

Componentes de produção da soja sob níveis de compactação do solo

Matheus Rodrigues Savioli^{1*}, Deonir Secco^{1,2}, Luciene Kazue Tokura², Pablo Chang², Bruna de Villa³, Mayra Semiano Castro¹

¹ Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Curso de Engenharia Agrícola. Rua Universitária 2069, Jardim Universitário, CEP 85819-110, Cascavel – PR.

² Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura. Rua Universitária, n. 2069, CEP: 85.819-110, Jardim Universitário, Cascavel, PR.

³ Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola. Av. Roraima, n. 1000, CEP: 97.105-900, Camobi, Santa Maria, RS.

*E-mail autor correspondente: msavioli2000@gmail.com

Artigo enviado em 20/11/2020, aceito em 01/06/2021

Resumo: A compactação do solo é um fator agravante que normalmente causa redução no rendimento de grãos de cultivos agrícolas. O objetivo desse trabalho foi avaliar os parâmetros vegetativos e o rendimento de grãos de soja sob efeito de estados de compactação do solo. O experimento foi realizado em casa de vegetação, nas dependências da UNIOESTE, campus Cascavel/PR. O solo é um Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa. O experimento foi caracterizado por delineamento inteiramente ao caso, totalizando 20 unidades experimentais, sendo cinco densidades do solo (1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³) com 4 repetições. Valores de densidade do solo de 1,3g cm⁻³ ou superior, restringiram o desenvolvimento geral da cultura, bem como rendimento de grãos da soja evidenciando as implicações negativas de camadas compactadas no perfil do solo.

Palavras-chave: Desenvolvimento vegetativo, rendimento de grãos, densidade de solo.

Abstract: Soil compaction is an aggravating factor that usually causes a reduction in grain yield of agricultural crops. The objective of this work is to evaluate the vegetative parameters and soybean grain yield under the effect of soil compaction states. The experiment was carried out in a greenhouse, in the Unioeste facilities, Cascavel/PR campus. The soil is a typical Dystrophic Red Latosol, clayey texture to very clayey. The experiment was characterized by a design entirely to the case, totaling 20 experimental units, five soil densities (1.1; 1.2; 1.3, 1.4 and 1.5 g cm⁻³) with 4 replications. Soil density values of 1.3 g cm⁻³ or higher restricted the overall development of the crop, as well as soybean yield, evidencing the negative implications of compacted layers in the soil profile.

Keywords: Vegetative development, grain yield, soil density.

Introdução

A soja é a leguminosa mais cultivada no mundo e a quarta mais importante para a sustentação humana após a cultura do trigo, milho e arroz (FAO, 2018). Contribui com

mais de 60% da produção total de sementes oleaginosas e mais de 70% para o consumo total de proteína (SOYSTATS, 2018). A produção da soja atualmente é concentrada nos países dos Estados Unidos, Brasil e Argentina, com mais de 80% da

produção global. Suas principais finalidades de produção incluem ingrediente para ração animal, matéria-prima para indústria e alimentação humana, além de ser uma commodity responsável pela geração de balança comercial favorável (Foyer et al., 2016).

O Brasil detém a segunda maior produção mundial, com 119 milhões de toneladas de grãos em uma área de 35 milhões de ha de cultivo, estimativa da safra 2017/18 (CONAB, 2019). Conforme as estatísticas, o complexo soja é considerada a principal atividade do país, e os estados que possuem a maior produção são Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, em torno de 60% da produção nacional. Somente o estado do Paraná, na safra 2017/18 foi responsável por produzir 19,2 milhões de toneladas, com produtividade média de 3,5 mil kg ha⁻¹ (CONAB, 2019).

A compactação excessiva do solo é resultado da intensa atividade de maquinário nos campos agrícolas, e é caracterizada por uma alteração estrutural na geometria do solo que causa aumento da densidade e redução da porosidade total (Kirnak et al., 2016). Com isso, ocorre um comprometimento das propriedades e funções do solo (Hamza e Anderson, 2005), como consequência têm-se: redução da penetração de raízes; alteração no equilíbrio da proporção de gases do solo; restrição na disponibilidade de água e de nutrientes às raízes das plantas (Motavalli et al., 2003); retenção da condutividade hidráulica saturada e insaturada; aumento da suscetibilidade de impactos ambientais (Lipiec e Hatano, 2003); redução do crescimento da parte aérea e queda notável no rendimento da cultura (Beutler e Centurion, 2004;

Czyz e Tomaszewska, 2004; Bouma, 2012).

A tolerância das plantas à compactação do solo é observada de forma intraespecífica na soja a partir de alterações dos componentes de desenvolvimento, como do crescimento radicular e da parte aérea (Foloni et al., 2003). Borges et al. (1988) verificaram que a cultivar de soja tropical foi mais sensível em relação a IAC-8.

Beutler et al. (2003), ao estudarem o desenvolvimento vegetativo do cultivar de soja Embrapra 48, em Latossolo Vermelho Distroférrico, verificaram que o desenvolvimento foi prejudicado para densidades superiores a 1,37 g cm⁻³. Já em condições de campo, no trabalho de Beutler e Centurion (2004), para o mesmo tipo de solo e cultivar de soja, a produção decresceu a partir da densidade de 1,48 g cm⁻³. Mielniczuk et al. (1985) também verificaram redução na produtividade vegetativa da soja, visto que a produção da massa da matéria seca da parte aérea, em Latossolo Roxo, foi menor na densidade de 1,50 g cm⁻³.

Neste estudo, tem-se por objetivos, avaliar o desenvolvimento geral da cultura e o rendimento de grãos de soja (*Glycine max* L.) sobre efeito de estados de compactação do solo.

Material e métodos

O trabalho foi composto por um experimento em casa de vegetação climatizada, com temperatura em torno de 25 °C, umidade controlada com variação de 80 a 100%, tipo túnel alto, com cobertura de polietileno transparente instalada nas dependências da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), campus Cascavel – PR,

latitude 24°53'47"S e longitude 53°32'09"W. O tipo de solo foi um Latossolo Vermelho Distroférico típico, textura argilosa a muito argilosa, relevo suave-ondulado e substrato basalto (EMBRAPA, 2018). O clima do município apresenta-se como temperado mesotérmico e superúmido, tipo climático Cfa (Köppen-Geiger), com precipitação média anual de 1800 a 2000 mm e temperatura média de 19 °C (Nitsche et al., 2019).

O cultivar de soja escolhida para o experimento foi T1 - NA 5909 RG, que apresenta elevado rendimento de grãos em vários ambientes estudados no estado do Paraná (Matei et al., 2017).

Os tratamentos constaram de cinco níveis de densidade do solo. Dessa forma, o experimento foi caracterizado por delineamento inteiramente ao caso, totalizando 20 unidades experimentais, com quatro repetições por tratamento. A soja foi cultivada de novembro de 2019 a março de 2020. Os recipientes foram compostos por vasos do tipo PAD (polietileno de alta densidade) de 20 cm de diâmetro e altura de 70 cm. O solo utilizado para preencher o vaso foi coletado na área experimental, vinculada ao Curso de Engenharia Agrícola da Unioeste-Cascavel. Em cada unidade experimental foi semeado 3 sementes, pode-se observar a disposição e características dos vasos na Figura 1.

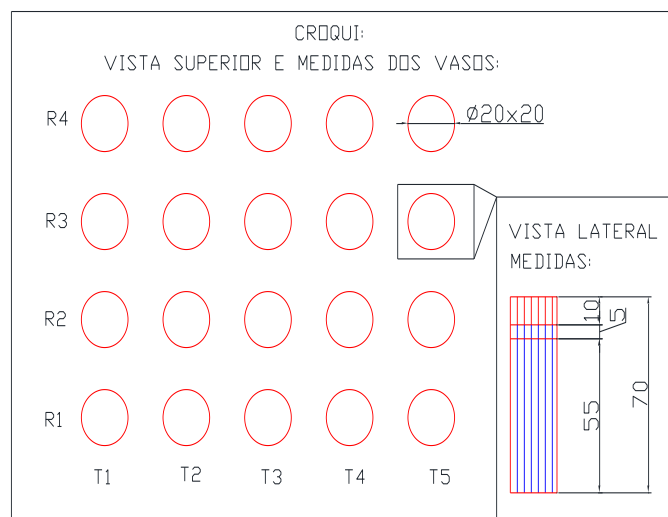


Figura 1. Croqui do experimento, contendo disposição e características dos vasos alocados em casa de vegetação.

Os níveis de densidade do solo no experimento foram 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³. Para estabelecer as densidades, realizou-se cálculos da massa total de solo a ser compactada para completar o volume da camada de 5 cm.

O procedimento para a montagem das colunas de solo foi progressivo, com uso de marreta para compactar o solo nas densidades mais

elevadas quando necessário. A camada superficial de 10 cm foi composta por solo solto e peneirado para a germinação ocorrer com uniformidade em todas as densidades, sem comprometer o desenvolvimento inicial.

A semeadura da soja foi registrada no dia 04 de novembro de 2019. Um mês pós a semeadura, foram retiradas duas plantas de cada vaso

aleatoriamente para a realização da avaliação inicial de estatura da planta (cm), diâmetro do caule (mm), massa fresca da parte aérea (g), número de folhas por plantas.

No momento da colheita, realizada no dia 5 de março de 2020, as plantas restantes foram retiradas dos vasos de forma cautelosa e não destrutiva (mantendo o sistema radicular intacto) para mensurar os caracteres agrônômicos: estatura de planta (cm), diâmetro do caule (mm), altura da inserção do primeiro legume (cm), massa fresca da parte aérea (g), massa de grãos (g), número de folhas por planta, número de grãos por planta, número de legumes por planta, comprimento da raiz principal (cm), diâmetro basal da raiz pivotante (cm) e massa fresca do sistema radicular (g). Após isso, foram submetidas a estufa para secagem e obtenção da massa seca da parte aérea e do sistema radicular (g).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância

univariada (ANOVA) a 5% de probabilidade pelo teste F. Em caso de efeito significativo para a interação compactação e cultivares de soja, foi feito o desdobramento do efeito simples das interações a partir de análise de regressão e teste de comparação média. Tal teste foram realizados pelo método de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e discussões

Na Tabela 1, encontram-se os dados de emergência de plântulas de soja nos diferentes níveis de compactação/densidade do solo. Ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, em que a densidade do solo de 1,2 g cm⁻³ apresentou uma média maio. Isso pode ser justificado por causa das condições da área experimental, pois o ambiente não era totalmente equipado para um controle fino.

Tabela 1. Emergência de plântulas de soja em função da densidade do solo

Densidade (g cm ⁻³)	Emersão das plântulas (Dias pós semeadura)
1,1	6,67ab
1,2	7,25a
1,3	6,16b
1,4	6,67ab
1,5	6,17 b
Média	6,58
DMS	0,68

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. DMS: diferença mínima significativa.

Após 30 dias, realizou-se a retirada de duas das três plantas presentes em cada vaso para determinar a estatura das plantas, diâmetro do caule, massa fresca das plantas e número de folhas por planta de acordo com os diferentes níveis de compactação (Tabela 2). Pode-se destacar que as plantas nos

tratamentos menos compactados, ou seja, 1,1 e 1,2 g cm⁻³ apresentaram resultados de estatura, diâmetro do caule, massa fresca por plantas maiores que os demais tratamentos, pois o solo estava em melhores condições, possibilitando melhor desenvolvimento das plantas (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de parâmetros vegetativos de plantas de soja trinta dias após semeadura em função da densidade do solo

Densidade (Mg m ⁻³)	Estatura (cm)	Diâmetro (cm)	Massa (g)	Número de Folhas
1,1	29,65a	2,06a	2,24ab	9,12a
1,2	28,28ab	2,04a	2,52a	9,00a
1,3	25,40b	2,16a	2,01b	8,00a
1,4	25,71b	2,05a	1,89b	8,00a
1,5	25,81b	2,06a	2,05ab	8,00a
Média	27,03	2,07	2,15	8,44
DMS	3,8	0,24	0,49	1,58

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. DMS: diferença mínima significativa.

Diferentemente, os tratamentos com valores de densidade do solo de 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³ apresentaram resultados inferiores dos parâmetros vegetativos, apontando que a cultura apresentou dificuldades de desenvolvimento inicial em solos mais compactados. Estes dados corroboram aos resultados encontrados por Beutler e Centurion (2004). Pode-se observar na Figura 2,

que nos tratamentos com maiores níveis de compactação (densidade de 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³) que não houve crescimento radicular através destas camadas.

Na Tabela 3, pode-se observar os resultados da parte aérea das plantas, sendo: estatura, altura da inserção do primeiro legume, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, diâmetro do caule e o número de folhas.

Tabela 3. Valores médios de parâmetros vegetativos da parte aérea de plantas de soja na fase da colheita em função da densidade do solo

Densidade (Mg m ⁻³)	Estatura (cm)	Altura do 1º legume (cm)	Massa fresca (g)	Massa seca (g)	Diâmetro do caule (cm)	Número de folhas
1,1	58,25a	25,05a	23,43a	20,51a	2,69a	64,00a
1,2	47,75ab	21,30b	18,34b	13,83b	2,30ab	59,5ab
1,3	38,75b	18,15c	3,19c	1,25c	2,10b	49,75b
1,4	43,00ab	19,15bc	2,14c	1,30c	2,18b	43,75bc
1,5	41,75ab	12,82d	2,70c	1,40c	2,11b	39,00c
Média	45,90	19,29	9,96	7,66	2,28	51,2
DMS	16,58	2,79	1,39	1,32	0,42	13,25

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. DMS: diferença mínima significativa.

Destaca-se que os tratamentos com densidades 1,1 e 1,2 g cm⁻³ mantiveram-se com resultados estatisticamente semelhantes em alguns casos e, não diferindo entre si, mas, apresentando diferença significativa referente à altura do

primeiro legume (cm), massa fresca (g), massa seca (g), portanto pode-se dizer que densidades a partir de 1,2 g cm⁻³ já podem ser consideradas limitantes para a cultura da soja, pois tais condições resultaram em reduções gerais nas culturas, desde a

diminuição da sua estatura até a baixa produtividade.

Entretanto, podemos observar que em tratamentos mais compactados apresenta-se diferença significativa (Tabela 3), principalmente pelas condições de compactação, que impossibilitaram a percolação da água no solo. Portanto, pode-se afirmar que solos menos densos são de melhor qualidade física e produzem plantas mais robustas de acordo com Beutler e Centurion (2004) e Valicheski et al. (2012).

É interessante destacar que, em plantas dos tratamentos com valores de densidades de 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³

desenvolveram o primeiro legume com menor estatura, isso é explicado devido à dificuldade que a cultura foi submetida, ou seja, a compactação do solo, que impediu o crescimento da raiz (Figura 3) e impossibilitou a absorção de nutrientes contidos em solo mais profundo (Drescher et al., 2012).

A Tabela 4 apresenta os dados de comprimento final, massa úmida e seca, e diâmetro da raiz pivotante. Pode-se observar que nos tratamentos mais compactados, ou seja, 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³, o comprimento da raiz, assim como a massa e o diâmetro, foram afetados negativamente.

Tabela 4. Valores médios das características gerais das raízes de soja pós a colheita das plantas dos vasos em função da densidade do solo

Densidade (Mg m ⁻³)	Comprimento (cm)	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Diâmetro (cm)
1,1	30,90a	3,80a	2,73a	0,75a
1,2	30,00a	3,06b	2,19a	0,43b
1,3	13,65b	1,02c	0,75b	0,35b
1,4	15,48b	0,33d	0,20c	0,31b
1,5	13,00b	0,37d	0,30c	0,25b
Média	20,60	1,72	1,23	0,42
DMS	8,38	0,51	0,37	0,19

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância. DMS: diferença mínima significativa.

Já os tratamentos menos compactados, com valores de densidade de 1,1 e 1,2, g cm⁻³ (T1 e T2), conseguiram se desenvolver e atingir maior profundidade (Figura 3).

A compactação, além de afetar no desenvolvimento geral da planta na parte aérea e na parte radicular, também afeta diretamente na produtividade da cultura da soja. No trabalho de Secco et al. (2009)

evidenciaram maior rendimento de grãos de soja em áreas menos compactadas. Pode-se afirmar, por meio da Tabela 5, que os tratamentos com maior compactação, com valores de Ds de 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³, apresentaram menor rendimento de grãos quando comparados aos tratamentos com menor compactação (Ds 1,1 e 1,2 g cm⁻³).



Figura 2. Vista das raízes de acordo com os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5, representando respectivamente (da direita para esquerda) as densidades 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³.

Tabela 5. Parâmetros vegetativos finais de plantas de soja em função da densidade do solo

Densidade (Mg m ⁻³)	Número de vagens por planta	Número de grãos por planta	Massa de grãos úmidos (g)	Massa de grãos secos (g)	Umidade (%)
1,1	26,25a	56,00a	9,58a	8,76a	9,00a
1,2	15,50ab	30,00ab	4,34b	4,03b	7,00a
1,3	6,75b	14,25b	2,18bc	2,02b	6,75a
1,4	7,00b	11,25b	1,72c	1,61b	7,50a
1,5	8,75ab	14,00b	2,10bc	1,93b	7,50a
Média	12,85	25,10	3,98	3,67	7,55
DMS	17,54	39,84	2,06	2,88	5,77

Médias de tratamentos seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de significância.; DMS: diferença mínima significativa.

Após a realização da comparação de médias, realizou-se também a análise dos dados por meio da regressão linear simples, para comprovar que os resultados e dados obtidos por meio deste possa ser aplicado em diversas situações por meio de equação como $y = ax + b$. De acordo com a estatística, se p-valor for

menor que 0,05, então o coeficiente é significativo. Portanto, na Tabela 6, representando a regressão linear simples do comprimento da raiz de soja, apresentou um p-valor < 0,05, tornando, assim, os coeficientes significativos.

Tabela 6. Regressão linear simples dos dados de comprimento da raiz da soja

Regressão linear simples da raiz (cm)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor t	P-valor
(Intercepto)	35,7025	2,805406	12,72632	1,95E-10
X	-5,0325	0,845862	-5,94955	1,25E-05

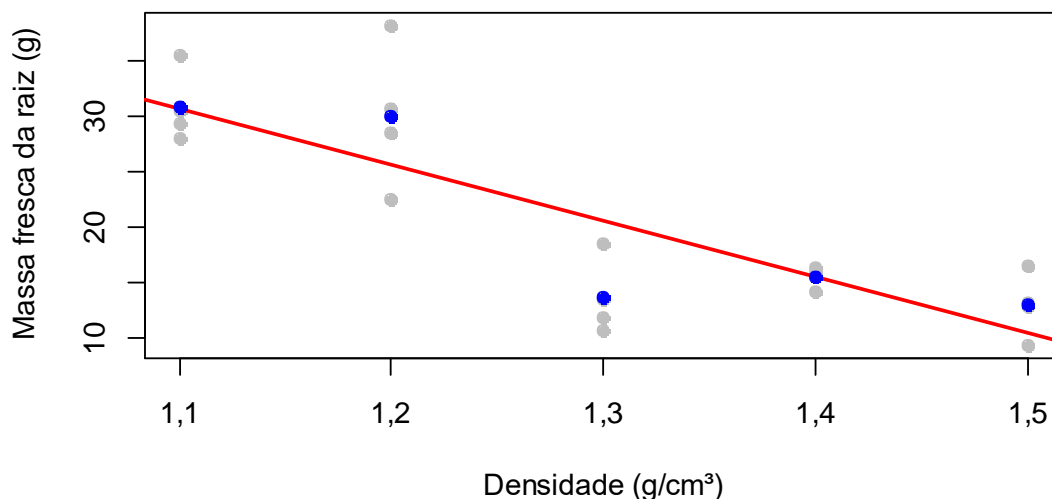
A regressão linear simples foi realizada utilizando os dados de comprimento da raiz de acordo com diferentes densidades de solo (1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³). Para obter a seguinte equação da reta: $y=ax+b$, com “y” representando a resposta, “a” determinando se a reta será crescente ou decrescente, “x” sendo a densidade e “b” representando o intercepto estimado, resultando na seguinte equação:

$$y = -5,0325 x + 35,7025$$

Com um coeficiente de determinação de $R^2=0,7750233$, sendo assim, tendo 77,5% de confiança na determinação da equação. E como os dados possuem repetições, então foi necessário a realização do teste de falta de ajuste. Se o resultado for menor que 0,05, então o modelo apresenta uma boa qualidade. Como o teste obteve um p-

valor=0,004485, sendo assim, menor que 0,05, foi possível afirmar que o modelo apresenta uma excelente qualidade.

Como apresentado na Tabela 6, os resultados da regressão linear simples do comprimento da raiz de soja foram de excelente qualidade estatística. O gráfico da Figura 4 apresenta a reta e as médias, assim como as repetições do experimento, mostrando que, quanto mais compactado o solo estiver, menor será o comprimento da raiz. E o coeficiente *a* de valor negativo indica, a 5% de significância, o comportamento decrescente. Assim como, se o solo estiver em melhores condições, a raiz da soja poderá se desenvolver e disponibilizar a planta mais nutrientes e água, como abordado por Rosolem et al. (1994).

**Figura 4.** Regressão linear simples utilizando os dados de comprimento da raiz em função da densidade de solo (1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³).

Foi realizado também a regressão linear simples da massa seca dos grãos, representado pela Tabela 7, o qual apresenta um p-valor

menor que 0,05, indicando a significância dos coeficientes da equação.

Tabela 7. Regressão linear simples dos dados de massa seca de grãos de soja

Regressão linear simples da massa seca de grãos de soja (g)				
	Estimativa	Erro padrão	Valor t	P-valor
(Intercepto)	8,49475	1,675916	6,270965	6,50E-06
X	-1,60675	0,505308	-3,84913	0,001175

A regressão linear simples foi realizada utilizando os dados de comprimento da raiz de acordo com diferentes densidades de solo (1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³). Para obter a seguinte equação da reta: $y=ax+b$, com “y” representando a resposta, “a” determinando se a reta será crescente ou decrescente, “x” sendo a densidade e “b” representando o intercepto estimado, resultando na seguinte equação:

$$y = -1,60675x + 8,49475$$

O coeficiente de determinação foi de $R^2=0,8195563$, portanto, tendo 81,9% de confiança na determinação da equação. A Figura 5 mostra a reta da equação, destacando que, quanto mais compactado o solo estiver, menor será a massa seca dos grãos e, em conjunto, menor será a sua produtividade.

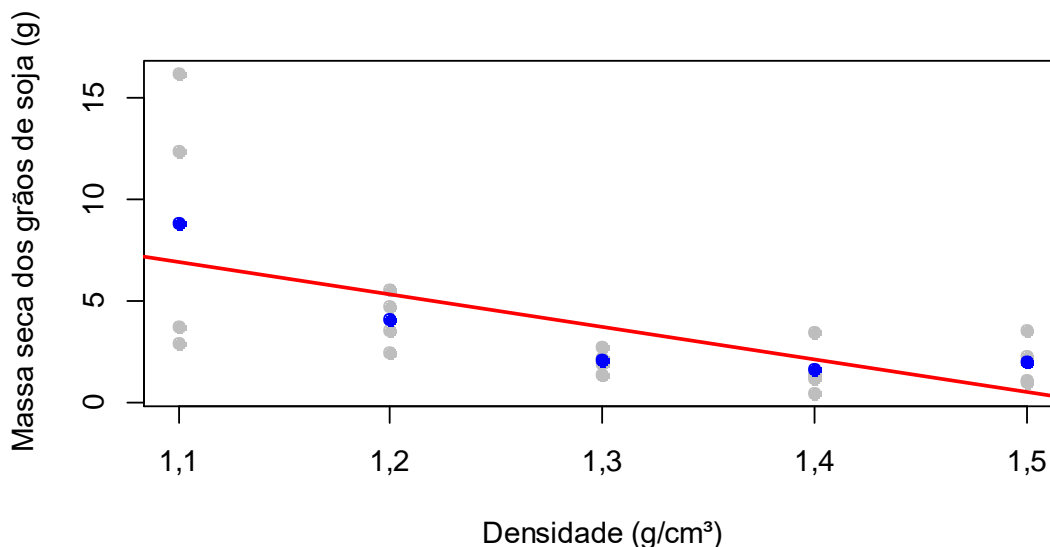


Figura 5. Regressão linear simples dos dados de massa seca de grãos de soja em função da densidade de solo (1,1; 1,2; 1,3; 1,4 e 1,5 g cm⁻³).

Nos tratamentos 1 e 2, presentes na Figura 5, sendo estes de densidades 1,1 e 1,2 g cm⁻³, apresentaram maior massa seca de grãos de soja, ou seja, maior rendimento. Os resultados corroboram com os de Suzuki et al.

(2007), ao verificarem que as culturas que estão em solos conservados, ou seja, não apresentam compactação, obtiveram maior rendimento, portanto, maior massa seca de grãos.

O teste de falta de ajuste obteve um p-valor=0,3772, que foi maior que

0,05. Mesmo que o teste não tenha sido significativo, o gráfico da reta apresentado na Figura 5 mostrou que a maior variação foi somente na densidade de 1,1 g cm⁻³ (Tratamento 1). Enquanto os demais tratamentos apresentaram baixa variabilidade. Por isso, somado com a significância da análise de variância e dos coeficientes, o modelo ainda é bastante confiável para prever dados.

De forma geral, a compactação afetou negativamente o desenvolvimento geral da cultura. O que pode resultar na diminuição do seu valor econômico, devido à baixa produção. Isso acontece devido a impossibilidade do rompimento da camada compactada pela raiz, sendo assim, a planta não terá acesso aos nutrientes e água mais profundos, como discutido por Marschner (1996).

Conclusão

Valores de densidade do solo de 1,3 g cm⁻³ ou superior, restringiram o desenvolvimento do sistema radicular da cultura da soja em condições de casa de vegetação, evidenciando as implicações negativas de camadas compactadas do solo na produtividade da cultura por dificultar o desenvolvimento geral da planta.

Referências

- BEULTER, A.N.; CENTURION, J.F. Efeito do conteúdo de água e da compactação do solo na produção de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 849-856, 2003.
- BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p. 581-588, 2004.
- BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; REGAZZI, A.J., FERNANDES, B.; BARROS, N.F. Respostas de variedades de soja à compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, v. 35, p. 553-568, 1988.
- BOUMA, J. Soil compaction: Societal concerns and upcoming regulations. **Nordic Association of Agricultural Scientists**, v. 8, p. 11-12, 2012.
- CAVALCANTE, A.K.; ESPINDOLA, S.G.; HAMAWAKI, O.T.; BISINOTTO, F.F., COSTA, E.G.; GONÇALVES, F.A. Avaliação e seleção de linhagens de soja quanto ao teor de óleo para a produção de biodiesel. **FAZU em Revista**, v. 6, p. 11-52, 2009.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**. v. 6, safra 2018/19, 7º levantamento, abril 2009.
- CZYZ, E.; TOMASZEWSKA, J. Changes of aeration conditions and the yield of sugar beet on sandy soil of different density. **Polish Journal of Soil Science**, v. 26, p. 1-9, 1993.
- DRESCHER, M.S.; ELTZ, F.L.F.; DENARDIN, J.E.; FAGANELLO, A. DRESCHER, G.L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1836-1844, 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação do solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Brasília/DF: EMBRAPA CNPS, 2018. 5ªed. 532P.

- FALKER. Automação agrícola. **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG/CFL 1030)**. 2008. Disponível em: http://www.falker.com.br/produto_download.php?id=4. Acesso em 25 de mar. 2019.
- FAO FAOSTAT. (2018). **Food and agriculture organization**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em 14 de abr. 2019.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E.; BURMOOD, D.T. PENNINGTON, J.S. Stage of soybean development. **Special report**, v. 80, p. 929-931, 1977.
- FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L.D. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 947-953, 2003.
- FOYER, C.H.; LAM, H. M.; NGUYEN, H. T., SIDDIQUE, K.H.M.; VARSHNEY, R., COLMER, T.D. Cooper, J.W. Negligenciar legumes comprometeu a segurança alimentar e nutricional global. **Nat. Plants**, v. 2, p. 10-1038, 2016.
- GIAROLA, N.F.B.; BRACHTVOGEL, E.L.; FONTANIVA, S.; PEREIRA, R.A.; FIOREZE, S.L. Cultivares de soja sob plantio direto em Latossolo Vermelho compactado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 31, p. 641-646, 2009.
- HAMZA, M.A.; ANDERSON, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and tillage research**, v. 82, p. 121-145, 2005.
- KIRNAK, H.; GOKALP, Z., DOGAN, E.; ÇOPUR, O. Effects of irrigation, soil compaction and fertilization treatments on physiological-vegetative characteristics and root development of soybean. **Legume Research-An International Journal**, v. 39, p. 52-60, 2016.
- LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v. 116, p. 107-136, 2003.
- MARINS, A.C.; REICHERT, J.M.; SECCO, D.; ROSA, H.A. Veloso, G. Produção de grãos de crambe e teor de óleo afetados pela variabilidade espacial nas propriedades físicas do solo. **Revisões sobre energia renovável e sustentável**, v. 81, p. 464-472, 2018.
- MARSCHNER, H.; KIRKBY, E.A.; ÇAKMAK, I. Efeito do estado nutricional mineral na parte aérea - particionamento radicular de fotoassimilados e ciclagem de nutrientes minerais. **Journal of experimental botany**, p. 1255-1263, 1996.
- MATEI, G.; BENIN, G.; WOYANN, L.G.; DALLÓ, S.C.; MILIOLI, A.S.; Zdzarski, A.D. Agronomic performance of modern soybean cultivars in multi-environment trials. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 500-511, 2017.
- MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V. PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, v. 38, p. 42-43, 1985.
- MOTAVALLI, P.P.; NADERSON, S.H.; PENGTHAMKEERATI, P. Efeitos da compactação superficial e da ninhada

de aves no crescimento do milho, disponibilidade de nitrogênio e propriedades físicas de um solo argiloso. **Pesquisa de culturas de campo**, v. 84, p. 303-318, 2003.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H., RICCE, W. D. S.; Pinto, L. F. D. Atlas climático do estado do Paraná. Londrina: **Instituto Agrônômico do Paraná**, 2019.

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

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. **Ciência Rural**, v. 39, p. 58-64, 2009.

SOYSTATS. **A reference guide to important soybean facts and figures**. American Soybean Association. 2018. Disponível em: <http://soystats.com/>. Acesso em 4 de abr. 2019.

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

VALICHESKI, R.R.; GROSSKLAUS, F., STÜRMER, S.L.; Tramontin, A.L. Baade, E.S. Desenvolvimento de plantas de cobertura e produtividade da soja conforme atributos físicos em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 969-977, 2012.