura 2 – Impacto da densidade do solo na biomassa radicular relativa de espécies florestais.



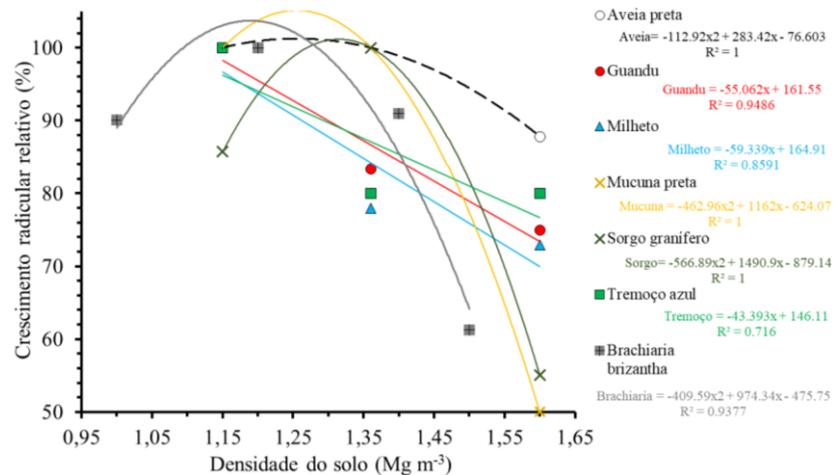
Fonte: Adaptado de Araújo (2015) e Araújo et al. (2018).

Dentre as espécies de culturas de cobertura e pastagens destacadas nesta revisão, tem-se a cultura da Braquiária, avaliada por Silva (2004), em Cuiabá - Mato Grosso. A produção de matéria seca das raízes de Braquiária foi avaliada em cilindros PVC (20 cm de diâmetro e 36 cm de altura) com cinco níveis de compactação de um Latossolo Vermelho Distrófico com textura Franco-Argilo-Arenosa. As demais plantas de cobertura (aveia preta, guandu, milheto, sorgo granífero, mucuna preta e tremoço azul) foram descritas em Silva e Rosolem (2001), em Botucatu - São Paulo, e foram cultivadas em cilindros PVC (10 cm de diâmetro e 33,5 cm de altura) com solo de um Latossolo Vermelho, com textura franco arenosa sob três níveis de compactação e seis repetições. Os comprimentos radiculares das espécies foram avaliados ao atingir a profundidade máxima dos cilindros, o qual ocorreu entre 36 a 39 dias dependendo da espécie.

Compilando as informações apresentadas neste estudo, observa-se que o efeito da densidade do solo na redução do crescimento radicular depende da espécie de culturas de cobertura que está sendo utilizada (Figura 3). De forma geral, em baixas densidades do solo (abaixo de $1,20 \text{ Mg m}^{-3}$) tanto a braquiária, Mucuna-preta e sorgo granífero apresentaram reduções do crescimento radicular. Entretanto, densidades maiores que $1,35 \text{ Mg m}^{-3}$ induziram a redução do crescimento radicular de todas as culturas de cobertura avaliadas. A culturas da Aveia-preta e do Tremoço-azul apresentaram os melhores desempenhos frente aos maiores níveis de compactação do solo. Além disso, pode ser destacado que as culturas do Milheto e do Guandu apresentaram resistência intermediária aos elevados níveis de compactação, apresentando reduções do crescimento radicular em até 20% em relação aos valores máximos.

O aprofundamento do sistema radicular das culturas favorece aumento do volume de solo disponível para absorção de água e de nutrientes (LOBET et al., 2014). O crescimento radicular das culturas favorece a formação de bioporos contínuos no perfil do solo (HAN et al., 2015), os quais poderão ser usados como rotas com baixos níveis de resistência à penetração das raízes de culturas produtoras de grãos.

Figura 3 – Impacto da densidade do solo no crescimento radicular relativo de plantas de cobertura do solo.



Fonte: Adaptado de Razuk (2002) e Silva e Rosolem (2001).

O método PRISMA, apresentou ser eficaz para a realização de revisões com essa temática abordada, já que permite a realização das adaptações necessárias, facilitando identificar, selecionar e avaliar pesquisas mais relevantes ao propósito, além de auxiliar na coleta e análise dos resultados obtidos nos estudos apresentados na revisão, cumprindo com seu objetivo de melhorar a qualidade das revisões sistemáticas.

CONCLUSÃO

Graus de compactação intermediários, em texturas argilosas com valores entre 1,00 e 1,35 Mg m⁻³, e em texturas médias com valores de 1,40 a 1,50 Mg m⁻³, promovem as melhores condições do solo ao crescimento radicular das espécies dos três grupos. Na ausência de estresse hídrico, baixos níveis de compactação promovem os maiores crescimentos radiculares das culturas avaliadas.

O método PRISMA demonstrou ser eficiente e de grande valia para a execução da revisão, pois permite realizar uma análise melhor dos artigos selecionados, norteia e ordena as etapas e dados obtidos na literatura, facilitando a organização e divisão dos assuntos

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UTFPR pela oportunidade ao primeiro autor em participar do programa Institucional de Voluntariado em Iniciação Científica e Tecnológica (PIVICT).

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, L. H. B. DE. **Avaliação da compactação do solo no crescimento inicial de espécies florestais da caatinga.** [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

ARAÚJO, L. H. B. DE et al. Efeito da compactação do solo no crescimento aéreo e radicular de *Mimosa Caesalpiniifolia* Benth. In: **Elementos da Natureza e Propriedades do Solo.** Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. p. 220–234.

BENGOUGH, A. G. et al. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 1, p. 59–68, jan. 2011.

BEUTLER, A. N. **Efeito da compactação do solo e do conteúdo de água nas características agronômicas de soja e arroz de sequeiro.** [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2003.

BIELUCZYK, W. et al. Geoderma Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 371, n. April, p. 114368, 2020.

BONETTI, J. DE A. et al. Influence of the integrated crop-livestock system on soil and soybean and brachiaria yield | Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 45, n. 1, 2015.

BONFIM-SILVA, E. M.; ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, T. J. A. DA. Compactação do solo na cultura do trigo em latossolo do cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 559–569, 2013.

BOTTA, G. F. et al. Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. **Soil and Tillage Research**, v. 110, n. 1, p. 167–174, set. 2010.

CONAB. Acompanhamento da safra Brasileira de grãos - safra 2018/19. **Companhia Nacional de Abastecimento**, v. 1, n. 6, p. 1–50, 2019.

DA SILVA, E. D. J. et al. Atributos físicos e químicos de um Latossolo Amarelo distrófico coeso e crescimento radicular de *Brachiaria decumbens* submetido à subsolagem e fertilização. **Comunicata Scientiae**, v. 6, n. 4, p. 385, 29 dez. 2015.

DIAS, P. P. **Variáveis fenométrica e rendimento de grãos do crambe associado a níveis de compactação de um latossolo argiloso.** [s.l.] Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014.

HAN, E. et al. Root growth dynamics inside and outside of soil biopores as affected by crop sequence determined with the profile wall method. **Biology and Fertility of Soils**, v. 51, n. 7, p. 847–856, 27 out. 2015.

HAN, E.; KAUTZ, T.; KÖPKE, U. Precrop root system determines root diameter of subsequent crop. **Biology and Fertility of Soils**, v. 52, n. 1, p. 113–118, 2016.

JIN, K. et al. How do roots elongate in a structured soil? **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 15, p. 4761–4777, 2013.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, Advances in Soil Science. v. 1, p. 277–294, 1985.

LOBET, G. et al. Plant Water Uptake in Drying Soils. **Plant Physiology**, v. 164, n. 4, p. 1619–1627, 2014.

MATERECHERA, S. A.; DEXTER, A. R.; ALSTON, A. M. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. **Plant and Soil**, v. 135, n. 1, p. 31–41, ago. 1991.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. **PLoS Medicine**, v. 6, n. 7, 2009.

MORAES, M. T. et al. Critical limits of soil penetration resistance in a rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 288–298, fev. 2014.

MORAES, M. T. et al. Mechanistic framework to link root growth models with weather and soil physical properties, including example applications to soybean growth in Brazil. **Plant and Soil**, v. 428, n. 1–2, p. 67–92, 2018a.

MORAES, M. T. et al. Corn crop performance in an Ultisol compacted by tractor traffic. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 4, p. 464–477, abr. 2018b.

MORAES, M. T. et al. Soil load support capacity increases with time without soil mobilization as a result of age-hardening phenomenon. **Soil & Tillage Research**, v. 186, n. 3, p. 128–134, 2019.

MORAES, M. T. et al. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 200, n. February, p. 104611, jun. 2020.

PAULA, R. R. et al. Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, v. 87, n. 6, p. 1295–1307, 2013.

RAKKAR, M. K. et al. Impacts of Cattle Grazing of Corn Residues on Soil Properties after 16 Years. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 2, p. 414, 2017.

RAZUK, R. B. **Avaliação do Sistema Radicular de Acessos de Brachiaria brizantha e suas Relações com Atributos Químicos e Físicos do Solo**. [s.l.] Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2002.

REICHERT, J. M. et al. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242–254, 2009.

REINERT, D. J. et al. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1805–1816, out. 2008.

ROSA, H. A.; FONTANA, W. C.; RESENDE, J. D. Desenvolvimento Inicial do Trigo em Diferentes Densidades de Solo. **Revista Técnico Científica do CREA-PR**, v. 3, p. 1–10, 2019.

SILVA, G. DE L. S. et al. Algumas considerações sobre o sistema radicular de plantas forrageiras. **PUBVET**, v. 8, n. 6, p. 1687, 2014.

SILVA, G. J. **Desenvolvimento de plantas de soja, milho, algodão e Brachiaria brizantha, submetidas a quatro graus de compactação de um latossolo vermelho-escuro distrófico**. [s.l.] Universidade Federal de Mato Grosso, 2004.

SILVA, R. H.; ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 2, p. 253–260, jun. 2001.

SIRQUEIRA, D. F. DOS S. et al. **Efeito da compactação do solo no desenvolvimento do Algodoeiro herbáceo**. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...2015**

TAYLOR, H. M.; RATLIFF, L. F. Root elongation rates of cotton and peanuts as a function of soil strength and water content. **Soil Science**, v. 108, n. 2, p. 113–119, 1969.

TRON, S. et al. Can diversity in root architecture explain plant water use efficiency? A modeling study. **Ecological Modelling**, v. 312, p. 200–210, 2015.

VALENTINE, T. A. et al. Soil strength and macropore volume limit root elongation rates in many UK agricultural soils. **Annals of Botany**, v. 110, n. 2, p. 259–270, 2012.

WHALLEY, W. R. et al. The hydraulic properties of soil at root-soil interface. **Soil Science**, v. 169, n. 2, p. 90–99, fev. 2004.