

**MAIRA MAIER BISATO**

**COMPRESSÃO EM SOLOS E SUA INFLUÊNCIA SOBRE AS SUAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E NO POTENCIAL PRODUTIVO DA CULTURA DA  
SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal, da Universidade do Estado de Santa  
Catarina, como requisito parcial para obtenção do título  
de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Clovis Arruda de Souza

**Lages, SC  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Maier Bisato, Maira

Compressão em solos e sua influência sobre as suas  
propriedades físicas e no potencial produtivo da cultura da soja /  
Maira Maier Bisato. -- 2020.  
125 p.

Orientador: Clovis Arruda de Souza

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina,  
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação  
em Produção Vegetal, Lages, 2020.

1. Solo. 2. Compressão . 3. Profundidade . I. Arruda de Souza,  
Clovis. II. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de  
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em  
Produção Vegetal. III. Título.

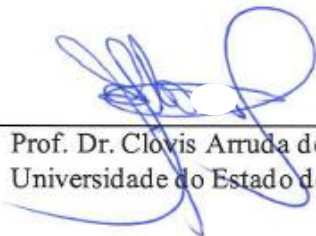
**MAIRA MAIER BISATO**

**COMPRESSÃO EM SOLOS E SUA INFLUÊNCIA SOBRE AS SUAS  
PROPRIEDADES FÍSICAS E NO POTENCIAL PRODUTIVO DA  
CULTURA DA SOJA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora em Produção Vegetal.

**Banca examinadora:**

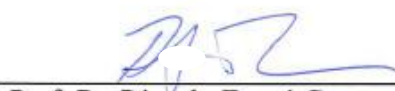
Orientador:



---

Prof. Dr. Clovis Arruda de Souza  
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

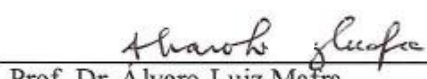
Membro:



---

Prof. Dr. Ricardo Trezzi Casa  
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro:



---

Prof. Dr. Alvaro Luiz Mafra  
Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC)

Membro externo:



---

Prof. Dr. Luiz Paulo Raüber  
Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC)

Membro externo:



---

Prof. Dr. Marcio Zilio  
Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC)

**Lages, 14 de julho de 2020.**



COM TODO AMOR E GRATIDÃO  
A MINHA FAMÍLIA.



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que atendeu minhas preces todas as noites quando pedia força e sabedoria para concretizar meus objetivos.

Aos meus familiares, em especial ao meu pai Vivaldino Maier Sobrinho e à minha mãe Zélia Guerra Maier, agradeço por todo o amor, carinho e apoio que me deram, mostrando o que existe de mais valioso e importante na vida de uma pessoa.

Aos meus irmãos Eleandro, Edson e Mávia e minhas cunhadas Kelli e Elis agradeço por todas as palavras de incentivo que me fizeram superar momentos difíceis.

Ao meu sobrinho Théó a alegria que impulsionaram a escrita.

Ao meu esposo Fabio Bisato, por todo o apoio, carinho, amor, cumplicidade, auxílio e toda a paciência que teve comigo durante esse percurso, por todos os momentos bons que passamos juntos e por todas as dificuldades que me ajudou a superar. Sou grata por me tornar, a cada dia, uma pessoa melhor.

Ao professor Dr. Clovis Arruda de Souza, a quem me faltam palavras para agradecer, agradeço pelos excelentes ensinamentos a mim repassados, sempre dispostos a ensinar e contribuir em todos os trabalhos, com muita dedicação e sabedoria.

À UDESC pela oportunidade de ensino e à PROMOP e CAPES, pela bolsa concedida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pelo ensino e condições de trabalho.

Aos Professores Ricardo Trezzi Casa, Jackson Adriano Albuquerque, Milton da Veiga e Marcio Zilio, pelas contribuições e oportunidades de integrar as diferentes áreas do conhecimento.

A toda a equipe do Laboratório de Plantas de Lavoura que contribuíram para esta conquista.

A todos vocês o meu carinho e a minha gratidão.



## RESUMO

A compressão do solo é decorrente de diferentes sistemas de manejo, os quais alteram as propriedades físicas, químicas do solo e disponibilidade hídrica interferindo na produtividade da cultura da soja. Objetivou-se i) avaliar os impactos dos níveis de compressão artificial reconstituída (alto, médio e baixo) em Nitossolo ou Cambissolo nos seus atributos físicos e na produção de grãos de soja; ii) avaliar a campo o estabelecimento de soja, semeadas em diferentes profundidades e em diferentes níveis de compressão artificial; iii) verificar a campo o efeito da compressão imposta ao nitossolo, em função do rodado de máquina agrícola, sobre a produção de grãos da soja. Os experimentos foram conduzidos em: i) Lages em casa de vegetação, nas safras 2016/2017 e 2017/2018, com um nitossolo e um cambissolo com perfis de 100 cm de profundidade submetidos a alta, média e baixa compressão artificial. Foram avaliados: componentes morfo-agronômicos das plantas e características físicas do solo. ii) Lages, a campo, na safra 2017, foram semeadas a 4, 6, 8 e 10 cm de profundidade. Avaliaram-se: índice de velocidade de emergência, comprimento total, epicótilo, hipocótilo e comprimento raiz. Na safra 2018, foram semeadas em 4, 6, 8, 10 e 12 cm em baixa ou alta compressão. iii) Ponte Serrada SC, a campo, safras 2017/2018 e 2019/2020, realizou-se a compressão com o rodado do trator a 0, 5, 10 e 20 passadas. Semeado a 4 ou 8 cm de profundidade. Avaliaram-se: altura de planta, diâmetro da haste principal, número de nó por planta, número de ramos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagens e massa de mil grãos. Os resultados do experimento i) indicam que componentes morfoagronômicos foram maiores sob cultivo da soja em baixa compressão, particularmente no nitossolo comparado ao cambissolo. Sob maior compressão observou-se maiores densidade do solo, porosidade total, bioporos, microporos e resistência a penetração na safra 2016/2017. Na safra 2017/2018 constatou-se influência negativa sobre densidade do solo e resistência a penetração na camada de 20-30 cm e no cambissolo. No experimento ii) a profundidade de semeadura entre 4 a 10 cm, em solo sem compressão, proporcionou maior percentual de emergência, índice de velocidade de emergência e massa seca parte raiz. Na safra 2018, sem compressão do solo, a profundidade de 4 a 10 cm proporcionou maior índice de velocidade de emergência, hipocótilo e percentual de emergência. Na safra 2019, sob baixa compressão observou-se maior percentual de emergência a 4 cm de profundidade e, maior massa seca total e massa seca parte aérea em 8 cm. Sob alta compressão a percentagem de emergência reduz à medida que aumenta a profundidade de semeadura. Quanto maior a profundidade de semeadura menor percentagem de emergência e índice de velocidade de emergência. No experimento iii) a compressão ocasionada por 5 passadas resultou em plantas com maior altura de plantas, diâmetro da haste principal, número de nó por planta, peso de grãos por planta e massa de mil grãos quando comparado com 10 ou 20 passadas. Sob semeadura a 8 cm de profundidade observou-se menores número de nós por planta, número de vagens por planta, rendimento biológico e massa de mil grãos. Conclui-se que o aumento da compressão do solo altera os atributos físicos do solo e interfere negativamente no desenvolvimento das plantas de soja. ii) profundidades de semeadura entre 4 e 8 cm proporcionaram incremento na percentagem de emergência e índice de velocidade de emergência e, profundidades maiores que 10 cm associadas a aumentos na compressão do solo prejudicam o estabelecimento da soja. Em solos com compressão baixa, profundidades de semeadura até 10 cm não afetam a emergência de soja. iii) compressão imposta ao solo em função da intensidade de tráfego de máquinas interfere no crescimento, desenvolvimento, rendimento biológico e produtivo da cultura da soja e a semeadura mais profunda não mitiga os efeitos negativos da compressão.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Produtividade. Batidas. Solo compactado. Sistema radicular.



## ABSTRACT

The compression of the soil is due to different management systems, which changes the physical and chemical soil properties and water availability interfering in the soybean grain yield. The objective was: i) to assess the impacts of artificially reconstituted compression levels (high, medium and low) in two soils (Nitossolo or Cambisol) on soybean grain production and to verify the negative influence of this compression on the physical attributes of the soil; ii) to evaluate on the field conditions the establishment of soybean, when they were sown at different depths in soil submitted to different levels of artificial compression; iii) verify on field the compression effect imposed on the nitosol in function of the wheels from farm machine, about the growth, development in the soybean grain yields. The experiments were conducted in: i) Lages SC, green house, at 2016/17 and 2017/18 growing seasons, with a nitosol and cambisol with profiles 100 cm of deep submitted the high, medium and low artificial compression. The follow traits were evaluated: morpho-agronomic components of the plants and physical characteristics of the soil. The experiment ii) in Lages, on field, in the 2017 season, the sowings were sown in 4, 6, 8 and 10 cm depth. ESI, TG, EPI, HYPO and RL were evaluated. In the 2018 season, the seeds were sown in 4, 6, 8, 10 and 12 cm in low or high compression. The experiment iii) It was in Ponte Serrada SC, on field, 2017/18 and 2019/20 seasons, compression was performed with the tractor wheels the 0, 5, 10 and 20-fold of traffic. It was done sowing to 4 or 8 cm depth. They were evaluated: PH, PSD, NNP, NBP, PNP, GNP and TGM. The experiment results: i) The soybean morphoagronomic components were higher under low compression of soils, particularly in the nitosol compared to cambisol. Under greater compression, it was noticed greater SD, PT, BIO, MICRO and RSP in the 2016/17 season. In the 2017/18 season there was a negative influence on SD and RSP in the 20-30 cm layer and in the cambisol. In experiment ii) the sowing depth between 4 to 10 cm, in soil without compression, provided greater E%, ESI and DMRP. In the 2018 season, without soil compression, the depth of 4 to 10 cm provided greater ESI, HIPO and E %. In the 2019 season, with compression or under low compression it was observed that under low compression it has been obtained greater E% to 4 cm in depth and higher TDM and DMAP in 8 cm. Under high compression, E% reduces as the sowing depth increases. As greater the sowing depth lower E% and ESI. In experiment iii) the compression caused by 5 folds of traffic resulted in plants with higher PH, PLD, NNP, GWP and TGM when it was compared to 10 or 20 folds. Under 5 or 10 folds did not change the PH, but 20 folds resulted in plants with lower PH. Under sowing at 8 cm depth it was observed smaller NNP, PNP, BY and TGM. It is concluded that the increase in soil compression modifies the soil physical attributes and negatively it interferes in the soybean plants development. ii) sowing depths between 4 and 8 cm provided increment E% and ESI and bigger depth than 10 cm associated with increases in the soil compression hinder the soybean establishment. In soils with low compression, the sowing depths lower than 10 cm do not affect the emergence and the soybean seedlings development. iii) compression imposed on the soil due to the traffic intensity interferes on the growth, development, biological and productive yield of the soybean culture and the deeper sowing does not mitigate the compression negative effects.

**Keywords:** *Glycine max*. Productivity. Compression. Compacted soil. Root system.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Ilustração do processo de montagem e reconstituição dos perfis artificiais dos solos na compactação alta, média e baixa e na profundidade até 100 cm (5, 5, 5, 5, 10, 10, 20, 20 20 cm de profundidade, de cima para baixo, respectivamente. ....42
- Figura 2 – a) Ilustração da leitura da compressão com penetrômetro e da disposição dos vasos em casa de vegetação. b) Exemplo de utensílios utilizados para coleta de dados (lápiz, planilha, anéis dos vasos por camada, anéis volumétricos e raízes coletadas). ....42
- Figura 3 – a)Peso de grãos por planta b) número de vagens por planta, em função do tipo do solo, obtidos na safra (2016/2017) em casa de vegetação, Lages SC.....44
- Figura 4 – a) Diâmetro da haste principal b) Número de vagens por planta, em função dos níveis de compressão obtidos na safra (2016/2017) em casa de vegetação, Lages SC. ....45
- Figura 5 – Massa seca por planta de soja (MSP) em função do cultivo em diferentes tipos de solo em condições de casa de vegetação, Lages SC. Safra 2017/2018. ....45
- Figura 6 – a) Altura de planta b) Número de ramos, em função dos níveis de compressão em condições de casa de vegetação, Lages SC. Safra 2017/2018.....46
- Figura 7 – a)CA, Densidade do solo (DS), b) C, Porosidade total (PT), c) CA, Bioporos (BIO), d) S x C e e),CA, Microporos (MICRO),f) CA x S) em função profundidade do perfil de dois solos e três níveis de compressão destes solos, obtidos em casa de vegetação, Lages SC. Safra (2016/2017).....50
- Figura 8 – a) CA X S, Resistência do solo à penetração (RP), b) CA x C Resistência do solo a penetração (RP) c) CA x S, Volume de raiz (VR) d) CA x C, Volume de raiz (VR) e) CA x C, Massa seca de raiz (MSR) de soja em função da profundidade do perfil de dois solos e em três níveis de compressão do solo, Lages SC. Safra 2016/2017. ....52
- Figura 9 – a)S X C, Densidade do solo (DS), b) S x C, Bioporos (BIO), c) S X C, Macroporos (MACRO) e d) S x C, Porosidade de aeração (PA) em função de dois tipos de solos submetidos a três níveis de compressão artificial, em casa de vegetação, Lages SC. Safra 2017/2018.....53
- Figura 10 –a) Resistência do solo a penetração (RP),volume de raiz (VR), em função da profundidade do perfil do solo em três níveis de compressão do solo: a) e d) alta; b) e e) média e c) e f) baixa, em dois tipos de solos em casa de vegetação, Lages SC, safra 2017/2018. ....54
- Figura 11 – Correlação de Pearson entre dois solos (nitossolo e cambissolo) em função à três níveis de compressão ( alta, média e baixa) para as variáveis morfoagronômicas, em casa de vegetação, Lages-SC, Safra 2016/2017. Nitossolo a)Alta, c)Média e e)Baixa e Cambissolo b)Alta, d)Média, f) Baixa. ....58

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 12 – Correlação de Pearson entre solos (nitossolo e cambissolo) em função a três níveis de compressão, (alta, média e baixa) para as variáveis morfoagronômicas, em casa de vegetação, Lages-SC, Safra 2017/2018. Nitossolo a)Alta, c)Média e e)Baixa e Cambissolo b)Alta, d)Média, f) Baixa. ....                                          | 62 |
| Figura 13 – Emergência(E%),índice de velocidade de emergência (IVE),massa seca parte raiz (MSPR) e comprimento de raiz (RAIZ), em função da profundidade de semeadura na safra 2017 sem compressão a campo. Lages-SC.....                                                                                                                          | 74 |
| Figura 14 – Emergência (E%), Hipocótilo, Índice de velocidade de emergência (IVE) Hipocótilo (HIPO), Comprimento de raiz ( RAIZ) em função da profundidade de semeadura, na safra 2018 sem compressão a campo. Lages-SC.....                                                                                                                       | 75 |
| Figura 15 – Emergência (E%), Hipocótilo (HIPO), Massa seca total (MST), Índice de velocidade de emergência (IVE) e Massa seca parte aérea (MSPA) em função de cinco profundidades de semeadura e dois níveis de compressão do solo. Lages-SC, safra 2018. ....                                                                                     | 77 |
| Figura 16 – a) Epicótilo (EPI), em função de duas compressões, b) Epicótilo (EPI), c) Comprimento de raiz (CR) e d) Massa seca parte raiz (MSPR) em função de cinco profundidades de semeadura, na safra 2018 com compressão, a campo, Lages-SC. ....                                                                                              | 78 |
| Figura 17 – a) Avaliação do DHP da soja na cicatriz cotiledonar, b) Visualização da AP de soja; c) coleta de dez plantas por parcela e e) plantas amostrada acondicionadas em pacote de papel. Ponte Serrada-SC, safra 2017/2018. ....                                                                                                             | 88 |
| Figura 18 – Dados climáticos de precipitação e das médias mensais das temperaturas durante o ciclo de cultivo da soja a campo, Ponte Serrada-SC, a) Safra 2017/2018 e b) Safra 2018/2019.....                                                                                                                                                      | 90 |
| Figura 19 –a) Altura de planta b) número de nó c)número de vagens d)número de grãos por vagens e e)peso de mil grãos em função de quatro níveis de compressão e duas profundidades de semeadura da cultura da soja, a campo. Ponte Serrada-SC, Safra 2017/2018.....                                                                                | 93 |
| Figura 20 – a) Diâmetro da haste principal b) número de ramos por planta c) rendimento biológico em função de quatro níveis de compressão e duas profundidades de semeadura da cultura da soja, a campo, Ponte Serrada-SC, Safra 2017/2018. ....                                                                                                   | 94 |
| Figura 21 – a)Diâmetro da haste principal b)número de ramos por planta c) número de vagens por planta d)número de vagens por planta e)número de grãos por vagens f)peso de grãos por planta em função de quatro níveis de compressão do solo e duas profundidades de semeadura da cultura da soja, a campo. Ponte Serrada-SC, Safra 2018/2019..... | 96 |
| Figura 22 – a)Peso de mil grãos b) peso de mil grãos c) rendimento biológico d) rendimento biológico em função de quatro níveis de compressão do solo e duas profundidades de semeadura da cultura da soja, a campo. Ponte Serrada-SC, Safra 2018/2019. ....                                                                                       | 97 |

- Figura 23 – Resistência a penetração avaliada no momento a) zero dias após a semeadura (0 DAS), b) 30 DAS, c) 60 DAS, d) 90 DAS e e) 120 DAS em função de quatro camadas dentro do perfil do solo. Ponte Serrada-SC, Safra 2017/2018..... 102
- Figura 24 – Resistência a penetração em diferentes dias após a semeadura (DAS) a) zero dias após a semeadura, em função de duas profundidade de semeadura e quatro compressão, b) zero dias após a semeadura em função de duas profundidade de semeadura e quatro camada dentro do perfil do solo Ponte Serrada, safra 2017/2018. .... 103
- Figura 25 – Resistência do solo a penetração em diferentes dias após a semeadura (DAS) a) 0 DAS, b) 30 DAS, c) 60 DAS, d) 90 DAS e e) 120 DAS em função da camada dentro do perfil do solo. Ponte Serrada, safra 2018/2019..... 105



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) referente aos componentes morfoagronômicos da cultura da soja cultivada em dois solos e três níveis de compressão obtidos em duas safras (2016/2017 e 2017/2018) em casa de vegetação. .... | 44 |
| Tabela 2 - Resumo da análise de variância, referente a propriedades físicas dos solos, VR e MSR de soja cultivadas em dois solos sob três níveis de compressão obtidos em nove camadas de avaliação em casa de vegetação, Lages SC. Safra 2016/2017. ...               | 48 |
| Tabela 3 - Análise de variância, quadrado médio, resíduo, média e coeficiente de variação para os caracteres E%, HIPO,MST,IVE, MSPA,EPI e RAIZ, Lages, Safra 2017sem compressão, Safra 2018 com e sem compressão. ....                                                 | 73 |
| Tabela 4 - Características químicas selecionadas do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, amostradas antes da implantação do experimento.....                                                                                                                            | 88 |
| Tabela 5 - Análise de análise de variância para os caracteres morfoagronomicos da cultura da soja submetido a quatro compressão e duas profundidade de semeadura, a campo, Ponte Serrada- SC,Safra 2017/2018 e 2018/2019. ....                                         | 91 |
| Tabela 6 - Resumo da análise de variância, quadrado médio, significância e resíduo, referentes a RP (MPa) aferida com penetrômetro na cultura da soja cultivada em quatro passadas com o rodado do trator no mesmo local na safra 2017/2018 e 2018/2019. ....          | 99 |



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|         |                                                                                                           |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ANOVA   | Análise de variância                                                                                      |
| AP      | Altura de planta                                                                                          |
| CIDASC  | Companhia Integrada de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina                                         |
| DHP     | Diâmetro da haste principal da planta                                                                     |
| E       | Emergência                                                                                                |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                                                               |
| EPAGRI  | Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina                                       |
| EPI     | Epicótilo                                                                                                 |
| FAO     | Organização das Nações Unidas para a Alimentação/ Food and Agriculture Organization of the United Nations |
| FV      | Fonte de variação                                                                                         |
| GL      | Grau de liberdade                                                                                         |
| HIPO    | Hipocótilo                                                                                                |
| IVE     | Índice de velocidade de emergência                                                                        |
| MACRO   | Macroporos                                                                                                |
| MAPA    | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento                                                       |
| MICRO   | Microporos                                                                                                |
| MSPA    | Massa seca parte aérea                                                                                    |
| MSPR    | Massa seca parte raiz                                                                                     |
| MST     | Massa seca total                                                                                          |
| NPR     | Número de ramos por planta                                                                                |
| NRP     | Número de ramos por planta                                                                                |
| NVP     | Número de vagens por planta                                                                               |
| PCG     | Peso de 100 grãos                                                                                         |
| PGP     | Peso de grãos por planta                                                                                  |
| PMG     | Peso de 1000 grãos                                                                                        |
| PT      | Porosidade total                                                                                          |
| RAIZ    | Comprimento de raiz                                                                                       |
| RB      | Rendimento biológico                                                                                      |
| RG      | Rendimento de grãos                                                                                       |
| RP      | Resistência a penetração do solo (MPa)                                                                    |

USDA

Departamento de Agricultura dos EUA/United States Department of  
Agriculture

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                  |                                    |
|------------------|------------------------------------|
| °C               | graus Celsius ou graus centígrados |
| n°               | número(s)                          |
| MPa              | Mega Pascal                        |
| %                | Porcentagem ou porcentagem         |
| g                | grama                              |
| kg               | quilo/kilograma                    |
| h                | hora                               |
| cm               | centímetro                         |
| m                | metro                              |
| mg               | miligrama                          |
| Mg               | Mega grama                         |
| Mg <sup>2+</sup> | magnésio                           |
| t                | tonelada                           |
| m <sup>3</sup>   | metro cúbico                       |
| m <sup>2</sup>   | metro quadrado                     |
| ml               | mililitro                          |
| l                | litro                              |
| H <sup>+</sup>   | hidrogênio                         |
| K <sup>+</sup>   | potássio                           |
| P                | fósforo                            |
| Ca <sup>2+</sup> | cálcio                             |
| S                | enxofre                            |
| Fe <sup>2+</sup> | ferro                              |
| N                | nitrogênio                         |
| %                | porcentagem                        |



## SUMÁRIO

|              |                                                                                                                                                       |           |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO GERAL. ....</b>                                                                                                                         | <b>25</b> |
| 1.1          | HIPÓTESES. ....                                                                                                                                       | 27        |
| 1.2          | OBJETIVOS. ....                                                                                                                                       | 28        |
| <b>2</b>     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. ....</b>                                                                                                                    | <b>29</b> |
| <b>3</b>     | <b>INFLUÊNCIA DO GRAU DE COMPRESSÃO EM NITOSSOLO E CAMBISSOLO SOBRE OS CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS PARTE AÉREA E DA RAIZ DA CULTURA DA SOJA. ....</b> | <b>35</b> |
| 3.1          | RESUMO. ....                                                                                                                                          | 35        |
| 3.2          | ABSTRACT. ....                                                                                                                                        | 36        |
| 3.3          | INTRODUÇÃO. ....                                                                                                                                      | 37        |
| 3.4          | MATERIAL E MÉTODOS. ....                                                                                                                              | 38        |
| <b>3.4.1</b> | <b>Características avaliadas. ....</b>                                                                                                                | <b>39</b> |
| <b>3.4.2</b> | <b>Análises estatísticas. ....</b>                                                                                                                    | <b>41</b> |
| 3.5          | RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....                                                                                                                          | 43        |
| 3.6          | CONCLUSÕES. ....                                                                                                                                      | 66        |
| <b>4</b>     | <b>DESENVOLVIMENTO INICIAL DE SOJA SUBMETIDA A PROFUNDIDADES DE SEMEADURA E COMPRESSÃO DO SOLO. ..</b>                                                | <b>69</b> |
| 4.1          | RESUMO. ....                                                                                                                                          | 69        |
| 4.2          | ABSTRACT. ....                                                                                                                                        | 69        |
| 4.3          | INTRODUÇÃO. ....                                                                                                                                      | 70        |
| 4.4          | MATERIAIS E MÉTODOS. ....                                                                                                                             | 71        |
| 4.5          | RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....                                                                                                                          | 72        |
| 4.6          | CONCLUSÕES. ....                                                                                                                                      | 80        |
| <b>5</b>     | <b>COMPRESSÃO DE UM NITOSSOLO INDUZIDO PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS E SUA RELAÇÃO COM OS CARACTERES MORFOAGRONOMICOS DA SOJA. ....</b>                    | <b>81</b> |
| 5.1          | RESUMO. ....                                                                                                                                          | 81        |
| 5.2          | ABSTRACT. ....                                                                                                                                        | 82        |
| 5.3          | INTRODUÇÃO. ....                                                                                                                                      | 82        |
| 5.4          | MATERIAL E MÉTODOS. ....                                                                                                                              | 85        |
| 5.5          | RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....                                                                                                                          | 89        |

|          |                                                  |            |
|----------|--------------------------------------------------|------------|
| 5.6      | CONCLUSÕES. ....                                 | 108        |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÕES GERAIS. ....</b>                   | <b>109</b> |
| <b>7</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS. ....</b> | <b>111</b> |
| 7.1      | HIPÓTESES CONFIRMADAS. ....                      | 111        |
| 7.2      | HIPÓTESES REFUTADAS. ....                        | 112        |
|          | <b>REFERÊNCIAS. ....</b>                         | <b>113</b> |
|          | <b>APÊNDICES. ....</b>                           | <b>123</b> |

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A economia brasileira está diretamente influenciada pela agricultura, tendo como principal cultura baseada na produção de soja, que na safra 2018/2019 apresentou produção de 242,1 milhões de toneladas (CONAB, 2020). As principais regiões sojícolas no Brasil são a Sul e Centro-Oeste (CONAB, 2020). O Brasil produz e exporta vários produtos e subprodutos derivados do grão de soja (grãos, farelo e óleo) (CONAB, 2020).

O sistema plantio direto decorrente do não revolvimento do solo, presença de palhada e umidade elevada associado com tráfego de máquinas e implementos, podem resultar em compactação na superfície do solo, com maiores frequências em solos argilosos. A compactação pode ser pneumática resultado do peso dos eixos e da insuflagem de ar nos pneus dos veículos, das máquinas e dos implementos agrícolas que se deslocam sobre as lavouras.

A compactação do solo altera as propriedades físicas do solo reduzindo a permeabilidade ao ar, água e raízes, através de forças compressivas de máquinas utilizadas para preparo do solo, implantação e tratos culturais das culturas e do pisoteio de animais. Segundo Tretin (2018) o tráfego intenso, em sistema plantio direto, tem apresentado problema de compactação com aumento da resistência a compactação até 20 cm de profundidade e redução do rendimento das culturas independente do ano agrícola. Segundo Martins (2018) a suscetibilidade dos solos a compactação difere de acordo com os fatores: resistência à compactação do solo, densidade, tipo de equipamento utilizado, textura do solo, intensidade de tráfego entre outros fatores. Os principais fatores que determinam o comportamento dos distintos solos, quando submetidos à compactação são a granulometria, o teor de matéria orgânica e o conteúdo de umidade do solo (BODMAN et al., 1966).

Estudos com diversos tipos de solo avaliaram o efeito da compactação, em relação a valores de densidade do solo e resistência a penetração, considerados fatores limitantes para o crescimento de raízes e desenvolvimento da planta (MORAES et al., 2016). As diferentes culturas têm diferentes sensibilidades á compactação, por exemplo, a soja, é mais tolerante a compactação do que o milho e o algodão (SILVA et al., 2006). Segundo Camargo (1997) a densidade do solo é um atributo muito utilizado, por uma medida quantitativa, fácil determinação. Segundo Silva et al. (2006) solos com densidade elevada pode inibir o crescimento das plantas, que varia conforme a classe de solo, a espécie plantada e as condições de umidade do solo. Um solo argiloso pode estar muito compactado, enquanto, para outro tipo de solo com textura mais arenosa, esse valor pode indicar solo solto, para as mesmas densidades (BEUTLER et al., 2008). O aumento da densidade do solo impede o crescimento de raízes, por

exemplo, densidades maiores que  $\geq 1,45 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos argilosos,  $\geq 1,55 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos de textura média, com conteúdo de argila entre 20 e 55%, e de  $\geq 1,65 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos de textura arenosa (REICHERT et al., 2003).

A resistência do solo à penetração (RP) tem correlações diretas com o crescimento radicular e com a produtividade das plantas, muito utilizada para avaliar a compactação do solo (LETEY, 1985). Segundo Varquez et al. (1989) os diferentes sistemas de manejo e compactação do solo, proporcionaram resistência do solo a penetração com valores de 1,57 a 1,59 MPa (camada de 0,05–0,35 m) esteve associada com a produtividade máxima de soja, sendo que a produtividade reduziu com o aumento da resistência do solo à penetração. Em latossolo vermelho argiloso, a produtividade de soja foi adequada até a resistência do solo à penetração de 1,80 MPa, segundo Silva et al. (2000). Conforme Dexter (1987) a compactação em solo seco é mais prejudicial, visto que pode haver crescimento radicular em condições de maior umidade do solo, com valores de resistência à penetração superiores a 4,0 MPa. Entretanto, para obter alta produtividade de soja, o valor crítico de resistência do solo à penetração varia com a cultivar e a classe de solo. Segundo Barber (1994) a produtividade de soja decresceu a partir da resistência do solo à penetração de 2,0 a 3,0 MPa, apresentando menores valores para anos com maior precipitação pluvial, em consequência de deficiência de aeração no solo compactado, além de menor drenagem interna.

Porosidade total ideal para o solo é na proporção de  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , distribuídos 34% para macroporos e 66% para microporos. Durante a compactação os poros maiores que  $50 \mu\text{m}$  (macroporos) ou poros de aeração, são os primeiros a serem destruídos, substituídos por microporos (REICHERT et al., 2007; SILVA et al., 1986), quando a aeração for menor que 10% a taxa dos gases é próxima de zero, afetando o sistema radicular, o que resulta em anaerobiose. Os microporos, possuem diâmetro entre 0,05 e  $0,0002 \text{ mm}$  (que são esvaziados a tensões entre 6 e 1500 kPa) (KLEIN; LIBARDI, 2002). Os microporos, também denominados poros capilares, representam os poros responsáveis pela retenção da água no solo, enquanto os macroporos representam os poros responsáveis pela drenagem e aeração do solo (BRADY, 1979).

O grau de compactação caracteriza a relação entre a compactação e crescimento das culturas (COLLARES et al., 2008). Esta relação é importante quando trabalha com diferentes tipos de solos, pela facilidade para medir e identificar as mudanças nos atributos físicos como macroporosidade, permeabilidade ao ar e resistência a penetração (CARTER, 1990). As propriedades físico-mecânicas do solo como temperatura, resistência a penetração, aeração e umidade, interferem na produtividade das culturas. Outra característica importante para o

cultivo é a profundidade do perfil do solo que agrega também as características de estrutura, textura e densidade do solo, podendo ser influenciadas pela compactação em diferentes intensidades, que por suas vezes impedem o crescimento das raízes (STEFANOSKI et al., 2013).

Segundo Carter (1990) a máxima produtividade de trigo e cevada foi em grau de compactação de 81% em um solo arenoso. Suzuki et al. (2007) constataram em um latossolo que o grau de compactação ótimo para a cultura da soja foi de 86%. O grau de compactação menor que 80% influencia a produtividade das culturas por causa da redução da capacidade de armazenamento de água (LINDSTRON et al., 1994).

Segundo Braida (2006) os diferentes sistemas de manejo resultam em diferentes acúmulos de matéria orgânica no solo reduzindo a densidade máxima do solo e aumentando a umidade crítica para compactação, estes efeitos são dependentes da granulometria do solo. Este mesmo autor cita que o solo com presença de palhada em superfície é capaz de absorver parte da energia de compactação produzida por animais ou trânsito de máquinas.

O sistema plantio direto resulta em maior acúmulo de nutrientes na camada superficial do solo, podendo interferir na manutenção da produção e da qualidade estrutural do solo (KLEIN, 2011). Nestas condições pode-se realizar um revolvimento ocasional de solo para redistribuição da matéria orgânica e dos nutrientes em profundidade do perfil deste solo (FIDALSKI, 2015).

## 1.1 HIPOTETES

### Meta 1: Comparação de solos

- Nitossolo apresenta maior resistência à penetração comparada com o cambissolo no final do ciclo da cultura decorrente de suas propriedades físicas.
- Os maiores valores dos componentes do rendimento da cultura da soja são obtidos quando esta cultura é cultivada em solos com baixa compactação por proporcionar melhor desenvolvimento das raízes de soja, acarretando maior volume de raiz para absorver água e nutrientes;
- A compressão (artificial e simulada) afeta negativamente o desenvolvimento de plantas de soja e é um bom modelo de estudo, para gerar parâmetros, a ser extrapolado e validado em lavouras comerciais.

Meta 2: Desempenho germinativo e de plântulas de soja em diferentes profundidades de semeadura e compressão do solo

- Quanto maior a profundidade de semeadura menor é a emergência e o índice de velocidade de emergência de plântulas de soja devido ao gasto energético para desenvolver maior comprimento do hipocótilo e de raiz das plântulas;
- Semeadura profunda associada a maior compressão acentua os efeitos negativos sobre a emergência e o desenvolvimento de plântulas de soja;
- Os atuais valores de profundidade de semeadura, indicados para cultivo de soja, são adequados para garantir a emergência de plântulas e independem da compactação do solo.

Meta 3: Compressão do solo simulada pelo tráfego de máquinas

- Uma forma de amenizar a compressão superficial do solo é semear em profundidade maior, rompendo fisicamente a camada compactada no momento da semeadura;
- Em condições de lavoura a maior produção de grãos de soja é obtida em solo com menor compressão.

## 1.2 OBJETIVOS

Meta 1

- Avaliar os impactos da compressão artificial (alto, médio e baixo) num nitossolo e num cambissolo sobre os atributos físicos do solo e no potencial produtivo da soja.

Meta 2

- Avaliar o desempenho germinativo de soja, condições de campo, quando semeadas em diferentes profundidades de semeadura e compressão artificial do solo.

Meta3

- Verificar em condições de campo o efeito da compressão imposta ao solo, em função da intensidade de tráfego das máquinas agrícolas, no crescimento, desenvolvimento e no rendimento biológico e produtivo da cultura da soja.
- Nestas condições verificar as alterações na resistência do solo à penetração (RP) no perfil deste solo, periodicamente, durante o ciclo de desenvolvimento da soja.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A soja é cultivada no Brasil, em grande maioria, implantado em sistema plantio direto. É uma cultura de grande importância econômica, pela comercialização direta dos grãos, e produtos e subprodutos a serem utilizados como alimento direto ou em formulação de rações. O sistema plantio direto resultou em melhorias tecnológicas ocorrendo evolução da agricultura, principalmente no incremento da produtividade de várias culturas, entre elas a soja decorrente da sua capacidade produtiva, tornando a principal cultura do Brasil (TREIN, 2018).

O sistema de plantio direto melhora as propriedades dos solos quando bem manejados, entretanto quando submetidos a pressões impostas pelos pneus de máquinas agrícolas acaba comprimindo ou adensando este solo, resultando em compactação (REINERT, 2009). A tendência de compactação neste sistema é ser subsuperficial (0,07-0,15 m podendo ser identificada através de várias metodologias de análises).

A grande problemática a nível de Brasil e estado do sistema plantio direto é ocorrência da diminuição da cobertura do solo aliada à quase inexistência de rotação de culturas, dois dos três pilares básicos do sistema, foi perceptível ao longo da última década a queda de qualidade do plantio direto não só no estado como no país. Por outro lado, o aumento do tamanho e peso das máquinas agrícolas pressionou os agricultores a retirarem os terraços das lavouras. Esta retirada permitiu a livre semeadura no terreno que a partir deste momento passou a ser realizada no sentido do maior rendimento de máquinas e, muitas vezes, não mais respeitando a semeadura em nível.

Com a diminuição da cobertura do solo devido à baixa produção de resíduos culturais; o aumento da densidade do solo, causado pelo peso das máquinas e pisoteio excessivo de animais (gado); e a retirada das barreiras mecânicas para o manejo da água de escoamento superficial (terraços), a erosão voltou a se fazer presente nas lavouras de Santa Catarina e do Sul do Brasil nos últimos anos (CASSOL, 2011; STRECK, 2014), provocando sérios prejuízos ambientais (perdas de solo e água; poluição e assoreamento dos mananciais). A partir da safra 2016/2017 observou-se um movimento grande tanto de agricultores quanto de técnicos da iniciativa privada (em especial de cooperativas) para a retomada do uso de barreiras mecânicas (terraços) para o manejo da água de escoamento, uma vez entendido que somente o plantio direto (que tem problemas de manejo do solo e carece de melhorias) não é suficiente para o controle da erosão do solo.

A compactação do solo causa redução da produtividade de soja, particularmente a compactação oriunda do tráfego de máquinas e equipamentos agrícolas sobre o solo reduzindo a porosidade e aumentando a resistência à penetração. Segundo Beulter (2004) em solos compactados ocorre alteração da estrutura, redução da porosidade, da macroporosidade, da quantidade de água, da quantidade de nutrientes e da difusão de gases no solo. Em função disto, as raízes das plantas não conseguem explorar o solo para absorção de água e nutrientes e podendo limitar os processos metabólicos e consequentemente o crescimento das plantas. A baixa aeração induz à ramificação das raízes, tornando-as mais adventícias e superficiais (DEWIT, 1978) e essa concentração de raízes leva a planta a utilizar a água localizada apenas nos primeiros centímetros do solo, podendo causar problemas de deficiência hídrica em períodos de restrição hídrica (AGNEW; CARROW, 1985). Uma aeração menor que 10% pode induzir a produção de ácido abscísico considerado tóxico para as plantas. Tanto em ambiente de casa de vegetação como em campo, as raízes das plantas têm dificuldades de penetrar em camadas compactadas, ocorrendo maior desenvolvimento de raízes sobre a camada superior do solo compactado, como forma de compensar a redução das raízes nas camadas compactadas (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000). Uma redução de 40% no comprimento radicular é considerada crítica em solo arenoso (PABIN, 1998). Cintra; Mielniczuk (1983) obtiveram redução de 50% no comprimento de radicular de várias culturas quando crescidas em solo com resistência a penetração de 1,10 MPa, em latossolo. Segundo Rosalem (1994) em vasos em casa de vegetação obtiveram RP de 0,69 MPa em um latossolo, compactação esta que resultou em redução de 50% no sistema radicular da soja. A compactação é diferenciada para solos de diferentes texturas, por exemplo, solos argilosos compactam mais em relação aos solos arenosos, decorrentes das partículas deste solo ser todas de tamanho semelhante entre si, ou seja, se as partículas de um solo forem de tamanhos diferentes se arranjam e preenchem poros, quando submetidas à pressão. Segundo Bodman et al. (1966) os solos de textura argilosa retêm mais água em relação aos arenosos, pois tem maior volume de microporos e em função do tipo e formato dos argilominerais este solo está predisposto a sofrer maior compactação. Em relação ao efeito da compactação do solo, ocorre o aumento da resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração do fluxo de água e calor, e da disponibilidade de água e nutrientes, porém é dependente de alguns fatores, sendo eles: tipo de solo, condições climáticas e ambientais, genótipo, manejo adotado, e estágio de desenvolvimento da planta que está crescendo neste solo.

A compactação influencia no tamanho dos poros e consequentemente no potencial de água nele retida, quanto maior o tamanho do poro, menor será a sucção a ser aplicada para

retirar a água, e quanto menor o tamanho do poro, consideravelmente maior será a sucção necessária. Assim, a condutividade hidráulica é menor à medida que aumenta a densidade do solo e a taxa de infiltração em solos compactados é diminuída, podendo trazer alguns inconvenientes, como aeração deficiente e aumento do escoamento superficial de água por excesso de chuva ou de irrigação. O grau de compactação do solo é resultante do manejo inadequado dependente do tipo de solo, pois sob mesmas condições de uso, diferentes solos têm diferentes habilidades para suportar a pressão (MAZURANA, 2017). Ocorrendo redução do volume de poros que estão relacionados a pressões estáticas e dinâmicas impostas pelas máquinas (interface solo-pneu) sobre o solo, quando se trabalha sob condições de umidade acima da condição de friabilidade deste solo o que resulta em maior compreensibilidade (MAZURANA, 2017).

Segundo este mesmo autor, o processo de compreensão é considerado o mesmo entre diferentes tipos de solos, podendo deferir em resistência (capacidade de suportar a pressão aplicada sem perder a estrutura) e resiliência (capacidade do solo retornar ao seu estado original após aplicação de pressão). Várias são as análises para identificar a qualidade estrutural do solo, porém pode-se inferir esta identidade através das características de resistência a penetração e de densidade do solo. Segundo Taylor et al. (1966) o valor de RP de 2,0 MPa é considerado o valor limitante ao crescimento radicular para a maioria das espécies cultivadas. Em geral, tem-se adotado o valor de RP de 2,0 MPa como crítico ao crescimento radicular (TORMENA et al., 1998). Em avaliações de resistência a penetração é necessário levar em consideração a umidade do solo, ou seja, deve-se determinar a mesma. Segundo Beutler et al. (2005) a densidade relativa ótima para produtividade de soja, em casa de vegetação foi superior a ( $0,84 \text{ Mg m}^{-3}$ ) em latossolo vermelho eutrófico comparado com latossolo vermelho caulinitico de textura média ( $0,75 \text{ Mg m}^{-3}$ ).

O sistema plantio direto, associado com rotações de culturas favorece o aumento do acúmulo de resíduos vegetais no solo, melhorando sua estrutura, aumentando a presença de macroporos e de microrganismos que vão atuar na decomposição dos diferentes tipos de resíduos vegetais, conseqüentemente, contribuindo para agregação e estruturação deste solo. Alguns resíduos tem efeito lento sobre as propriedades físicas do solo, a cultura da soja normalmente tem baixa resistência à decomposição, a presença de cobertura verde no sistema de semeadura direta resulta no aumento da infiltração de água e contribui para a nutrição mineral, e atividades de microbianas no solo também aumenta o volume total de poros na superfície e camadas inferiores do solo, à medida que ocorre a decomposição (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009).

Em sistema conservacionista são utilizados escarificadores, que atuam no aumento da rugosidade e do volume total de poros da superfície do solo, assim ocorre maior infiltração e a diminuição da enxurrada. Quanto maior o intervalo de tempo entre colheita e chuva, mais predisposto os resíduos ficaram para decomposição, e melhor será a infiltração de água. Altas produtividades são dependentes da qualidade do solo aliado ao manejo adequado onde todos os fatores físicos, químicos, biológicos e ambientais atuem em equilíbrio, e contribuam para as exigências da cultura da soja. De acordo com Taiz et al. (2017) para alcançar elevadas produtividades é importante considerar dois aspectos para o adequado desenvolvimento das plantas: a existência de água disponível no solo e a distribuição do sistema radicular ao longo do perfil do solo. As formas para aumentar a disponibilidade de água no solo e o volume de solo explorado pelas raízes como medida para mitigar as perdas por produtividade, inicialmente, é necessário identificar a área, seu uso e manejo estão de acordo com a aptidão agrícola e capacidade de uso da terra. Na sequência, fazer correção de acidez e da fertilidade deste solo visando à manutenção das culturas e adotar medidas para recuperar a estrutura do solo. Em solos degradados ocorrem elevadas perdas principalmente hídrica de dois elementos minerais, P e K. Normalmente, estes são repostos por superfosfato triplo e o cloreto de potássio. A adubação química do solo normalmente é realizada de acordo com a necessidade das culturas. A adubação orgânica pode ser realizada para complementar à adubação química. Podem ser cultivadas plantas, especialmente as leguminosas que fixam nitrogênio do ar, do solo, bem como, usar da aplicação de dejetos de animais aves e suínos.

O Sistema Brasileiro de Classificação de solos tem como finalidade classificar todos os solos existentes no Brasil, composto por uma chave com seis níveis categóricos: Ordem, Subordem, Grande Grupo, Subgrupo, Família e Série (SANTOS 2018).

No Brasil encontram-se diversidade de solo, os quais chamamos de tipos de solo, que estão relacionado, pela forma, tipo de relevo, material de origem, diversidade de clima, uso e práticas de manejo, organismos vivos e vegetação, além de variabilidade das características químicas, físicas e morfológicas. Aproximadamente 70% do território nacional predominam latossolo, argissolos e neossolos, entretanto as classes de latossolo e argissolo ocupam aproximadamente 58% da área sendo solos profundos, ácidos, bastante intemperizados com baixa fertilidade natural e em alguma situação alta saturação de alumínio. As classes dos solos Neossolos, Luvisolos, Planossolos, Nitossolos, Chernossolos e Cambissolos, são considerados solos poucos profundos devido ao baixo grau de intemperismo, com média a alta fertilidade do solo (SANTOS, 2018).

O estado de Santa Catarina, em específico, tem solos desenvolvidos de rochas efusivas da formação Serra Geral, contendo desde basaltos, diabásios, até riodacito e riolito, ou seja, vai de básico a ácido, com relação ao teor de óxidos de silício. Também possui solos desenvolvidos de rochas sedimentares, a exemplos de argilitos e folhelhos siltico-argilosos, do Grupo Passa Dois, onde se encontram as formações Serra Alta e Teresina (EMBRAPA, 2004)

Nitossolos Vermelho, referenciado como Unidade Geomorfológica Planalto dos Campos Gerais abrange uma área de 19.496km<sup>2</sup> e apresenta-se distribuída em blocos isolados pela unidade geomorfológica Planalto Dissecado Rio Iguaçu/Rio Uruguai, estando topograficamente situada acima desta unidade circundante. Corresponde a restos de uma superfície de aplainamento e à fragmentação em blocos ou compartimentos, regionalmente conhecidos como Planalto de Palmas, Planalto do Capanema, Planalto de Campos Novos e Planalto de Chapecó, e é consequência de processos de dissecção desenvolvidos ao longo dos principais rios como o Canoas, o Pelotas e o Uruguai. As cotas altimétricas variam de 600m a 1.200m, respectivamente, na parte oeste do Planalto de Chapecó e nas proximidades da cuesta da Serra Gera por sua vez, são compostos predominantemente por materiais minerais e apresentam horizonte B nítico, e também características como textura que vai de argilosa a muito argilosa ao longo de todo o perfil, apresentam cerosidade quando se trata da superfície de agregado, no horizonte subsuperficial, com relação textural B/A menor que 1,5. Estes solos apresentam de baixa a alta fertilidade natural, e estão presentes em diversificados ambientes, com clima também diversificado, podendo estar presentes em relevos que vão desde planos a fortemente ondulados. Tem coloração que vai de vermelho a bruno e são considerados solos bem drenados e com profundidade expressiva (SANTOS E ZARONI, 2017).

Cambissolo Húmico, localizado na rodovia BR-282 no trecho Lages – Bom Retiro referenciada como Unidade Geomorfológica Planalto de Lages, com uma área de 4.245 km<sup>2</sup>, esta unidade situa-se na parte sudoeste da região geomorfológica Planalto Centro-Oriental de Santa Catarina e tem como principal centro urbano a cidade de Lages. Limita-se a noroeste, oeste e sudoeste com a unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais, cujo contato, em alguns trechos, é feito por escarpas. Caracteriza-se por um relevo de dissecção homogênea em forma de colina, homogeneidade esta só quebrada pela presença de alguns morros testemunhos, como o morro do Tributo, com uma cota altimétrica de 1.200m, enquanto que na maior parte da unidade as cotas variam entre 850 e 900msão solos constituídos por materiais minerais, e que apresentam horizonte B incipiente. Suas características são bem variáveis quando comparadas de um lugar para outro, devido a sua heterogeneidade nos solos do Brasil (JARBAS et al, 2011). Os solos dessa classe contam com características de drenagens fortes a imperfeitas,

podendo ser rasos ou profundos, e com coloração bruno ou bruno amarelado, podendo chegar a uma coloração avermelhada, tendo como característica a baixa saturação de bases, de modo geral, nas regiões de clima úmido do Brasil (EMBRAPA, 2009).

### 3 INFLUÊNCIA DO GRAU DE COMPRESSÃO EM NITOSSOLO E CAMBISSOLO SOBRE OS CARACTERES MORFOAGRONÔMICOS, PARTE AÉREA E DA RAIZ DA CULTURA DA SOJA.

#### 3.1 RESUMO

A cultura da soja deve ser implantada em um sistema de manejo sustentável, caso contrário pode gerar problemas nos caracteres morfoagronômicos, desenvolvimento das raízes e parte aérea das plantas. Solos de texturas diferentes apresentam reação diferencial de compressão. Objetivou-se determinar a influência da compressão de dois solos de texturas distintas (nitossolo e cambissolo) sobre os caracteres morfoagronômico (parte aérea e da raiz da cultura da soja) e nas propriedades físicas destes solos. Em casa de vegetação, safra 2016/17 e 2017/18 em esquema fatorial 2x3x9 (dois solos, três níveis de compressão e em nove camadas), no delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco repetições. Os solos foram peneirados, prensados e colocados em vasos de PVC fracionado em anéis sobrepostos, com diâmetro de 150 mm e altura de (5, 10 e 20 cm) cada anel, sendo as compressões aferidas com penetrômetro de bancada. O experimento consistiu de 3 níveis de compressão sendo: Alta, média e baixa. Cultivado uma planta de soja por vaso, 7062IPRO e obtido na colheita as propriedades físicas do solo, parte aérea e raiz. Na safra 2016/17 identificou-se impacto negativo no nitossolo para os caracteres morfoagronômicos em alta compressão seguido de baixa e média compressão, e no cambissolo ocorreu em média e baixa compressão. Influência negativa de densidade do solo na camada de 0-20 cm em alta compressão do solo, de porosidade total com maior número na camada de 0-20 cm entretanto, com menor número de bioporos no nitossolo na camada 0-20 cm nas compressões alta, média e baixa, e em microporos com menor número no nitossolo na camada de 0-20 cm. Observou-se influência negativa com presença de maior resistência a penetração no nitossolo na camada de 20-30 cm e maiores compressões ocorreram em alta, média e baixa compressão. Na safra 2017/18 observou-se impacto negativo para os caracteres morfoagronômicos no nitossolo em média e baixa compressão e no cambissolo em média e alta compressão do solo. A densidade do solo influenciou negativamente no nitossolo em alta compressão e no cambissolo em baixa compressão. O número de bioporos influenciou positivamente em média e baixa compressão no nitossolo e média e alta compressão no cambissolo. No número de macroporos influenciou positivamente em média, baixa e alta compressão. Porosidade de aeração influenciou positivamente no nitossolo em média, baixa e alta compressão respectivamente e no cambissolo em média, baixa e média compressão. A alta compressão do solo aumentou a resistência a penetração em todas as camadas avaliadas independente dos solos. Em baixa compressão influenciou positivamente em todas as camadas independente do tipo de solo. A resistência a penetração influenciou negativamente nas camadas de 20-30 cm no cambissolo em média compressão. Os componentes morfoagronômicos submetidos à baixa compressão podem contribuir para maiores produtividade no nitossolo. As propriedades físicas com maior influência negativa foram densidade do solo, porosidade total, bioporo, microporos e resistência a penetração na safra 2016/17. Na safra 2017/18 influência negativa sobre densidade do solo e resistência a penetração na camada de 20-30 cm no cambissolo e positivamente, bioporos, macroporos, porosidade de aeração e resistência a penetração (baixa, média) compressão.

**Palavras-chave:** *Glycine max*. Produtividade. Resistência à penetração. Raiz. Planta.

### 3.2 ABSTRACT

The soybean culture must be implanted in a sustainable management system, otherwise it can cause problems in the morpho-agronomic characters, root development and aerial part of the plants. Different textures soils present compression differential reaction. The objective was to determine the compression influence of two soils of distinct textures (nitosol and cambisol) on the morpho-agronomic characters (aerial part and root of the soybean culture) by evaluating morpho-agronomic characters and physical properties of the soil. In a vegetation house, harvest 2016/17 and 2017/18 in a 2x3x9 factorial scheme (two soils, three compression degrees and in nine layers, in a randomized block design with five replications. The soils were sieved, pressed and placed in PVC pots fractionated in overlapping rings with a diameter 150 mm and height (5, 10 and 20 cm) each ring, conferred compressions with a bench penetrometer. The experiment consisted three compression levels being: High: consisting of the following gradients from the upper part to the lower the pots: 2.5 RSP (5 cm), 3.0 RSP (5 cm), 3.5 RSP (5 cm), 4.0 RSP (5 cm), 3.5 RSP (10 cm), 3.0 RSP (10 cm), 2.0 RSP (20 cm), 1.5 RSP (20 cm) and 1.5 RSP (20 cm); medium: 1.5 RSP (5 cm), 2.0 RSP (5 cm), 2.5 RSP (5 cm), 3.0 RSP (5 cm), 2.5 RSP (10 cm), 2.0 RSP (10 cm), 1.5 RSP (20 cm), 1.5 RSP (20 cm) and 1.5 RSP (20 cm); Low 1.0 RSP (5 cm), 1.0 RSP (5 cm), 1.5 RSP (5 cm), 2.0 RSP (5 cm), 1.5 RSP (10 cm), 1.0 RSP (10 cm), 1.0 RSP (20 cm), 1.0 RSP (20 cm) and 1.0 RSP (20 cm). It was cultivated one plant is per pot, soybean cv. 7062IPRO and obtained during harvest, the soil physical properties, aerial part and root. 2016/17 harvest was identified negative impact on nitosol for morphoagronomic characters for high compression followed by low and medium compression, and at the cambisol occurred in medium and low compression. Negative influence of SD in the 0-20 cm layer in high compression of the soil, of TP with a greater number in the 0-20 layer however, with a lower number of BIO in the nitosol in the 0-20 cm layer in the high, medium and low compressions, and in MICRO with a lower number in the nitosol in the 0-20 cm layer. A negative influence was observed with the presence of a higher RSP in the nitosol in the 20-30 cm layer and greater compressions occurring in high, medium and low compression. In the harvest 2017/18 negative impact was observed for morphoagronomic characters, nitosol in medium and low compression and cambisol in medium and high soil compression. The SD had a negative influence on nitosol for high compression and on cambisol in low compression. The BIO numbers influenced positively in medium and low compression on nitosol and medium and high compression on cambisol. The MACRO number had a positive influence in medium, low and high compression. AEPOR positively influenced the nitosol in medium, low and high compression respectively and the cambisol in medium, low and medium compression. The RSP influenced positively in all evaluated layers independently of the soils in high compression. In low compression, it had a positive influence on all layers, regardless of soil kind. The RSP influenced negatively in the layers of 20-30 cm in the cambisol in medium compression. The morphoagronomic components when submitted to low compression can contribute to greater productivity in the nitosol. The physical properties with the greatest negative influence were SD, TP, BIO, MICRO and RSP in the 2016/17 season. In the 2017/18 harvest, negative influence of SD and RSP on the 20-30 cm layer in the cambisol and positively, BIO, MACRO, AEPOR and RSP (low, medium) compression.

**Keywords:** *Glycine max*. Productivity. Resistance to penetration. Root. Plant.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas tecnologias e de técnicas de manejo do solo possibilitaram a expansão da área de cultivo da soja, nas últimas décadas no Brasil. A soja é uma *commodity* importante no sistema plantio direto, sendo utilizada como ingrediente em ração animal, produção de biodiesel, fonte de óleo comestível, entre outros.

O sistema plantio direto apresenta tendência à compactação nas camadas sub superficiais 0,05-0,17 m que pode ser evidenciada pelo aumento da densidade do solo nessa camada (VIEIRA, 1981; SILVA et al., 2000a; STONE; SILVEIRA, 2001). Segundo Reichert et al. (2007) no sistema plantio direto ou em pastagens, a compactação fica restrita a sua superfície até no máximo 20 cm, no plantio convencional essa camada compactada era rompida pelos implementos de preparo do solo, transferindo a compactação para maiores profundidades pelo tráfego e contato dos implementos com o solo subsuperficial. .

A compactação de solo existe desde o tempo em que o solo era totalmente revolvido até os dias de hoje, onde se busca manejo adequado para a execução das atividades agrícolas. A diferença da compressão causada por revolvimento e manejo está na intensidade e profundidade. No manejo em sistema convencional a compressão superficial é fácil de ser rompida; no entanto, com maior dificuldade para a profundidade sub superficial. Em manejo como o sistema plantio direto ocorre mais compressão superficial, esse problema se agrava pelo não revolvimento do solo, pela textura argilosa, tráfego de máquinas, presença de animais e atividades com máquinas e implementos com solo úmido. A compressibilidade é influenciada pelas tensões de água, textura distinta do solo e o sistema de uso ou manejo do solo que resultam em deformações deste solo, evidenciando a necessidade de um controle rigoroso da umidade do solo na tomada de decisão da entrada de máquinas e implementos em áreas agrícolas.

Alterações estruturais ocorrem no perfil do solo com reorganização das partículas dos agregados, redução da macroporosidade e da porosidade total e um aumento da densidade do solo, podendo interferir na disponibilidade de nutrientes e água decorrente do reduzido volume de raiz explorado, alterando assim o funcionamento bioquímico e restringindo o crescimento aéreo e consequentemente produtividade das plantas.

Este capítulo foi conduzido com base nas seguintes hipóteses: as maiores resistências (RP) no final do ciclo da cultura da soja ocorrem no nitossolo quando comparado ao cambissolo, devido as suas propriedades físicas; os maiores valores dos componentes do rendimento da cultura da soja encontram em baixa compressão por proporcional melhor desenvolvimento das

raízes de soja, acarretando em maior volume de raiz para absorver água e nutrientes; a compressão acarreta em redução da altura de planta, número de vagens e peso de grãos produzidos por planta de soja.

Com base nessas hipóteses, foi conduzido um experimento por duas safras 2016/2017 e 2017/2018, tendo como o objetivo, avaliar em casa de vegetação impactos da compressão artificial (alto, médio e baixo) no nitossolo e no cambissolo, sobre os componentes morfoagronômicos da cultura da soja e verificar a influência negativa desta compressão nos atributos físicos do solo ao final do cultivo.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Lages, SC (27°49' de latitude sul, 50°20' longitude oeste e 937 m de altitude) em condições de casa de vegetação com temperatura de  $25 \pm 5$  °C e umidade relativa de  $60 \pm 15\%$  monitorada por aparelho portátil termo-higrômetro digital (Tenmars, 305U) no Centro de Ciências Agroveterinárias, na Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC no período de Outubro a Março referente à safra 2016/2017 e 2017/2018. Foram utilizados dois solos de texturas distintas, um nitossolo (Oeste Catarinense) do município de Ponte Serrada – SC, oriundo de lavoura comercial, cultivada por mais de seis safras consecutivas com cultura da soja sob sistema de plantio direto no verão e no inverno semeadura com aveia e azevém e posterior pastejo por bovinos e o cambissolo (Planalto Serrano) do município de Lages-SC oriundo de área de implantação de experimentos de verão e inverno sob sistema plantio direto por quatro safras consecutivas (experimentos conduzidos pelo Laboratório de Plantas de Lavoura – UDESC). Os solos foram coletados na camada de 0-20 cm, para posterior reconstituição artificial e diferencial dos perfis de 100 cm de profundidade.

Os solos foram previamente peneirados e gradativamente submetidos aos distintos níveis de compressão artificial camada a camada. O perfil do solo foi reconstituído utilizando vasos de PVC de 150 mm de diâmetro, fracionado em anéis sobrepostos, simulando as camadas de solo. Cada solo submetido a três regimes de compressão: alta, média e baixa. O experimento teve 5 repetições. O regime de compressão foi reconstituído nas camadas 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm de profundidade, sendo a compressão:

| Compressão | Resistência do solo à penetração (RP -MPa) | Média de RP |
|------------|--------------------------------------------|-------------|
| Alta       | 2,5-3,0-3,5-4,0-3,5-3,0-2,0-1,5            | 3,25        |
| Média      | 1,5-2,0-2,5-3,0-2,5-2,0-1,5-1,5            | 2,25        |

|       |                                  |      |
|-------|----------------------------------|------|
| Baixa | 1,0-1,0-1,5-2,0-1,5--1,0-1,0-1,0 | 1,37 |
|-------|----------------------------------|------|

A percentagem de água no solo foi adicionada até o solo alcançar a friabilidade do solo através do teste de mão. As camadas comprimidas para serem reconstituídas foram aferidas com auxílio de penetrômetro de bancada e a compressão realizada com prensa manual.

Em cada vaso foram cultivadas três plantas de soja, cultivar TMG 7062 IPRO com peso de cem sementes 18,5 g. A época de semeadura indicada para Santa Catarina é de outubro a dezembro e a época preferencial é de 21 de outubro a 21 de novembro, o ciclo desta cultivar é 125 a 132 dias; sendo a população indicada, para cultivos em solo de alta fertilidade, de 200 a 222 mil planta ha<sup>-1</sup>, 200 a 267 mil planta ha<sup>-1</sup> no cultivo em solo de média fertilidade e, adotar o espaçamento entrelinha de 45 cm.

Quando as plantas apresentaram três trifólios expandidos realizou-se o desbaste deixando apenas uma planta efetiva por vaso, as doenças e insetos foram monitorado, tendo necessidade de aplicar fungicida trifloxistrobin + protioconazol (Fox) na dose de 400 ml ha<sup>-1</sup>, seguido por ciproconazol + picoxistrobina (Approach Prima) na dose de 300 ml ha<sup>-1</sup> a cada 21 dias para controle de oídio. O final do ciclo da cultura foi considerado com a presença de três vagens senescentes na haste principal da planta, momento em que se interrompeu o fornecimento de água por três semanas. Após este período realizou-se a colheita e demais avaliações (componentes morfo-agronômicos de parte aérea e de raiz das plantas, além das análises físicas do solo).

### 3.4.1 Características avaliadas

Os componentes do rendimento e análise dos caracteres morfo-agronômicos foram avaliados da seguinte maneira:

**Altura de planta (AP):** a AP foi avaliada desde o nó cotiledonar até o ápice da haste principal de cada planta expressando o resultado, em cm, com auxílio de uma trena graduada em mm, avaliada nas cinco repetições, ou seja, nas cinco plantas.

**Diâmetro da haste principal da planta (DHP):** o DHP foi avaliado pela medida do respectivo diâmetro do entrenó situado entre o nó cotiledonar e o nó das folhas simples, na haste principal, de todas as plantas, expressando o resultado em mm. Esta avaliação foi realizada com auxílio de um paquímetro digital, nas cinco repetições.

**Número de ramos por planta (NRP):** o NRP foi obtido pela contagem direta do número de ramos inseridos na haste principal de cada planta, considerando apenas ramos

produtivos com pelo menos uma vagem, contendo pelo menos uma semente de cada planta amostrada, das cinco repetições.

**Número de nós na haste principal (NNH):** o NNH foi avaliado pela contagem de todos os nós da haste principal de cada planta, nas cinco repetições.

**Número de vagens por planta (NVP):** o NVP foi obtido após contagem de todas as vagens de cada planta, avaliado nas cinco repetições.

**Número de grãos por planta (NGP):** o NGP foi obtido após abertura de todas as vagens, foi realizado a contagem de todos os grãos presentes nas plantas manualmente, avaliadas nas cinco repetições.

**Massa de cem grãos (MCG):** a MCG foi quantificada pela contagem manual e pesagem destas. Fez-se isso nas cinco repetições.

**Massa seca de planta (MSP):** a MSP foi obtida pela coleta das plantas e a secagem das mesmas em estufa a 60 °C até peso constante, nas 5 repetições de cada tratamento.

**Volume e massa seca de raiz (VR) e (MSR):** o VR e a MSR foram obtidos a partir de raízes, coletadas, as quais foram lavadas e separadas para cada nível de compressão com o auxílio de uma peneira e mantidas em água por 24 h, após isso foi removido o excesso de água, colocadas entre folhas de papel toalha, posterior imersas dentro da proveta para quantificar o volume de raiz. Cada proveta com capacidade para 1000 ml previamente continha 700 ml de água, sendo este volume determinado pelo deslocamento do volume de água. Retiraram-se as raízes úmidas e colocou para secar em estufa 60 °C por 48 h e em seguida procedeu-se a pesagem em balança analítica com precisão de 0,001 g.

Para determinar as propriedades físicas do solo (macroporosidade, microporosidade e porosidade total foram utilizados anéis volumétricos, estes foram coletados em cada camada do perfil do solo. As amostras indeformadas de cada anel volumétrico foram preparadas com tule e borracha pesadas, saturação com água por dois dias, e submetidas à mesa de tensão (10, 60 e 100 mca - metros de coluna de água). Após cada tensão foi realizada a pesagem e finalmente as amostras foram secas em estufa a 60 °C por 72 h) para determinar, com auxílio de fórmulas, a

**Densidade do solo (DS):** peso solo seco/volume do anel.

**Porosidade total (PT):** solo saturado-solo seco/volume do anel

**Bioporos (BIO):** solo saturado-10 cm de coluna de água /volume do anel.

**Microporos (MICRO):** 60 cm de coluna de água –solo seco/volume do anel.

**Macroporos (MACRO):** a porosidade total-microporos.

**Porosidade de aeração (PORAe):** a porosidade total –umidade volumétrica.

**Resistência à penetração do solo (RP):** realizada no final ciclo da soja (colheita) foi utilizando um penetrômetro de bolso, perfazendo cinco leituras (repetições) por camada do perfil do solo amostrado.

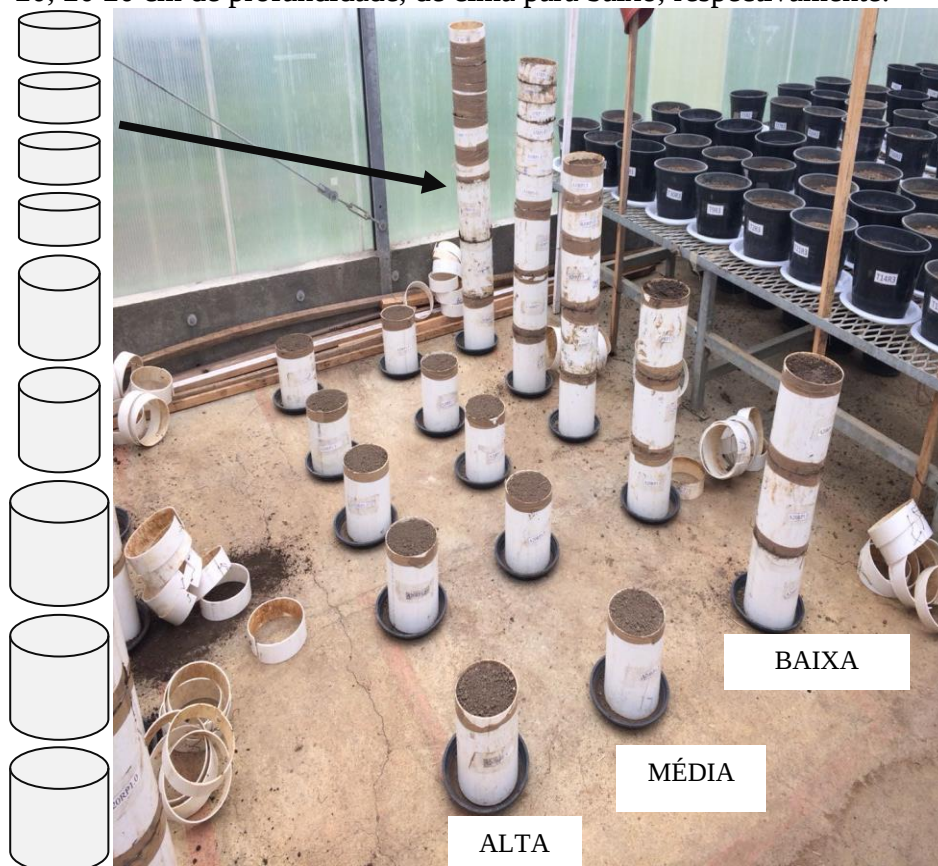
A figura 2 mostra a maneira como foram coletados os dados de compressão do solo no final do ciclo da cultura da soja com penetrômetro de bolso (Figura 2a e 2b) mostra os anéis volumétricos dispostos em ordem para serem coletadas as amostras de solo e raiz, em cada camada do perfil.

**Resistência a penetração do solo (RP):** realizada no momento da semeadura e a cada 30 DAS, 60DAS, 90DAS e 120DAS, utilizando um penetrômetro, perfazendo duas leituras (repetições), com leitura de um em cm.

### 3.4.2 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e quando alcançada significância mínima de 5%, as médias foi contrastadas pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ). Os mesmos dados foram submetidos à correlação de Pearson a 5% (teste de t;  $P < 0,05$ ) de probabilidade de erro, entre dois solos e três níveis de compressão. Para estas análises foi adotado o programa estatístico R® (R-CORE TEAM, 2017).

Figura 1 – Ilustração do processo de montagem e reconstituição dos perfis artificiais dos solos na compactação alta, média e baixa e na profundidade até 100 cm (5, 5, 5, 5, 10, 10, 20, 20 20 cm de profundidade, de cima para baixo, respectivamente).



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Figura 2 – a) Ilustração da leitura da compressão com penetrômetro e da disposição dos vasos em casa de vegetação. b) Exemplo de utensílios utilizados para coleta de dados (lápiz, planilha, anéis dos vasos por camada, anéis volumétricos e raízes coletadas).



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

### 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1, na safra 2016/2017, observou-se interação solo x compressão para diâmetro da haste principal e número de vagens por planta e efeito simples de tipo de solo para peso de grãos por planta, na safra 2017/2018 indicou diferença significativa para efeito de compressão em altura de plantas, número de ramos por planta e efeito simples de tipo de solo para massa seca de plantas

A análise de variância indicou efeito simples de tipo de solo para peso de grãos por planta e número de vagens por planta, desta forma observa-se na figura 3 que o teste de separação de média para os componentes morfoagronômicos, peso de grãos por planta e número de vagens por planta, da cultura da soja, na safra 2016/2017 indicou diferença significativa para tipo do solo com maior peso de grãos por planta no cambissolo (33,1g ) (Figura 3a) comparado com o nitossolo (23,17g). Comportamento semelhante para o número de vagens por planta (NVP) no cambissolo (59,6) comparado com o nitossolo (52,8) (Figura 3b).

Tabela 1 - Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) referente aos componentes morfoagronômicos da cultura da soja cultivada em dois solos e três níveis de compressão obtidos em duas safras (2016/2017 e 2017/2018) em casa de vegetação.

| Safr 2016/2017     |    |            |             |             |             |             |             |            |            |
|--------------------|----|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Fontes de variação | GL | AP<br>(cm) | DHP<br>(mm) | NNH<br>(n°) | NRP<br>(n°) | NVP<br>(n°) | NGP<br>(n°) | PGP<br>(g) | MSP<br>(g) |
| Bloco              | 4  | 5,33       | 0,55        | 0,71        | 0,55        | 17,36       | 333,97      | 25,17      | 0,76       |
| Solo (S)           | 1  | 4,80       | 0,77        | 0,30        | 0,03        | 313,63*     | 1267,50     | 182,385*   | 0,27       |
| Comp ( C )         | 2  | 5,23       | 1,49        | 2,10        | 0,23        | 180,13*     | 792,13      | 38,74      | 2,02       |
| Solo x Comp        | 2  | 34,30      | 2,60*       | 3,70        | 3,23        | 115,73      | 640,00      | 27,86      | 0,40       |
| Resíduo ( a )      | 4  | 18,13      | 0,66        | 3,55        | 0,61        | 21,46       | 340,17      | 20,96      | 1,83       |
| Resíduo (b)        | 16 | 10,93      | 0,57        | 1,60        | 1,48        | 39,89       | 257,82      | 39,79      | 2,13       |
| CV % (a)           |    | 7,8        | 8,6         | 13,6        | 10,9        | 8,3         | 14,1        | 14,9       | 14,7       |
| CV % (b)           |    | 6,1        | 8,1         | 9,1         | 16,8        | 11,3        | 12,2        | 20,6       | 15,8       |
| Média              |    | 54,53      | 9,43        | 13,9        | 7,23        | 56,03       | 131,23      | 30,63      | 9,23       |

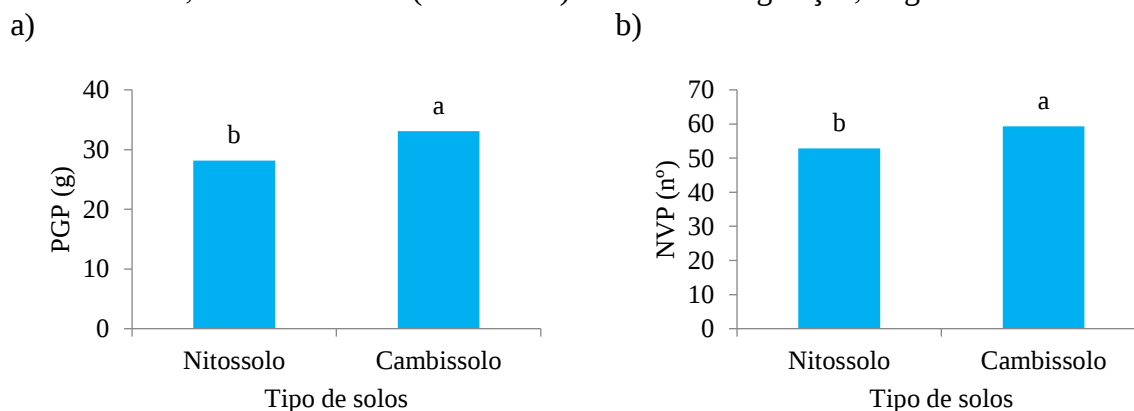
  

| Safr 2017/2018     |    |            |             |             |             |             |             |            |            |
|--------------------|----|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Fontes de variação | GL | AP<br>(cm) | DHP<br>(mm) | NNH<br>(n°) | NRP<br>(n°) | NVP<br>(n°) | NGP<br>(n°) | PGP<br>(g) | MSP<br>(g) |
| Bloco              | 4  | 21,85      | 1,40        | 9,03        | 0,53        | 18,88       | 157,12      | 16,83      | 11,01      |
| Solo (S)           | 1  | 48,00      | 2,97        | 0,30        | 4,03        | 192,53      | 952,03      | 15,52      | 83,70*     |
| Comp ( C )         | 2  | 106,67*    | 0,30        | 16,93       | 5,23*       | 23,43       | 131,70      | 34,72      | 6,93       |
| Solo x Comp        | 2  | 21,39      | 1,03        | 19,60       | 1,03        | 75,43       | 456,63      | 47,51      | 11,41      |
| Resíduo ( a )      | 4  | 17,06      | 1,13        | 9,96        | 3,70        | 31,28       | 492,28      | 8,59       | 2,83       |
| Resíduo (b)        | 16 | 20,44      | 2,44        | 9,85        | 1,21        | 54,05       | 456,63      | 15,56      | 12,42      |
| CV % (a)           |    | 7,6        | 12,22       | 22,5        | 29          | 13,6        | 23,5        | 18         | 9,7        |
| CV % (b)           |    | 8,3        | 17,9        | 22,4        | 16,6        | 17,8        | 15,3        | 24,2       | 20,4       |
| Média              |    | 54,34      | 8,74        | 14,03       | 6,63        | 41,26       | 94,3        | 16,31      | 17,29      |

<sup>/1</sup> Abreviaturas: AP=altura de planta, DHP= diâmetro da haste principal, NNH= número de nós na haste, NRP=número de ramos por planta, NVP=número de vagens por planta, NGP=número de grãos por planta, PGP=peso de grãos por planta, MSP=massa seca por planta, \* significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Figura 3 – a)Peso de grãos por planta b) número de vagens por planta, em função do tipo do solo, obtidos na safra (2016/2017) em casa de vegetação, Lages SC.

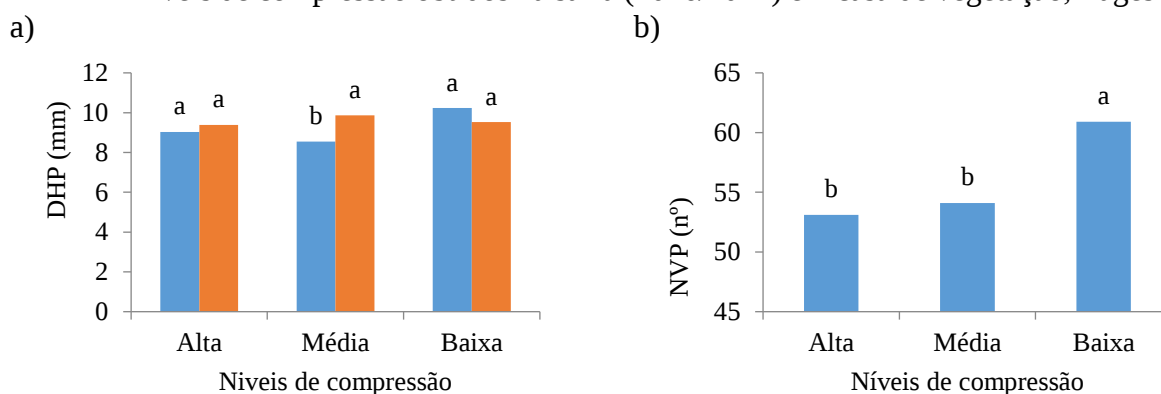


<sup>/1</sup> Abreviaturas: PGP=peso de grãos por planta e NVP= número de vagens por planta.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Em relação aos níveis de compressão, observou-se efeito significativo de compressão com maior diâmetro da haste principal as plantas de soja oriundas de cultivo em solo com média compressão, neste caso em cambissolo (Planalto) (Figura 4a) e incremento no número de vagens por planta nas plantas cultivadas em baixa compressão, de maneira independente do tipo de solo (Figura 4b).

Figura 4 – a) Diâmetro da haste principal b) Número de vagens por planta, em função dos níveis de compressão obtidos na safra (2016/2017) em casa de vegetação, Lages SC.

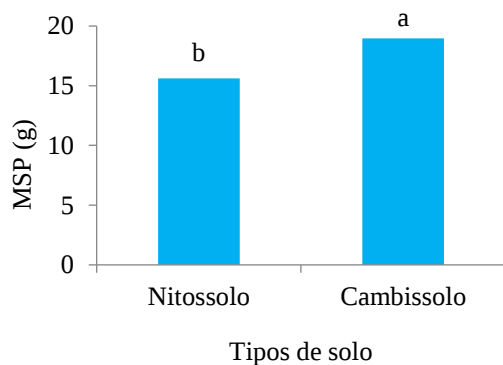


<sup>/1</sup> Abreviaturas: DHP= diâmetro da haste principal, NVP= número de vagens por planta.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Na safra 2017/2018 ocorre diferença significativa para tipo de solo, com acréscimo em 21,4% em massa seca de plantas de soja no cambissolo em relação às plantas cultivadas no nitossolo (Figura 5a). Na primeira safra e nesta safra não se observou efeito de nível de compressão sobre a MSP (Tabela 1).

Figura 5 – Massa seca por planta de soja (MSP) em função do cultivo em diferentes tipos de solo em condições de casa de vegetação, Lages SC. Safra 2017/2018.

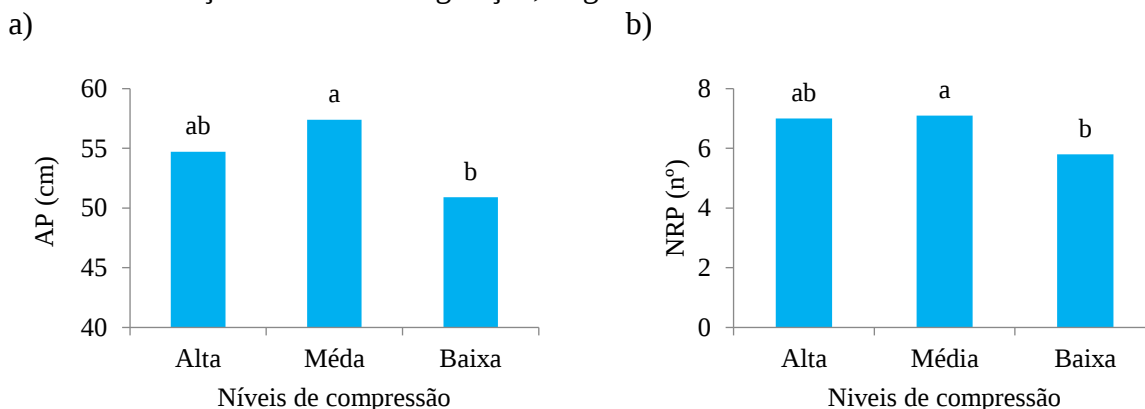


<sup>/1</sup> Abreviaturas: MSP=massa seca por planta.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Em relação aos níveis de compressão, observou-se efeito significativo de compressão com maior altura de planta e número de ramos por planta (Figura 6a) oriundas do cultivo em solo com média compressão e peso de grãos oriundos de cultivo em solo com alta e média compressão (Figura 6b).

Figura 6 – a) Altura de planta b) Número de ramos, em função dos níveis de compressão em condições de casa de vegetação, Lages SC. Safra 2017/2018.



<sup>/1</sup> Abreviaturas: AP= altura de planta, NRP=número de ramos por planta.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Na tabela 2, na safra 2016/2017, observou-se efeito simples de compressão e camada para densidade do solo, efeito simples de camada, para porosidade total. Observou-se efeito simples de solo, compressão, camada e interação solo x compressão e camada x solo para bioporos . Observou-se efeito simples de camada e interação camada x solo para microporos. Observou-se efeito simples de camada e interação camada x solo para macroporos. Observou-se apenas efeito simples de camada para porosidade de aeração. Observou-se efeito simples de compressão, camada, interação camada x solo e camada x compressão para resistência a penetração. Observou-se efeito simples de compressão, camada e interação camada x solo e camada x compressão para volume de raiz. Observou-se efeito simples de solo, compressão, camada e interação camada x compressão para massa seca de raiz.

Observou-se na tabela 2, safra 2017/2018 efeito simples de compressão, camada e interação solo x compressão para densidade do solo. Observou-se efeito simples de solo, compressão e interação solo x compressão para bioporos . Observou-se efeito apenas simples de compressão para macroporos . Observou-se efeito simples de compressão e interação solo x compressão para porosidade de aeração. Observou-se efeito simples de compressão, camada e interação solo x compressão, camada x solo e camada x compressão para resistência a penetração. Observou-se efeito simples de tipo de solo, compressão, camada e interação solo

x compressão, camada x solo e camada x compressão para volume de raiz. Observou-se efeito simples de camada, interação camada x solo, camada x compressão e camada x solo x compressão para massa seca de raiz.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância, referente a propriedades físicas dos solos, VR e MSR de soja cultivadas em dois solos sob três níveis de compressão obtidos em nove camadas de avaliação em casa de vegetação, Lages SC. Safra 2016/2017.

| FV <sup>1</sup> | GL  | Safra 2016/2017             |                                         |                                          |                                            |                                            |                                         |             |           |            |
|-----------------|-----|-----------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|-----------|------------|
|                 |     | DS<br>(Mg m <sup>-3</sup> ) | PT<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | BIO<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | MICRO<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | MACRO<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | PA<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | RP<br>(MPa) | VR<br>(g) | MSR<br>(g) |
| Bloco           |     | 0,006                       | 0,001                                   | 0,019                                    | 0,004                                      | 0,003                                      | 0,002                                   | 0,014       | 0,90      | 0,02       |
| Solo (S)        | 1   | 0,015                       | <0,001                                  | 1,320*                                   | 0,006                                      | <0,001                                     | 0,006                                   | 0,14        | 0,28      | 0,11*      |
| Comp (C)        | 2   | 0,026*                      | 0,002                                   | 0,250*                                   | <0,001                                     | 0,002                                      | 0,003                                   | 2,62*       | 3,39*     | 0,17*      |
| Camada (CA)     | 8   | 0,172*                      | 0,103*                                  | 0,002*                                   | 0,033*                                     | 0,033*                                     | 0,076*                                  | 0,70*       | 2,89*     | 0,86*      |
| S x C           | 2   | <0,001                      | <0,001                                  | 0,260*                                   | 0,001                                      | <0,001                                     | 0,002                                   | 0,04        | 0,73      | 0,03       |
| CA x S          | 8   | 0,002                       | <0,001                                  | 0,006*                                   | 0,002*                                     | 0,001*                                     | <0,001                                  | 0,021*      | 0,29*     | 0,005      |
| CA x C          | 16  | 0,004                       | <0,001                                  | <0,001                                   | <0,001                                     | <0,001                                     | <0,001                                  | 0,06*       | 0,25*     | 0,021*     |
| CA x S x C      | 16  | 0,002                       | <0,001                                  | <0,001                                   | <0,001                                     | <0,001                                     | <0,001                                  | 0,011       | 0,12      | 0,016      |
| Resíduo (a)     | 4   | 0,011                       | 0,002                                   | 0,020                                    | 0,002                                      | 0,002                                      | 0,009                                   | 0,02        | 0,40      | 0,013      |
| Resíduo (b)     | 16  | 0,002                       | 0,002                                   | 0,038                                    | <0,001                                     | <0,001                                     | 0,003                                   | 0,02        | 0,65      | 0,020      |
| Resíduo ( )     | 191 | 0,003                       | <0,001                                  | <0,001                                   | <0,001                                     | <0,001                                     | 0,002                                   | 0,008       | 0,14      | 0,011      |
| CV % (a)        |     | 7,7                         | 3,7                                     | 12,9                                     | 4,5                                        | 4,2                                        | 8,2                                     | 10,8        | 27,5      | 9,3        |
| CV % (b)        |     | 3,8                         | 4                                       | 17,6                                     | 3,7                                        | 2,5                                        | 4,8                                     | 10          | 34,8      | 11,4       |
| CV % (c)        |     | 4                           | 2,7                                     | 2,9                                      | 2,6                                        | 1,8                                        | 3                                       | 5,7         | 16,1      | 8,7        |
| Média           |     | 0,93                        | 0,57                                    | 0,24                                     | 0,33                                       | 0,23                                       | 0,37                                    | 1,63        | 4,70      | 0,57       |

| FV          | GL  | Safra 2017/2018             |                                         |                                          |                                            |                                            |                                         |             |           |            |
|-------------|-----|-----------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------|-----------|------------|
|             |     | DS<br>(Mg m <sup>-3</sup> ) | PT<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | BIO<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | MICRO<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | MACRO<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | PA<br>(m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> ) | RP<br>(MPa) | VR<br>(g) | MSR<br>(g) |
| Bloco       | 4   | 0,006                       | 0,008                                   | 0,004                                    | 0,012                                      | <0,001                                     | 0,003                                   | 0,004       | 0,21      | 0,028      |
| Solo (S)    | 1   | 0,005                       | 0,004                                   | 0,013*                                   | <0,001                                     | <0,001                                     | 0,004                                   | 0,99*       | 1,05*     | 0,032      |
| Comp (C)    | 2   | 0,180*                      | 0,007                                   | 0,034*                                   | 0,026                                      | 0,023*                                     | 0,040*                                  | 1,04*       | 0,17      | 0,06       |
| Camada (CA) | 8   | 0,320*                      | 0,003                                   | <0,001                                   | 0,003                                      | 0,005                                      | 0,003                                   | 0,39*       | 6,97*     | 2,39*      |
| S x C       | 2   | 0,550*                      | 0,015                                   | 0,041*                                   | 0,033                                      | 0,017                                      | 0,034*                                  | 0,96*       | 4,00*     | 0,035      |
| CA x S      | 8   | 0,003                       | <0,001                                  | <0,001                                   | 0,005                                      | <0,001                                     | 0,002                                   | 0,03*       | 1,04*     | 0,091*     |
| CA x C      | 16  | 0,002                       | 0,002                                   | <0,001                                   | 0,006                                      | 0,002                                      | <0,001                                  | 0,018*      | 0,88*     | 0,049*     |
| CA x S x C  | 16  | 0,006                       | <0,001                                  | <0,001                                   | 0,004                                      | 0,004                                      | 0,002                                   | 0,016       | 1,01*     | 0,049*     |
| Resíduo (a) | 4   | 0,003                       | 0,002                                   | <0,001                                   | 0,002                                      | <0,001                                     | 0,002                                   | 0,003       | 0,14      | 0,020      |
| Resíduo (b) | 16  | 0,033                       | 0,006                                   | 0,003                                    | 0,010                                      | 0,005                                      | 0,005                                   | 0,005       | 0,52      | 0,027      |
| Resíduo (c) | 191 | 0,004                       | 0,002                                   | <0,001                                   | 0,004                                      | 0,002                                      | 0,003                                   | 0,003       | 0,41      | 0,029      |
| CV % (a)    |     | 4,1                         | 3,5                                     | 3,8                                      | 4,4                                        | 0,8                                        | 4,6                                     | 4           | 15,6      | 6,8        |
| CV % (b)    |     | 13,5                        | 6,4                                     | 5,3                                      | 9,2                                        | 6,9                                        | 6,2                                     | 5           | 29,7      | 7,9        |
| CV % (c)    |     | 5,2                         | 3,7                                     | 3,1                                      | 5,5                                        | 4,8                                        | 5,2                                     | 3,7         | 26,5      | 8,2        |
| Média       |     | 0,88                        | 0,73                                    | 0,14                                     | 0,48                                       | 0,26                                       | 0,33                                    | 1,34        | 5,67      | 3,57       |

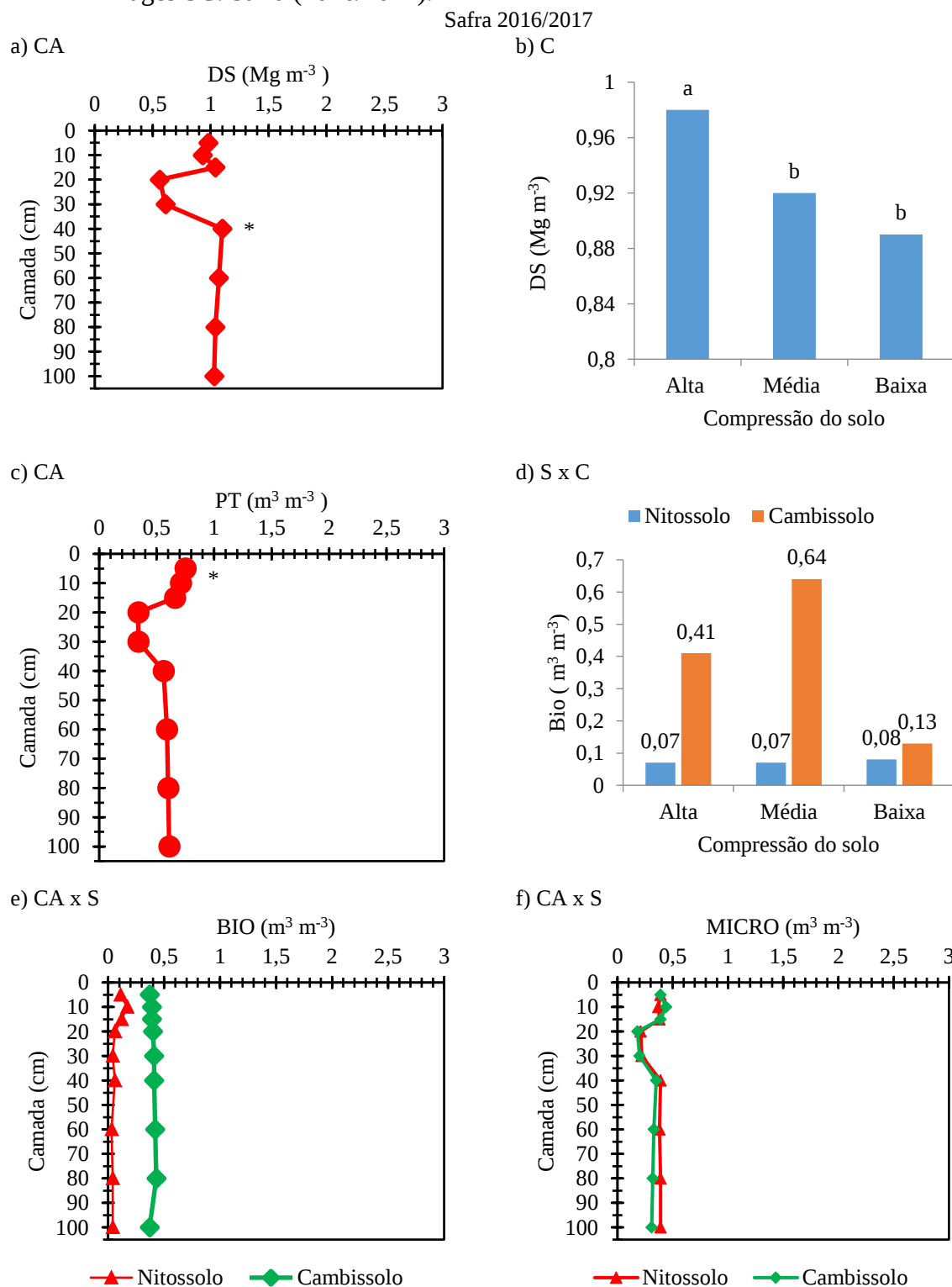
<sup>1</sup> Abreviaturas: FV=Fontes de variação, GL=Graus de liberdade, DS=densidade do solo, PT=porosidade total, BIO=bioporos, MICRO=microporos, MACRO=macroporos, PA=porosidade de aeração, RP=resistência a penetração, VR=volume de raiz, MSR=massa seca de raiz, \* significativo a pelo menos 5% de probabilidade, ¥ dados transformados.

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

A análise de variância das propriedades físicas do solo e componentes morfoagronômicos da soja, na safra 2016/2017 (Figura 7), indicou diferença significativa para camada, com maiores densidades de solo, na profundidade de 0-20 cm e após a profundidade de 40 cm (Figura 7a) e diferença significativa em níveis de compressão com maiores densidades do solo expressa em alta compressão (Figura 7b). Também teve diferença significativa em camada, com maior porosidade total na camada de 0-5 cm (Figura 7c) e diferença significativa no desdobramento da interação solo x compressão com presença de maior número de microporos em média compressão (Figura 7 d) e no desdobramento da

interação camada x solo com diferença significativa no número de bioporos na camada de 0-20 cm no Cambissolo (Figura 7e). Observou-se diferença significativa no desdobramento da interação camada x solo com maior número de microporos na camada de 0-10 cm no cambissolo. Entretanto com comportamento semelhante de microporos entre nitossolo e cambissolo na camada 10-100 cm (Figura 7f).

Figura 7 – a) CA, Densidade do solo (DS), b) C, Porosidade total (PT), c) CA, Bioporos (BIO), d) S x C e e), CA, Microporos (MICRO), f) CA x S) em função profundidade do perfil de dois solos e três níveis de compressão destes solos, obtidos em casa de vegetação, Lages SC. Safra (2016/2017).



<sup>1</sup> Abreviaturas: DS=densidade do solo, PT=porosidade total, BIO=bioporos, MICRO=microporos, RP=resistência a penetração, VR=volume de raiz, MSR=massa seca de raiz, \* significativo a 5% de probabilidade, ‡ dados transformados.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

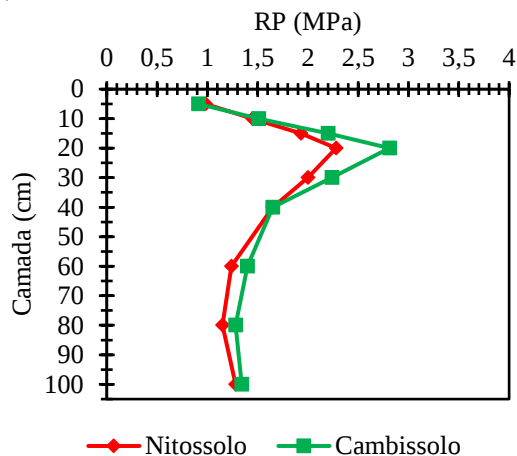
Desdobrando a interação camada x solo, observa-se diferença significativa na resistência a penetração no cambissolo, na camada de 20-40 cm e também na camada de 60-100 cm (Figura 8a). Desdobrando a interação camada x compressão observa-se diferença significativa com acréscimo de resistência à penetração na camada de 0-20 cm e decréscimo na camada de 20-100 cm em alta compressão (Figura 8 b). Já no desdobramento da interação camada x solo, observa-se diferença significativa com acréscimo no volume de raiz na camada 0-5 cm no nitossolo e posterior decréscimo na camada de 5-100 cm no cambissolo (Figura 7 c). No desdobramento da interação camada x compressão, observa-se diferença significativa em volume de raiz com acréscimo na camada 0-10 cm, em alta, média e baixa compressão e posterior decréscimo no volume de raiz nas demais camadas (Figura 8 d). No desdobramento da interação camada x compressão, observa-se acréscimo da massa seca de raiz na camada de 0-40 cm em baixa compressão, seguida de média e alta compressão, respectivamente (Figura 8e).

Observou-se na safra 2017/2018 (Figura 8) que as propriedades físicas do solo após o cultivo de plantas de soja em relação ao tipo de solo, compressão e camada, indicaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Desdobrando a interação solo x compressão, observa-se acréscimo de densidades do solo no nitossolo no nível de alta compressão e, no cambissolo submetido à baixa compressão (Figura 9 a). Também, desdobrando interação solo x compressão, observa-se maior número de bioporos no nitossolo em nível de média compressão (Figura 9 b). Observa-se maior número de macroporo em média compressão (Figura 9c). A maior porosidade de aeração é observada em média compressão no nitossolo (Figura 9 d).

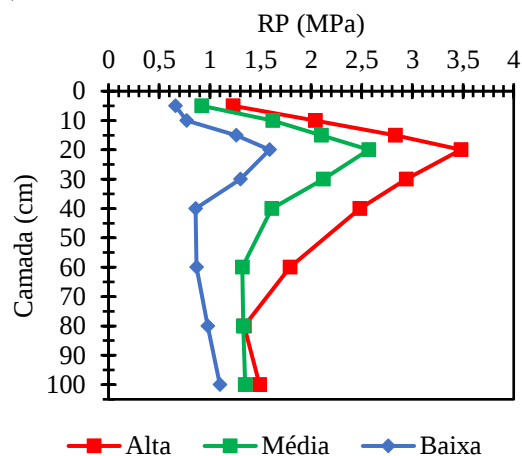
Desdobrando a interação camada x solo x compressão para resistência do solo a penetração, observa-se acréscimo de resistência a penetração em alta compressão no cambissolo na camada 0-5 cm e posterior decréscimo, quando comparado com o nitossolo visualiza-se efeito inverso (Figura 10 a), pois, em média compressão ocorreu acréscimo da resistência a penetração na camada de 0-20 cm e posterior decréscimo na camada de 20-100 cm (Figura 10 b) e em baixa compressão ocorre acréscimo na camada de 0-20 cm e posterior decréscimo na camada de 20-100 cm para ambos os solos (Figura 10 c).

Figura 8 – a) CA x S, Resistência do solo à penetração (RP), b) CA x C Resistência do solo à penetração (RP), c) CA x S, Volume de raiz (VR), d) CA x C, Volume de raiz (VR) e) CA x C, Massa seca de raiz (MSR) de soja em função da profundidade do perfil de dois solos e em três níveis de compressão do solo, Lages SC. Safra 2016/2017.

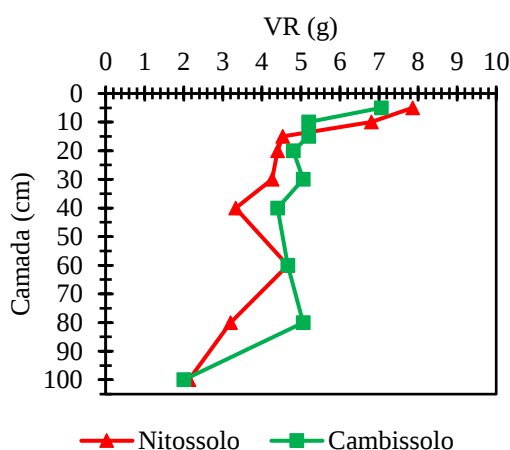
a) CA x S



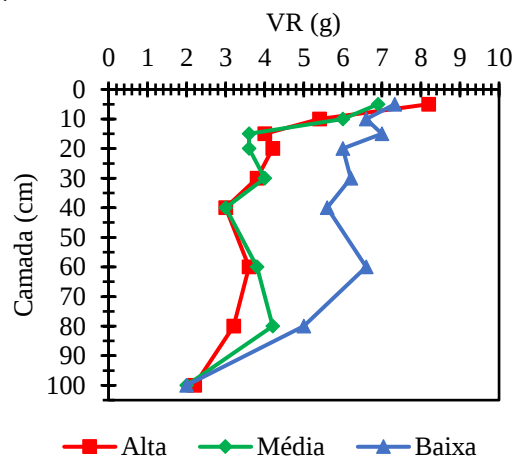
b) CA x C



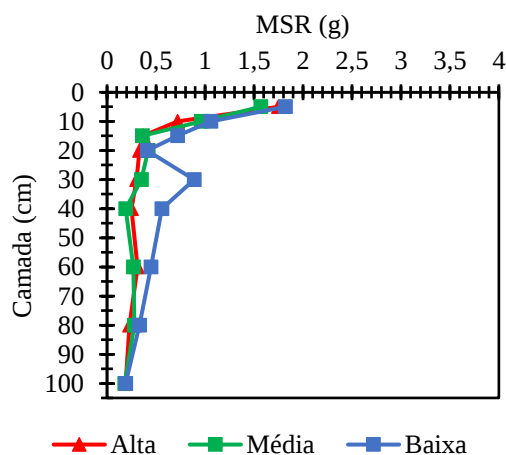
c) CA x S



d) CA x C

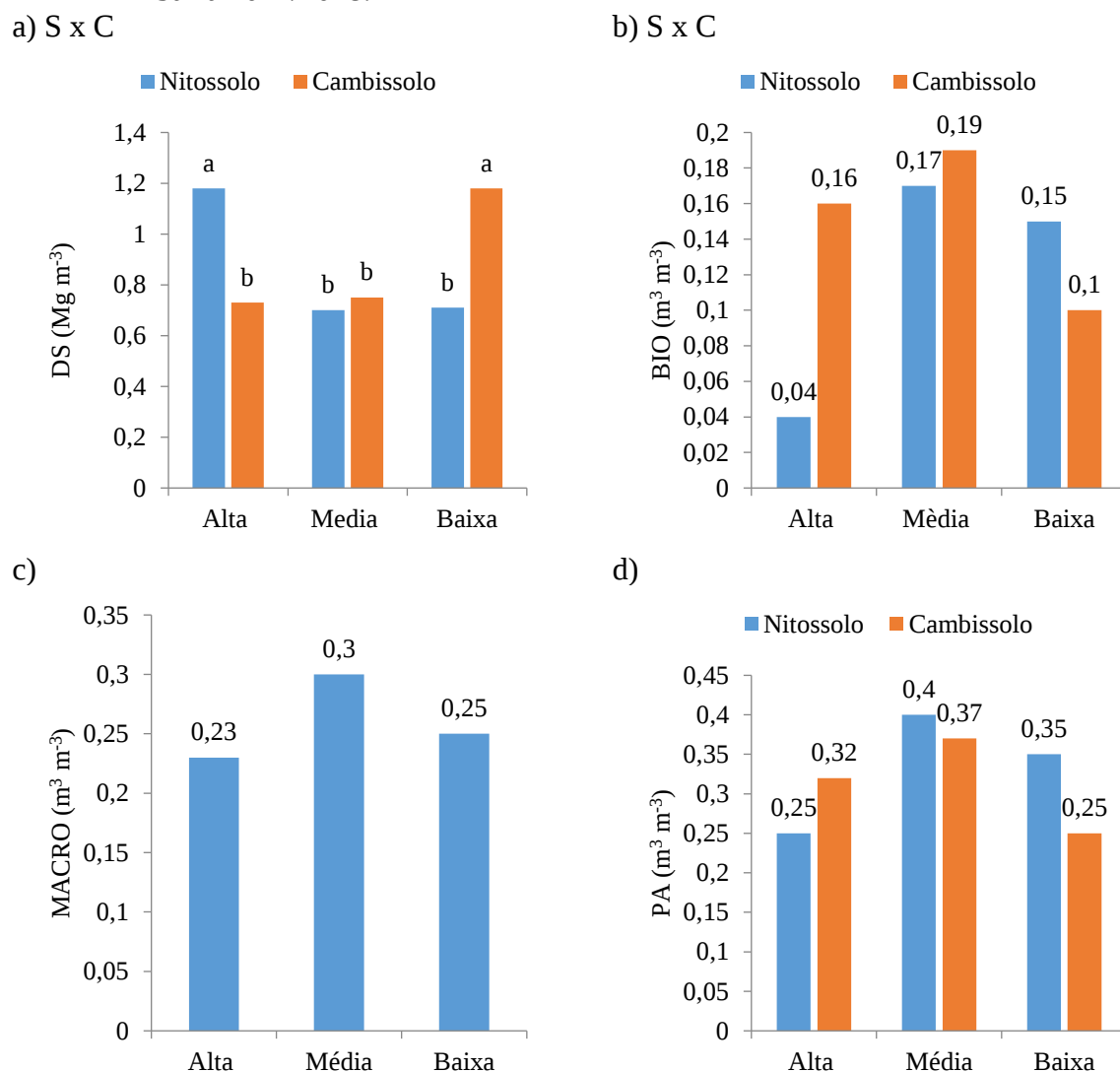


e) CA x C



<sup>1</sup> Abreviações: DS=densidade do solo, PT=porosidade total, BIO=bioporos, MICRO=microporos, RP=resistência a penetração, VR=volume de raiz, MSR=massa seca de raiz, \* significativo a 5% de probabilidade. Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Figura 9 – a) S X C, Densidade do solo (DS), b) S x C, Bioporos (BIO), c) S X C, Macroporos (MACRO) e d) S x C, Porosidade de aeração (PA) em função de dois tipos de solos submetidos a três níveis de compressão artificial, em casa de vegetação, Lages SC. Safra 2017/2018.

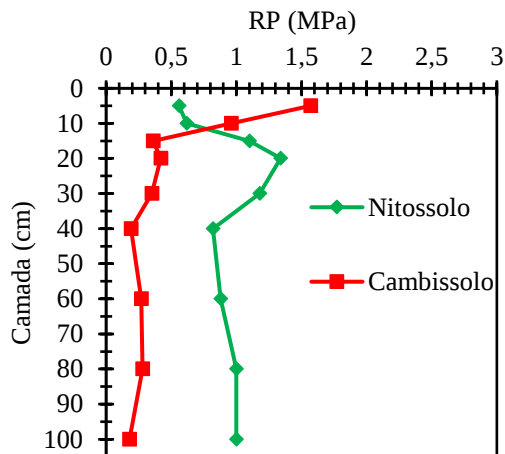


<sup>1</sup> Abreviaturas: DS=densidade do solo, BIO= bioporos, MACRO=macroporos, PA=porosidade de aeração.  
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

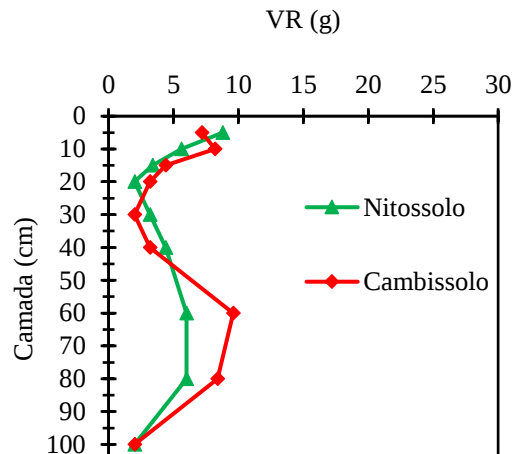
Desdobrando a interação camada x solo x compressão para volume de raiz, observa-se na camada de 10-20 cm no cambissolo em alta compressão acréscimo no volume de raiz (Figura 10 d). Na camada de 20-80 cm no nitossolo em média compressão artificial também se observa maior volume de raiz (Figura 10 e). Em baixa compressão artificial, no nitossolo, na camada de 0-30 cm observa-se o maior volume de raiz (Figura 10 f).

Figura 10 –a) Resistência do solo a penetração (RP), volume de raiz (VR), em função da profundidade do perfil do solo em três níveis de compressão do solo: a) e d) alta; b) e e) média e c) e f) baixa, em dois tipos de solos em casa de vegetação, Lages SC, safra 2017/2018.

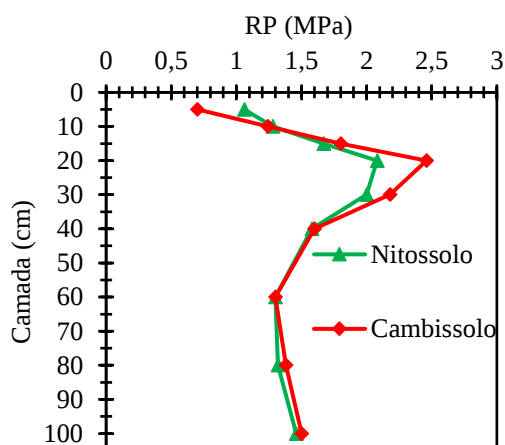
a) Alta



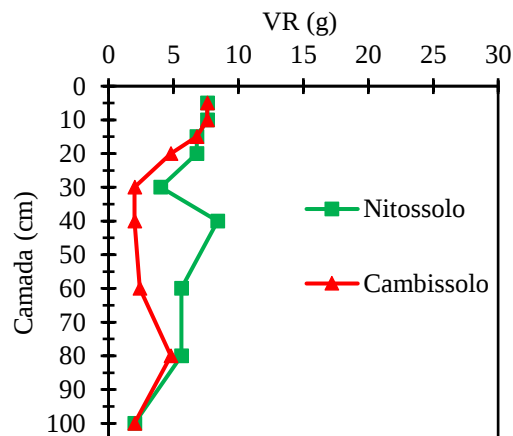
d) Alta



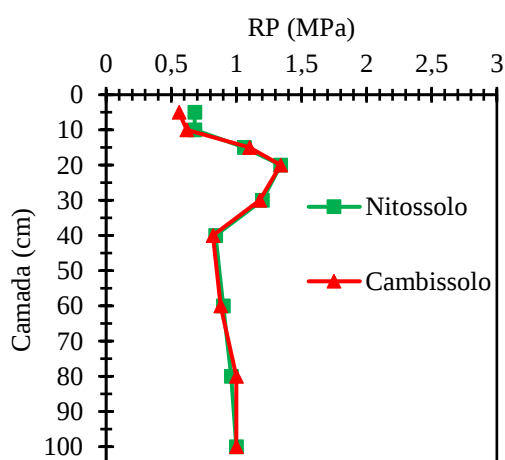
b) Média



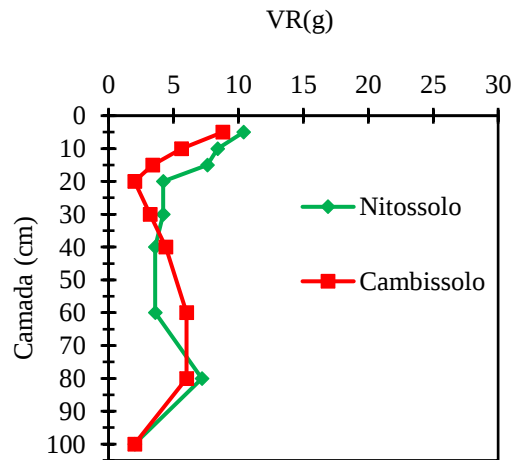
e) Média



c) Baixa



f) Baixa



<sup>1</sup> Abreviaturas: RP=resistência do solo a penetração, VR=volume de raiz.  
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Nas figuras 11a, 11b, 11c, 11 d, 11e e 11f, observa-se correlação entre características físicas do solo e morfoagronômicas das plantas para cada tipo de solo (nitossolo ou cambissolo) e para cada nível de compressão imposta em cada tipo de solo (alta, média ou baixa compressão) na segunda safra avaliada (2017/2018). As cores no gráfico expressam a intensidade da correlação, cor azul indica correlação positiva e cor vermelha indica a presença de correlação negativamente. Tanto nas correlações positivas ou negativas o aumento da intensidade da cor está associado com aumento do coeficiente de correlação e seu respectivo significado.

Na figura 11a, observa-se correlação positiva a 5% de significância, no nitossolo quando submetido à alta compressão, de massa seca por planta em relação a altura de planta, peso de cem grãos, diâmetro da haste principal, número de ramos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagens, correlação positiva de número de grãos por planta em relação ao número de nó, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta em relação ao número de vagens, correlação positiva de número de grãos por planta e peso de grãos por planta em relação ao número de grãos por vagens, correlação positiva do peso de cem grãos em relação ao peso de grãos por planta e correlação positiva de massa seca por planta em relação ao peso cem grãos. Observa-se correlação negativa a 5% de significância no nitossolo quando submetido à alta compressão de número de no por planta, número de ramos por planta em relação à altura de plantas e correlação negativa de massa seca por planta em relação ao número de nó por planta.

Na figura 11b, observa-se correlação positiva a 5% de significância no cambissolo quando submetido à alta compressão de diâmetro da haste principal e massa seca por planta em relação à altura, correlação positiva de número de vagens por planta, número de grãos por vagens, peso de grãos por vagens, massa seca por planta em relação ao diâmetro, correlação positiva de número de grãos por vagens, número de grãos por planta e peso de grãos por planta em relação ao número de nó, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta, peso de cem grãos e massa seca por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta em relação ao número de grãos por vagens, correlação positiva de peso de grãos por planta, massa seca por planta em relação ao número de grãos por planta, correlação positiva de peso de cem grãos, massa seca por planta em relação ao peso de grãos por planta. Observa-se correlação negativa a 5% de significância no cambissolo quando submetido à alta compressão de número de grãos por vagens em relação ao número de ramos.

Na figura 11 c, observa-se correlação positiva a 5% de significância no nitossolo, submetido à média compressão de número de vagens por planta, número de grãos por vagens,

número de grãos por planta, peso de grãos por planta e peso de cem grãos em relação à altura de plantas, correlação positiva de número de nó por planta, número de ramos por planta em relação ao diâmetro da haste da planta, correlação positiva de número de ramos por planta em relação ao número de nó, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta, peso de cem grãos e massa seca por planta em relação ao número de ramos por planta, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta, peso de cem grãos por planta e massa de seca por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta e peso de cem grãos em relação ao número de grãos por vagens, correlação positiva de peso de grãos por planta, peso de cem grãos e massa seca por planta em relação ao número de grãos por planta, correlação positiva peso de cem grãos, massa seca por planta em relação ao peso de grãos por planta, correlação positiva de massa seca por planta em relação ao peso de grãos por planta.

Observa-se na figura 11 d, correlação positiva a 5% de significância no cambissolo, submetido à média compressão de número de grãos por vages, massa seca por planta em relação a altura de planta, correlação positiva de número de nó por planta, massa seca por planta em relação ao diâmetro da haste da planta, correlação positiva peso de cem grãos em relação ao número de nó por planta, correlação positiva de peso de cem grãos em relação ao número de ramos, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de peso de grãos por planta em relação ao número de grãos por planta. Na figura 11 d, observa-se correlação negativa a 5% de significância no cambissolo submetido à média compressão de número de vagens por planta, número de grãos por planta e peso de grãos por planta em relação ao diâmetro da haste da planta, correlação negativa de número de vagens por planta, número de grãos por vagens e peso de grãos por planta em relação ao número de nó por planta, correlação negativa de número de vagens por planta, número de grãos por vagens e massa seca por planta em relação ao número de ramos por planta, correlação negativa de peso de cem grãos em relação ao número de vagens por planta, correlação negativa de peso de grãos por planta, peso de cem grãos em relação ao número de grãos por vagens e correlação negativa de peso de cem grãos em relação número de grãos por planta.

Na figura 11 e, observa-se correlação positiva a 5% de significância no nitossolo, submetido à baixa compressão de número de vagens por planta, peso de grãos por planta, peso de cem grãos e massa seca por planta em relação à altura de plantas, correlação positiva de número de nó por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagens, peso de grãos por planta e peso de cem grãos em relação ao diâmetro de haste principal da planta,

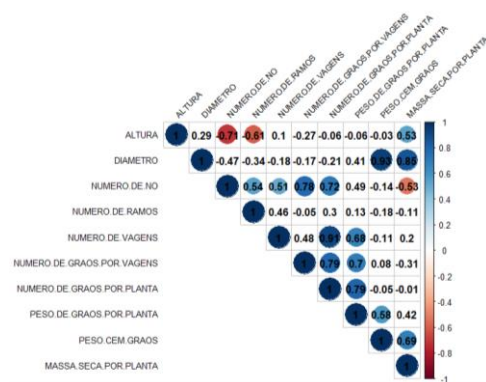
correlação positiva de peso de grãos por planta, peso de cem grãos e massa seca por planta em relação ao número de nó por planta, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de peso de grãos por planta em relação ao número de grãos por planta, correlação positiva de peso de cem grãos e massa seca por planta em relação ao peso de grãos por planta, correlação positiva de massa seca por planta em relação ao peso de cem grãos. Na figura 11 e observa-se correlação negativa a 5% de significância no nitossolo submetido à média compressão para número de vagens por planta em relação ao número de ramos por planta.

Observa-se na figura 11 f, correlação positiva a 5% de significância no cambissolo, submetido à baixa compressão de número de ramos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagens e peso de grãos por planta em relação ao número de nó por planta, correlação positiva de número de vagens por planta e peso de grãos por planta em relação ao número de ramos por planta, correlação positiva de número de grãos por planta e peso de grãos por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de massa seca por planta em relação a peso de grãos por planta. Observa-se na figura 11 e correlação negativa a 5% de significância no cambissolo submetido à média compressão de número de nó por planta e número de vagens por planta em relação à altura de plantas, correlação negativa de número de grãos por vagens em relação ao número de ramos por planta, correlação negativa de número de grãos por vagens em relação ao número de vagens por planta, correlação negativa de peso de grãos por planta, peso de cem grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de grãos por vagens e correlação negativa de peso de cem grãos em relação ao número de grãos por planta.

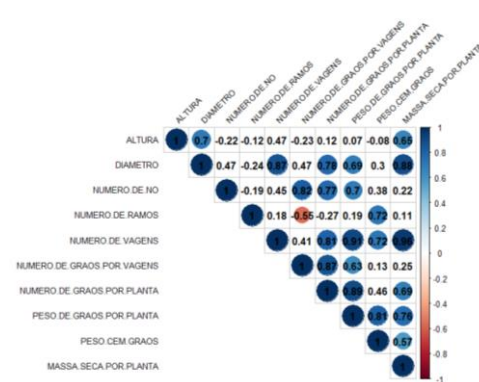
Figura 11 – Correlação de Pearson entre dois solos (nitossolo e cambissolo) em função à três níveis de compressão ( alta, média e baixa) para as variáveis morfoagronômicas, em casa de vegetação, Lages-SC, Safra 2016/2017. Nitossolo a)Alta, c)Média e e)Baixa e Cambissolo b)Alta, d)Média, f) Baixa.

Safra 2016/2017

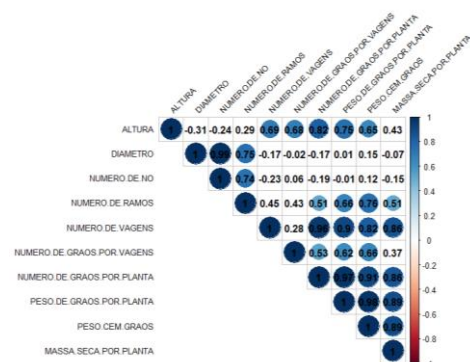
a) Nitossolo (alta compressão)



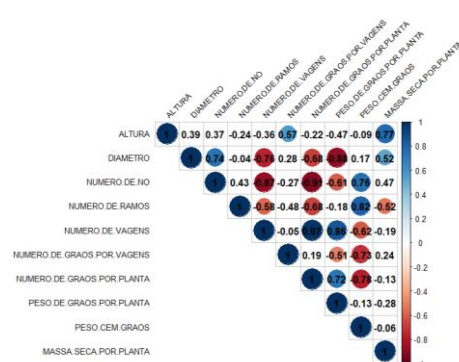
b) Cambissolo (alta compressão)



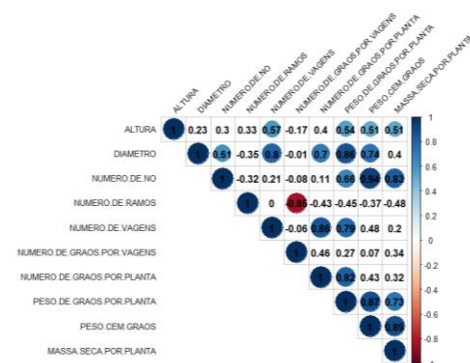
c) Nitossolo (média compressão)



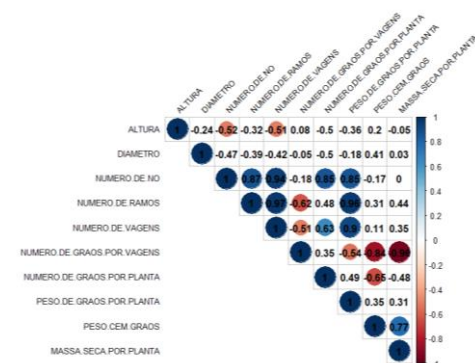
d) Cambissolo (média compressão)



e) Nitossolo (baixa compressão)



f) Cambissolo (baixa compressão)



<sup>1</sup> Abreviaturas: altura de planta (AP), diâmetro (DHP), número de nó por planta (NNP), número de ramos por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagens (NGV), número de grãos por planta (NGP), peso de grãos por planta (PGP), peso de cem grãos (PCG), massa seca por planta (MSP).

Fonte: produção da própria autora.

Na figura 12 a, 12 b, 12 c, 12 d, 12 e e 12 f, observam-se correlação entre características físicas do solo e morfoagronômicas das plantas para cada tipo de solo (nitossolo ou cambissolo)

e para cada nível de compressão imposta em cada tipo de solo (alta, média ou baixa compressão) na segunda safra avaliada (2017/2018).

Na figura 12 a, no nitossolo, submetido a alta compressão, observa-se correlação positiva a 5% de significância de número de ramos por planta em relação a altura de plantas, correlação positiva de número de nó por planta, número de grãos por vagens, número de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao diâmetro da haste da plantas, correlação positiva de número de grãos por vagens em relação ao número de nó por planta, correlação positiva de número de vagens por planta, número de grãos por planta, peso de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de ramos por planta, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de peso de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de grãos por planta, correlação positiva peso de cem grãos e massa seca por planta em relação ao peso de grãos por planta. Observa-se na figura 12 a correlação negativa a 5% de significância para nitossolo submetido à alta compressão de número de grãos por planta e peso de cem grãos em relação à altura de plantas.

Observa-se na figura 12 b para cambissolo, submetido à alta compressão, correlação positiva a 5% de significância de número de nó por planta, número de vagens por planta e massa seca por planta em relação à altura de plantas, correlação positiva de número de ramos por planta em relação ao diâmetro da haste da planta, correlação positiva de número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de nó por planta, correlação positiva de número de grãos por planta, peso de cem grãos e massa seca por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de massa seca por planta em relação ao número de grãos por planta, correlação positiva de peso de cem grãos em relação ao peso de grãos por planta. Na figura 12 b observa-se correlação negativa a 5% de significância para cambissolo submetido à alta compressão no diâmetro da haste principal e número de ramos por planta em relação à altura de plantas, correlação negativa de número de vagens por planta em relação ao diâmetro da haste das plantas, correlação negativa de número de ramos por planta em relação ao número de nó por planta, correlação negativa de número de vagens por planta e massa seca por planta em relação ao número de ramos por planta e número de vagens por planta em relação ao número de vagens por planta.

Na figura 12 c no nitossolo, submetido à média compressão, observa-se correlação positiva a 5% de significância de número de ramos por planta, número de grãos por vagens e massa seca por planta em relação à altura de plantas, correlação positiva de número de grãos por vagens, número de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao diâmetro da haste

das plantas, correlação positiva de número de ramos por planta em relação ao número de nó por planta, correlação positiva de número de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de grãos por vagens, correlação positiva de massa seca por planta em relação ao número de grãos por planta e correlação positiva de peso de cem grãos ao peso de grãos por planta. Observa-se na figura 12 c correlação negativa a 5% de significância para nitossolo submetido à média compressão no número de vagens por planta em relação à altura de planta, correlação negativa de número de nó por planta em relação ao diâmetro da haste da planta, correlação negativa de número de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de nó por planta, correlação negativa de número de vagens por planta em relação ao número de ramos por planta, correlação negativa de peso de grãos por planta e peso de cem grãos em relação ao número de grãos por vagens, correlação negativa de peso de cem grãos em relação ao número de grãos por planta, correlação negativa de massa seca por planta em relação ao peso de grãos por planta e correlação negativa de massa seca por planta em relação ao peso de cem grãos.

Observa-se na figura 12 d, no cambissolo, submetido à média compressão, correlação positiva a 5% de significância no número de ramos por planta em relação ao diâmetro da haste da planta, correlação positiva de número de vagens por planta, peso de cem grãos em relação ao número de nó por planta, correlação positiva de massa seca por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de número de vagens por planta, peso de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de grãos por vagens, correlação positiva de peso de grãos por planta em relação ao número de grãos por planta. Observa-se na figura 12 d correlação negativa a 5% de significância para cambissolo submetido à média compressão de número de ramos por planta, peso de cem grãos por planta em relação à altura de plantas, correlação negativa de número de grãos por planta e peso de grãos por planta em relação ao diâmetro da haste da planta, correlação negativa de número de vagens por planta e peso de grãos por planta em relação ao número de ramos por planta, correlação negativa de peso de cem grãos em relação ao número de grãos por vagens, correlação negativa de peso de cem grãos em relação ao número de grãos por planta, correlação negativa de massa seca por planta em relação ao peso de cem grãos.

Na figura 12 e, no nitossolo, submetido à baixa compressão, observa-se correlação positiva a 5% de significância de número de nó por planta e número de grãos por vagens em relação à altura de plantas, correlação positiva de número de vagens por planta, número de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao diâmetro de haste da planta, correlação positiva de peso de cem grãos em relação ao número de ramos por planta, correlação positiva de número

de grãos por planta e massa seca por planta em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva de massa seca por planta em relação ao número de grãos por planta e correlação positiva de peso de cem grãos em relação ao peso de grãos por planta. Observa-se na figura 12 e, correlação negativa a 5% de significância para nitossolo submetido à baixa compressão de diâmetro da haste principal e número de vagens por planta em relação à altura de planta, correlação negativa de número de grãos por vagens em relação ao diâmetro, correlação negativa de peso de grãos por planta em relação ao número de nó por planta, correlação negativa de número de grãos por planta em relação ao número de ramos por planta, correlação negativa de número de grãos por vagens em relação ao número de vagens por planta, correlação negativa de massa seca por planta em relação ao número de grãos por vagens e correlação negativa de peso de cem grãos em relação ao número de grãos por planta.

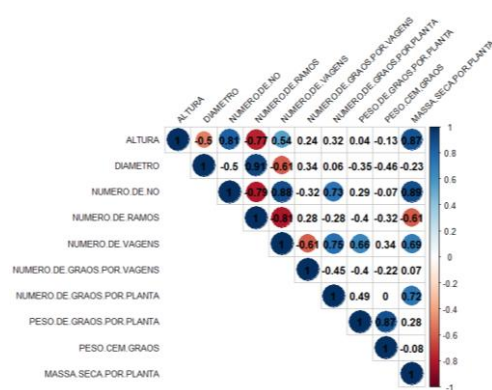
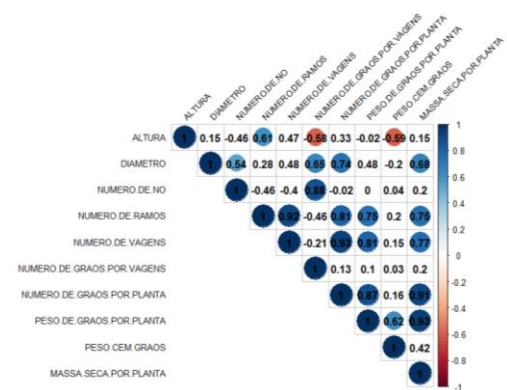
Observou-se na figura 12 f, no cambissolo, submetido à baixa compressão, correlação positiva a 5% de significância de número de ramos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagens, número de grãos por planta em relação à altura de plantas, correlação positiva de massa seca por planta em relação ao diâmetro da haste de plantas, correlação positiva de número de ramos por planta, número de vagens por planta, número de grãos por vagens, número de grãos por planta, peso de grãos por planta e peso de grãos por planta em relação ao número de nó por planta, correlação positiva de número de vagens por planta, número de grãos por vagens, número de grãos por planta e peso de grãos por planta em relação ao número de ramos por planta, correlação positiva de número de grãos por vagens, número de grãos por planta, peso de grãos por planta e peso de cem grãos em relação ao número de vagens por planta, correlação positiva número de grãos por planta, peso de grãos por planta e peso de cem grãos em relação ao número de grãos por vagens, correlação positiva de peso de grãos por planta e peso de cem grãos em relação ao número de grãos por planta e correlação positiva de peso de cem grãos em relação ao peso de grãos por planta. Observa-se na figura 12 f correlação negativa a 5% de significância para cambissolo submetido à baixa compressão de número de nó por planta, peso de grãos por planta e peso de cem grãos em relação a massa seca de planta.

Figura 12 – Correlação de Pearson entre solos (nitossolo e cambissolo) em função a três níveis de compressão, (alta, média e baixa) para as variáveis morfoagronômicas, em casa de vegetação, Lages-SC, Safra 2017/2018. Nitossolo: a) Alta, c) Média e e) Baixa e Cambissolo: b) Alta, d) Média, f) Baixa.

Safra 2017/2018

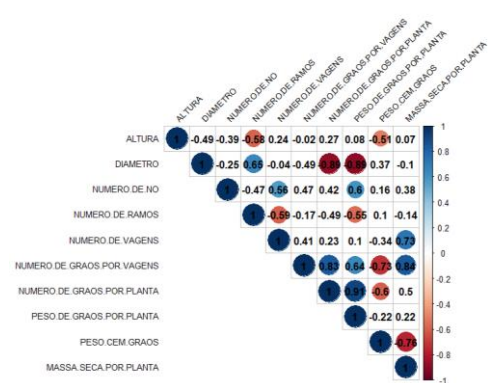
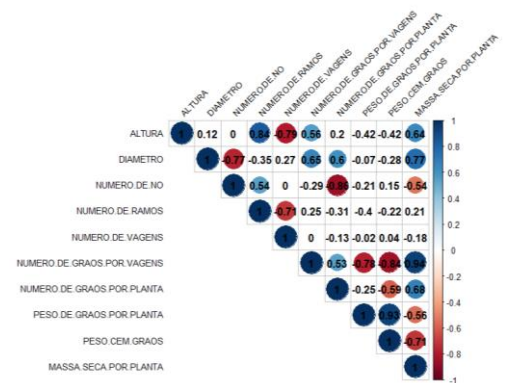
a) Nitossolo (alta compressão)

b) Cambissolo (alta compressão)



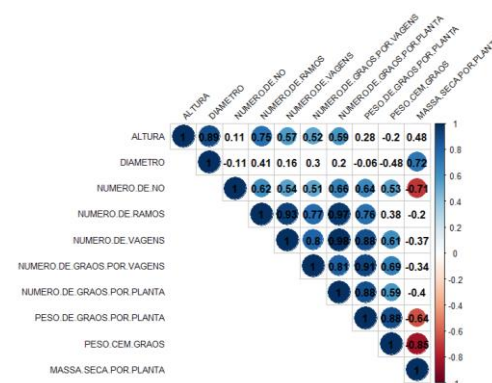
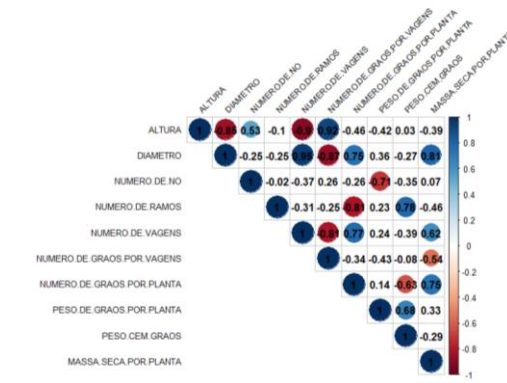
c) Nitossolo (média compressão)

d) Cambissolo (média compressão)



e) Nitossolo (baixa compressão)

f) Cambissolo (baixa compressão)



<sup>1</sup> Abreviaturas: altura de planta (AP), diâmetro (DHP), número de nó por planta (NNP), número de ramos por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagens (NGV), número de grãos por planta (NGP), peso de grãos por planta (PGP), peso de cem grãos (PCG), massa seca por planta (MSP).  
Fonte: produção da própria autora.

A identificação de diferentes sistemas de manejo é prioridade, por que o uso inadequado do solo, revolvimento excessivo, ou práticas pouco conservacionistas podem provocar aumento da densidade, diminuição da macroporosidade e porosidade total dentre outros danos (SOARES et al., 2016).

Os principais parâmetros usados para identificar as modificações de diferentes manejo são a densidade e porosidade do solo (CARVALHO et al., 2014), densidade de partículas (BATISTA et al., 2017), umidade do solo (LIMA et al., 2015) resistência do solo à penetração (TAVARES et al., 2014), acumulação de nutrientes e matéria orgânica (MARTINS et al., 2015; GOMES et al., 2015).

Segundo Santana et al. (2018) em pesquisa no sistema plantio direto, encontrou valores médios de densidade do solo de 1,00 a 1,10 g cm<sup>-3</sup> na camada superficial de 0-10 cm e de 1,02 a 1,17 g.cm<sup>-3</sup> na camada subsuperficial de 10-20 cm. Segundo Balin et al. (2017) estes valores de sistema plantio direto e convencional, são aceitáveis para este tipo de solos, solos argilosos variam de 0,90 a 1,25 g cm<sup>-3</sup>, sendo que valores de DS 1,40 g cm<sup>-3</sup>, são considerados restritivos para o desenvolvimento da maioria das culturas agrícolas. Cherubin et al. (2015) estudando densidade em solos argilosos sob sistema plantio direto obtiveram valores de DS variando de 1,40 a 1,51 g cm<sup>-3</sup> na camada superficial (0-10 cm) e de 1,30 a 1,50 g cm<sup>-3</sup> na camada subsuperficial (10-20 cm). As menores densidades do solo foram observadas na camada de 0 a 10cm e as maiores densidades ocorreram nas camadas de 20-30 cm no sistema plantio direto e 30-40 cm no sistema de manejo convencional (SANTANA et al., 2018). Densidades menores nas camadas superficiais estão relacionadas à maior densidade de raízes e a maior teor de matéria orgânica do solo (SILVA et al., 2017). Toigo et al. (2015) observaram maiores valores de densidade de solo na camada superficial do sistema plantio direto em relação ao sistema plantio convencional. Moraes et al. (2014) e López-Garrido et al. (2014) também observaram em seus estudos maiores densidades do solo no sistema plantio direto em relação ao sistema plantio convencional.

No sistema plantio direto o tráfego de máquina é intenso e a mobilização do solo é limitada à linha de semeadura sobre ação do mecanismo de sulco (sulcadores tipo facão ou disco duplo). Assim, frequentemente são relatados problemas com compactação do solo em superfície/subsuperfície (SILVA et al., 2004; SILVA et al., 2006; BERGAMIN et al., 2010; VALADÃO et al., 2015).

Segundo Vieira et al. (1981); Silva et al. (2000a) e Reichert et al. (2008) em estudos com dois latossolos em sistema plantio direto observaram tendência à compactação na camada

subsuperficial, porém em profundidade menor do que no sistema convencional (KLEIN et al., 1998). Na camada de 0,07-0,12 m, a DS para esses solos ultrapassam 1,25 a 1,40 g m<sup>-3</sup>, consideradas como limite para considerar um solo de textura argilosa a muito argilosa como sendo compactado (REICHERT et al., 2003). Segundo Santana et al. (2018) observou tendência de redução dos valores da densidade do solo do sistema plantio direto em relação ao convencional, com o aumento da profundidade de amostragem, isto pode estar relacionado ao fato de que os solos argilosos, quando são bastante trabalhado no sistema de manejo convencional, tende a ocorrer empacotamento e o adensamento do solo em profundidade, podendo também existe uma tendência de aumento dos valores desta variável, no sistema convencional, com a utilização da grade pesada.

Segundo Rosolem et al. (1994 a), em trabalho com compactação observou um aumento de resistência a penetração de 0,05 para 2 MPa na camada de 1,5 a 18,5 cm de profundidade, entretanto não interferiu na produção de matéria seca da parte aérea da soja.

Segundo Silva et al. (2002) a resistência a penetração de 2 MPa é considerada restritiva ao crescimento do sistema radicular e da parte aérea da maioria das plantas cultivadas, apesar de autores fazer observações que é necessário considerar a relação entre a impedância mecânica do solo, a aeração do solo e o potencial de água do solo, para entender as restrições da compactação.

Segundo Folini et al. (2006) em seu trabalho comparando a influência de diferentes espécies quando submetidas à compactação na camada de 20-30 cm, identificou que o sistema radicular modificou o perfil do solo, porém não reduziu a produção de matéria seca das raízes das soja, do guandu anão, do labe labe e do guandu.

Vomocil et al. (1966), destaca a porosidade de aeração como propriedade importante para obter desempenho e produtividades das culturas. Segundo Grupta et al. (1989) observou-se que valores de porosidade de aeração abaixo de 0,10 m<sup>3</sup> tem limitado crescimento radicular, apesar de tal limite depender do nível de atividade biológica do solo e do tipo da planta.

Segundo Suzukiet et al. (2006) valores de grau de compactação correspondentes aos valores críticos de macroporosidade e resistência a penetração dependem do tipo de solo. Em Latossolo os limites críticos de aeração e de resistência à penetração são alcançados com menor grau de compactação do que em Argissolo. A cultura da soja é favorecida por um grau de compactação intermediário em Latossolo, e o grau de compactação ótimo para a cultura da soja é de 86%. No Argissolo não é possível determinar um grau de compactação ótimo para as culturas da soja e do feijoeiro devido à elevada compactação nesse solo.

Pesquisas em vasos com compactação, encontrou 0,69 MPa para a cultura da soja quando submetido a compactação por 37 dias, e 1,22 MPa quando submetida a 60 dias (ROSALEM et al., 1994 a). Segundo Foloni et al. (2006) em trabalhos em vasos com compactação em camada, independente do grau de compactação das camadas quando somadas as massas radiculares em subsuperfície não identificou sensibilidade entre espécie de culturas, já Beulter; Centurion, (2004) identificaram que as cultivares de soja quando submetidas a compactação, reduzem a quantidade de raízes na profundidade de 15 cm e 25 cm. A influência da compactação do solo sobre o sistema radicular pode ser decorrente de condições ambientais, estágios de desenvolvimento das plantas e características genéticas (BENNIE et al. 1996 a).

Segundo Cardoso et al. (2006) no sistema plantio direto convencional observou maior concentração radicular na camada de até 5 cm, diminuindo gradativamente até 20 cm de profundidade. Sadras et al. (2005) observaram que o crescimento radicular foi reduzido e o comprimento radicular diminuiu gradativamente na camada subsuperficial do solo, refletindo mudanças morfológicas das raízes, em função da compactação do solo.

Em relação à porosidade total, considera a parte do volume do solo preenchida pela água e ar, a porcentagem de poros em solos argilosos normalmente varia de 40 a 60%. Nas camadas superficiais de 0-10 cm e 10- 20 cm, no sistema plantio direto encontram os maiores valores de porosidade total. Sales et al. (2016) atribuíram os maiores valores de porosidade observadas no plantio direto ao efeito proporcionado pelo sistema radicular de culturas antecessoras (milho e braquiária) que após sua morte e decomposição produzem bioporos que contribuem com o aumento da macroporosidade e porosidade total, além de fornecer carbono ao solo.

Segundo Santana et al. (2018) em ambos os sistemas de manejo a porosidade total encontrada foi inferior a 50%, que é o valor mínimo ideal para as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo de forma satisfatória, e considerado crítico para o desenvolvimento radicular da maior parte das culturas em solos argilosos (ANDRADE; STONE, 2009).

Estudo por Bilibio et al. (2010) constataram que tanto no preparo do solo em sistema convencional quanto no manejo conservacionista (cultivo mínimo e plantio direto) de um Latossolo Vermelho, ocorreu adensamento na superfície do solo, observado através da redução da relação macro/microporos, juntamente com a maior densidade do solo. Solos que apresentam baixos níveis de porosidade, as trocas gasosas são reduzidas e aumenta a concentração de gás carbônico, principalmente nas zonas compactadas, que acaba prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular (SILVA et al., 2017)

Nogueira et al. (2016) estudou por três anos consecutivos o sistema plantio direto e observou menor porosidade total, em relação ao sistema de manejo convencional, entretanto tal

condição persistiu apenas nos primeiros anos de cultivo, deixando de existir com o passar dos anos, uma vez que a deposição frequente de resíduos orgânicos na superfície do solo proporcionada pelo sistema plantio direto proporcionará na melhoria das características físicas e aumento da porosidade. Freitas et al. (2017) atribuíram a drástica redução da porosidade dos solos cultivados ao aumento da compactação do solo, sendo que a redução do valor desta variável é evidenciada também pelo aumento da densidade do solo.

A redução da porosidade total em decorrência do uso e manejo do solo, afeta principalmente os macroporos (TORMENA et al., 2004), e isso interfere diretamente em outras características como aeração, fluxo e disponibilidade de água e resistência a penetração, prejudicando o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea das plantas.

Segundo Tanner et al. (1959) o efeito do manejo do solo nos atributos físicos é dependente da textura, os mais suscetíveis à compactação são os mais argilosos, com redução sensível na produtividade das culturas. Densidades baixa dos solos é atribuída a estabilidade dos agregados e à preservação da estrutura deste solo (COSTA et al., 2009).

### 3.6 CONCLUSÃO

Na safra 2016/2017 identificou-se impacto negativo no nitossolo para os caracteres morfoagronômicos em alta compressão seguido de baixa e média compressão, já no cambissolo ocorreu em média e baixa compressão. Influência negativa de densidade do solo na camada de 0-20 cm em alta compressão do solo, a porosidade total com maior número na camada de 0-20 entretanto com menor tamanho, os bioporos, com menor número de bioporos no nitossolo na camada 0-20 cm nas compressões alta, média e baixa respectivamente, e nos microporos com menor número de microporo no nitossolo na camada de 0-20 cm. Observou-se influência negativa com presença de maior resistência a penetração no nitossolo na camada de 20-30 cm e maiores compressões ocorrendo em alta, média e baixa compressão respectivamente.

Na safra 2017/2018 observou-se impacto negativo para os caracteres morfoagronômicos no nitossolo em média e baixa compressão e no cambissolo em média e alta compressão do solo. A densidade do solo influenciou negativamente no nitossolo em alta compressão e no cambissolo em baixa compressão. Os número de bioporos influenciou positivamente em média e baixa compressão no nitossolo e média e alta compressão no cambissolo. No número de de macroporos influenciou positivamente em média, baixa e alta compressão respectivamente. Porosidade de aeração influenciou positivamente no nitossolo em média, baixa e alta compressão respectivamente e no cambissolo em média, baixa e média compressão

respectivamente. A resistência a penetração influenciou positivamente em todas as camadas avaliadas independente dos solos em alta compressão. Em baixa compressão influenciou positivamente em todas as camadas independente do tipo de solo. A resistência a penetração influenciou negativamente nas camadas de 20-30 cm no cambissolo em média compressão.



## 4 DESENVOLVIMENTO INICIAL DE SOJA SUBMETIDA A PROFUNDIDADES DE SEMEADURA E COMPRESSÃO DO SOLO.

### 4.1 RESUMO

A qualidade da operação de semeadura é um dos fatores que aumenta produtividade, associado a profundidades de deposição das sementes influenciam de forma direta o estabelecimento adequado de plantas em campo. Este trabalho foi realizado no município de Lages-SC, no ano de 2017, objetivo avaliar a influência de quatro profundidades de semeadura (4, 6, 8 e 10 cm) na implantação em campo 150 x 200 cm as sementes de soja. Na safra 2018 teve como objetivo avaliar a influência de cinco profundidades de semeadura de semente de soja (4, 6, 8 e 10 e 12 cm) implantada a campo, dimensionamento, 150 x 200 cm e o fator compressão. As variáveis analisadas foram o índice de velocidade de emergência, comprimento de epicótilo, hipocótilo e raiz no ano 2017 e no ano 2018 foram às mesmas variáveis analisadas acrescidas da compressão do solo. Objetivou-se com este estudo avaliar a influência da profundidade de semeadura e a compressão do solo no desenvolvimento inicial da cultura de soja. A profundidade de semeadura de 4 a 10 cm influencia positivamente a emergência, índice de velocidade de emergência e massa seca de raiz, com base no primeiro experimento da safra 2017 e sem compressão do solo. A profundidade de semeadura de 4 cm e 6cm promove maiores valores de índices de velocidade de emergência, a 10 cm de profundidade tem-se maior emergência e a 6cm de profundidade tem-se maior comprimento de hipocótilo, com base no segundo experimento (safra 2018) e sem compressão do solo. Sob compressão do solo com 5 batidas e diferentes profundidades semeadura, a maior emergência, massa seca total, massa seca parte aérea obtém-se com semeadura na profundidade de 10 cm e 12 cm, maior comprimento de hipocótilo com semeadura a 4 cm de profundidade, maior índice de velocidade de emergência com semeadura a 4cm e 8cm de profundidade, maior massa seca parte raiz com semeadura a 8 cm de profundidade, maior comprimento do epicótilo com 8cm de profundidade de semeadura, maior comprimento de raiz com semeadura a 8 cm de profundidade, tomando-se por base o terceiro experimento (safra 2019). Constatou-se que profundidades de semeadura de entre 4 e 8 cm proporcionaram incremento emergência, IVE e desempenho inicial de plântulas e profundidades maiores que 10 cm associado a compressão do solo prejudicam o desenvolvimento da cultura. As diferentes profundidades de semeadura sem associação de compressão do solo não afetaram a emergência e desenvolvimento das plântulas de soja.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, emergência de plântulas, semeadura direta, campo.

### 4.2 ABSTRACT

The quality of the sowing operation is one of the factors that increases the productivity, associated with seed deposition depths directly influence the direct form the proper establishment of plants in the field. This work was done at Lages-SC town, in 2017, it objectifies to evaluate the influence of four sowing depths (4, 6, 8 and 10 cm) in the field implantation of 150 x 200 cm soybean seeds. In the 2018 harvest, the objective was to evaluate the influence of five sowing depths of soybean seed (4, 6, 8 and 10 and 12 cm) implanted on field, dimensioning, 150 x 200 cm and the compression factor. The variables analyzed were the emergence speed index, epicotyl length, hypocotyl and root in the year 2017 and 2018 were the same variables analyzed plus soil compression. The aim of this study was to evaluate the sowing depth influence and soil compression on the initial development of soybean culture. The sowing depth of 4 to 10 cm positively influences the emergence, emergence speed index and dry root

mass, based on the first experiment of 2017 harvest and without soil compression. The sowing depth of 4 cm and 6 cm promotes higher values of emergency speed indexes, at 10 cm depth there is greater emergence and at 6 cm depth there is greater hypocotyl length, based on the second experiment (2018 harvest) ) and without soil compression. Under soil compression with 5 strokes and different sowing depths, the greatest emergence, total dry mass, aerial dry mass is obtained by sowing in depth of 10 cm and 12 cm, greater hypocotyl length with sowing at 4 cm depth, higher emergence speed index with sowing at 4 cm and 8 cm depth, greater dry mass root part with sowing at 8 cm depth, longer epicotyl length at 8 cm sowing depth, longer root length with sowing at 8 cm depth, based on the third experiment (harvest 2019). It was found that sowing depths between 4 and 8 cm provided an increase in emergence, ESI and initial seedling performance and depths greater than 10 cm associated with soil compression affect the culture development. The different sowing depths without association of soil compression did not affect the emergence and development of soybean seedlings.

**Keywords :** *Glycine max*, seedling emergence, no-till, field .

#### 4.3 INTRODUÇÃO

A cultura da soja vem sendo cultivada em extensas áreas e regiões, devido sua capacidade produtiva, porém a produtividade pode ser afetada pela compressão de solo e profundidade de semeadura.

A compressão do solo é um processo que altera a estrutura física do solo, por reduzir a porosidade, a disponibilidade de água, o desenvolvimento das raízes das plantas e aumenta a resistência a penetração e consequentemente reduz a disponibilidade de água e nutrientes, limitando o volume de solo explorado pelas plantas (SECCO et al., 2004).

Entre os fatores que afetam a produtividade, está a profundidade de semeadura e a distribuição de sementes na linha deve ser adequada para garantir a germinação no estande inicial e o surgimento e desenvolvimento de sementes (RODRIGUES et al., 2016). A profundidade da deposição das sementes é característica para cada espécie e quando adequada, garante germinação e plântulas uniformes na emergência (TROGELLO et al., 2013).

A semeadura é uma das etapas mais importantes do sistema de produção, para obter um estande uniforme, deve se atentar a profundidade de semeadura, que é específica para cada espécie, resultando assim propiciando germinação e emergência adequada. A semeadura realizada em profundidades excessivas pode prejudicar a emergência da plântula, por outro lado semeaduras próximas da superfície do solo estão vulneráveis a fatores climáticos e ambientais interferindo no desenvolvimento das plântulas (LIMEDE et al., 2018).

Este capítulo foi conduzido com base nas seguintes hipóteses: quanto maior a profundidade de semeadura menor é a emergência e o índice de velocidade de emergência de plântulas de soja, quanto maior a profundidade de semeadura da soja, maior comprimento do

hipocótilo e da raiz das plântulas, semeadura profunda associada a maior compressão reduz a emergência e o desenvolvimento de plântulas de soja.

Com base nessas hipóteses, foram conduzidos três experimentos sendo dois sem compressão e um com dois níveis de compressão do solo, tendo como objetivo geral avaliar o desenvolvimento inicial de plântulas de soja semeada em diferentes profundidade e níveis compressão do solo.

#### 4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em condições de canteiros, contendo solo como substrato, no Centro de Ciências Agroveterinárias-CAV UDESC. Foi utilizada a cultivar TMG 7062IPRO, na safra 2017 e a cultivar Pioneer 96Y90 na safra 2018. As sementes do lote permaneceram armazenadas em condições normais de ambiente e, em seguida, realizadas a amostragem para as determinações preliminares de germinação e vigor, com o objetivo de avaliar a qualidade inicial do lote em laboratório comparada com o campo em diferentes profundidades e compressão. Na primeira safra foi realizado teste de germinação, envelhecimento acelerado e semeadura a campo em diferentes profundidades, novamente repetido teste de germinação, semeadura em diferente profundidade e compactação. Para testes de germinação e envelhecimento acelerado (E.A, neste teste, as caixas plásticas permaneceram em B.O.D., a 41 °C, durante 48 h, após o E.A, aferiu-se a eficácia do E.A., pela determinação do teor de água nas sementes. Em seguida, conduziu-se teste de germinação, a 25 °C, com avaliação única no sexto dia do início do teste). Para o teste de germinação, conduzido com quatro subamostras de 50 sementes, em rolos de papel toalha *Germitest*®, a quantidade de água adicionada foi equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato, visando umedecimento adequado e, conseqüentemente, a uniformização do teste, depois colocadas no germinador a 25 °C. As interpretações foram efetuadas ao 4 e 8 dias após semeadura, segundo os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL ET AL., 2009) computando-se as porcentagens de plântulas normais para cada sub amostra e obtendo-se, a seguir, a porcentagem média do lote. Para o teste de envelhecimento acelerado, conduzido com a utilização de caixas de plástico "gerbox" como compartimento individual, uma camada simples (40-42 g) de sementes (~400 sementes) do lote foi colocada sobre a tela metálica interna da caixa, cobrindo toda a sua superfície totalizando quatro caixas. As caixas gerbox foram tampadas, sendo que previamente em seu interior foi adicionado 40 ml de água deionizada. Após estas etapas as caixas gerbox foram mantidas em incubadora FANEM modelo 347F, a 41 °C durante 48 h, em seguida,

conduziu-se o teste de germinação conforme descrição anterior, avaliando-se as porcentagens de plântulas normais no 4 e 7 dias após a semeadura (BRASIL ET AL., 2009).

Uma amostra com este lote de sementes na safra 2017 foi submetida a campo, em solo Cambissolo, em quatro profundidades de semeadura com quatro repetições para que se pudesse comparar com a qualidade da semente expressa em pesquisa de laboratório. Quando começaram as emergências das plântulas, iniciaram-se as contagens diárias de plântulas emergidas para posterior cálculo de IVE (índice de velocidade de emergência para avaliação do comprimento de plântulas utilizada à metodologia proposta por Nakagawa et al. (1999). Tais avaliações foram realizadas quando se observou o estabelecimento da população sem alteração no número de plântulas emergidas por três dias consecutivos de avaliação. Após esta data encerrou-se o experimento e procedeu-se a coleta de plântulas, foram coletadas 20 plântulas por parcela, medindo-se o comprimento total das plântulas normais com auxílio de uma régua, comprimento da parte aérea (epicótilo hipocótilo e raiz). Para a safra 2018, realizado a compressão com auxílio de uma madeira com peso de 11,56 kg a 30 cm de altura do solo, efetuando 5 batidas(baixa compressão) ou 10 batidas( alta compressão) afim de simular efeito da compressão, após as sementes foram semeadas, em cinco profundidades (4, 6, 8, 10 e 12 cm, respectivamente). Os resultados foram expressos em centímetros, após estas avaliações, tanto as partes aéreas quanto as raízes foram submetidas a secagem até massa constante, em estufa regulada a 60 °C.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e foram avaliados pelo teste F a 5% de significância. Os dados qualitativos, significativos, foram submetidos ao teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Já para os dados quantitativos foi procedida a análise de regressão. Foi utilizado o programa estatístico R (R-CORE TIME, 2017).

#### 4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na safra 2017 sem compressão, diferença em emergência (E%), índice de velocidade de emergência (IVE) massa seca parte de raiz (MSPR) e comprimento de raiz (RAIZ) devido aos tratamentos. Para a safra 2018 sem compressão a diferença na emergência (E%), hipocótilo (HIPO) índice de velocidade de emergência (IVE) e comprimento de raiz (RAIZ) devido aos tratamentos. Na safra 2018, observa-se efeito simples de compressão (C) para as variáveis hipocótilo (HIPO), massa seca parte raiz (MSPR) e comprimento de raiz (RAIZ), efeito simples de compressão(C ) e profundidade(P) para índice de velocidade de emergência (IVE) e epicótilo(EPI), efeito simples de compressão (c), profundidade (P) e

interação compressão x profundidade (C x P) para as variáveis, emergência (E%), massa seca total (MST) e massa seca parte aérea (MSPA).

Tabela 3 - Análise de variância, quadrado médio, resíduo, média e coeficiente de variação para os caracteres E%, HIPO, MST, IVE, MSPA, EPI e RAIZ, Lages, Safra 2017 sem compressão, Safra 2018 com e sem compressão.

| Safra 2017 Sem Compressão |    |          |           |         |        |         |              |         |          |
|---------------------------|----|----------|-----------|---------|--------|---------|--------------|---------|----------|
| FV                        | GL | E(%)     | HIPO (cm) | MST(g)  | IVE    | MSPA(g) | MSPR(g)      | EPI(cm) | RAIZ(cm) |
| Tratamentos               | 3  | 1761,35* | 0,43      | 31,35   | 11,87* | 3,05    | 17,97*       | 12,50   | 40,62*   |
| Residual                  | 12 | 49,72    | 0,19      | 10,73   | 0,34   | 1,88    | 4,08         | 5,38    | 4,87     |
| CV%                       |    | 19,56    | 15,81     | 18,17   | 21,52  | 13,28   | 26,37        | 11,94   | 11,88    |
| Média                     |    | 36,04    | 2,76      | 14,0    | 2,73   | 10,33   | 7,66         | 19,44   | 18,57    |
| Safra 2018 Sem Compressão |    |          |           |         |        |         |              |         |          |
| FV                        | GL | E(%)     | HIPO (cm) | MST(g)  | IVE    | MSPA(g) | MSPR(g)      | EPI(cm) | RAIZ(cm) |
| Tratamentos               | 4  | 3083,8*  | 0,42*     | 40,69   | 3,28*  | 23,00   | 3,49         | 22,98   | 6,76*    |
| Residual                  | 15 | 56,6     | 0,02      | 27,59   | 0,15   | 14,13   | 3,36         | 8,83    | 1,89     |
| CV%                       |    | 12,6     | 1,97      | 24,24   | 2,58   | 15,13   | 6,53         | 22,94   | 15,77    |
| Média                     |    | 12,60    | 8,14      | 21,67   | 15,43  | 24,83   | 28,08        | 12,95   | 8,73     |
| Safra 2018 Com Compressão |    |          |           |         |        |         |              |         |          |
| FV                        | GL | E(%)     | HIPO (cm) | MST(g)  | IVE    | MSPA(g) | MSPR(g)<br>¥ | EPI(cm) | RAIZ(cm) |
| C                         | 1  | 3385,6*  | 0,1822    | 216,17* | 9,40*  | 126,29* | 0,67         | 137,15* | 1,99     |
| Prof                      | 4  | 7798,6*  | 0,2075*   | 157,02* | 24,81* | 79,49*  | 1,30*        | 118,45* | 31,07*   |
| C x P                     | 4  | 329,0*   | 0,066     | 58,13*  | 0,11   | 44,57*  | 0,058        | 5,51    | 0,9423   |
| Resíduo(a)                | 6  | 119,3    | 0,0367    | 6,95    | 0,35   | 4,43    | 0,35         | 11,53   | 1,21     |
| Resíduo (b)               | 24 | 51,10    | 0,035     | 17,12   | 0,15   | 11,10   | 0,412        | 11,22   | 0,7812   |
| CV%(a)                    |    | 19,30    | 12,09     | 9,95    | 27,11  | 10,35   | 24,94        | 18,23   | 8,27     |
| CV%(b)                    |    | 12,63    | 11,84     | 15,61   | 18,26  | 16,38   | 26,75        | 17,98   | 6,63     |
| Média                     |    | 57       | 1,58      | 26,50   | 0,72   | 20,32   | 2,39         | 18,62   | 13,31    |

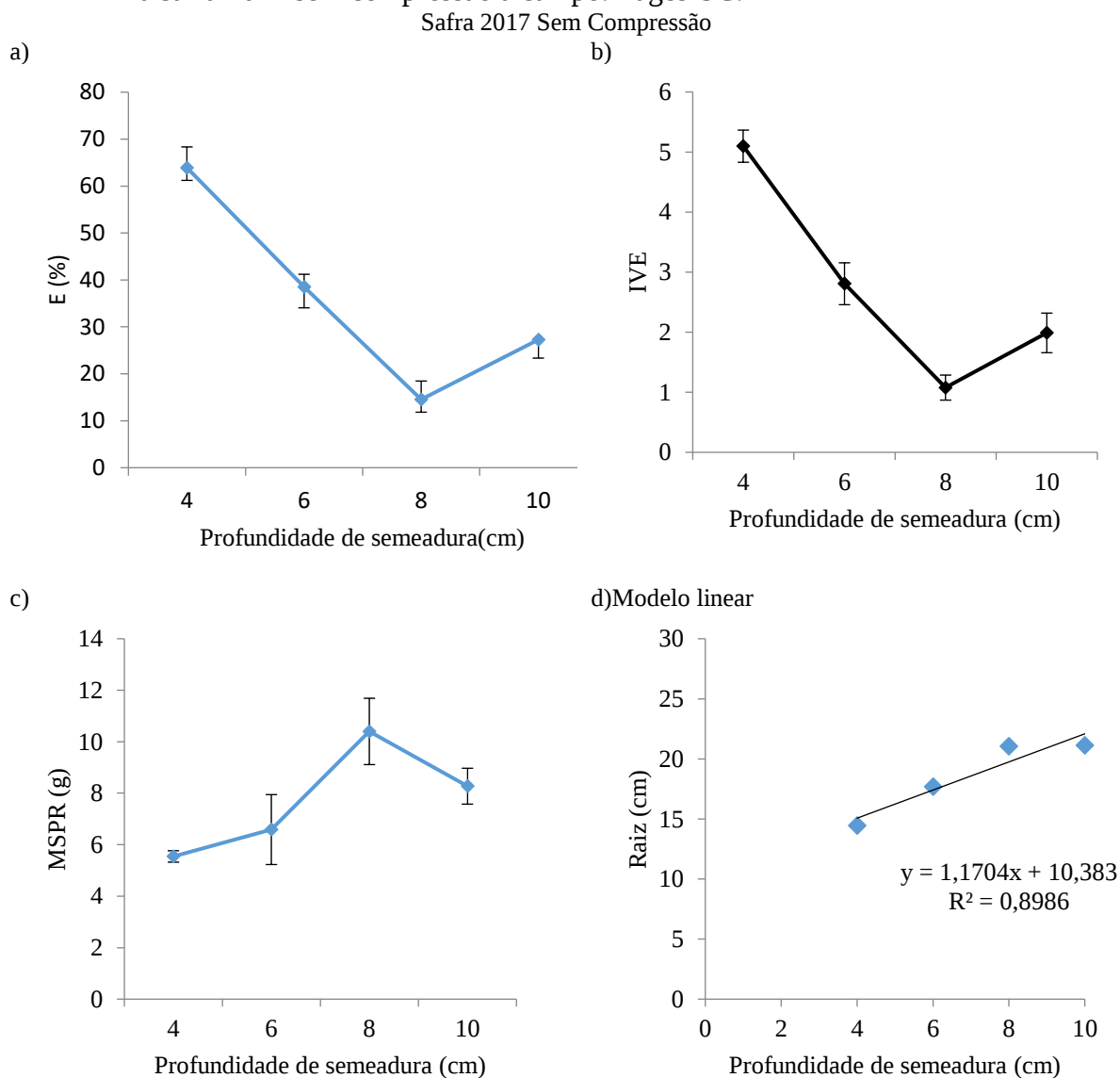
<sup>1</sup> Abreviaturas: E(%)=emergência, HIPO=hipocótilo, MST=massa seca total, IVE=índice de velocidade de emergência, MSPA=massa seca parte aérea, MSPR=massa seca parte raiz, EPI=epicótilo, RAIZ= comprimento de raiz, ¥ variável transformada.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para o teste de separação de média na safra 2017 sem compressão, observa-se na (Figura 13) que a emergência das plântulas e índice de velocidade de emergência da soja variou conforme a profundidade de semeadura com maior E% 4 cm de 62,89% e IVE 5,09 respectivamente. Observa-se na figura 13 a, tendência de redução do percentual de emergência a medida que aumenta a profundidade de semeadura de 8 cm e após incrementar semelhante a figura 13 b observa-se tendência de reduzir IVE ate a profundidade de 8 cm e após incrementar. Na figura 13 c apresenta um incremento de MSPR à medida que aumenta a profundidade, com ênfase para a profundidade de 8 cm .Observa-se na figura 13 d, resposta linear, a cada 1,17 cm

acrescida de profundidade de semeadura acrescidas no eixo x, é possível incrementar 10,38 cm de CR no eixo y.

Figura 13 – Emergência(E%),índice de velocidade de emergência (IVE),massa seca parte raiz (MSPR) e comprimento de raiz (RAIZ), em função da profundidade de semeadura na safra 2017 sem compressão a campo. Lages-SC.



<sup>/1</sup> Abreviaturas: E%=emergência, IVE=índice de velocidade de emergência, MSPR=massa seca parte raiz, RAIZ=comprimento de raiz.

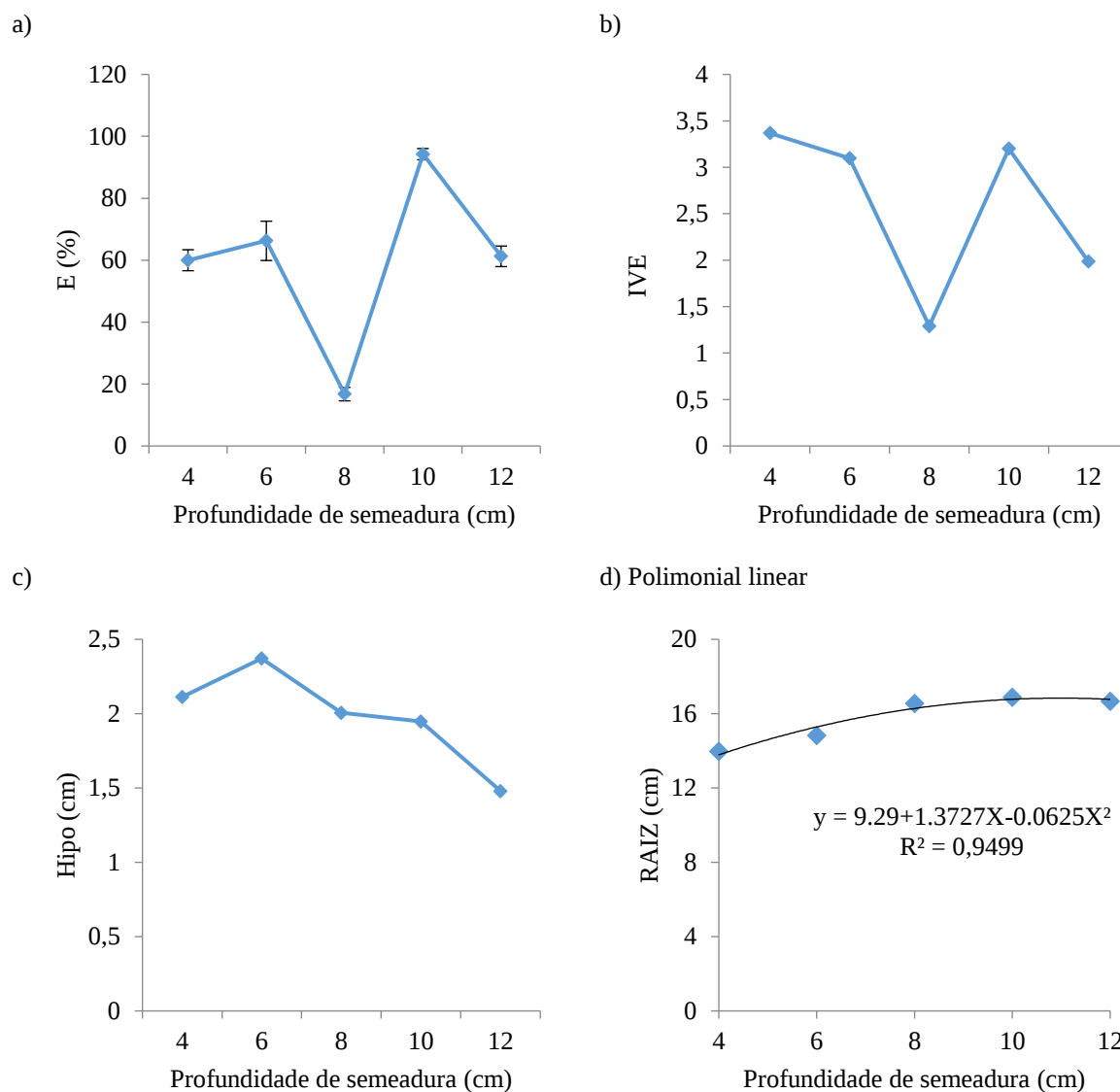
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Para o teste de separação de média na safra 2018 sem compressão, observa-se na (Figura 14 a) que a emergência das plântulas a 4 cm, 6 cm e 12 cm apresentam semelhança com maior valor de E% a 10 cm .Observa-se maiores IVE na profundidade 4 cm, 6 cm e 10 cm (Figura 14 b).Na figura 14 c observa-se maior comprimento de HIPO a 8 cm, entretanto podemos inferir, com aumento de profundidade de semeadura, ocorre tendência de reduzir o

comprimento de HIPO. Observa-se na figura 14d ajuste quadrático, com incremento de 11,41 cm em profundidade de semeadura, obtenho 1,46 cm no comprimento da raiz.

Figura 14 – Emergência (E%), Hipocótilo, Índice de velocidade de emergência (IVE) Hipocótilo (HIPO), Comprimento de raiz (RAIZ) em função da profundidade de semeadura, na safra 2018 sem compressão a campo. Lages-SC.

Safra 2018 Sem Compressão

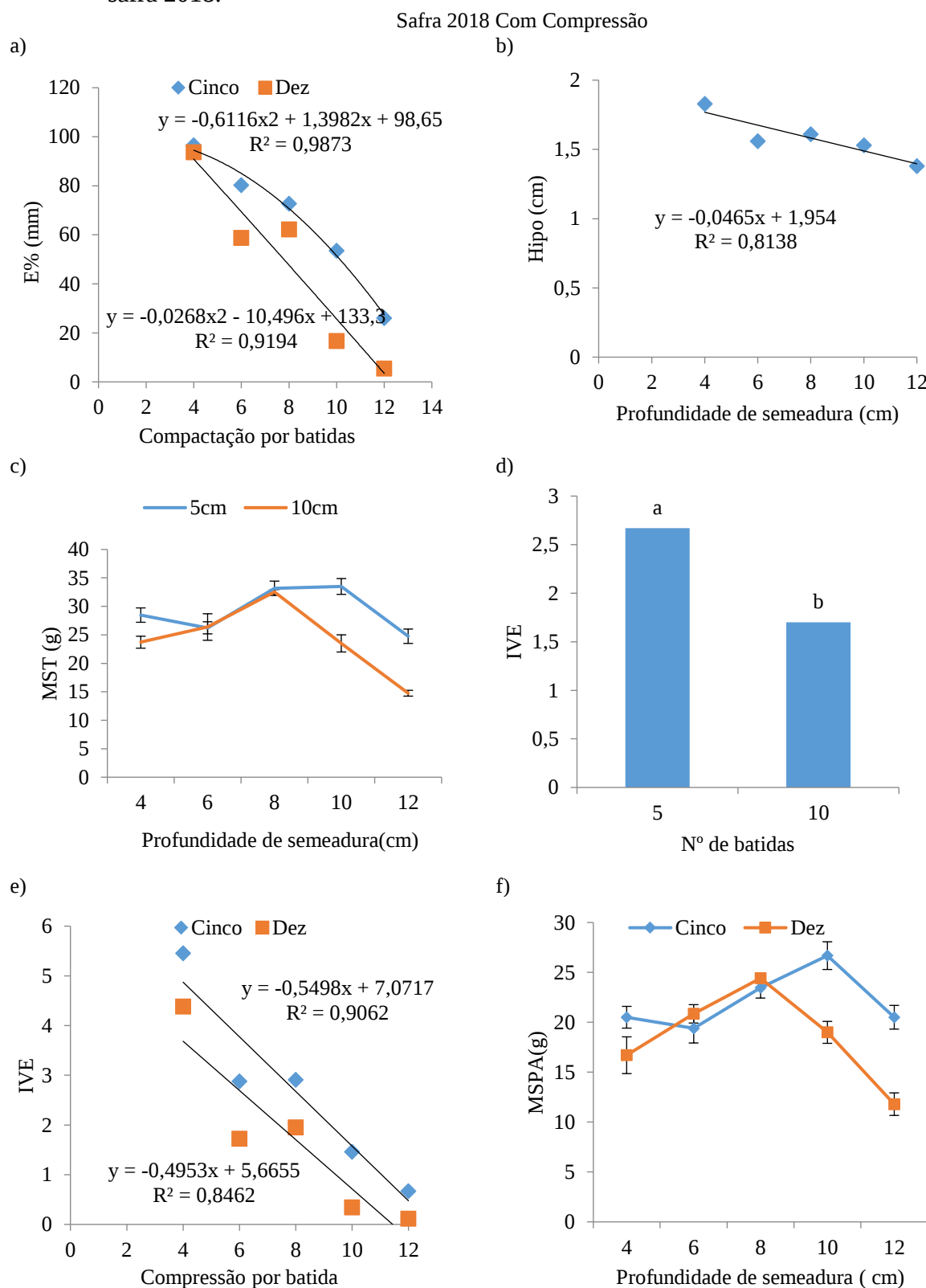


<sup>/1</sup> Abreviaturas: E%=emergência, HIPO=hipocótilo, IVE=índice de velocidade de emergência, RAIZ=comprimento de raiz.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Observa-se na figura 15 a na safra 2018 sem compressão, diferença significativa para emergência, com interação compressão x profundidade (C x P), para baixa compressão, observa-se a cada 1 cm de acrescido em profundidade de semeadura, resulta 98% de plântulas emergidas. Efeito simples de profundidade (P) com ajuste linear da equação, a cada 1,95 cm de incremento em profundidade de semeadura obteve 0,046 cm de comprimento do hipocótilo (Figura 15 b). Observa-se interação compressão x profundidade (C x P) para massa seca total, resultando em gramas (g) semelhante para 6 cm e 8 cm de profundidade de semeadura ambas em baixa compressão (Figura 15 c). Efeito simples de compressão (C) com maior índice de velocidade de emergência (2,67) em baixa compressão do solo (Figura 15 d) e interação compressão x profundidade (C x P), com ajuste linear, resultando em maior índice de velocidade de emergência as plântulas oriundas de baixa compressão, acrescido 7,07 de IVE a cada 0,5 batidas de compressão (Figura 15 e). Observa-se na figura 15 f interação compressão x profundidade (C x P) para alta compressão com interação de MSPA a 6 cm e 8 cm de profundidade de semeadura.

Figura 15 – Emergência (E%), Hipocótilo (HIPO), Massa seca total (MST), Índice de velocidade de emergência (IVE) e Massa seca parte aérea (MSPA) em função de cinco profundidades de semeadura e dois níveis de compressão do solo. Lages-SC, safra 2018.

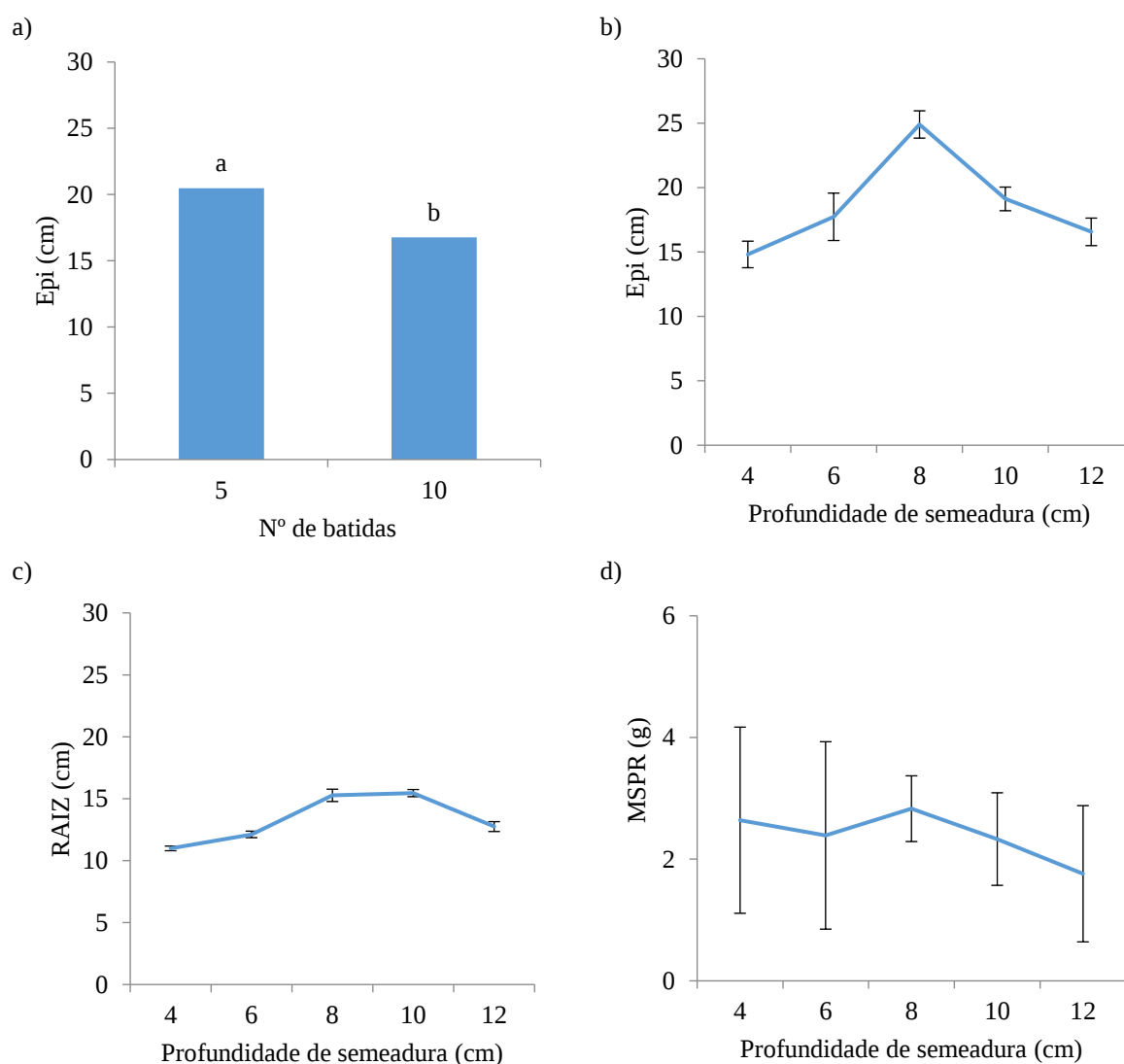


<sup>/1</sup> Abreviaturas: E%=emergência, HIPO=hipocótilo, MST=massa seca total, IVE=índice de velocidade de emergência, MSPA=massa seca parte aérea.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Na figura 16 a ocorre efeito simples de compressão, em baixa compressão obteve comprimento do epicótilo e interação compressão x profundidade (C x P), em baixa compressão na profundidade de semeadura de 8 cm resultou em maior comprimento de EPI (Figura 16 b). Efeito simples de profundidade, obteve em 8 e 10 cm de profundidade de semeadura tendência de maior comprimento de raiz (Figura 16 c). Efeito simples de profundidade (P), obteve em 8cm de profundidade de semeadura tendência de maior MSPR (Figura 16 d).

Figura 16 – a) Epicótilo (EPI), em função de duas compressões, b) Epicótilo (EPI), c) Comprimento de raiz (CR) e d) Massa seca parte raiz (MSPR) em função de cinco profundidades de semeadura, na safra 2018 com compressão, a campo, Lages-SC.



<sup>/1</sup> Abreviaturas: EPI=epicótilo, RAIZ=comprimento de raiz, MSPR=massa seca parte raiz.  
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A profundidade de semeadura é específica para cada espécie, devendo proporcionar germinação e emergência adequada das plântulas (SOUSA et al., 2007; PEDÓ et al., 2014). Profundidades excessivas ou reduzidas de semeadura podem impedir a emergência de plântulas

e as sementes ficam expostas ao calor com excesso ou déficit de água (TILLMANN et al., 1994; SILVA et al., 2008). Segundo Pedó et al. (2014) em profundidades maiores reduz a emergência, decorrentes de camadas mais espessa, maior resistência a penetração, interferindo no estabelecimento do estande e no potencial produtivo da espécie. Em profundidade de semeadura entre 2 e 3 cm para plântulas de fava (*Phaseolus lunatus* L.) Alves et al. (2014) encontraram maior emergência e IVE. Segundo Modolo et al. (2011), observaram maior IVE em 5,0 cm quando comparado com as profundidades de 3,0 e 7,0 cm. Segundo Hugghees et al. (1992), o comprimento da raiz cresce das plantas conforme aumenta a profundidade de semeadura, podendo estar relacionado a capacidade da planta sintetizar carboidratos e absorver água e nutrientes. Plântulas de *Erythrina verna* apresentaram redução no comprimento radicular com o aumento da profundidade de semeadura, de 9,6 a 7,2 cm nas profundidades de 1 e 6 cm (PÊGO et al., 2015). Segundo (ALI; IDRIS, 2015). Não apresentou efeito significativo em comprimento da radícula de plântulas de fava (*Vicia Fava* L.) com semeaduras em profundidades de 5 e 10 cm.

Semeadura realizada nas profundidades de 8 e 10 cm podem estiolar a plântula, com presença de hastes longas, resultando em maior comprimento do epicótilo, emergência, IVE e altura de plantas (NÔBREGA; VIEIRA, 1995). Segundo Pêgo et al. (2015) identificou em plântulas de *Erythrina verna*, semeadas 3 cm de profundidade aumento do epicótilo.

Camada de solo espessa restringe o desenvolvimento do hipocótilo, pois deve crescer em comprimento para superar as profundidades de semeadura e em diâmetro para adquirir força para vencer as resistências provocadas pelo peso dos cotilédones e pelo solo (COSTA et al., 1999). Segundo Knittle; Burris (1979) as plântulas respondem a diferentes RP do solo, com aumento do diâmetro e diminuição do comprimento do hipocótilo.

O acréscimo em profundidade interfere na produção de massa seca da cultura, resultando em maior gasto energético realizado pelas plântulas para romper as camadas inferiores, tornando a planta debilitada, com menor acúmulo de matéria seca (GROTTA et al. 2008). Semelhante ao encontrado por Ali; Idris (2015), em que a massa seca de plântulas de fava (*Vicia Fava* L.) com semeaduras em profundidades de 5 e 10 cm, não apresentou efeito significativo. Contudo, Modolo et al. (2011) observou-se maior MSP de parte aérea de plantas de feijão na profundidade de semeadura de 5 cm, devido provavelmente à maior altura destas e não observou diferença para a MSP de raiz, embora com tendência de aumento da MSP em maiores profundidades de semeadura. Assim como com plantas de *Erythrina verna* em que houve redução da MSP com profundidades de até 6 cm (PÊGO et al., 2015).

#### 4.6 CONCLUSÕES

Identificou-se no primeiro experimento (safra 2017) sem compressão do solo que profundidade de semeadura de 4 a 10 cm resultaram em maior E%, IVE e MSPR

Observou-se no segundo experimento (safra 2018) sem compressão do solo, que profundidade de semeadura de 4 e 6 cm resultaram em maior IVE, profundidade de semeadura de 6 cm proporcionaram maior comprimento do HIPO, profundidade de semeadura de 10cm identificou-se maior E%.

Constatou-se no terceiro experimento (safra 2019) com compressão, em baixa compressão e profundidade de semeadura de 4 cm incremento em E% e hipocótilo, profundidade de semeadura de 8 e 10 cm constatou maior MST e MSPA, profundidade de semeadura de 8cm resultou em maior MSPR, EPI e CR, profundidade de semeadura de 4 e 8cm obteve maior IVE. A emergência de plântulas reduz à medida que aumenta a profundidade de semeadura e o nível de compressão. Quanto maior a profundidade de semeadura menor E%, IVE, HIPO e maior CR.

Constatou-se que profundidades de semeadura entre 4 e 8 cm proporcionaram incremento de emergência, IVE e desempenho inicial de plântulas e que profundidades maiores que 10 cm associadas a uma maior compressão do solo prejudicam o desenvolvimento da cultura.

## 5 COMPRESSÃO DE UM NITOSSOLO INDUZIDA PELO TRÁFEGO DE MÁQUINAS E SUA RELAÇÃO COM OS CARACTERES MORFOAGRONOMICO DA SOJA.

### 5.1 RESUMO

O uso de máquinas e implementos vem sendo intensificado e quando utilizados, em condições inadequadas, podem aumentar a compressão do solo, interferindo diretamente e reduzindo a porosidade e infiltração de água no solo, afetando negativamente na penetração da raiz, na atividade fotossintética da planta e no rendimento da cultura da soja. Objetivou-se no presente trabalho verificar o efeito da compressão imposta ao solo, em função do número consecutivo de passadas com o rodado da máquina no mesmo local, em duas profundidades de semeadura da soja, o quanto esses fatores influenciam resistência a penetração do solo e os caracteres morfoagronômicos da cultura da soja. O experimento foi realizado em lavoura comercial de soja, no Município de Ponte Serrada-SC, em solo classificado como nitossolo, no período de outubro a abril nas safras 2017/2018 e 2018/2019. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizado em esquema fatorial 4 x 2, com quatro intensidades de tráfego de um trator agrícola (compressão) (T1 = 0, T2 = 5, T3 = 10 e T4 = 20 passadas do trator) e duas profundidade de semeadura da soja: P1=4 cm e P2=8cm, com cinco repetições. O experimento foi organizado em parcelas subdivididas na parcela principal (intensidade de tráfego) e nas subparcelas (profundidade de semeadura utilizando a cultivar TMG 7062IPRO com semeadura na densidade de 380 mil plantas por hectare e espaçamento entre linhas de 0,45 cm. Avaliaram-se os caracteres morfoagronômicos (AP, DH, NNP, NRP, NVP, NGV, NGP, PGP, PMG, RB e RG) e físico do solo apenas a resistência à penetração (RP) antes da semeadura e a cada trinta dias durante o ciclo da soja com o uso do penetrômetro. Os dados obtidos foram submetidos à análise variância e quando significativos a pelo menos 5% significância foram submetidos a ajuste regressão (fatores quantitativos RP e profundidade) ou a teste de médias Tukey (fatores qualitativos, perfil do solo resultante da compressão) a 5% de probabilidade de erro. Para as análises fez-se o uso do programa estatístico R (R@Core Team) e Excel para figuras. As plantas de soja que cresceram sobre solo que sofreu 5 passadas de compressão por tráfego do trator apresentam maior altura, diâmetro da haste, número de nós na haste principal da planta, peso de grão por planta e massa de mil grãos, independente da profundidade de semeadura. Plantas oriundas de solo em preparo convencional (zero passadas de tráfego do trator na pré-semeadura) apresentam maior rendimento biológico. Quanto menor a compressão pelo tráfego do trator no mesmo local maior o NVP, PMG, NGV e RB. O Nitossolo submetido a maior compressão (20 passadas de tráfego do trator) no qual se semeia a soja na profundidade 8 cm, possibilita produzir plantas com maior número de ramos, mas com menor rendimento de grãos. A compressão imposta ao solo em função do aumento da intensidade de tráfego das máquinas no mesmo local interfere no crescimento, desenvolvimento, rendimento biológico e produtivo da cultura da soja.

**Palavras-chave:** *Glycine max*, rendimento de grãos, compressão.

## 5.2 ABSTRACT

The machines and implements use has been intensified and when used, in inappropriate conditions, it can increase the soil compression, directly interfering and reducing the porosity and water infiltration into the soil, affecting negatively in the root penetration, in the plant photosynthetic activity and the soybean culture yield. The present work had as objective to verify the compression effect imposed on the soil, as passed consecutive number function with the machine wheels in the same place, in two soybean sowing depth, how much these factors influence resistance to the soil penetration and the soybean culture morphoagronomic characters. The experiment was conducted in a commercial soybean plantations in Ponte Serrada – SC town in soil classified as nitosol, from October to April period in 2017/2018 and 2018/2019 harvests. The experimental design used was in randomized blocks in a 4 x 2 factorial scheme, with four traffic intensities by an agricultural tractor (compression) (T1 = 0, T2 = 5, T3 = 10 and T4 = 20 tractor passed) and two soybean sowing depth: P1 = 4 cm and P2 = 8 cm, with five replications. The experiment was arranged in a split plot the main plot (traffic intensity) and the subplots (sowing depth) using the cultivate TMG 7062IPRO with sowing density of 380 thousand plants per hectare and 0,45cm spacing among lines. They were evaluated the soil physical and morphoagronomic characters (PH, PLD, NNP, NBP, PNP, GNP, PGN, GWP, WTG, BY and GY) only the penetration resistance (RP) before sowing and every thirty days during the soybean cycle using the penetrometer. The data were submitted to analysis variance and when significant by at least 5% significance, they were submitted to regression adjustment (quantitative factors RSP and depth) or Tukey medium test (qualitative factors, soil profile resulting compression) 5% error probability. For analyses was done using the statistical software R (R @ Core Team) and Excel for figures. The soybean plants grown on soil that has undergone 5 compression passed by tractor traffic has a higher height, stem diameter, nodes number on the plant main stem, grain weight per plant and a thousand grains mass, regardless of the sowing depth. Plants arising from soil in conventional preparation (zero passed of tractor traffic in pre-sowing) show higher biological yield. As lower the compression by tractor traffic in the same place as higher PNP, WTG, GNP and BY. The Nitossolo submitted to greater compression (20 passed of tractor traffic) in which soybean is sown at a depth of 8 cm, it makes possible to produce plants with a greater branches number, but with lower grain yield. The compression imposed on the soil due to the traffic machine intensity increased at the same place interferes with the growth, development, soybean culture biological and productive yield.

**Keywords:** *Glycine max*, grain yield, compression.

## 5.3 INTRODUÇÃO

A soja é a cultura de maior destaque na atividade agrícola no Brasil, considerando os incrementos registrados na área cultivada, na produção, na produtividade e na rentabilidade. O sistema de plantio direto quando mal conduzido resulta em problemas tais como degradação do solo quando utilizado manejo intensivo de máquinas, ausentes de estratégias, as quais compactam camadas inferiores por transferência de cargas resultante de um efeito acumulativo

do decorrer dos anos de cultivo (MIELNICZUK et al., 2003). Segundo Reichert, Suzuki; Reinert (2007) apesar do uso operacional de máquinas e implementos agrícolas serem eficientes, proporcionando acréscimos na produção agrícola atual, o tráfego excessivo decorrente do número de operações é o principal agente responsável por causar compactação em solos.

A semeadura no sistema plantio direto constitui-se numa das mais importantes etapas de todo o processo produtivo, portanto, para se obter um estande uniforme, deve se atentar a profundidade de semeadura, uma vez que é específica para cada espécie, assim propiciando a germinação e emergência adequada. Excessivas profundidades de semeadura podem prejudicar o processo de emergência da plântula, por outro lado, semeadura muito próxima a superfície do solo tornam as sementes vulneráveis a quaisquer fatores ambientais e climáticos que possam dar origem a plântulas de menor vigor (LIMEDE et al., 2018).

A compactação reduz a porosidade, a permeabilidade, aumentando a densidade e a resistência à penetração (maior compactação), interferindo no fluxo de nutrientes, água, oxigênio, podendo influenciar no crescimento e desenvolvimento das plantas. O pisoteio de animais, passagem de máquinas e implementos agrícolas pode resultar em maior compactação, alterando os poros maiores que 50  $\mu\text{m}$  (macroporos) resultando em poros menores (microporos) (REICHERT et al., 2007). O solo usado de forma intensificada interfere nas características e nos atributos físicos e químicos, resultando em camadas compactadas, diminuindo a infiltração de água e aeração do solo e, interferindo o desenvolvimento radicular das plantas (FONTANA et al. 2016). Quando a porosidade de aeração é menor que 10% a taxa de difusão de gases é próximo de zero, afetando a aeração do sistema radicular das plantas, o que acarretará em hipoxia e em casos graves a anoxia. Nas lavouras comerciais a camada entre 8 - 15 cm de profundidade é a mais afetada pela compactação, enquanto que no sistema plantio direto a camada de 0-5 cm do solo apresenta menor densidade e maior porosidade total decorrente da ação de discos da semeadora-adubadora, das raízes e da matéria orgânica.

A densidade, a porosidade e a resistência à penetração, são atributos físicos utilizados para determinar o grau de compactação do solo, sendo a resistência a mais frequentemente utilizada, por possibilitar melhores correlações e relações diretas com o crescimento e com a produtividade das plantas (LETEY et al., 1985).

Este capítulo foi conduzido com base nas seguintes hipóteses: uma forma de amenizar a compressão superficial é semear a profundidade maior, rompendo fisicamente a camada compactada no momento da semeadura, e assim se consegue maior produção de grãos de soja,

em condições de lavoura a maior produção de grãos de soja é obtida em solo com menor compressão, ou seja, que sofreu menor tráfego de máquinas.

Com base nessas hipóteses, foram conduzidos experimentos na safra 2017/2018 e 2018/2019 tendo como objetivo geral avaliar a compressão pelo tráfego de máquina e como objetivos específicos verificar a campo o efeito da compressão imposta ao solo, em função da intensidade de tráfego agrícola das máquinas, no crescimento, desenvolvimento e no rendimento biológico da cultura da soja.

Atualmente os sistemas agrícolas têm sido desafiados a intensificar os cultivos, uso dos recursos de manejo e do meio para incrementar a produtividade das culturas. Decorrente do trânsito de máquinas, o aumento do tamanho e peso associado ao reduzido tempo para execução das atividades, geralmente as operações ocorrem em condições de umidade de solo não ideais o que resulta em compactação do solo (TREIN et al., 2009).

Eliminar o tráfego de máquinas no sistema agrícola é inviável, a alternativa é aleatorizar e reduzir o tráfego e manobras nas extremidades das lavouras, usando ferramenta da agricultura de precisão como piloto automático e a base RTK (Real Time Kinematic recomendado para tráfego em grandes áreas (BOCHTIS et al., 2010).

Segundo Kroulik et al. (2010) é necessário realizar adaptações com ajustes das bitolas dos rodados para que haja coincidência, estabelecer um módulo de largura da barra de aplicação dos pulverizadores, número e distância entre linhas nas semeadoras, largura da plataforma de corte de colhedora.

Dados da literatura consultada apontam que é possível gerenciar e realizar o tráfego controlado, porém ainda é incipiente, no sul do Brasil, pela ocorrência do relevo ser suave ondulado, o que implica as máquinas agrícolas operar em curvas e ausência de informação sobre o retorno econômico desta prática (GASSEN et al., 2011).

No presente estudo, optou-se por simular o tráfego de máquinas e avaliar a resistência a penetração do solo e sua relação com a produtividade em lavoura comercial, implantada sob o sistema plantio direto em quatro níveis de compactação e semeadura da soja em duas profundidades distintas.

Objetivou-se no presente trabalho verificar o efeito da compressão imposta ao solo, em função do número consecutivo de passadas com o rodado da máquina no mesmo local, em duas profundidades de semeadura da soja, o quanto esses fatores influenciam resistência a penetração do solo durante o cultivo da soja e nos caracteres morfoagronômicos da cultura da soja.

#### 5.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em lavoura comercial de soja no Município de Ponte Serrada SC, Brasil no período de abril a maio nas safras 2017/2018 e 2019/2020, localizado à latitude de 26° 52 '18 "S, longitude de 52° 00 '57 W e altitude de 1067 m,". O clima é classificado como segundo Köppen's como Cfa, isto é, mesotermal subtropical húmido, sem estação seca definida, 18,9 °C é a temperatura média e pluviosidade média anual de 1997 mm. O solo é classificado de acordo com Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC (CQFS-RS/SC, 2016) como nitossolo, com textura argilosa, declividade de 0,02 m, teor de umidade do solo na camada 0-0,20 m igual a 6% e densidade média na camada 0-0,20 m igual a 1,53 g cm<sup>-3</sup>. Utilizou-se semente de soja da cultivar TMG 7062IPRO, cuja obtentora é a empresa Nideira. Esta cultivar tem hábito de crescimento indeterminado, altura de tamanho médio e ciclo precoce. O sistema radicular é formado pela raiz principal (raiz direta) e raízes secundárias (raízes laterais) e está concentrada na camada de 0,10-0,20 m. Quanto às doenças, esta cultivar é resistente para Stem Canker e *Phytophthora* Root Rot (raças 1 e 4). O estudo experimental foi um arranjo fatorial, de parcelas subdivididas de 4 x 2, com quatro intensidades de tráfego (0, 5, 10 e 20 passadas) passagens do rodado do trator (compressão) e duas profundidades de semeadura (4 e 8 cm), com quatro repetições. A semeadura foi com 17 sementes por m linear. Cada parcela teve uma área de 18,9m<sup>2</sup> (3,15 x 6,0 m) com espaçamentos de 0,45 m entrelinhas e entre blocos. No preparo do solo foi usado o implemento subsolador, acoplado no elevador hidráulico de 3 pontos, com cinco hastes programadas para atingir a profundidade de 0,4 m, após a operação de subsolagem foi aplicada a grade niveladora e posterior compactação através do tráfego da máquina por toda a parcela, de forma que os pneus comprimissem áreas paralelas entre si, sendo as passadas sobrepostas às anteriores para que toda a área fosse igualmente tráfegada, conforme os tratamentos especificados anteriormente. A área foi dessecada 20 dias antes do preparo do solo com glifosato (Gliovert) na dose de 3,0 l ha<sup>-1</sup>, 2,4 D (Aminol) na dose de 1,0 l ha<sup>-1</sup> e inseticida cipermetrina (alfa-cipermetrina) dose 200 ml ha<sup>-1</sup> e adjuvante extrato de laranja (Orange) dose de 100 ml ha<sup>-1</sup>. As operações de subsolagens, gradagem e compressão foram realizadas com auxílio de um trator Massey Ferguson, modelo 292, com Potência nominal do motor de 105 cv, com tração auxiliar ligada, engrenagem L2 e rotação do motor de 1900 RPM, velocidade de avanço de 5,45 km h<sup>-1</sup>, com pneus traseiros diagonal 18,4 R 34 e pneus dianteiros 14,4 R 24. A pressão de inflação dos pneus foi de 1,8 BARES correspondentes a 26 psi, nos pneus dianteiros sem água, para os pneus traseiros foi de 1,4 BARES correspondente a 20 psi com 80% do volume de cada pneu ocupado com água (400 litros).

Análise físico-química do solo foi realizada em maio de 2017, com objetivo de identificar a necessidade de adubação de correção, manutenção e de cobertura no cultivo da soja implantada em outubro de 2017 (safra 2017/2018) e novamente em outubro de 2018 (safra 2018/2019). Se observou na tabela 1 a necessidade de  $1,0 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário dolomítico para correção do pH e manutenção deste em 6,5, o teor de fósforo estava no valor médio e potássio no valor baixo, sendo necessária a aplicação de  $360 \text{ kg ha}^{-1}$  da adubação NPK (N- $\text{P}_2\text{O}_5$ - $\text{K}_2\text{O}$ ) fórmula 02-24-12 com os macronutrientes Ca e S, e mais  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  de cloreto de potássio em cobertura, para obter rendimento de grão previsto/equivalente a 90 sacas de soja por hectare ( $5,4 \text{ t ha}^{-1}$  de grãos). As sementes previamente a semeadura foram tratadas com inseticidas, fungicidas e inoculantes recomendados para a cultura. O inoculante foi a base de *Bradyrhizobium elkanii* e *B. japonicum*, contendo as estirpes SEMIA 5080 e 5079. Conforme o tratamento, as sementes foram depositadas a 4 ou 8 cm de profundidade, respectivamente. A densidade de semeadura utilizada foi de 38 sementes aptas por  $\text{m}^2$  (TMG, 2017). A adubação de cobertura como fonte potássica foi realizada no estágio de quatro trifólios (4 folhas trifolioladas) na dose de  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ . As demais práticas de manejo durante o ciclo de cultivo da soja, na safra 2017/2018 e 2018/2019, consistiram em uma aplicação de herbicidas, três de inseticidas para controle de lagartas, duas de fungicidas e uma de inseticida. Os produtos foram recomendados de acordo com as necessidades de manejo durante o ciclo da cultura da soja.

Os produtos, doses e épocas de aplicação foram: na dessecação pré-semeadura utilizou-se a aplicação de glifosato (Glioever na dose  $2,5 \text{ l ha}^{-1}$  associado com o herbicida 2,4D (Aminol) dose  $1,0 \text{ l ha}^{-1}$  e mais o inseticida cipermetrina (Cipermetrina)  $200 \text{ ml ha}^{-1}$ . Em pós-emergência, o controle de plantas daninhas da cultura da soja foi realizado com glifosato (Glioever) na dose de  $5,0 \text{ l ha}^{-1}$  associado com óleo mineral (Orange)  $100 \text{ ml ha}^{-1}$  e mais o inseticida novalurum (Prêmio) na dose de  $40 \text{ ml ha}^{-1}$  quando as plantas daninhas estavam V2.

A primeira aplicação de fungicida na cultura da soja foi com prothioconazol + trifloxistrobina (Fox®) na dose de  $400 \text{ ml ha}^{-1}$ , associado com o óleo mineral (Orange) na dose  $100 \text{ ml ha}^{-1}$  mais o inseticida profenofós (Curyon®) na dose de  $200 \text{ ml ha}^{-1}$ . A segunda aplicação foi com fungicida a base de ciproconazol + picoxistrobina (Aproch Prima®) na dose  $300 \text{ ml ha}^{-1}$ , associada com o óleo mineral (Nimbus) na dose de  $500 \text{ ml ha}^{-1}$ , mais o inseticida novalurum (Rimon) na dose  $150 \text{ ml ha}^{-1}$  e com o adubo foliar (Potafort) na dose  $500 \text{ ml ha}^{-1}$ . Na terceira aplicação de fungicida utilizou-se o produto a base de ciproconazol + picoxistrobina (Aproch Prima) na dose de  $300 \text{ ml ha}^{-1}$ , óleo mineral (Nimbus) na dose de  $500 \text{ ml ha}^{-1}$ , o inseticida novaluron (Prêmio) na dose de  $50 \text{ ml ha}^{-1}$ .

No período em que as plantas encontravam a campo foram monitoradas semanalmente com objetivo de obter o máximo controle plantas daninhas, de doenças e insetos praga.

A colheita foi realizada no dia 10 de abril de 2018, na primeira safra e na segunda safra no dia 06 de abril de 2019, quando as plantas apresentavam maturidade de colheita, denominado de estágio R8. Nesta ocasião foram amostradas 10 plantas por parcela. Os grãos destas plantas foram coletados manualmente e após a trilha, limpeza, e secagem em estufa a 60 °C por 72 horas. Para os caracteres morfoagronômicos, estes foram avaliados quanto as seguintes variáveis: altura da planta (AP), diâmetro da haste principal (DHP), número de nós na haste principal (NNP), número de ramos por planta (NRP), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagens (NGV) e massa de cem grãos (MCG).

Os dados de precipitação pluviométrica e temperatura máxima, média e mínima durante o período de realização do experimento foram obtidos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018; 2019; EPAGRI/CIRAM, 2019).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e sua significância foi avaliada pelo teste F em 5%. Os dados quando significativos, foram submetidos ao teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro. A homogeneidade das variâncias e a normalidade dos dados foram avaliadas através do Shapiro-Wilk, respectivamente. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico R (R-CORE TEAM, 2017).

Figura 17 – a) Avaliação do DHP da soja na cicatriz cotiledonar, b) Visualização da AP de soja; c) coleta de dez plantas por parcela e e) plantas amostrada acondicionadas em pacote de papel. Ponte Serrada-SC, safra 2017/2018.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Tabela 4 - Características químicas selecionadas do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, amostradas antes da implantação do experimento.

| amostradas antes da implantação do experimento: |                           |             |                             |                             |                                            |     |    |      |    |      |    |
|-------------------------------------------------|---------------------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------|-----|----|------|----|------|----|
| Profundidade<br>(cm)                            | pH em<br>H <sub>2</sub> O | (%)<br>M,O, | Mehlich                     |                             | Complexo Sortivo (cmol, dm <sup>-3</sup> ) |     |    |      |    |      | V% |
|                                                 |                           |             | (mg dm <sup>-3</sup> )<br>P | (mg dm <sup>-3</sup> )<br>K | Ca                                         | Mg  | Al | H+Al | SB | CTC  |    |
| 0 a 20                                          | 6,2                       | 8,1         | 18                          | 106                         | 19,3                                       | 1,7 | 0  | 5,5  | 79 | 26,7 | 79 |

M,O, = Matéria orgânica; V% = saturação de bases; SB = Soma de bases

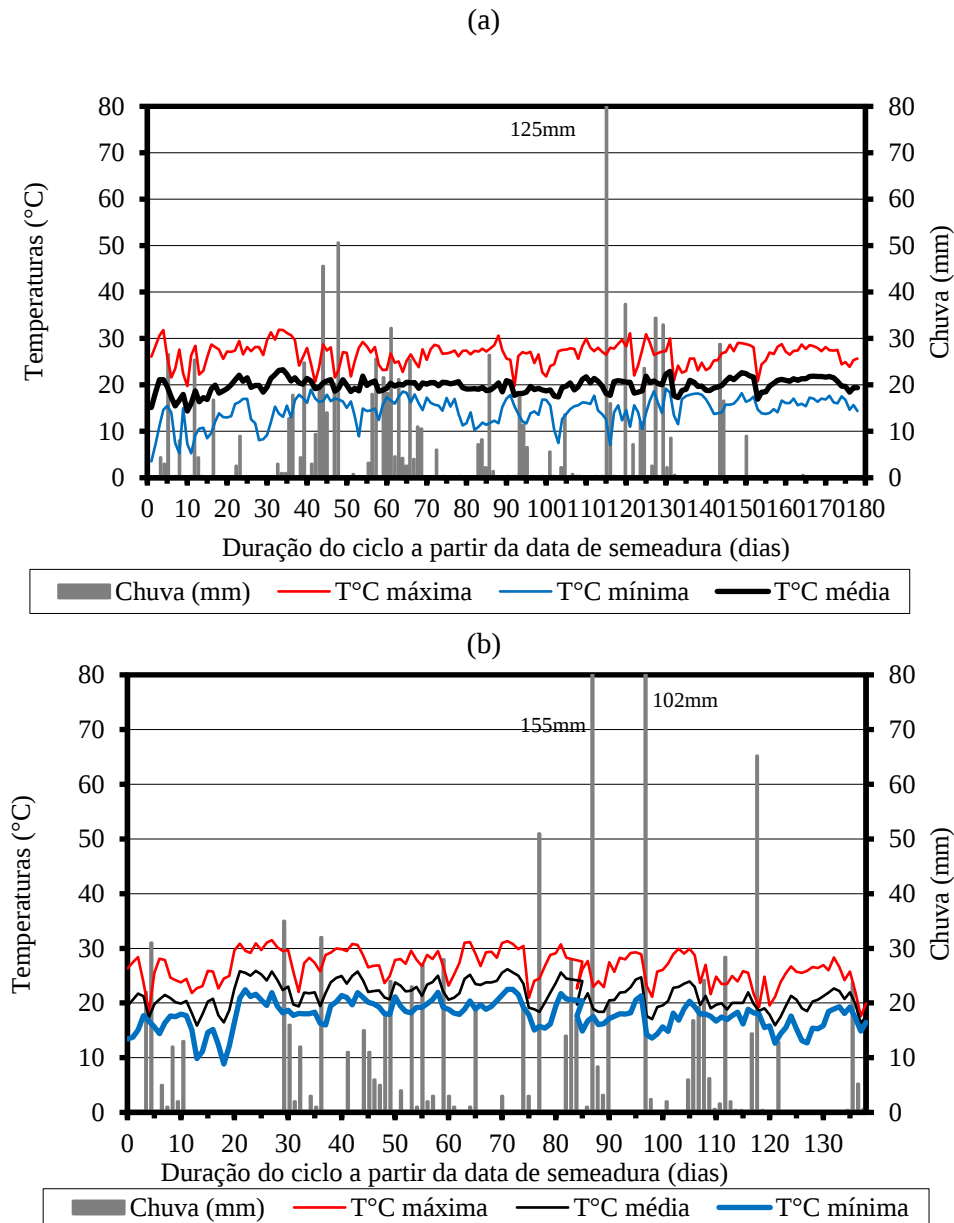
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

## 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período do experimento compreendeu entre 13/11/2017 a 10/04/2018 com precipitação de 777,20 mm durante todo o ciclo da cultura da soja (Figura 18). A presença de água no solo é indispensável para manter as culturas (HOLZMAN; RIVAS, 2016; TADESSE et al., 2015) existindo relação entre o índice de área foliar, umidade e produtividade da soja (MLADENOVA et al., 2017, ANDERSON et al., 2016; HOLZMAN; RIVAS, 2016; LEROUX et al., 2016; HOLZMAN et al., 2014a ; WU et al., 2014).

Na tabela 5, safra 2017/2018, observam-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nos caracteres altura de plantas (AP) e peso de mil grãos (PMG) quando o solo foi submetido a diferentes níveis de compressão, também se observa interação compressão x profundidade (C x P) de semeadura e também existiram diferenças no diâmetro da haste das plantas (DHP) de soja e no seu rendimento biológico (RB) em função dos distintos níveis de compressão do solo. Para o número de nós na haste principal (NNP) da planta de soja observou-se efeito de compressão (C), profundidade de semeadura (P) e interação compressão x profundidade (C x P). Quanto ao número de vagens por planta e número de grãos por vagens, apenas obteve-se efeito significativos da interação compressão do solo x profundidade de semeadura da soja (C x P). Na tabela 5, safra 2018/2019, observam-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) nos caracteres DHP, NRP, NGV, NGP, PGP, PMG e RB quando o solo foi submetido a diferentes níveis de compressão, também observou-se efeito em profundidade de semeadura (P) para NVP, PMG e RB.

Figura 18 – Dados climáticos de precipitação e das médias mensais das temperaturas durante o ciclo de cultivo da soja a campo, Ponte Serrada-SC, a) Safra 2017/2018 e b) Safra 2018/2019.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2019, a partir de dados do INMET/EPAGRI/CIRAM,

Tabela 5 - Análise de análise de variância (quadrado médio e significância) para os caracteres morfoagronômicos da cultura da soja submetida a quatro intensidades de compressão artificial do solo e duas profundidade de semeadura da soja, a campo, Ponte Serrada-SC, Safras 2017/2018 e 2018/2019.

| FV <sup>1/</sup> | Safr 2017/2018 |            |              |              |              |              |              |              |             |             |            |
|------------------|----------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|------------|
|                  | GL             | AP<br>(cm) | DHP<br>(mm)¥ | NNP<br>(n°)¥ | NRP<br>(n°)¥ | NVP<br>(n°)¥ | NGV<br>(n°)¥ | NGP<br>(n°)¥ | PGP<br>(g)¥ | PMG<br>(g)¥ | RB<br>(g)¥ |
| Bloco            | 3              | 0,005*     | 0,18*        | 0,011        | 0,186        | 1,999        | 0,005        | 5,54         | 0,18        | 13,20       | 10,85*     |
| Compressão (C)   | 3              | 0,085*     | 0,31*        | 0,050*       | 0,253        | 0,627        | 0,016        | 1,72         | 0,32        | 9,39*       | 9,46*      |
| Profundidade (P) | 1              | <0,001     | 0,0          | 0,064*       | <0,001       | 1,575        | 0,002        | 4,89         | 3,64        | 6,24        | 2,89       |
| C x P            | 3              | 0,014*     | 0,08         | 0,078*       | 0,105        | 3,330*       | 0,021*       | 4,18         | 0,76        | 16,48*      | 3,13       |
| Resíduo(a)       | 9              | 0,002      | 0,02         | 0,012        | 0,058        | 1,186        | 0,006        | 0,98         | 1,22        | 0,69        | 0,58       |
| Resíduo(b)       | 12             | 0,002      | 0,06         | 0,011        | 0,089        | 0,588        | 0,005        | 1,35         | 1,28        | 2,82        | 1,09       |
| CV%(a)           |                | 4,1        | 4,3          | 2,1          | 12,5         | 5,6          | 4,1          | 8,7          | 20,3        | 5,1         | 4,7        |
| CV%(b)           |                | 3,5        | 7,1          | 2            | 15,6         | 10,0         | 3,7          | 10,2         | 20,8        | 10,2        | 6,4        |
| Média            |                | 132        | 9,53         | 23,25        | 2,12         | 52,56        | 2,02         | 121,18       | 25,62       | 259,90      | 252,78     |

| FV               | Safr 2018/2019 |             |              |              |              |              |              |              |            |             |           |
|------------------|----------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|-----------|
|                  | GL             | AP<br>(cm)¥ | DHP<br>(mm)¥ | NNP<br>(n°)¥ | NRP<br>(n°)¥ | NVP<br>(n°)¥ | NGV<br>(n°)¥ | NGP<br>(n°)¥ | PGP<br>(g) | PMG<br>(g)¥ | RB<br>(g) |
| Bloco            | 3              | 0,009       | 0,01         | 0,05         | 0,007        | 0,131*       | 0,007*       | 0,89         | 0,68       | 202,93      | 321,5     |
| Compressão (C)   | 3              | 0,002       | 0,05*        | 0,016        | 0,167*       | 0,887        | 0,015*       | 2,82*        | 12,2*      | 212,0*      | 1924,8*   |
| Profundidade (P) | 1              | 0,004       | 0,07         | 0,12         | 0,003        | 1,43*        | <0,001       | 2,90         | 9,10       | 552,9*      | 8921,8*   |
| C x P            | 3              | 0,002       | 0,01         | 0,07         | 0,029        | 0,20         | <0,001       | 0,41         | 1,50       | 112,11      | 613,5     |
| Resíduo(a)       | 9              | 0,007       | <0,01        | 0,06         | 0,034        | 0,24         | 0,008        | 0,50         | 1,79       | 33,40       | 476,5     |
| Resíduo(b)       | 12             | 0,006       | 0,01         | 0,05         | 0,04         | 0,17         | 0,001        | 0,40         | 2,56       | 44,11       | 527,3     |
| CV%(a)           |                | 5,8         | 2,2          | 5,5          | 9,8          | 7,1          | 1,4          | 6,8          | 14,2       | 5,1         | 14,7      |
| CV%(b)           |                | 5,3         | 3,8          | 4,8          | 11,6         | 6            | 1,7          | 6,1          | 17,0       | 5,8         | 15,5      |
| Média            |                | 100         | 8,13         | 17,36        | 1,99         | 41,51        | 2,03         | 99           | 9,41       | 113,78      | 148,14    |

<sup>1/</sup>Abreviaturas: FV=fontes de variação, GL=graus de liberdade, AP=altura de planta, DHP= diâmetro da haste principal, NNP= número de nós na haste, NRP=número de ramos por planta, NVP=número de vagens por planta, NGV= número de grãos por vagens NGP=número de grãos por planta, PMG=peso de mil grãos, RB=rendimento biológico por planta. Para ambas as safras os dados foram transformados por  $x^{0,5}$ , ¥dados foram transformados.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Observa-se na figura 19 a a presença de interação compressão x profundidade (C x P), em que ocorre maior altura de planta (AP), as plantas oriundas de cinco passadas do rodado do trator e sob semeadura nas profundidades de 4 cm e 8 cm de semeadura. Na profundidade de 4 cm se observa resposta do comportamento que segue uma equação quadrática, com ponto de máxima altura de plantas obtido a 7,73 passadas com o rodado do trator em que as plantas chegaram a 1,57 m de altura. Para a semeadura na profundidade de 8 cm observa-se equação linear decrescente de 1,31 cm para cada passada de tráfego com o rodado do trator e que acarreta diminuição da altura de plantas de soja cultivadas nestas condições.

Na figura 19 b, observa-se interação compressão x profundidade (C x P) em que ocorres o maior número de nós na haste principal, as plantas oriundas de 0 (zero) passadas de trator no mesmo local e sob a profundidade de 8 cm de semeadura. Observou-se resposta para equação quadrática significativa a 4 cm de profundidade de semeadura, com ponto de máximo número de nós na haste principal obtidos 9,88 passadas com o rodado do trator em que as plantas

apresentaram 20,46 nós na haste principal. Para a semeadura na profundidade de 8 cm observa-se equação linear decrescente com redução de 1,5 nós na haste principal a cada passada de trator com o rodado no mesmo local.

Observou-se na figura 19 c efeito de interação compressão x profundidade (C x P) para 4 cm de profundidade de semeadura, semelhanças no número de vagens por planta para as compressões de 5, 10 e 20 passadas com o rodado do trator no mesmo local. Na semeadura a 8 cm de profundidade observou-se equação linear decrescente, com redução de 1,40 vagens por planta para cada passada do rodado do trator.

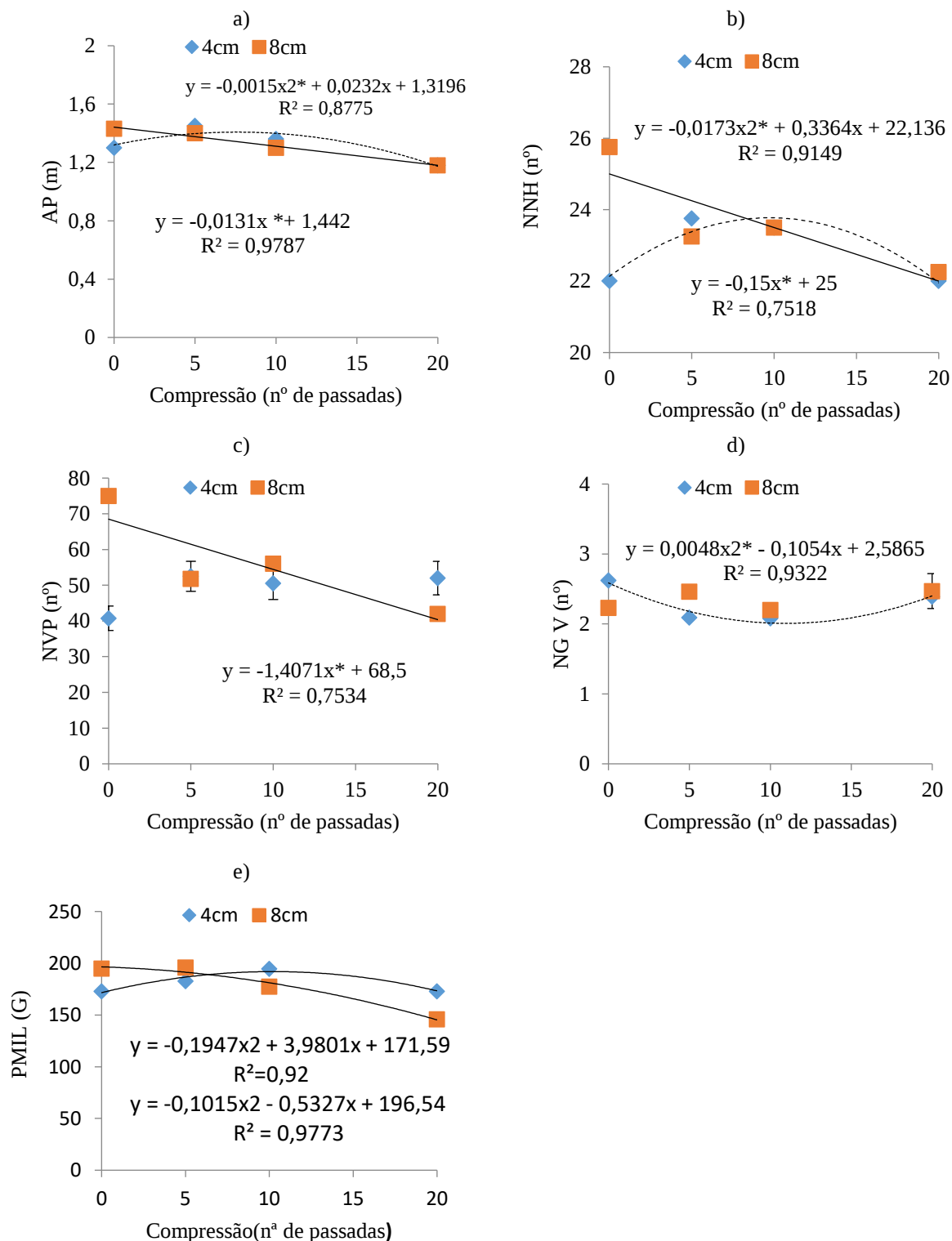
Observa-se na figura 19 d, efeito de interação compressão x profundidade (C x P) para 4 cm de profundidade de semeadura, observa-se resposta para equação quadrática significativa, com ponto de mínima para o número de grãos por vagens (NGV) obtidos a 10,97 passadas com o rodado do trator as vagens obtiveram 2 grãos por vagens.

Na figura 19 e, observa-se efeito de interação compressão x profundidade (C x P), para a 4 cm de profundidade de semeadura observa-se resposta para equação quadrática significativa com ponto de máximo peso de mil grãos 189,93g obtidos com 9,70 passadas com o rodado do trator, enquanto que a 8 cm de profundidade de semeadura, observa-se resposta para a equação quadrática decrescente com ponto de máxima de 197,23 g com 2,62 passadas com o rodado do trator.

Na figura 20 a, observa-se efeito de compressão (C), ajuste de equação linear decrescente com redução de 1,3 mm de diâmetro as plantas de soja a cada passada com o rodado do trator. Observa-se na figura 20 b, efeito de compressão (C) e ajuste de equação quadrática significativa com ponto de mínimo número de ramo (1,65) obtida a 8,89 passadas com o rodado do trator. Na figura 20 c, observa-se efeito de compressão (C) com ajuste de equação linear decrescente, reduz 3,67 g de rendimento biológico a cada passada do rodado com o trator.

Figura 19 –a) Altura de planta b) número de nó c)número de vagens d)número de grãos por vagens e e)peso de mil grãos em função de quatro níveis de compressão e duas profundidades de semeadura da cultura da soja, a campo. Ponte Serrada-SC, Safra 2017/2018.

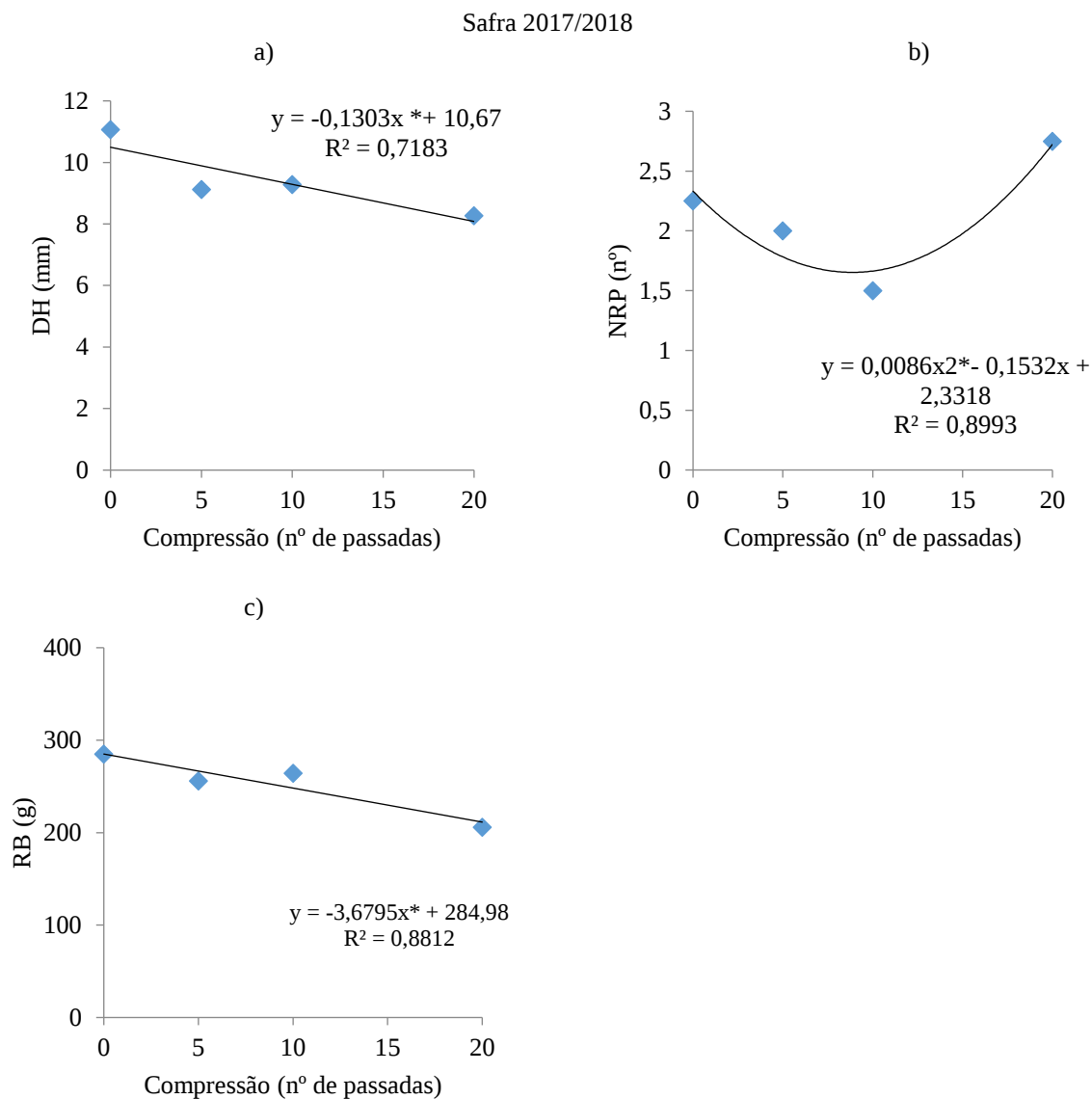
Safra 2017/2018



Abreviaturas: AP=altura de planta, DHP=diâmetro da haste principal, NNP=número de nós na haste, NRP=número de ramos por planta, NVP=número de vagens por planta, NGV=número de grãos por vagem, PMG=peso de mil grãos, RB=rendimento biológico por planta.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Figura 20 – a) Diâmetro da haste principal b) número de ramos por planta c) rendimento biológico em função de quatro níveis de compressão e duas profundidades de semeadura da cultura da soja, a campo, Ponte Serrada-SC, Safra 2017/2018.



Abreviaturas: AP=altura de planta, DHP=diâmetro da haste principal, NNP=número de nós na haste, NRP=número de ramos por planta, NVP=número de vagens por planta, NGV=número de grãos por vagem, PMG=peso de mil grãos, RB=rendimento biológico por planta.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

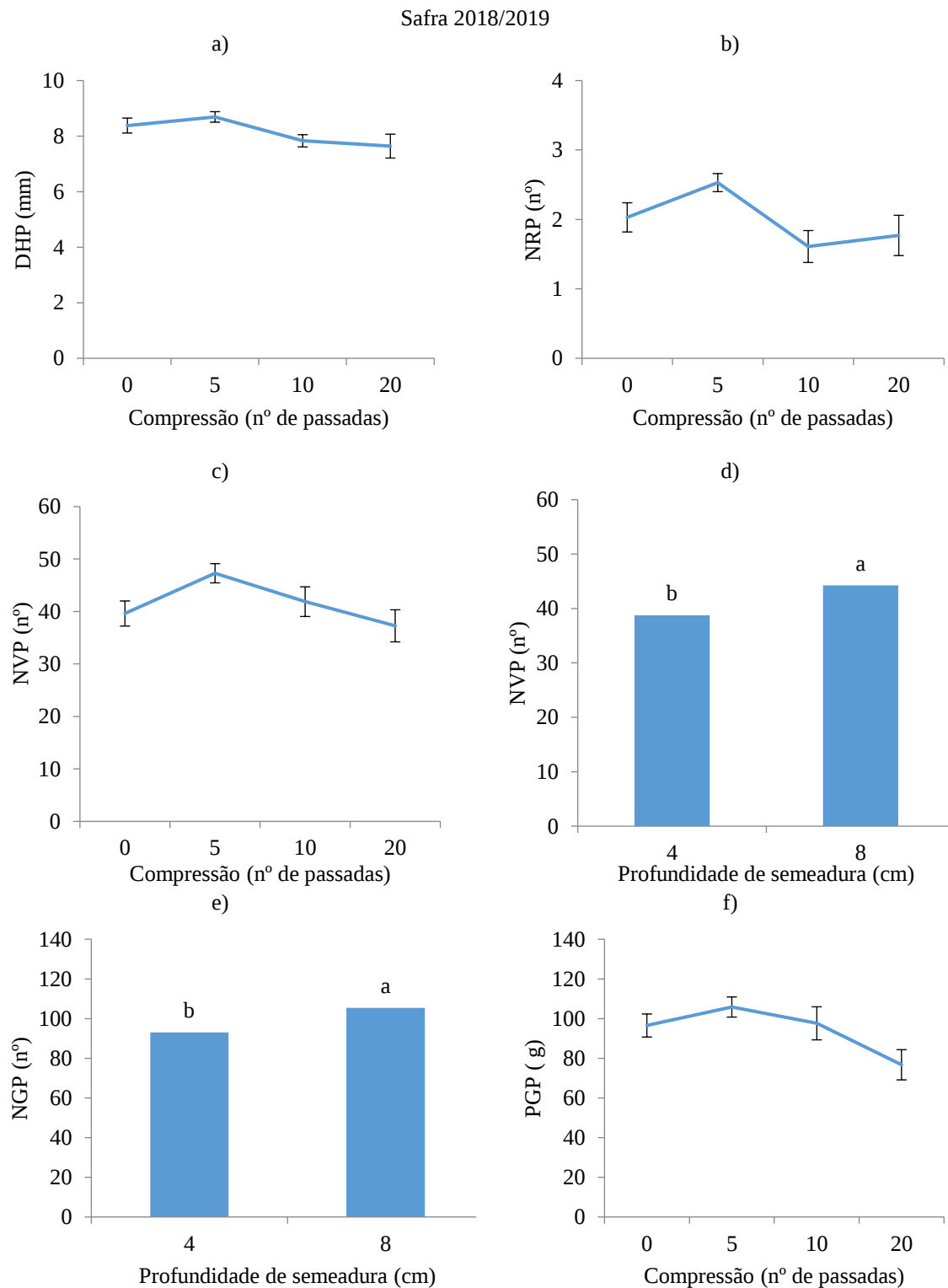
Na safra 2018/2019, figura 21, observa-se no teste de separação de média. Na figura 21a, 21 b e 21 c, observa-se um acréscimo nas variáveis analisadas DHP, NRP, NVP até a compressão de 5 (cinco) passadas com o rodado do trator, posterior ocorre decréscimos nas compressões de 10 e 20 passadas com o rodado do trator. Na figura 21 a, observa-se efeito de compressão com maior valor de diâmetro da haste principal (8,69) ocorrendo a 5 (cinco) passadas de compressão com o trator, figura 21 b, o maior valor de número de ramos por plantas

(2,53) observa-se nesta mesma compressão. Na figura 21c observa-se efeito simples de compressão (C) com maior número de vagens por planta (47,29) oriunda de 5 (cinco) passadas com o rodado do trator. Na figura 21d observa-se efeito de profundidade (P), sendo que na profundidade de 8 cm obteve-se maior NVP do que sob semeadura a 4 cm. Na figura 21 e, observa-se efeito simples de compressão com maior número de grãos por planta (110,58) na compressão com cinco passadas com o rodado do trator. Observa-se na figura 21 f um acréscimo de peso de grãos por plantas até 5 (cinco) passadas de compressão, posterior decréscimo de peso de grãos em 10 e 20 passadas com o rodado de compressões, ocorrendo assim efeito simples de compressão com maiores peso de grãos as plantas oriundas de 0 (zero), 5 (cinco) e 10 (dez) passadas com o rodado do trator no mesmo local, na comparação com 20 passadas.

Na figura 22 a observa-se efeito simples de compressão (c), as plantas oriundas de cinco e vinte passadas com o rodado de compressão apresentaram maiores peso de mil grãos, podemos observar semelhança de peso de mil grãos entre as plantas oriundas de 0 (zero) e 10 (dez) passadas de compressão e entre as plantas oriundas de 5 (cinco) e 20 (vinte) passadas de compressão. Observa-se na figura 22 b, ocorre efeito de profundidade (P) com maior peso de mil grãos obtidos na profundidade de 4 cm.

Na figura 22 c, observa efeito simples de compressão(C), entretanto a compressão não é significativa, ocorrendo tendência de acréscimo de RB até (5) cinco passadas de compressão e posterior um decréscimo até 20 passadas de compressão. Efeito simples de profundidade (P) de semeadura, com maior rendimento biológico as plantas oriundas de 8 cm de profundidade de semeadura (Figura 22 d).

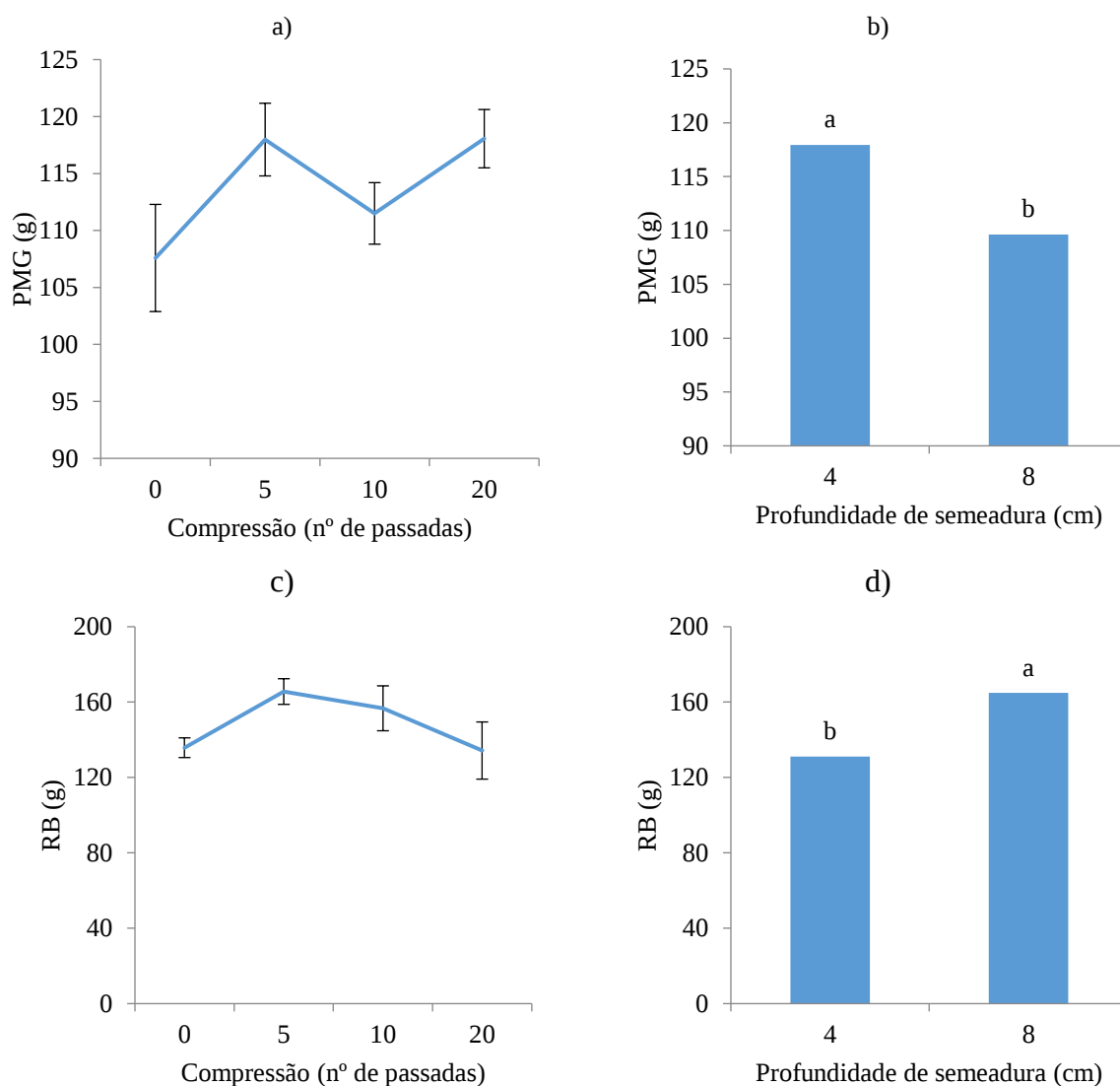
Figura 21 – a)Diâmetro da haste principal b)número de ramos por planta c) número de vagens por planta d)número de vagens por planta e)número de grãos por vagens f)peso de grãos por planta em função de quatro níveis de compressão do solo e duas profundidades de semeadura da cultura da soja, a campo. Ponte Serrada-SC, Safra 2018/2019.



Abreviaturas: DHP= diâmetro da haste principal, NRP=número de ramos por planta, NVP=número de vagens por planta, NGP= número de grãos por planta, PGP= peso de grãos por planta, PMG=peso de mil grãos, RB=rendimento biológico por planta.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Figura 22 – a) Peso de mil grãos b) peso de mil grãos c) rendimento biológico d) rendimento biológico em função de quatro níveis de compressão do solo e duas profundidades de semeadura da cultura da soja, a campo. Ponte Serrada-SC, Safra 2018/2019.



Abreviaturas: DHP= diâmetro da haste principal, NRP=número de ramos por planta, NVP=número de vagens por planta, NGP= número de grãos por planta, PGP= peso de grãos por planta, PMG=peso de mil grãos, RB=rendimento biológico por planta.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Na tabela 6, safra 2017/2018, a 0 (zero) dias após semeadura observa-se diferença a 5% de significância de compressão (C) profundidade (P), camada (CA), interação compressão x profundidade (C x P) e interação camada x compressão (CA x C) para resistência a penetração (RP). Trinta dias após a semeadura, observa-se efeito simples de camada (CA) e interação compressão x profundidade (C x P) e camada x compressão (CA x C) para resistência a penetração (RP). Aos sessenta dias após a semeadura, efeito simples de compressão (C), camada (CA) e interação camada x compressão (CA x C) e camada x profundidade (CA x P) para resistência a penetração. Observa-se aos cento e vinte dias após a semeadura efeito simples de camada (CA) e interação camada x compressão (CA x C) para resistência a penetração.

Na tabela 6, safra 2018/2019, a zero e aos trinta dias após a semeadura, efeito simples de camada (CA) e interação camada x profundidade (CA x P) para resistência a penetração. Aos noventa e aos cento e vinte dias após a semeadura, observa-se efeito simples de camada (CA) para resistência a penetração.

Tabela 6 - Resumo da análise de variância, quadrado médio, significância e resíduo, referentes a resistência do solo à penetração (RP, MPa) durante o desenvolvimento da cultura da soja cultivada em solo com diferentes intensidades de compressão artificial com o rodado do trator, Ponte Serrada/SC, safras 2017/2018 e 2018/2019.

| Safr 2017/2018   |                 |          |          |          |          |           |
|------------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| FV               | GL <sup>1</sup> | 0(DIAS)  | 30(DIAS) | 60(DIAS) | 90(DIAS) | 120(DIAS) |
| Bloco            | 3               | 0,00011  | 0,00000  | 0,00004  | 0,00029  | 0,00019   |
| Compressão (C)   | 3               | 0,00109* | 0,00016  | 0,00045* | 0,00031  | 0,00006   |
| Profundidade (P) | 1               | 0,00464* | 0,00003  | 0,00000  | 0,00028  | 0,00039   |
| C x P            | 3               | 0,01699* | 0,00042* | 0,00033  | 0,00007  | 0,00021   |
| Camada (CA)      | 3               | 0,00538* | 0,00306* | 0,00482* | 0,00682* | 0,00137*  |
| C x CA           | 9               | 0,00219* | 0,00137* | 0,00137* | 0,00255* | 0,0011*   |
| CA x P           | 3               | 0,00005  | 0,00012  | 0,00036* | 0,00015  | 0,00003   |
| CA x C x P       | 9               | 0,00050  | 0,00003  | 0,00013  | 0,00026  | 0,00023   |
| Resi (a)         | 9               | 0,00067  | 0,00013  | 0,00001  | 0,00014  | 0,00011   |
| Resíduo (b)      | 12              | 0,00070  | 0,00004  | 0,00013  | 0,00014  | 0,00011   |
| Resíduo (c)      | 72              | 0,00030  | 0,00011  | 0,00011  | 0,00018  | 0,00016   |
| CV% (a)          |                 | 0,02650  | 0,01240  | 0,00480  | 0,01410  | 0,01200   |
| CV% (b)          |                 | 0,02690  | 0,00700  | 0,01250  | 0,01410  | 0,01230   |
| CV% (c)          |                 | 0,01760  | 0,01150  | 0,01130  | 0,01580  | 0,01450   |
| Média            |                 | 3,1      | 2,94     | 2,93     | 2,7      | 2,79      |
| Safr 2018/2019   |                 |          |          |          |          |           |
| FV               | GL <sup>1</sup> | 0(DIAS)  | 30(DIAS) | 60(DIAS) | 90(DIAS) | 120(DIAS) |
| Bloco            | 3               | 0,00014  | 0,00005  | 0,00010  | 0,00005  | 0,00006   |
| Compactação (C)  | 3               | 0,00022  | 0,00038  | 0,00013  | 0,00030  | 0,00002   |
| Profundidade (P) | 1               | 0,00002  | 0,00028  | 0,00006  | 0,00004  | 0,00024   |
| C x P            | 3               | 0,00002  | 0,00006  | 0,00024  | 0,00009  | 0,00030   |
| Camada (CA)      | 3               | 0,01947* | 0,01874* | 0,01847* | 0,01178* | 0,01302*  |
| C x CA           | 9               | 0,00013  | 0,00027* | 0,00014  | 0,00006  | 0,00007   |
| CA x P           | 3               | 0,00036* | 0,00018  | 0,00003  | 0,00003  | 0,00013   |
| CA x C x P       | 9               | 0,00003  | 0,00013  | 0,00014  | 0,00003  | 0,00011   |
| Resíduo (a)      | 9               | 0,00013  | 0,00016  | 0,00038  | 0,00014  | 0,00017   |
| Resíduo (b)      | 12              | 0,00011  | 0,00007  | 0,00016  | 0,00010  | 0,00009   |
| Resíduo (c)      | 72              | 0,00009  | 0,00012  | 0,00008  | 0,00083  | 0,00009   |
| CV% (a)          |                 | 0,01230  | 0,01400  | 0,0218   | 0,01270  | 0,01390   |
| CV% (b)          |                 | 0,01130  | 0,00920  | 0,0144   | 0,01070  | 0,01050   |
| CV% (c)          |                 | 0,01001  | 0,01160  | 0,0103   | 0,00970  | 0,01030   |
| Média            |                 | 3,01     | 2,88     | 2,85     | 2,96     | 2,97      |

Abreviaturas: FV=fontes de variação, GL=graus de liberdade, 0(dias)=zero dias, 30(dias)=trinta dias, 60 (dias)=sessenta dias, 90 (dias)= noventa dias, 120(dias)= cento e vinte dias.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Observa-se na safra 2017/2018, figura 23 o teste de separação de média para resistência a penetração a zero dia da semeadura, na pré-semeadura aos trinta (30) dias após a semeadura, aos sessenta dias após semeadura, aos noventa dias após a semeadura e aos cento e vinte dias após a semeadura; todos apresentaram diferença significativa de tratamento em relação à compressão do solo, camada do solo e profundidade de semeadura.

Na figura 23 a observa-se valor de resistência a penetração a zero dia de semeadura na camada de 5 cm, interação compressão x camada (C x CA), ajuste para equação quadrática, com ponto de máxima resistência a penetração (0,33 MPa), com 18,79 passadas com o rodado do trator no mesmo local. Na camada de 10 cm observou-se ajuste da equação quadrática com

ponto de mínima (0,66 MPa) obtido com 2,62 passadas com o rodado do trator. Na camada de 15 cm observou-se ajuste quadrática com ponto de máxima compressão (1,30 MPa), obtido com 6,59 passadas de tráfego. Na camada de 20 cm observou-se ajuste de equação quadrática com ponto de mínima (1,43 MPa), obtido em 5,1 passada de tráfego do trator .

Observa-se na figura 23 b, valor de resistência a penetração aos trinta dias após a semeadura, ajuste da equação quadrática para ambas as camadas, na camada de 5cm, interação compressão x camada (C x CA), com ponto de máxima compressão (1,49 MPa), obtido com 17,97 passadas de tráfego. Na camada de 10 cm observou-se ponto de mínima compressão (0,32 MPa) com 10,07 passadas de tráfego. Na camada de 15 cm observou-se ponto de máxima compressão em 1,44 MPa com 6,98 passadas de tráfego. Na camada de 20 cm observou-se ponto de máxima compressão em 1,76 MPa com 16,33 passadas de tráfego.

Na figura 23c observa-se valor de resistência a penetração aos sessenta dias após a semeadura na camada de 5 cm, interação compressão x camada (C x CA), ajuste de equação linear crescente, acrescido 0,45 MPa de resistência a penetração para cada acréscimo de passadas com o rodado do trator. Na camada de 10 cm observou-se ajuste da equação quadrática com ponto de mínima compressão (0,34 MPa) obtidos em 12,51 passadas com o rodado do trator. Na camada de 15 cm observou-se, ajuste da equação quadrática com ponto de máxima compressão (1,90 MPa), obtido com 1,17 passadas com o rodado do trator. Na camada de 20 cm observou-se ajuste de equação quadrática com ponto de mínima compressão (1,21 MPa), obtidos em 8,75 passadas com o rodado do trator.

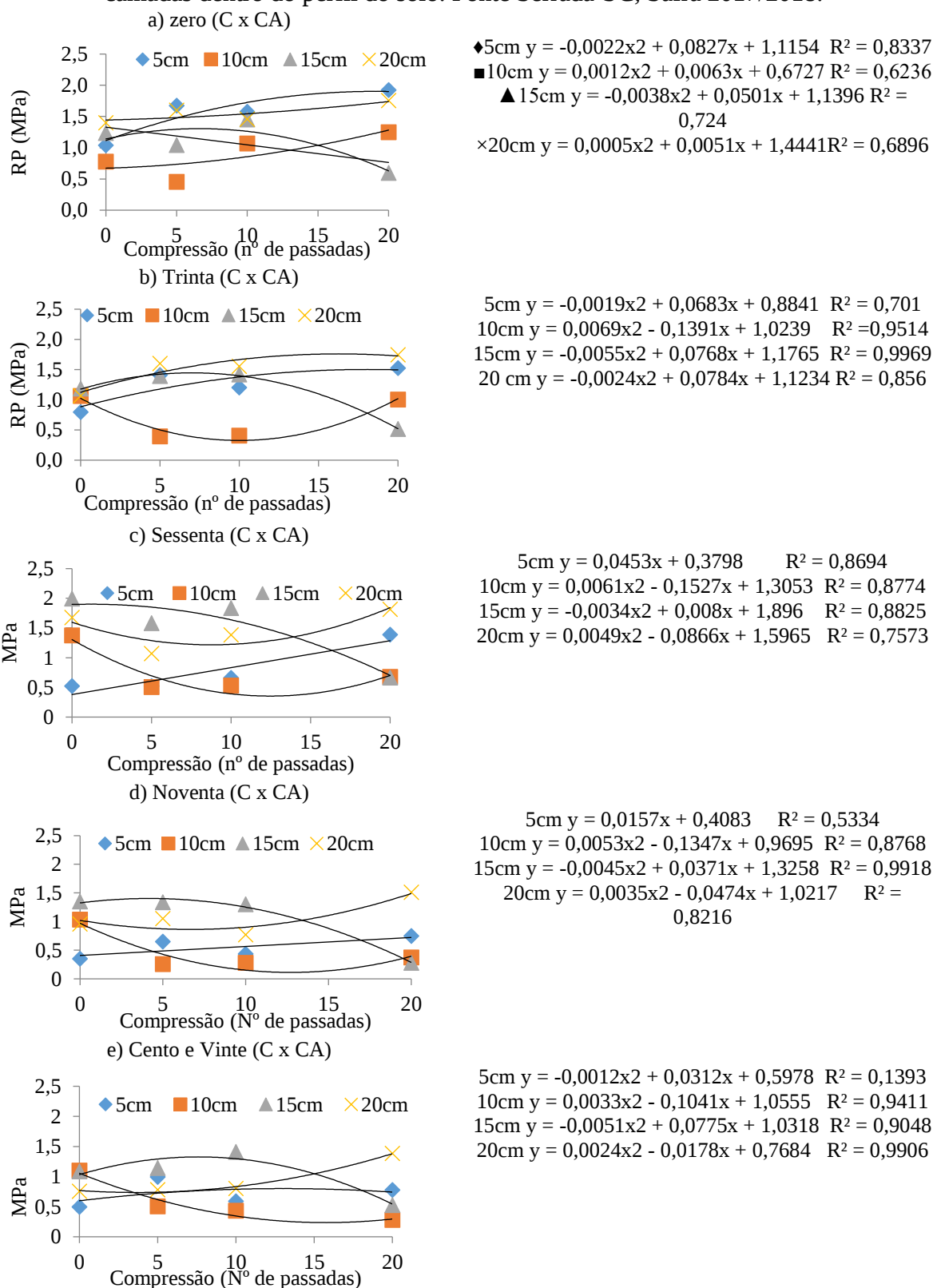
Observa-se figura 23 d, valor de resistência a penetração aos noventa dias após a semeadura na camada de 5 cm, interação compressão x camada (C x CA), ajuste da equação linear, acrescido 0,15 MPa de resistência a penetração para cada acréscimo de passada com o rodado do trator. Na camada de 10 cm observou-se, ajuste de equação quadrática com ponto de mínima compressão (0,11 MPa) com 12,70 passadas com o rodado do trator. Na camada de 15 cm observou-se, ajuste equação quadrática com ponto de máxima compressão (1,40 MPa) com 4,12 passadas com o rodado do trator. Na camada de 20 cm observou-se, ajuste da equação quadrática com ponto de mínima compressão (0,86 MPa) com 6,77 passadas com o rodado do trator.

Na figura 23 e observa-se valor de resistência a penetração aos cento e vinte dias após a semeadura ajuste da equação quadrática para ambas as camadas, na camada de 5 cm, interação compressão x camada (C x CA) observou-se ponto de máxima compressão (0,80 MPa) obtido com 13 passadas com o rodado do trator. Na camada de 10 cm observou-se, ponto de mínima compressão (0,23 MPa) obtidos com 15,77 passadas com o rodado do trator. Na camada de 15

cm observou-se, ponto de máxima compressão (1,32 MPa) obtido com 7,59 passadas com o rodado do trator. Na camada de 20 cm observou-se ponto de mínima compressão (0,73 MPa) obtido com 3,70 passadas com o rodado do trator.

A produtividade da cultura da soja decresce a partir da resistência a penetração 2,0 a 3,0 Mpa em consequência de menor aeração e drenagem decorrente de solo compactado, considerando a cultura da soja sensível a compactação do solo pelo tráfego de máquinas (BARBER et al., 1994).

Figura 23 – Resistência a penetração avaliada no momento a) zero dias após a semeadura (0 DAS), b) 30 DAS, c) 60 DAS, d) 90 DAS e e) 120 DAS em função de quatro camadas dentro do perfil do solo. Ponte Serrada-SC, Safra 2017/2018.



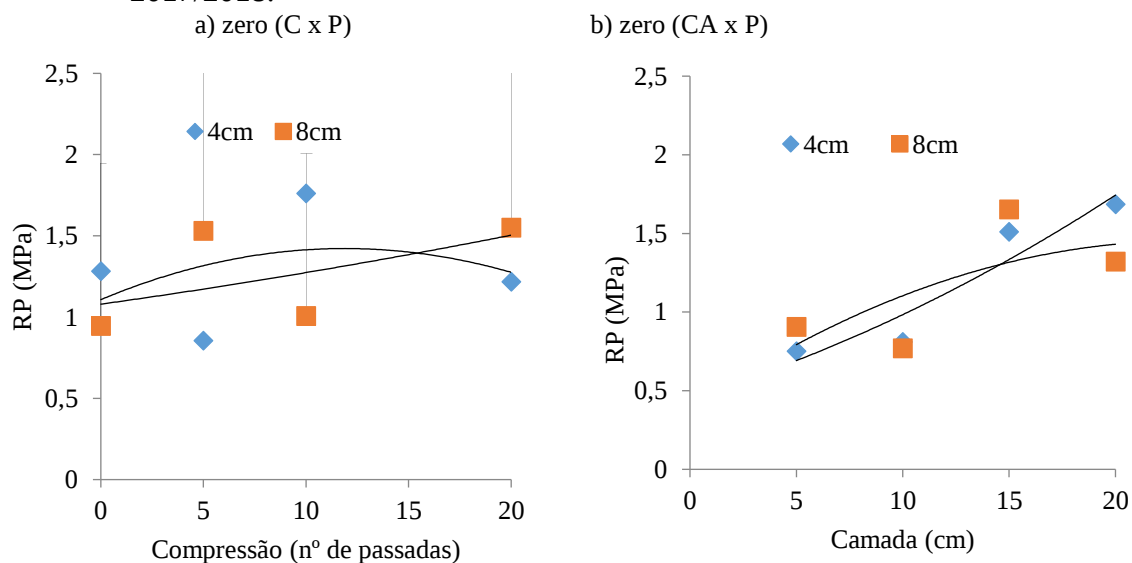
Abreviaturas: 0(dias)=zero dias- semeadura, 30(dias)=trinta dias, 60(dias)=sessenta dias, 90(dias)= noventa dias, 120(dias)=cento e vinte dias.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Valores de resistência à penetração, em relação a zero dia da semeadura, ou seja, solo submetido ao tráfego do trator na época de pré-semeadura da soja, apresentou interação compressão x profundidade (C x P), (Figura 24 a) na profundidade de 4 cm, observou-se ponto de máxima compressão (1,42 MPa) obtido com 12,02 passadas com o rodado do trator e na profundidade de 8cm resultou em ponto de máxima compressão(0,69 MPa), obtido com 44 passadas de tráfego com o rodado do trator.

A resistência a penetração, aos sessenta dias após a semeadura, observou- interação camada x profundidade (CA x P),(Figura 24 b), na profundidade de 4 cm observou-se ponto de mínima compressão (0,10 MPa), obtido com 17,04 passadas com o rodado do trato e a 8cm de profundidade obteve a máxima compressão (1,43 MPa) obtidos com 22,9 passadas com o rodado do trator.

Figura 24 – Resistência a penetração em diferentes dias após a semeadura (DAS) a) zero dias após a semeadura, em função de duas profundidade de semeadura e quatro compressão, b) zero dias após a semeadura em função de duas profundidade de semeadura e quatro camada dentro do perfil do solo Ponte Serrada, safra 2017/2018.



$$\blacklozenge 4\text{cm } y = -0,0022x^2 + 0,0529x + 1,1077 \quad R^2 = 0,1178 \quad 4\text{cm } y = 0,0012x^2 + 0,0409x + 0,4576 \quad R^2 = 0,9011$$

$$\blacksquare 8\text{cm } y = 0,0002x^2 + 0,0176x + 1,0798 \quad R^2 = 0,312 \quad 8\text{cm } y = -0,002x^2 + 0,0916x + 0,3839 \quad R^2 = 0,4848$$

Abreviaturas: 0(dias)=zero dias, 30(dias)=trinta dias, 60(dias)=sessenta dias, 90(dias)= noventa dias, 120(dias)=cento e vinte dias.

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Resistência a penetração há zero dia após a semeadura, em diferentes profundidade, observou-se interação camada x profundidade (CA x P) (Figura 25 a); na profundidade de 4 cm observou-se ponto de máxima compressão em 1,42 MPa com 12,02 passadas de tráfego e na

profundidade de 8 cm resultou ponto de mínima compressão 0,69 obtidos com 44 passadas de tráfego.

Aos trinta dias após a semeadura observou-se interação compressão x camada (C x CA), (Figura 25 b); na camada de 5 cm observou-se ajuste de equação linear decrescente, com redução de 0,80 MPa de resistência a penetração para cada acréscimo de passada com o rodado do trator. Na camada de 10 cm observou-se ajuste para equação quadrática com ponto de mínima compressão (1,04 MPa) obtido com 10,76 passadas com o rodado do trator. Na camada de 15 cm observou-se, ajuste de equação quadrática com ponto de mínima compressão (1,70 MPa) com 7,21 passadas com o rodado do trator. Na camada de 20 cm observou-se, ajuste de equação quadrática com ponto de mínima compressão (1,12 MPa) com 12,76 passadas com o rodado do trator.

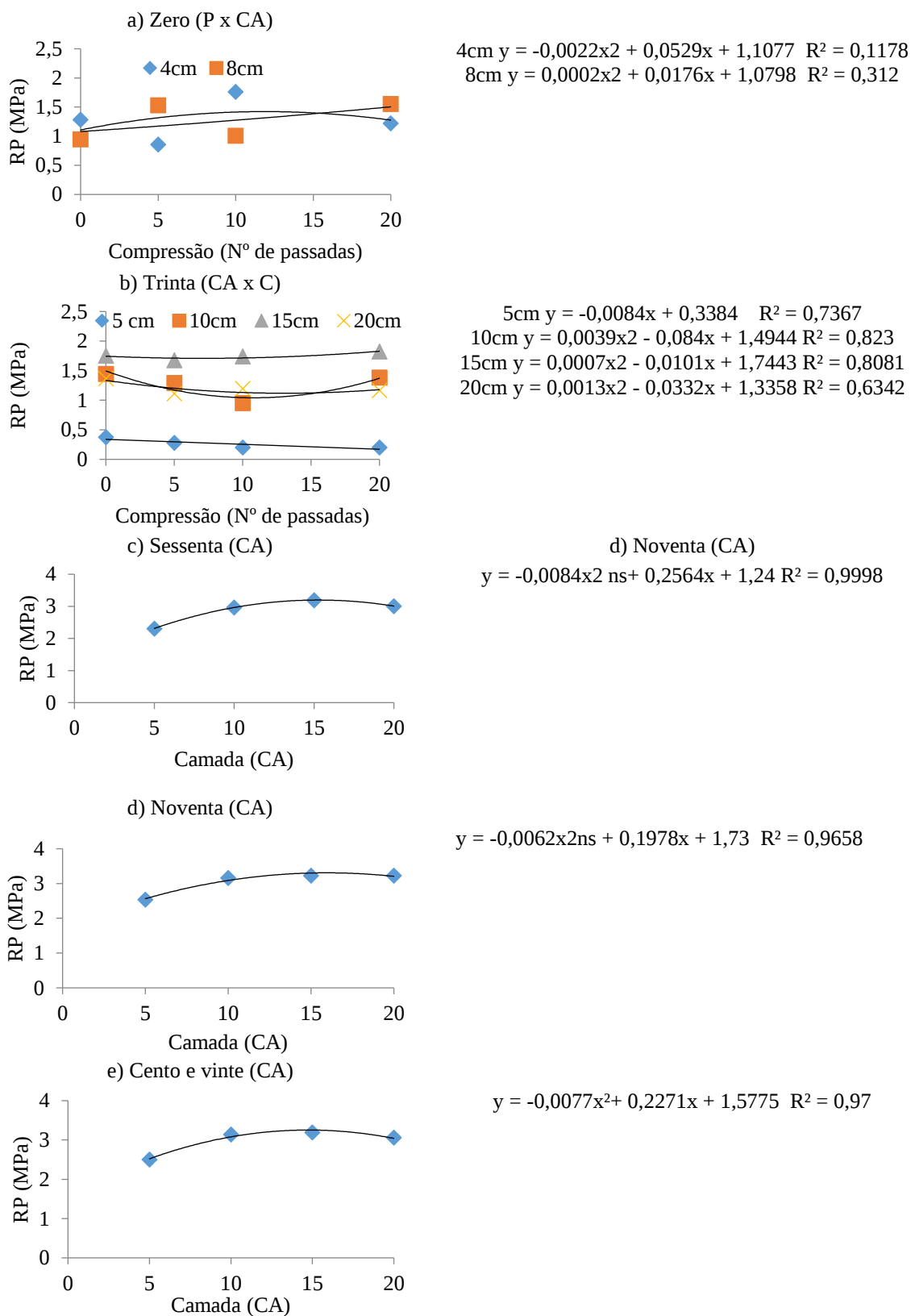
Para resistência a penetração aos sessenta dias após a semeadura observou-se efeito simples de camada (Figura 25c) observou-se ajuste quadrático com ponto de máxima compressão em 3,19 MPa com 15,26 passadas com o rodado do trator. Resistência a penetração aos noventa dias após a semeadura observou-se ajuste de equação quadrática com efeito simples de camada (Figura 25d) resultou o ponto de máxima compressão em 3,36 MPa com 16,48 passadas com o rodado do trator. Aos cento e vinte dias após a semeadura, para resistência a penetração, observou-se efeito simples de camada com ajuste de equação quadrática (Figura 25e), observou-se ponto de máxima compressão em 3,25 MPa com 14,74 passadas de tráfego.

Segundo Bergamin et al. (2010) trabalhando em Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso, constataram aumento da RP na camada de 0-0,10m a partir de quatro passadas do trator, diferindo dos tratamentos com duas e sem tráfego. No nordeste da China, Zhang et al. (2006) verificaram aumento na RP com o tráfego de passadas do trator em até nove vezes com pequenos tratores (massa de 900 kg), principalmente até 0,10 m de profundidade, em um Chernossolo.

Segundo Varquez et al. (1989), em seus estudos com distintos sistemas de manejo e compactação do solo, identificou resistência do solo à penetração de 1,57 a 1,59 MPa (camada de 0,05–0,35 m) e obteve máxima produtividade, enfatizando que a produtividade decresce com o aumento da resistência do solo à penetração. Valor crítico de resistência a penetração varia com a cultivar e a classe de solo.

Figura 25 – Resistência do solo a penetração em diferentes dias após a semeadura (DAS) a) 0 DAS, b) 30 DAS, c) 60 DAS, d) 90 DAS e e) 120 DAS em função da camada dentro do perfil do solo. Ponte Serrada, safra 2018/2019.

Safra 2018/2019



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Segundo Santana et al. (2018) na camada de 0,0 a 0,10 m, o sistema convencional apresentou resistência à penetração acima de 1 MPa (Megapascal), enquanto no sistema plantio direto, observado para a mesma profundidade foi de aproximadamente 0,75 MPa. Para a camada de 0,10 a 0,20 m, o sistema convencional apresentou resistência à penetração acima de 1,5 MPa, enquanto que no sistema plantio direto o observado para a mesma camada foi de aproximadamente 1,0 MPa. Na camada de 0,20-0,30 m a maioria das repetições no sistema plantio direto apresentaram valores inferiores a 1,0 MPa, enquanto que no sistema plantio convencional a maioria das repetições apresentaram valores variando de 1,0 a 1,5 MPa. Segundo Girardello et al. (2014) em sua classificação, a resistência a penetração é classificada como baixa/moderada para ambos os sistemas avaliados. Colombo et al. (2017), em que a área manejada sob SPD apresentou menor RP entre as camadas superficiais com profundidade  $\leq$  20 cm. Resistência a penetração inferior a 2 MPa não prejudica o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de soja (SALES et al., 2016). Segundo Cortez et al. (2014), identificou acréscimo nos valores de RP a partir da camada de 0,10-0,15 m de profundidade e atribuíram esse resultado às estruturas mais densas do solo oriundas do sistema convencional anterior que foram inadequadamente corrigidas para implantação do SPD.

Sistema de cultivo como plantio direto e práticas de rotação de cultura, favorece o aumento dos teores de matéria orgânica no solo, e com o passar do tempo, contribuem para reduzir a compactação dos solos cultivados, pois quanto maior a quantidade de matéria orgânica do solo menor serão os índices de compactação. O sistema de plantio direto associado a rotação de culturas, resulta em acúmulo de matéria orgânica, suportando melhor as pressões resultantes do tráfego de máquinas (MAZURANA et al., 2013).

Segundo Silva et al. (2015) atribuíram a menor resistência a penetração observada nas camadas superficiais à exploração do sistema radicular das plantas e atividade biológica do solo. Observaram que nas camadas de profundidades acima de 35 cm o sistema plantio direto apresentou maior resistência a penetração em relação ao sistema convencional, considerando que estes índices de compactação podem estar relacionados à ausência de revolvimento do solo associado ao efeito cumulativo do tráfego mecanizado no sistema plantio direto. Segundo Gassen et al. (2011) em seu trabalho comparando três tráfego (tráfego de trator e semeadora, sem tráfego e tráfego máximo), obteve também acréscimo de RP até a profundidade de 0,35 m para tráfego de trator e semeadora, valor máximo de RP 1,75 Mpa para (sem tráfego) até a profundidade de 0,12 m, incremento de 24,5% de RP na camada de 00-0,40 m para tráfego máximo de trator, além de também ter encontrado camadas compactadas superficialmente na fase de emergência e desenvolvimento inicial da implantação da cultura . Segundo

(MAZURANA et al., 2013) ocorre uma redução de RP no final do ciclo da cultura em relação a implantação inicial da cultura, segundo Gassen et al. (2011) isso ocorre porque, quanto menor a intensidade de tráfego maior foi a recuperação temporal da estrutura do solo. Pode ser relacionado à atividade microbiológica do solo e o sistema radicular da cultura, considerando que a compactação encontrada não foi limitante para o crescimento da radicular na camada superficial, o que contribuiu para a reversão da compressão imposta pelo tráfego de máquina através das raízes

Pesquisas de Torres et al. (2015) constataram maiores valores de resistência a penetração, em um sistema de plantio direto de 12 anos, na profundidade entre 0,30-0,40 m, variaram entre 3,70 e 4,85 MPa causando efeitos restritivos ao crescimento das plantas. Segundo Bengough et al. (2006), o efeito da compactação no crescimento da raiz e na produtividade é influenciado pelo tempo em que as plantas estão submetidas a esse estresse.

De acordo com Toigo et al. (2015), o tráfego de máquinas no sistema plantio direto causa degradação estrutural do solo com redução da porosidade total e da macroporosidade, e aumento da densidade do solo e da resistência à penetração. Segundo Etana et al. (2013) a compactação do solo associada com excesso de chuva pode faltar oxigênio e restringir crescimento e desenvolvimento das plantas o déficit de água reduz infiltração e armazenamento de água influenciando na produtividade (TORMENA et al., 2007).

Os níveis críticos de resistência dos solos à penetração para o desenvolvimento radicular satisfatório das culturas variam de acordo com o manejo, tipo de solo e a espécie cultivada (CORTEZ et al., 2017; GIRARDELLO et al., 2017). No entanto, podem ser encontrados em muitos estudos valores críticos de resistência à penetração radicular variando entre 1 a 3,5 MPa (CORTEZ et al., 2017; LIMA et al., 2010; MORAIS et al., 2014; ROSSETTI; CENTURION, 2017).

Segundo McHeG et al. (2009) um sistema de manejo com aporte de cobertura vegetal e presença de distintos sistemas radiculares (aveia, soja, milho) melhoram a atividade biológica que contribui para a melhoria na estrutura do solo. Assim como tráfego controlado contribui para melhorar o sistema de plantio direto e potencializa efeitos biológicos na melhoria da estrutura (QINGJIE et al., 2009; TULLBERG et al., 2007).

Segundo Gassen et al. (2011), a medida que se potencializa a RP nos primeiros 0,20 m com o tráfego de máquina, a cultura reverte a compressão através do sistema radicular, além disso em tráfego com trator e semeadora mesmo ocorrendo RP na profundidade de 0,15 a 0,40 m com o uso do sulcador durante a operação de semeadura, acaba reduzindo a RP na profundidade de 0-10 m. Segundo Alakukku et al. (2003), as pressões aplicadas sobre a

superfície do solo são distribuídas ao longo do perfil, em função das tensões e das deformações, em maior ou menor escala, de acordo com as características físicas do solo. Tráfego intenso acaba transmitindo as pressões aplicadas para camadas mais profundas alcançando 0,40 m e com maior aleatoriedade, tanto no sentido horizontal como vertical, sendo que a existência de compactação subsuperficial é decorrente da carga total aplicada por eixo das máquinas e do histórico de tráfego anteriores na área.

Segundo Rosa et al. (2012) ressalta em seu trabalho com Argisolo Vermelho, que ocorreu aumento de RP na camada abaixo de 0,15 m, aumento de densidade e redução de porosidade, aumentando os níveis de compactação através do tráfego de máquina, porém não atingiu valores de RP que restringisse o desenvolvimento do sistema radicular da cultura da soja. Compactação do solo em camada maior de 0,15 m por tráfego de máquinas, é preocupante, porque a compactação no subsolo demanda custos e a descompactação por método biológico e atividade da fauna do solo ficam limitado (ALAKUKKU et al., 2003).

Segundo Cardoso et al. (2006) em Latossolo, concluíram que em um grau moderado de compactação induzido pelo tráfego de máquinas, associado a satisfatória disponibilidade hídrica às plantas não ocasionou decréscimo na produtividade da cultura da soja.

## 5.6 CONCLUSÕES

As plantas de soja que cresceram sobre solo que sofreu 5 passadas de compressão por tráfego do trator apresentam maior altura, diâmetro da haste, número de nós na haste principal da planta, peso de grão por planta e massa de mil grãos, independente da profundidade de semeadura.

Plantas oriundas de solo em preparo convencional (zero passadas de tráfego do trator na pré-semeadura) apresentam maior rendimento biológico. Isto possibilita inferir que quanto menor a compressão pelo tráfego do trator no mesmo local maior o NVP, PMG, NGV e RB.

O Nitossolo submetido a maior compressão (20 passadas de tráfego do trator) no qual se semeia a soja na profundidade 8 cm, possibilita produzir plantas menos produtivas mas como com maior número de ramos por planta.

A compressão imposta ao solo em função do aumento da intensidade de tráfego das máquinas interfere no crescimento, desenvolvimento, rendimento biológico e produtivo da cultura da soja.

## 6 CONCLUSÕES GERAIS

Em ambiente de casa de vegetação, com avaliação de dois solos, o nitossolo e o cambissolo, via compressão artificial, via prensa manual, para gerar alta, média e baixa compactação. O solo cambissolo responde a maiores RP nas camadas de 0-20 cm e a soja melhora o desenvolvimento a medida que decresce a compressão do solo. O nitossolo é menos responsivo por apresentar diferencial em propriedades físicas (textura fina, maior teor de argila, menor tamanho de agregados) quando comparado com o cambissolo.

Em condições de campo, em cambissolo, via compressão artificial (“socador”) a maior compressão e acréscimo nas profundidades de semeadura influenciam negativamente a E%, IVE e MSP da cultura da soja.

Nas condições de campo, em nitossolo, o aumento da compressão por tráfego de trator agrícola provoca redução da AP, DHP, NNP, PMG independente da profundidade de semeadura, pois o solo altera suas propriedades físicas durante o crescimento da soja interferindo na disponibilidade de água, nutrientes e aeração e, com isso interfere nos componentes morfoagronômicos, reduzindo assim o rendimento de grãos da cultura da soja.

Tomados em conjunto estes resultados, nestes dois tipos de solos compactados, cuja compressão está ao redor de 1,34 a 1,63 MPa de RP, considerada não restritiva ao desenvolvimento do sistema radicular, mas acima destes valores há diminuição do potencial produtivos desta cultura.



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

Todos os sistemas de cultivo provocam alguma alteração nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, sendo a compactação um processo inerente na produção agrícola, desta forma, são fundamentais pesquisas futuras com análise quantitativa e qualitativa do solo para detectar as mudanças nas propriedades e na qualidade do solo sob cultivo, através de ferramentas de georeferenciamento associadas a amostragens com uso de malha, pesquisas “in loco” com monitoramento através de penetrômetro e coleta de amostras com anéis volumétricos em diferentes profundidades, pesquisas com diferentes espécies vegetais que compõem um sistema planejado de sucessão de cultivo que possuam distinto sistema radicular em áreas com histórico de compactação. Esta pesquisa possibilitou a confirmação ou refutação das seguintes hipóteses:

### 7.1 HIPÓTESES CONFIRMADAS

Exp 1 – Os maiores valores dos componentes do rendimento da cultura da soja encontram em baixa compactação por proporcionar melhor desenvolvimento das raízes de soja, acarretando maior volume de raiz para absorver água e nutrientes; A compressão (artificial e simulada) afeta negativamente o desenvolvimento de plantas de soja e é um bom modelo de estudo, para gerar parâmetros, a ser extrapolado e validado em para lavouras comerciais; A semeadura profunda associada a maior compressão reduz a emergência e o desenvolvimento de plântulas de soja.

Exp 2 – Quanto maior a profundidade de semeadura menor é a emergência e o índice de velocidade de emergência de plântulas de soja; Quanto maior a profundidade de semeadura da soja, maior comprimento do hipocótilo e da raiz das plântulas; Confirmada parcialmente: Os atuais valores de profundidade de semeadura, indicados para cultivo de soja, são adequados para garantir a emergência de plântulas e independem da compactação do solo. Argumentação: Porque valores de profundidade de semeadura são dependentes de cada espécie e dependem das condições de cultivo do solo que foram submetidas.

Exp 3 – Confirmadas parcialmente: Em condições de lavoura a maior produção de grãos de soja é obtida em solo com menor compressão. Argumentação: Porque as menores compressões resultaram em maior peso de grãos, entretanto faltou o número de plantas final na parcela para quantificar a produtividade.

## 7.2 HIPÓTESES REFUTADAS

Exp 1 – As maiores resistências do solo à penetração (RP) no final do ciclo da cultura da soja ocorrem no Nitossolo quando comparado ao Cambissolo, devido suas propriedades físicas do solo (textura, estrutura, densidade, porosidade, permeabilidade, fluxo de água, ar e calor). Argumentação: Hipótese refutada porque cada espécie cultivada tem capacidade intrínseca de responder as forças contrárias impostas, seja por compressão artificial, tráfego de máquina e implementos, pisoteio de animais, decorrentes da propriedade física do solo em que a espécie foi submetida.

Exp 2 – Nenhuma hipótese refutada

Exp 3 – Uma forma de amenizar a compressão superficial do solo é semear em profundidade maior, rompendo fisicamente a camada compactada no momento da semeadura. Argumentação: Hipótese refutada, porque, mesmo rompendo a camada compactada por hastes sulcadores e semeando em profundidade maiores a semente no processo de germinação retoma as atividades metabólicas para emergir, assim precisa gastar mais as suas reservas em respiração digestão de reservas e translocação para formação da plântula.

Dito isso, há a necessidade de seguir com abordagem de pesquisa dessa grandeza por serem de grande importância no atual sistema de cultivo da soja, pois cada solo possui uma combinação de textura e estrutura distinta. Para cada combinação há um valor específico, considerado valor crítico/limite para cultivo da soja. Ao acrescentar a planta cultivada como um fator de estudo, essa combinação aumenta mais, pois está fazendo uma combinação de textura, estrutura e espécie cultivada. Sugere-se experimento a campo com diagnóstico de áreas compactadas acima de 2 MPa, associado com escarificação, atividade biológica do solo com plantas de cobertura (utilizada na região) que possua sistema radicular robusto ou áreas com distinto manejo a serem pesquisadas no prazo máximo 12 meses, experimentos com uso de malhas para mapeamento semelhante as coletas de amostras de fertilidade do solo Sugere-se estudar a compactação em diferentes solos, culturas, variedades e condições climáticas decorrentes de distintas repostas.

## REFERÊNCIAS

ALAKUKKU, L. et al. Prevention strategies for field traffic induced subsoil compaction: A review - Part 1. Machine/soil interactions. **Soil and Tillage Research**, v. 73, n. 1-2, p. 145-160, 2003.

ALI, S. A. M.; IDRIS, A. Y. Effect of seed size and sowing depth on germination and some growth parameters faba bean (*Vicia faba* L.). **Agricultural and Biological Sciences Journal**, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2015.

ALVES, A. U. et al. Emergência de plântulas de fava em função de posições e profundidade de semeadura. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 33-42, 2014.

BALIN, N. M. et al. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 3, 2017.

BARBER, S. A. et al. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. 2ed. New York, **John Wiley & Sons**, p.414, 1995.

BATISTA, P. H. D, et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob colheita mecanizada de capim-buffel no agreste Pernambucano. **Engenharia na Agricultura /Engineering in Agriculture**, v. 25, n. 4, p. 307-317, 2017.

BENGOUGH, A. G. et al. Root responses to soil physical conditions; growth dynamics from field to cell. **Journal of Experimental Botany**, v. 57, p. 437-447, 2006.

BERGAMIN, A. C. et al. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 681-691, 2010.

BEULTER, A. N.; CENTURION, J. F. Compactação do solo no desenvolvimento radicular e na produtividade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 581-588, 2004.

BEUTLER, A. N. et al. Densidade do solo relativa e parâmetro “S” como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 27-36, 2008.

BEUTLER, A. N. et al. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 843-849, 2005.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; SILVA, A. P. Intervalo hídrico ótimo e a produção de soja e arroz em dois Latossolos. **Irriga**, v. 9, p. 181-192, 2004a.

BILIBIO, W. D.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. N. Atributos físicos e químicos de um Latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 817-822, 2010.

BOCHTIS, D. D. et al. Effect of controlled traffic in field efficiency. **Biosystems Engineering**, v. 106, p. 14-25, 2010.

BODMAN, G. B.; CONSTANTIN, G. K. Influence of particle size distribution in soil compaction. **Hilgardia**, v. 36, p. 567-591, 1966.

BRADY, N. C. et al. Natureza e propriedades dos solos. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, p. 647, 1979.

BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 30, p. 605-614, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. MAPA/ACS, p. 399, 2009.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Compactação do Solo e o Desenvolvimento de Plantas. Piracicaba: ESALQ, p.132, 1997.

CARDOSO, E. G. et al. Sistema radicular da soja em função da compactação do solo no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 493-501, 2006.

CARTER, M. R. et al. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 70, p. 425-433, 1990.

CARVALHO, M. A. et al. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, P B, v. 18, n. 10, p. 1010-1016, 2014.

CASSOL, L. C. O fenômeno voltou - Parte I. Caderno Sudoeste Agropecuário – Diário do Sudoeste, Pato Branco, 11 junho 2011. p.03.

CASSOL, L.C. O fenômeno voltou – Parte II. Caderno Sudoeste Agropecuário – Diário do Sudoeste, Pato Branco, 25 junho 2011. p. 03.

CHERUBIN, M. R. et al. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 615-625, 2015.

COLLARES G. L. et al. 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**, v. 32, p. 933-942. 2008.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. Porto Alegre: SBSC - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2016. 399 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: CONAB, v. 7, n. 6, p.94, 2020.

CORTEZ, J. W. et al. Atributos agronômicos da soja e resistência a penetração em plantio direto e escarificado. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 1, p. 140-145, 2017.

CORTEZ, J. W. et al. Avaliação da intensidade de tráfego de tratores em alguns atributos físicos de um Argissolo amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p.1000-1010, 2014.

COSTA, J. A. et al. Comprimento e índice de expansão radial do hipocótilo de cultivares de soja. *Ciência Rural*, v. 29, n. 4, p. 609-612, 1999.

DEXTER, A. R. et al. Mechanics of root growth. **Plant and Soil**, v. 98, p. 303- 312, 1987.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa-Spi, 2009.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de Classificação dos Solos**. 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, p. 356 2018.

ETANA, A. et al. Persistent subsoil compaction and its effects on preferential flow patterns in a loamy till soil. **Geoderma**, v. 192, p. 430-436, 2013.

FIDALSKI, J. et al. Revolvimento ocasional e calagem em latossolo muito argiloso em sistema plantio direto consolidado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 39, p. 1483-1489, 2015.

FOLONI, J. S. S.; LIMA, S. L.; BÜL, L. T. Crescimento aéreo e radicular da soja e de plantas de cobertura em camadas compactadas de solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 30, p. 49-57, 2006.

FONTANA, T. A. G. W; BALIERO, F. C. Características e atributos de Latosssolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n. 9, p. 1457-1465, 2016.

GASSEN, D. et al. Tráfego controlado como alternativa para reduzir a compactação do solo. **Revista Plantio Direto**, v. 111, p.4-10, 2011.

GIRARDELLO, V. C. et al. Resistência à penetração, eficiência de escarificadores mecânicos e produtividade da soja em Latossolo argiloso manejado sob plantio direto de longa duração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1234-1244, 2014.

GIRARDELO, C. V. et al. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento radicular da soja sob sistema plantio direto com tráfego controlado de máquinas agrícolas. **Revista Scientia Agraria**, v. 18, n. 2, p. 86-96, 2017.

GOMES, R. L. R. et al. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, v. 9, n. 1, p. 72-139, 2015.

GROTTA, C. D. et al. Influência da profundidade de semeadura e da compactação sobre a semente na produtividade do amendoim. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 2, p. 547-552, 2008.

GUPTA, S. C.; HADAS, A.; SCHAFER, R. L. Modeling soil mechanical behavior during compaction. In: LARSON, W. E.; BLAKE, G. R.; ALLMARAS, R. R.; VOORHEES, W. B.; GUPTA, S. C. **Mechanics and related process in structured agricultural soils**. NATO Applied Sciences 172. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1989.

HUGHES D. F. et al. Role for potassium in the iron-stress response mechanism of iron-efficient oat. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, p. 830-835, 1992.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018; 2019; EPAGRI/CIRAM, 2019).

KLEIN, V. A. et al. Gradiente químico de solos sob plantio direto: uma condição que limita a produtividade das plantas. **Revista Plantio Direto**. v. 6, p. 20:23, 2011.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes condições de densidade e teor de água. **Engenharia Agrícola**, v. 18, p. 45-54, 1998.

KNITTLE, K. H., BURRIS, J. S. Soybean hypocotyl growth under field conditions. **Crop Science**, Madison, v. 19, n. 1, p. 37-41, 1979.

KROULIK, M. et al. Procedures of soil farming allowing reduction of compaction. **Precision Agriculture**, v. 12, p. 317-333, 2011.

JARBAS, T; SÁ, I. B; PETRERE, V. G. et al. **Cambissolos**. 2011.

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

LIMA, C. L. R. et al. Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 89-98, 2010.

LIMA, R. P. et al. Análise de trilha de atributos físicos na resistência à penetração de um latossolo amarelo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, MS, v. 1, n. 1, p. 65-74, 2015.

LIMEDE, A. C. et al. Effects of seed size and sowing depth in the emergence and morphophysiological development of soybean cultivated in sandy texture soil. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 1, p. 93-98, 2018.

LINDSTRON, M. J.; VOORHEES, W. B. Responses of tropical crops to soil compaction. In: SOANE, B. D.; van OUWERKERK, C. **Soil compaction in crop production**. London, Elsevier, p. 265-286, 1994.

LÓPEZ-GARRIDO, R. et al. Reduced tillage as an alternative to no-tillage under Mediterranean conditions: a case study. **Soil and Tillage Research**, v. 140, p. 40-47, 2014.

MAGUIRE, J. D. et al. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MARTINS, E. C. A et al. Alterações dos atributos físico-químicos da camada superficial do solo em resposta à agricultura com soja na várzea do Tocantins. **Biota Amazônia**, v. 5, n. 4, p. 56-62, 2015.

MAZURANA, M. et al. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1185-1195, 2013.

MCHUG, A. D.; TULLBERG, J. N.; FREEBAM, D. M. Controlled traffic farming restores soil structure. **Soil and Tillage Research**, v. 104, p. 164:172, 2009.

MIELNICZUK, J. et al. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N. et al. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3, p. 209-248, 2003.

MODOLO, A. J. et al. Efeito da compactação do solo sobre a semente no desenvolvimento da cultura do feijão. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 89-95, 2011.

MORAES, M. T. et al. Limites críticos da resistência à penetração do solo em um Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 288-298, 2014.

NAKAGAWA, J. et al. Testes de vigor baseados no desempenho de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES. cap. 2, p. 1-24. 1999

NÓBREGA L. H. P. et al. Avaliação e classificação de cultivares de soja com o tamanho do hipocótilo, sob condições de laboratório e de vegetação de casa. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 17, p. 160-164, 1995.

PEDÓ, T. et al. Vigor de sementes e desempenho inicial de plântulas de feijoeiro em diferentes profundidades de semeadura. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 59-64, 2014.

PÊGO, R. G. et al. Respostas fisiológicas de plântulas de *Erythrina verna* em tratamentos pré-germinativos de sementes e profundidade de semeadura. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 59-66, 2015.

QINGJIE W, H. A. O. C. et al. Controlled traffic farming with no tillage for improved fallow water storage and crop yield on the Chinese Loess Plateau. **Soil and Tillage Research**, v. 104, p. 192:197, 2009.

QUEIROZ-VOLTAN, R. B.; NOGUEIRA, S. S. S.; MIRANDA, M. A. C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 929-938, 2000.

R Development Core Team. **A statistical software**. (2009).

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

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. **Tópicos Ciência Solo**, v. 5, p. 49-134, 2007.

RODRIGUES, A. J. R. et al. Influência da profundidade e posição de semeadura na emergência de *Acacia polyphylla* DC. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 1, p. 23-29, 2016.

ROSA, D. P. et al. Demanda de tração e propriedades físicas de um Argissolo em diferentes manejos e intensidades de tráfego. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 118-126, 2012.

ROSOLEM, C. A. et al. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 18, p. 491-497, 1994.

SALES, R. P. et al. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 411-418, 2016.

SANTANA, J. S. et al. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo plantio direto e convencional. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 15 n. 27, p. 1-22, 2018.

SANTOS, H.G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. Brasília, DF : **Embrapa**, p. 576. 2018.

SANTOS, H. G; ZARONI, M. J. Nitossolo: definição e características gerais. 2017. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos\\_tropicais/arvore/CONTAG01\\_17\\_2212200611543.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_17_2212200611543.html)> Acesso em 09 set. 2020.

SECCO, D. et al. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.

SECCO, D. et al. 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.

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**, Viçosa, v. 30, p. 31-40, 2006.

SILVA, G. F. et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do agreste paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015.

SILVA, M. P. et al. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, p. 60-67, 2017.

SILVA, R. P. et al. Efeito da profundidade de semeadura e de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais na temperatura e no teor de água do solo durante a germinação de sementes de milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 929-937, 2008.

SILVA, V. R. et al. Fatores controladores da compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico e de um Latossolo Vermelho distrófico típico. I - Estado inicial de compactação. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 26, p. 1-8, 2002a.

SILVA, V. R. et al. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 399-406, 2004.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J. REICHERT, J. M. Suscetibilidade à compactação de um Latossolo vermelho-escuro e de um podzólico vermelho-amarelo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 24, p. 239-249, 2000.

SOARES, B. et al. Atributos físicos do solo em áreas sob diferentes sistemas de usos na região de Manicoré, AM. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 1, p. 9-15, 2016.

SOUSA A. H. et al. Profundidades e posições de semeadura na emergência e no desenvolvimento de plântulas de moringa. **Caatinga** v. 20, p. 56-60, 2007.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 83-91, 1999.

STRECK, E. V. Ato de manifesto à conservação do solo. Manifestação pessoal via e-mail. 27 junho 2014.

TAIZ, L. et al. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6 ed. Porto Alegre. 2017.

TAVARES, U. E. et al. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, BA, v. 3, n. 2, p. 79-89, 2014.

TAYLOR, H. M. et al. Soil strength-root penetration relations for medium- to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TILLMANN, M. A. A. et al. Efeito da profundidade de semeadura na emergência de plântulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Scientia Agrícola*, v. 51, n. 2, p. 260-263, 1994.

TOIGO, S. et al. Atributos físicos de um nitossolo vermelho cultivado com trigo, em sistema plantio direto, submetido à compactação e escarificação. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 23, n. 1, p. 19-28, 2015.

TORMENA, C. A. et al. Variação temporal do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Vermelho distroférico em sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 211-219, 2007.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.

TREIN, C. R.; MACHADO, A. P.; LEVIEN R. Compactação do solo por rodados, podemos evitá-la. **Revista Plantio Direto**, v. 114, p. 23-34, 2009.

TROGELLO, E et al. Manejos de cobertura vegetal e velocidades de operação em condições de semeadura e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 796–802, 2013.

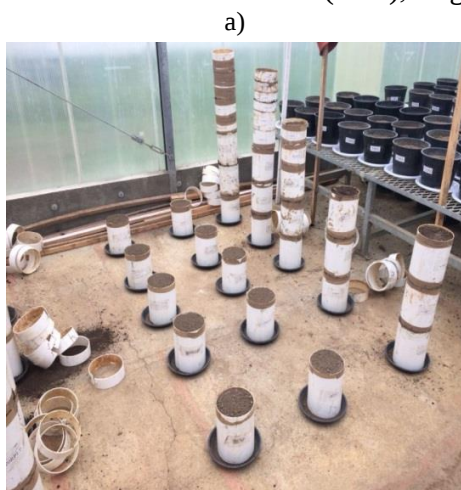
TULLBERG, J. N.; YULI, D. F.; MCGARRY D. Controlled traffic farming—From research to adoption in Australia. **Soil and Tillage Research**, v. 97, p. 272-281, 2007.

VALADÃO, F. C. de A. et al. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 243-255, 2015.



## APÊNDICES

Apêndice 1 – Fotos do experimento em casa de vegetação sobre a influência do nível de compactação de dois solos de texturas distintas sobre os caracteres morfoagronômicos, parte aérea e da raiz da cultura da soja na semeadura (a e b) durante o desenvolvimento da cultura (c e d) e colheita da soja cultivar de soja TMG 7062IPRO (e e f), Lages-SC, 2018.



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Apêndice 2 – Fotos do experimento sobre os efeitos da compressão artificial do solo pela intensidade do tráfego de trator no desenvolvimento da soja: a) preparo do solo/subsolagem, b) compressão artificial pelo tráfego do trator, c) parcelas antes da semeadura e d) início da emergência das plântulas soja, cv. TMG 7062IPRO, Ponte Serrada-SC, safra 2018/2019.

a)



b)



c)



d)



Fonte Elaborado pela autora, 2018.

Apêndice 3 – Fotos do experimento em a campo sobre profundidade de semeadura na emergência e estabelecimento de plantas de soja, implantação (a, b desenvolvimento da cultura (c, d) e colheita (e, f) de soja, cultivar TMG 7062IPRO, Lages-SC, 2018.

a)



b)



c)



d)



e)



f)



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.