UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNOLÓGICAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

POLIURETANO EXPANSÍVEL E POLICLORETO DE VINILA COMO RECIPIENTE PARA ESTUDO DE DESCOMPACTAÇÃO BIOLÓGICA DO SOLO

ALINE DE SOUZA SABÓIA

RONDONÓPOLIS - MT
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO - UFMT
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E TECNÓLOGICAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

POLIURETANO EXPANSÍVEL E POLICLORETO DE VINILA COMO RECIPIENTE PARA ESTUDO DE DESCOMPACTAÇÃO BIOLÓGICA DO SOLO

ALINE DE SOUZA SABÓIA
Engª Agrícola e Ambiental

ORIENTADOR: Profº Dr.Tonny José Araújo da Silva

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Mato-Grosso, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RONDONÓPOLIS - MT
2020

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: POLIURETANO EXPANSÍVEL E POLICLORETO DE VINILA COMO RECIPIENTE PARA ESTUDO DE DESCOMPACTAÇÃO BIOLÓGICA DO SOLO

AUTORA: MESTRANDA ALINE DE SOUZA SABÓIA

Dissertação defendida e aprovada em 05 de agosto de 2020.

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor Tonny José Araújo da Silva (Presidente Banca / Orientador)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

2. Doutora Edna Maria Bonfim da Silva (Examinador Interno)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

3. Doutor Adriano Bicioni Pacheco (Examinador Externo)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

4. Doutor Marcio Koetz (Examinador Suplente)

INSTITUIÇÃO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

RONDONÓPOLIS,05/08/2020.

Documento assinado eletronicamente por **Adriano Bicioni Pacheco**, **Usuário Externo**, em 06/08/2020, às 09:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **TONNY JOSE ARAUJO DA SILVA**, **Coordenador(a) de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do ICAT CUR**, em 06/08/2020, às 09:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **EDNA MARIA BONFIM DA SILVA**, **Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 06/08/2020, às 09:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2728244** e o código CRC **91E12DC2**.

Referência: Processo nº 23108.055188/2020-82 SEI nº 2728244

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S117p Sabóia, Aline de Souza.
Poliuretano expansível e policloreto de vinila como recipiente para estudo de descompactação biológica do solo / Aline de Souza Sabóia. -- 2020
73 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Tonny José Araújo da Silva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Rondonópolis, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Raphanus Sativus L... 2. Compactação do solo. 3. Densidade do solo.. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

DEDICO

À Deus, que me concedeu a vida e me sustentou até aqui e aos meus pais, Haroldo César de Oliveira e Doreni Ferreira de Souza Sabóia, pelo cuidado, dedicação e amor.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sua infinita misericórdia, bondade e amor, que me ampara em todos os momentos e me fortalece e capacita para concluir cada etapa da minha vida.

Aos meus pais, Haroldo César de Oliveira Sabóia e Doreni Ferreira de Souza Sabóia, por todo apoio, carinho, paciência e auxílio prestado, que foram importantes para seguir adiante e superar as dificuldades que surgiram no caminho.

Aos meus irmãos, Hemerson de Souza Sabóia e Hederson de Souza Sabóia e minha cunhada, Thayná Cavalcante Pessoa, pelo companheirismo e ajudas prestadas em todos os momentos que precisei.

Ao meu orientador Profº Dr.Tonny José Araújo da Silva por todo conhecimento transmitido, pelos incentivos e conselhos e por toda a paciência e colaboração para minha melhora como pessoa e profissional.

Aos professores do Mestrado de Engenharia Agrícola, em especial a Drª Edna Maria Bonfim-Silva e ao Dr. Marcio Koetz, da Universidade Federal de Mato Grosso, *Campus* Universitário de Rondonópolis e ao Dr. Adriano Bicioni Pacheco, pelos ensinamentos e auxílio a mim prestados.

A todos os meus amigos e colegas que me acompanharam e me apoiaram durante toda essa jornada, principalmente ao Thiago Aurélio, Melkezedeque Lira, Bency Simeon, Clara Oliveira, Phellype Ormay, Daverson Carvalho, Christian Matheus, Jayson Carrijo, Anderson Serafim, Janaína Mendes, Julio Nonato e Elisa Ribeiro, que tornaram possível a condução e término dessa experiência.

À equipe Vertice que me prestou auxílio e incentivo para finalizaçao desse aprimoramento profissional.

Ao meu namorado, João Pedro Tenório de Menezes, que me ajudou a perseverar ao longo desse percurso.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por financiar parte desse projeto.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

POLIURETANO EXPANSÍVEL E POLICLORETO DE VINILA COMO RECIPIENTE PARA ESTUDO DE DESCOMPACTAÇÃO BIOLÓGICA DO SOLO

RESUMO – As pesquisas científicas geram impacto sobre a busca por melhorias sustentaveis no sistema de produção agrícola. Assim, objetivou-se avaliar o desempenho de um recipiente de poliuretano expansivel e de policloreto de vinila para estudos sobre descompactação biológica do solo. O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* Rondonópolis, no período novembro de 2019 a janeiro de 2020. O solo utilizado foi coletado em área sob vegetação de Cerrado, na camada de 0-0,20 m. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em cinco repetições, com cinco níveis de densidade do solo (1,0; 1,2; 1,4; 1,6 e 1,8 Mg m^{-3}) e dois tipos de vasos (Policloreto de Vinila - PVC e Poliuretano expansível - PU). A unidade experimental de PVC foi montada com três anéis de 200 mm de diâmetro interno e 100 mm de altura, unidos com fita “silver tape”. Os tratamentos de poliuretano expansível foram confeccionados a partir de um molde para aplicação do composto entorno das camadas de solo previamente compactadas, de igual volume às do vaso de PVC, e posteriormente envoltos em fórmica. As camadas de solo de 100 mm inferiores e superiores dos vasos foram preenchidos com solo na densidade de 1,0 Mg m^{-3} e a camada intermediária de solo conforme cada densidade do tratamento experimental. A avaliação do desempenho do recipiente foi realizada indiretamente por meio da cultura resposta (nabo forrageiro), onde se avaliou as variaveis número de folhas, altura de planta, diâmetro de caule, índice de clorofila (índice SPAD), massa seca da parte aérea, massa seca de raiz, massa seca total, volume de raiz, diametro de raiz, comprimento de raiz e relação parte aérea/raiz. Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância. O aumento da densidade do solo influencia no desenvolvimento do nabo forrageiro e o recipiente utilizado interfere no desenvolvimento do sistema radicular da cultura. O vaso de poliuretano expansível mostrou-se mais adequado para estudo de descompactação biológica em comparação ao vaso de PVC.

PALAVRAS-CHAVE: *Raphanus Sativus* L.; compactação do solo; densidade do solo.

EXPANDABLE POLYURETHANE AND VINYL POLYCHORIDE AS CONTAINER FOR THE STUDY OF BIOLOGICAL DECOMPACTATION OF SOIL

ABSTRACT - Scientific research has an impact on the search for sustainable improvements in the agricultural production system. Thus, the objective was to evaluate the performance of an expandable polyurethane and polyvinyl chloride container for studies on biological soil decompression. The experiment was carried out in a greenhouse, at the Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Rondonópolis, from November 2019 to January 2020. The soil used was collected in an area under Cerrado vegetation, in the 0-0.20 m layer. The experimental design was completely randomized, in five replications, with five levels of soil density (1.0; 1.2; 1.4; 1.6 and 1.8 Mg m^{-3}) and two types of pots (Polychloride Vinyl - PVC and expandable Polyurethane - PU). The PVC experimental unit was assembled with three 200 mm inner diameter and 100 mm high rings, joined with “silver tape”. The expandable polyurethane treatments were made from a mold for application of the compound around the previously compacted soil layers, of equal volume to those of the PVC pot, and later wrapped in formica. The 100 mm lower and upper soil layers of the pots were filled with soil at a density of 1.0 Mg m^{-3} and the intermediate soil layer according to each density of the experimental treatment. The evaluation of the performance of the container was carried out indirectly by means of the response culture (forage radish), which evaluated the variable number of leaves, plant height, stem diameter, chlorophyll index (SPAD index), dry mass of the aerial part, root dry mass, total dry mass, root volume, root diameter, root length and shoot/root ratio. The experimental data were submitted to analysis of variance. The increase in soil density influences the development of forage radish and the container used interferes with the development of the root system of the crop. The expandable polyurethane vase proved to be more suitable for the study of biological decompression compared to the PVC vase.

KEYWORDS: *Raphanus Sativus* L.; soil compaction; soil density.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15
2. REVISÃO DE LITERATURA 17
2.2. Descompactação Biológica 17
2.3. Nabo Forrageiro (*Raphanus Sativus* L.) 19
2.4. Pesquisas Experimentais 19
2.5. Espuma de Poliuretano Expansível 21
3. MATERIAL E MÉTODOS 23
3.1. Localização do Experimento 23
3.2. Instalação do Experimento 23
3.2.1. Delineamento Experimental 23
3.2.2. Teste de Germinação das Sementes 24
3.2.3. Análise e Correção do Solo 25
3.2.4. Adubação 26
3.2.5. Montagem dos Vasos Experimentais 26
3.2.6. Semeadura 30
3.2.7. Manejo da irrigação 30
3.3. Variáveis analisadas 30
3.4. Análises estatísticas 33
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 34
4.1. Número de Folhas 34
4.2. Diâmetro de Caule 36
4.3. Altura de Planta 38
4.4. Índice de Clorofila SPAD 43
4.5. Massa seca da parte aérea 45
4.6. Comprimento de Raiz 47
4.7. Diâmetro de raiz 50
4.8. Volume de Raiz 53
4.9. Massa seca da raiz 55
4.10. Massa seca total (Parte aérea e Raiz) 57
4.11. Relação parte aérea/raiz 58
5. CONCLUSÃO 62
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Temperatura Máxima e Mínima (ºC) e Umidade Relativa (%) do ar medidos na casa da vegetação durante o período experimental (04 de novembro de 2019 a 04 de janeiro de 2020). 23

Figura 2. Distribuição dos vasos de PVC e PU nos blocos experimentais após sorteio inteiramente casualizado, seguindo o princípio estatístico para DBC. 24

Figura 3. Teste de Germinação - Sementes acondicionadas em placa de petri com papel germitest umedecido (A); Sementes sete dias após o acondicionamento (B). 24

Figura 4. Montagem das Unidades Experimentais - Prensa da camada compactada (A); Camada compactada (B). 27

Figura 5. Ilustração da disposição das camadas do solo que compõe os tratamentos experimentais e com suas dimensões. 28

Figura 6. Camada inferior (A), Camada compactada (B) e Unidades experimentais referente ao tratamento de vaso de Policloreto de vinila. 28

Figura 7. Ilustração dos materiais usados para construção dos vasos de Poliuretano Expansível (PU), sendo estes: molde e base de apoio. 29

Figura 8. A. Recipiente de Poliuretano Expansível; B. Visão superior do vaso; C. Recipiente de Poliuretano Expansível envolto em fórmica. 30

Figura 9. Leitura do Índice de Clorofila SPAD na planta de nabo forrageiro com o aparelho Minolta SPAD-502. 31

Figura 10. Mensuração do volume de raiz de nabo forrageiro utilizando proveta graduada de 1000 mL e 100 mL. 31

Figura 11. Mensuração do diâmetro de raiz do nabo forrageiro com o auxílio de um paquímetro digital. 32

Figura 12. Mensuração do Comprimento de raiz do nabo forrageiro utilizando uma régua graduada em cm. 32

Figura 13. Número de Folhas do Nabo Forrageiro em função dos níveis de densidade do solo aos 15. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. 35

Figura 14. Número de Folhas do Nabo Forrageiro em função dos níveis de densidade do solo aos 15. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. 35

Figura 15. Condução do experimento aos 35 dias após emergência das plantas. ..36

Figura 16. Diametro de caule em função dos níveis de densidade do solo aos 45 DAE. DC = Diametro de caule, Ds = Densidade do Solo. **Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste de F. 37

Figura 17. Diametro de caule em função dos níveis de densidade do solo aos 60 DAE. DC = Diametro de caule, Ds = Densidade do Solo. **Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste de F. 37

Figura 18. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 15 DAE. AP = Altura de Planta, Ds = Densidade do Solo. * Significativos a 5% de probabilidade pelo teste de F. 39

Figura 19. Altura de plantas do nabo forrageiro em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de vinila (B) aos 15 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a DS em Mg m^{-3}. 39

Figura 20. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 30 DAE. AP = Altura de Planta, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste de F. 40

Figura 21. Altura de plantas do nabo forrageiro cultivados em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de vinila (B) aos 30 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8: densidade do solo em Mg m^{-3}. 40

Figura 22. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 45 DAE. AP = Altura de Planta, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste de F. 41

Figura 23. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 60 DAE. AP = Altura de Planta, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste de F 42

Figura 24. Altura de plantas do nabo forrageiro cultivado em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de vinila (B) aos 60 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a densidade do solo em Mg m^{-3}. 43

Figura 25. Índice de Clorofila - SPAD em função dos níveis de densidade do solo aos 15 DAE. SPAD = Índice de Clorofila – Leitura SPAD, DS = Densidade do Solo. ** Significativos a 1% e 10% de probabilidade de erro, pelo teste de F. 44

Figura 26. Índice de Clorofila - SPAD em função dos níveis de densidade do solo aos 15 DAE. SPAD = Índice de Clorofila – Leitura SPAD, DS = Densidade do Solo. ** Significativos a 1% e 10% de probabilidade de erro, pelo teste de F. 44

Figura 27. Massa Seca da Pate Aérea em função dos níveis de densidade do solo. MSPA = Massa Seca da Parte Aérea, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a, 1% e 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F. 46

Figura 28. Comprimento de Raiz em função dos níveis de densidade do solo e tipos de vasos. CR = Comprimento de raiz, DS = Densidade do Solo. Significativos a 1% de probabilidade, pelo teste de F. 48

Figura 29. Desenvolvimento de raiz de nabo forrageiro nas camadas de solo no recipente de PU (A) e PVC (B). 49

Figura 30. Desenvolvimento de Raiz de nabo forrageiro nas camadas de solo no recipente de PU (A) e PVC (B). 49

Figura 31. Diâmetro em função dos níveis de densidade do solo e tipos de vasos. DR = Volume de Raiz, DS = Densidade do Solo. Significativos a 1% de probabilidade, pelo teste de F. 51

Figura 32. Diâmetro de raiz do recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de vinila (B) aos 60 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a densidade do solo em Mg m^{-3}. 51

Figura 33. Volume de Raiz em função dos níveis de densidade do solo. VR = Volume de Raiz, DS = Densidade do Solo. ** Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F. 54

Figura 34. Massa seca da raiz dos níveis de densidade do solo. MSR = Massa Seca Raiz, DS = Densidade do Solo. *Significativo a 1% de probabilidade de erro, pelo teste de F. 55

Figura 35. Massa seca total (parte aérea e raiz) dos níveis de densidade do solo. MST = Massa Seca Raiz, DS = Densidade do Solo. ** Significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F. 57

Figura 36. Relação parte aérea/raiz dos níveis de densidade do solo. RPAR = Relação Parte Aérea/Raiz, DS = Densidade do Solo. Significativo a 10% de probabilidade de erro pelo teste F. 59

Figura 37. Comparativo do desenvolvimento Parte Aérea/Raiz em função do nível de densidade do solo e tipo de vaso. 60

Figura 38. Comparativo do desenvolvimento Parte Aérea/Raiz em função do nível de densidade do solo e tipo de vaso. 60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análises químicas e granulométricas de Latossolo Vermelho Distrófico (camada de 0-20 cm) em área sob vegetação de Cerrado, Rondonópolis-MT. 25

Tabela 2. Quadro resumo da análise de variância referente ao número de folhas aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas. 34

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente a Altura de Planta aos 15, 30, 45 e 60 DAE. 38

Tabela 4. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos aos 45 dias após emergência para altura de planta.....41

Tabela 5. Análise de variância referente ao diâmetro de caule aos 45 e 60 dias após a emergência das plantas. 36

Tabela 6. Quadro resumo de análise de variância referente ao Índice de Clorofila - SPAD aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas.....43

Tabela 7. Quadro resumo de análise de variância referente a variável Massa Seca da Parte Aérea. 45

Tabela 8. Quadro análise qualitativa para tipo de vaso para a variável Massa seca da parte aérea. 46

Tabela 9. Quadro resumo da análise de variância referente ao comprimento de raiz 47

Tabela 10. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos para comprimento de raiz. 48

Tabela 11. Quadro resumo da Análise de variância referente ao diâmetro de raiz...50

Tabela 12. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos para comprimento de raiz. 52

Tabela 13. Quadro resumo de análise de variância referente a variável Volume de Raiz. 53

Tabela 14. Quadro resumo da Análise de variância referente ao diâmetro de raiz...55

Tabela 15. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos para

massa seca de raiz 56

Tabela 16. Quadro resumo da Análise de variância referente a massa seca total....57

Tabela 17. Quadro de análise qualitativa para tipo de vaso para a variável Massa seca da parte aérea. 58

Tabela 18. Quadro resumo da Análise de variância referente a relação parte aérea/raiz 59

Tabela 19. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos para relação parte aérea/raiz. 61

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos proveniente do aumento da população mundial gera a necessidade de melhorias na produção agrícola, pressionando os sistemas produtivos a aumentarem sua produtividade nos mesmos locais que já produzem, devido à limitação existente nas legislações ambientais quanto à abertura de novas áreas. Para isso, tem-se a necessidade de superar os fatores que interferem no cultivo, dentre os quais, está incluso a limitação física e química do solo (STERNBERG & THOMAS, 2018).

Uma das limitações físicas que o solo pode apresentar é a compactação. Esta, segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), é um dos principais fatores que geraram a degradação de 33% do solo mundial (FAO, 2015). Sua ocorrência nas áreas agrícolas dificulta o crescimento de raízes e o movimento da água, interferindo diretamente no desenvolvimento das plantas e consequentemente, condiciona o agricultor a adotar práticas corretivas para a área.

A rotação de culturas tem se tornado uma das principais estratégias para esta recuperação. É uma técnica de manejo, que além de realizar a ciclagem de nutrientes com o uso de plantas de cobertura, contribui para melhorar as características estruturais do solo, como movimento da água e estoque de carbono. Atualmente, as plantas mais utilizadas para realizar esse manejo são leguminosas, como o nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) (MAITRA et. al, 2018), uma cultura de inverno que devido a sua capacidade de recuperar a fertilidade e estrutura do solo, também acabou se tornando uma importante espécie de adubo verde, com contribuição na descompactação do solo (BUENO et al., 2019).

No entanto, para que ocorra a correta implantação dessas práticas corretivas, tem-se a necessidade da aplicação de ferramentas cientificas que, através de estudos, estabeleçam conhecimentos concretos e forneçam dados confiáveis para as tomadas de decisões e futuras ações a serem realizadas nas áreas. Com isso, a casa de vegetação, vem se tornando uma solução cada vez mais indispensável e viável (GHOULEM et al., 2019), principalmente, quando se trata de pesquisas de carater edáfico e estudos de base.

Para tanto, deve-se considerar que os estudos conduzidos nessas estruturas, devem reproduzir a realidade do campo e por isso, os fatores influenciáveis devem ser averiguados antes de sua instalação. Dentre esses, comumente estão o tamanho,

tipo e cor dos vasos, sendo obrigatório adaptá-los corretamente em acordo com o estudo (BELTRÃO et al., 2002).

Referente a análise de descompactação, é frequente a montagem dos experimentos em anéis de Ploricloreto de Vinila (PVC). No entanto, tem-se a suspeita que as características mecânicas desse material devido sua rigidez, inviabilizem a planta a expressar todo o seu potencial de descompactação. Nesse sentido, o poliuretano por ser um produto com textura de espuma, que devido sua flexibilidade pode assumir diferentes formatos sem alterar as características químicas do solo, tem se apresentado como material alternativo para realização desses experimentos (VEZON, 2018). Porém, ainda há a necessidade de estudos que comprovem sua eficiência para esse aspecto.

Desse modo, tendo em vista a busca por melhorias sustentáveis no sistema de produção agrícola e o reflexo que as pesquisas cientificas tem nesses aperfeiçoamentos, objetivou-se avaliar o desempenho de recipientes de poliuretano expansível e policloreto de vinila para estudos sobre descompactação biológica do solo, utilizando nabo forrageiro (*Raphanus Sativus* L.) como cultura resposta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Compactação do Solo

A intensificação dos trabalhos no campo, aliada ao uso de maquinários e implementos agrícolas, ocasionaram mudanças significativas na forma de preparo do solo. Orzech & Zaluski (2020) relatam que a principal desvantagem que essas modificações trouxeram, além do alto consumo de energia, é o aumento compactação do solo não só nas camadas superficiais, mas também, em subsolo, em reflexo do movimento repetido dos maquinários.

Nesse sentido, Lamandé et al. (2018) relatam que a compactação das camadas subsuperficiais é de difícil correção e afeta os processos ecológicos, que ocorrem no sistema solo em todas as frações (sólida, liquida e gasosa), sendo necessárias ferramentas eficientes de avaliação para promover práticas agrícolas sustentáveis.

Nunes et al. (2016) avaliando parâmetros físicos como macroporosidade, microporosidade, porosidade total e resistência à penetração em Latossolo Vermelho, verificaram a diminuição de 59% da porosidade total, 26% da microporosidade, 96% da macroporosidade e aumento de 97% da resistência à penetração, quando compararam o solo da densidade de 1,0 Mg m^{-3} em relação ao solo com 1,8 Mg m^{-3}.

O solo compactado inibe a formação de raízes pelas plantas, a percolação da água, transferência de compostos minerais e permeação de ar através dos poros, resultando na redução de sua qualidade e consequentemente o tornando impróprio para o cultivo (ORZECH & ZALUSKI, 2020). Moraes et al. (2020), ao estudar o impacto da compactação do solo no crescimento radicular da soja em um Latossolo, constatou que a compactação do solo alterou a anatomia, a forma e o tamanho das raízes. Os autores ainda citam que o impedimento mecânico é uma das principais causas físicas do solo para redução do crescimento radicular.

2.2. Descompactação Biológica

Quando verificada a existência da compactação em áreas agrícolas, se faz necessária a adaptação do manejo exercido, de modo que este consiga romper a camada compactada, preservando ao máximo a camada arável e a palhada de

cobertura do solo. Comumente, essa interferência ocorre via uso de escarificadores ou subsoladores, no entanto, o uso da descompactação biológica atua como um reestruturador do sistema de modo mais homogêneo que o emprego dos maquinários (LIMA et. al, 2019).

Dentre os tipos de manejos agrícolas, a adubação verde apresenta o uso de descompactadores biológicos, uma vez que, visa à melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, até mesmo em profundidade, através da utilização de plantas que apresentem características propícias para promovê-las, dentre as quais, destacam-se às espécies leguminosas, em um sistema de rotação, sucessão ou consorciação com as culturas de fim econômico (SILVA, 2020).

Autores como Calegari et al. (1993) e Chaves (1986) citam que, as quatro finalidades básicas para a adesão aos adubos verdes são: a cobertura e proteção dos solos; mantimento e melhoria de suas condições físicas, químicas e biológicas; aumento da atividade microbiológica em profundidade, além da utilização da fitomassa produzida pelas culturas para alimentação animal ou outros fins. No entanto, a característica mais atrativa aos produtores, remete-se a redução dos custos (OLIVEIRA et. al, 2017), tendo em vista que, tal prática pode reduzir significativamente a aplicação de fertilizantes sintéticos e o uso de maquinários para fins corretivos.

Maitra et al. (2018), em estudo sobre a melhoria da propriedade do solo e aumento da fertilidade em função da adubação verde, elencaram diversos trabalhos que obtiveram a correção na anatomia física e bioquímica do solo, minimização das perdas de nutrientes por lixiviação e maior capacidade de retenção de água. Como também, constataram o aumento de matéria orgânica e uma melhor capacidade de reciclagem de nutrientes. Tais modificações refletiram em um maior rendimento das culturas na pesquisa observada por Egodawatta et al. (2011).

Os benefícios providos por essa prática no quesito estrutural do solo justificam-se por meio da ação de raízes pivotantes, que conseguem adentrar em camadas compactadas e ao se decomporem, deixam canais que possibilitam o movimento da água e a difusão dos gases no perfil do solo (BARLEY, 1954), além de servirem de caminhos para a penetração radicular de outras culturas.

Dentre as diversas plantas caracterizadas como “adubos verdes”, encontra-se a *Raphanus Sativus* L. (MAITRA et al., 2018), uma espécie de inverno, que por possuir raiz do tipo pivotante e com grande alcance em profundidade, tornou-se uma planta útil na descompactação das camadas mais profundas do solo, além de

contribuir na recuperação de nutrientes, quando feita sua incorporação como cobertura vegetal. Essa é apontada por Aydmh & Mennan (2018) como uma planta com potencial para manejar o solo, contribuindo para a obtenção de uma melhor qualidade do mesmo, que além de adubo verde pode ser usada pra múltiplos fins, como cultura comercial e planta biofumigante.

2.3. Nabo Forrageiro (*Raphanus Sativus* L.)

O nabo forrageiro é uma planta oleaginosa pertencente à família Brassicaceae, que apresenta alta resistência a pragas e doenças e tolerância a baixas temperaturas. É uma espécie que pode atingir até 1,80 m de altura, com crescimento inicial acelerado, podendo apresentar um percentual de cobertura do solo de 70% em até dois meses após a semeadura (SANTOS et al., 2018).

Sua maior produção de fitomassa é obtida quando semeado entre abril e maio, alcançando um volume de 4 a 6 t ha^{-1}. O plantio pode ser feito a lanço ou em linhas, espaçadas em 40 cm, com 20 a 25 sementes por metro linear. Quando há o emprego como adubo verde, entre 110 a 120 dias de cultivo, realiza-se a incorporação da matéria seca (BEVILAQUA et al., 2008).

Essa cultura é considerada uma das principais plantas de adubo verde do país (PIRES et al., 2019). É uma espécie de inverno, muito vigorosa, que por possuir raiz do tipo pivotante e com grande alcance em profundidade, é capaz de romper camadas de solo extremamente adensadas e/ou compactadas a profundidades superiores a 2,50 m, além de contribuir na recuperação de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo e desenvolvimento significativo em solos de baixa fertilidade (BUENO et al., 2019).

Considerando essas características do nabo forrageiro, o mesmo tem sido empregado em diversos estudos a respeito do seu efeito sobre os níveis de compactação do solo e deste último sobre a cultura (PULIDO-MONCADA et al., 2020; CHEN & WEIL, 2010; MÜLLER et al., 2001; NICOLOSO et al., 2008).

2.4. Pesquisas Experimentais

Compreendendo-se a grande importância dos solos tanto para a produção agrícola e pecuária, quanto para a permanência dos ciclos do ecossistema em seus

mais amplos aspectos para a sociedade, a manutenção de sua qualidade é de vital importância. Ainda mais, por ser um recurso finito de acordo com a estimativa de vida do ser humano. Desse modo, para que o uso dos solos seja bem gerenciado, tem-se a necessidade da aplicação de ferramentas científicas que, através de estudos, estabeleçam conhecimentos concretos e forneçam dados confiáveis para as tomadas de decisões e consequentemente, as ações a serem realizadas (BAI et al., 2018).

Dentre as diversas formas de condução de um experimento, inicialmente é preferível conduzir os estudos em um quantitativo reduzido, mas representativo, e em ambiente controlado (casas de vegetação), para obter as informações preliminares necessárias para levá-los a campo (estudos de base), evitando dessa forma perdas financeiras e propiciando a otimização do tempo.

Ghoulem et al. (2019), relatam que essa tecnologia está se tornando uma solução cada vez mais indispensável e viável para os métodos modernos de produção agrícola. Beltrão et al. (2002), ao analisarem o uso adequado de casa de vegetação e de telados na experimentação agrícola, verificaram que parte significativa da produção de plantas ornamentais e hortaliças são feitas nesse tipo de ambiente.

No entanto, as pesquisas experimentais quando conduzidas nessas estruturas, devem reproduzir a realidade que fique próxima a de campo por isso, existe uma criteriosa análise dos materiais a serem empregados, tendo em vista que esses podem interferir diretamente nos resultados obtidos. As conclusões obtidas para uma mesma variável e fator estudados, dentro de uma mesma espécie e até cultivar, podem se apresentar opostos e contraditórios, em decorrência de certos fatores, entre os quais, inclui-se o tamanho, tipo e cor dos vasos, sendo obrigatório adaptá-los corretamente em acordo com o tipo de estudo (BELTRÃO et al., 2002).

Os vasos experimentais comumente empregados, quando referentes a análise de descompactação, são os de PVC (FARIAS et al., 2013; PACHECO et al., 2015; ROSELEM et al., 2008; SPLIETHOFF et al., 2020). No entanto, tem-se a suspeita que esses não possibilitam a planta a apresentar todo o seu potencial por conta da rigidez de seu material. Outra possível interferência decorrente do uso deste material, na condução de experimentos, é a ocorrência de caminhos preferências. Esses surgem devido ao espaço entre a parede interna do vaso e a lateral da coluna de solo, o qual possui um maior fluxo de escoamento da solução, depositando-a ao fim da amostra (VENZON, 2018). Essas constatações na experimentação agrícola enquadram-se como variações casuais, as quais, caso sejam grandes, comprometem

a detecção de diferenças significativas na pesquisa (CARGNELUTTI FILHO et al, 2003).

Devido a isso, o poliuretano por ser um produto sólido, com textura de espuma, que pode assumir diferentes formatos e que apresenta características como boa resistência mecânica, impermeabilidade e não alteração das características químicas do solo, tem se apresentado como material alternativo para realização desses experimentos.

2.5. Espuma de Poliuretano Expansível

O poliuretano expansível (PU) é um produto sólido, com textura de espuma, e aparência semelhante ao poliestireno expandido, popularmente conhecido como isopor. É obtido a partir da reação química, que ocorre quase que instantaneamente, entre dois compostos químicos líquidos. Um dos compostos químicos é um ativador da reação (conhecido por MDI) e o outro é um composto, conhecido como POLIOL. Para dar a aparência de espuma ao produto resultante da reação, emprega-se um gás como agente expansor (VENZON, 2018).

Apesar das primeiras produções de espumas de poliuretano terem sido realizadas por Leverkusen entre 1952 e 1954, utilizando poliésteres como poliois e com o desenvolvimento a base para a tecnologia comercial, somente em 1957 se iniciou a utilização, por causa de suas vantagens técnicas (SERVE, 2007).

Hoje em dia, poliuretanos podem ser encontrados em diversos lugares do cotidiano humano, seja em mesas, cadeiras, carros, roupas, calçados, eletroeletrônicos, camas, telhados e paredes ou na forma de revestimentos e pintura, como elastômeros, espumas rígidas isolantes, espumas flexíveis e pele integral. Independente do seu processo de transformação, a base química deste produto é resultado dos estudos do Prof. Dr. Otto Bayer (1902-1982), em 1937 (LUCKMANN, 2005). No entanto, as formulações, aditivos e técnicas de processamento continuam a ser desenvolvidas.

A espuma de PU tem sido empregada com sucesso como isolante térmico, não somente pelos valores extraordinários de isolamento e pela elevada resistência mecânica, mas também pela boa estabilidade dimensional e por poder ser produzida diretamente a partir dos componentes líquidos no próprio local de aplicação (MCBRAYER, 1998; OERTEL, 1993; VENZON, 2018).

Além disso, o poliuretano se apresenta para uso alternativo como adsorventes, por pertencer a uma família de polímeros facilmente encontrada no mercado, com boa resistência química e térmica e por possuírem boa permeabilidade, baixa densidade e alta porosidade. Tais características aliadas a estudos de materiais biodegradáveis constataram que o produto final desse composto não causa risco à saúde e ao meio ambiente (SILVA, 2019).

Nesse sentido, Silva et al. (2020) avaliaram a capacidade adsortiva da espuma de poliuretano vegetal, incorporado de bagaço de cevada, na remoção de contaminantes orgânicos, em virtude do grande problema ambiental gerado pelos resíduos dispostos inadequadamente, que aumentam o potencial poluidor e contaminação de solos e corpos hídricos, e verificaram que a capacidade de adsorção está intimamente ligada a propriedade expansiva da espuma.

Os autores ainda relatam que sua combinação com o resíduo agroindustrial do bagaço de cevada, resultou em um material com características biodegradáveis, hidrofóbicas e oleofílicas, que podem ser utilizados na retirada de óleos orgânicos presentes em corpos hídricos. Sendo assim, uma alternativa atrativa para esse fim, devido a sua alta biodegradabilidade, baixo custo e redução do impacto ambiental.

Ainda existe o emprego da espuma de poliuretano em sistema de cultivos hidropônicos para hortaliças frutíferas, flores e outras culturas que fazem uso de algum substrato para sustentação das raízes (SAUSEN et al., 2020).

De acordo com Venzon (2018), vasos feitos de PU são uma alternativa aos vasos de PVC, a fim de se evitar os caminhos preferenciais que ocorrem nestes. O processo de expansão do poliuretano permite que o vaso assuma a forma exata da coluna da amostra, impedindo assim o escoamento preferencial da solução do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do Experimento

O experimento foi realizado sob condições controladas, em casa de vegetação da Universidade Federal de Mato Grosso, *campus* Rondonópolis, no Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas – ICAT, com as coordenadas geográficas: -16º28'15'' S e -50º38'08'' O e altitude de 284 m, no período de novembro de 2019 a janeiro de 2020.

A casa de vegetação se localiza no sentido norte sul com altura de pé-direito de 6 m, área total de 450 m² e cobertura de plástico transparente de 200 micras (PEREIRA, 2016). Durante o período experimental a umidade relativa do ar e temperatura média foi de 60,86% e 28,42 ºC, respectivamente (Figura 1).

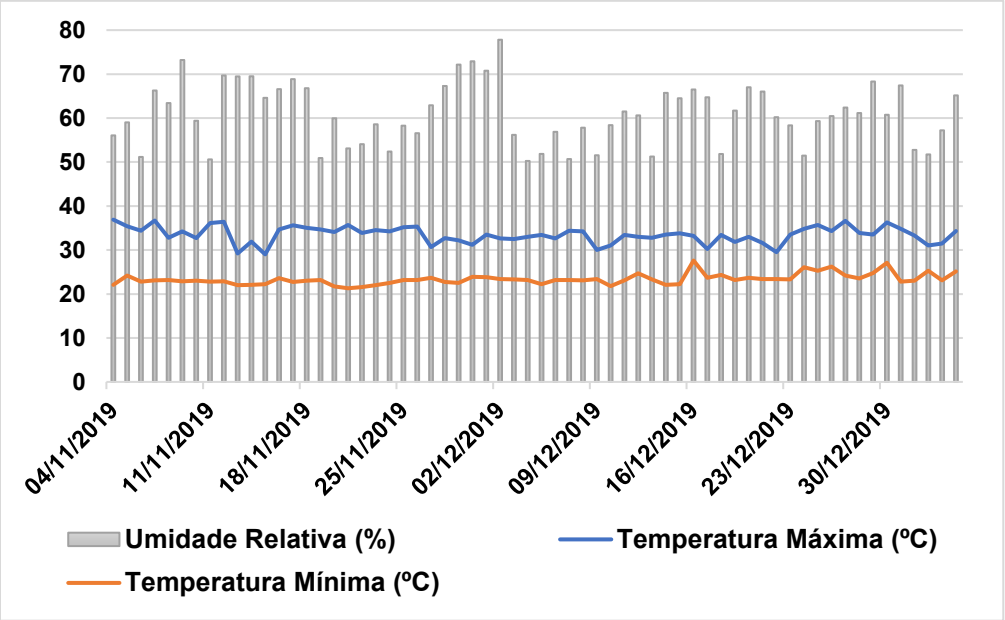

Figura 1. Temperatura Máxima e Mínima (ºC) e Umidade Relativa (%) do ar medidos na casa da vegetação durante o período experimental (04 de novembro de 2019 a 04 de janeiro de 2020).

3.2. Instalação do Experimento

3.2.1. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), arranjados em esquema fatorial 5x2, correspondentes a cinco densidades do solo (1,0; 1,2; 1,4;

1,6 e 1,8 Mg m^{-3}) e dois tipos de vasos (Policloreto de Vinila – PVC; e Espuma de Poliuretano - PU), com cinco repetições, totalizando 50 unidades experimentais.

As parcelas experimentais foram organizadas em 5 blocos, contendo 10 unidades de tratamento em cada (Figura 2).

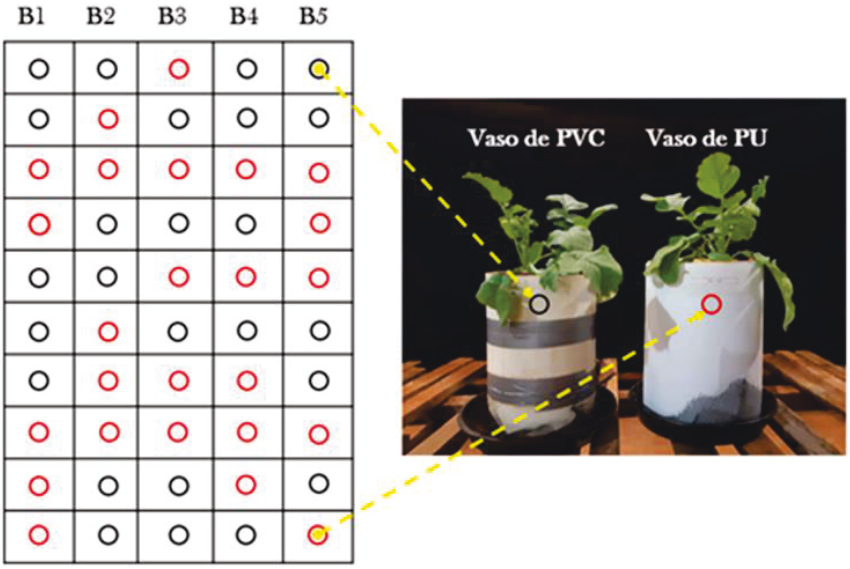

Figura 2. Distribuição dos vasos de PVC e PU nos blocos experimentais após sorteio inteiramente casualizado, seguindo o princípio estatístico para DBC.

3.2.2. Teste de Germinação das Sementes

O teste de germinação foi conduzido conforme as recomendações das Regras para Análise de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). Foram acondicionadas 100 sementes em placa de petri com papel germitest umedecido por um período de sete dias e após foi feita a contagem das sementes germinadas (Figura 3). O percentual de germinação obtido foi de 95%.

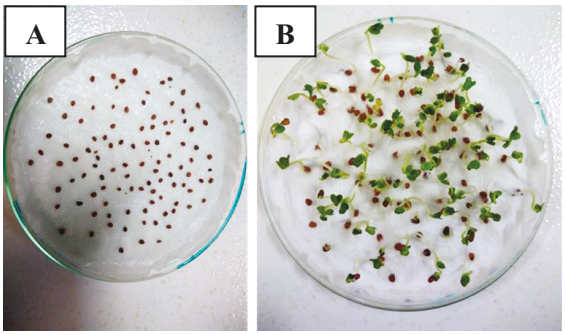

Figura 3. Teste de Germinação - Sementes acondicionadas em placa de petri com papel germitest umedecido (A); Sementes sete dias após o acondicionamento (B).

3.2.3. Análise e Correção do Solo

O solo utilizado foi coletado na camada de 0-20 cm de profundidade em área sob vegetação de Cerrado, classificado como Latossolo Vermelho de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2018), e peneirado em malha de 4 mm para composição das unidades experimentais.

Com o intuito de se efetuar a caracterização química e granulométrica do solo, separou-se amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), homogeneizadas em peneira de malha de 2 mm, cujo resultado é demonstrado na Tabela 1.

De acordo com os dados apresentados na tabela 1, verificou-se a necessidade da elevação da saturação por base a 60%. Para isso, dividiu-se o volume total coletado em frações de 14 kg, acondicionados em sacos plásticos e aplicou-se calcário dolomítico com PRNT 85%. O mesmo foi incorporado ao solo com umidade mantida a 80% da capacidade máxima de retenção de água. Após, os sacos foram incubados por um período de 30 dias para a ação reagente.

Tabela 1. Análises químicas e granulométricas de Latossolo Vermelho Distrófico (camada de 0-20 cm) em área sob vegetação de Cerrado, Rondonópolis-MT.

pH	**P**	**K**	**S**	**Ca**	**Mg**	**Al**	**H+Al**	**SB**	**CTC**	
$CaCl_2$	.....mg dm^{-3}.....			.....		.....cmolc dm^{-3}.....				
4	1,3	33	2	0,4	0,2	1,1	5,7	0,7	6,4	
Zn	**Mn**	**Cu**	**Fe**	**B**	**M.O**	**V**	**m**	**Argila**	**Silte**	**Areia Total**
.....mg dm^{-3}.....					g Kg^{-1}	.....%.....		.....g Kg^{-1}.....		
4,06	10,4	0,6	60	0,2	21,2	10,7	61,8	455	100	445

*P = Fósforo; K = Potássio; Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Al = Alumínio; H = Hidrogênio; CTC = Capacidade de troca de cátions; MO = Matéria orgânica; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio.
*Leitura realizada em Melich-1

Ao término do tempo de incubação, foram coletadas quatro amostras para determinação de pH, com o intuito de verificar a correção da acidez. A leitura foi realizada em pHmetro de bancada, utilizando a solução de $CaCl_2$ a 0,01 mol. Obteve-se uma média de pH de 6,16, estando esta, dentro da faixa ideal para o cultivo.

3.2.4. Adubação

A fim de assegurar a disponibilidade de nutrientes essenciais à cultura, foi feita a aplicação de 1,11 g kg^{-1} de superfosfato simples (SPS), 0,17 g kg^{-1} de cloreto de potássio (KCl) e 0,05 g kg^{-1} de FTE BR 12, no dia anterior ao preparo dos vasos.

Para a adubação nitrogenada utilizou-se a ureia. A aplicação foi feita aos 7 dias após a emergência das plantas (DAE) na dose de 50 mg dm^{-3} e aos 14 DAE na mesma dosagem, por meio de diluição em solução aquosa (BONFIM-SILVA et al, 2015a).

3.2.5. Montagem dos Vasos Experimentais

Após a correção e adubação do solo, determinou-se a quantidade do mesmo a ser utilizada para proporcionar as densidades especificas de cada tratamento.

Inicialmente, relacionou-se massa e volume de acordo com a Equação 1. A partir desta, pode-se determinar a massa de solo seco para formação da camada compactada conforme Equação 2.

$$\mathbf{Ds = \frac{MSS}{Va}} \qquad \mathbf{(1)}$$

$$\mathbf{MSS = Ds * Va} \qquad \mathbf{(2)}$$

Onde:
Ds = Densidade do solo (kg dm^{-3})
MSS= Massa de solo seco (kg)
Va= Volume do anel (3,14 dm^3)

Conhecido o MSS para cada nível de densidade, foi estimada a massa de solo úmido a ser alocada nos anéis, uma vez que, conforme ensaio prévios realizados por Fagundes et al. (2014), a umidade ideal para comprimir o solo é de 16%.

A massa de solo úmido a ser adicionada em cada anel, foi determinada com base na Equação 3.

$$MSU = MSS\ (1 + \theta m) \quad (3)$$

Em que:

MSU= Massa de solo Úmido

MSS=Massa de solo Seco

θm= Umidade a base de massa (16%)

Assim, para os níveis de densidade de 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m^{-3}, a camada compactada conteve 3,14 kg, 4,17 kg, 5,09 kg, 5,82 kg, 6,55 kg, de solo úmido respectivamente.

A compactação foi realizada com o auxílio de uma prensa hidráulica modelo P15ST da marca BOVENAU®, na camada intermediária de 10 - 20 cm, já preenchida com solo suficiente para alcançar as densidades almejadas. A profundidade de 10 – 20 cm foi escolhida a fim de se assemelhar a condição de campo com compactações em subsuperfície.

Objetivando-se uma compressão homogênea e evitar a perda de material, foi colocada uma chapa metálica na parte superior e inferior do anel para alocação na prensa hidráulica (Figura 4).

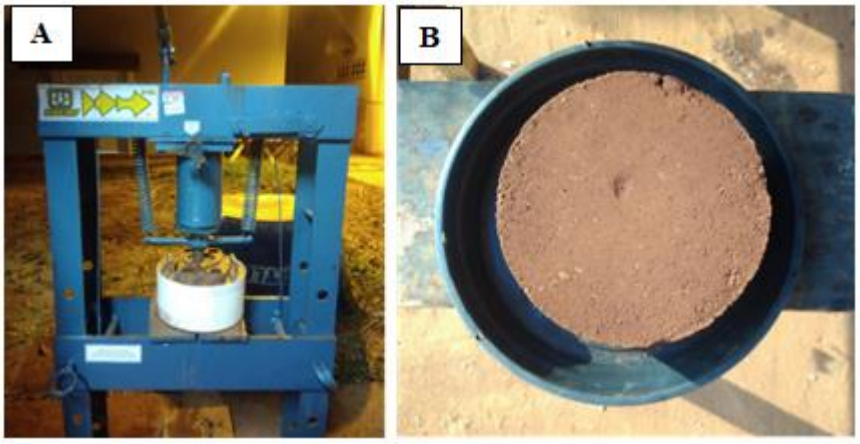

Figura 4. Montagem das Unidades Experimentais - Prensa da camada compactada (A); Camada compactada (B).

Os anéis superiores (camada 0-10 cm) e inferiores (camada 20-30 cm), foram preenchidos com 3,14 kg de solo, equivalente ao solo com densidade de 1,0 Mg m^{-3} (Figura 5).

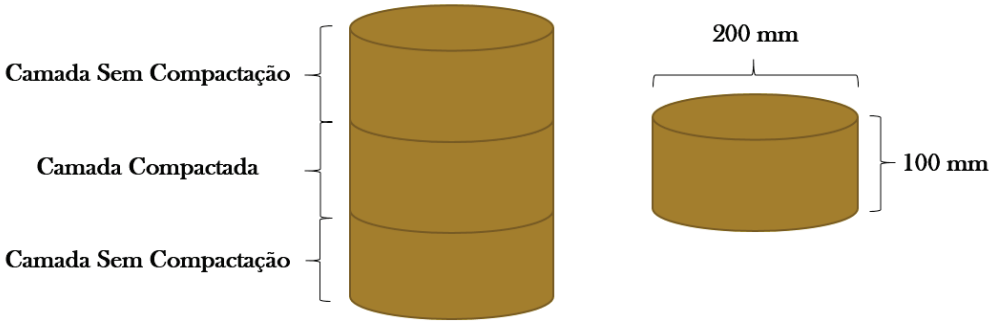

Figura 5. Ilustração da disposição das camadas do solo que compõe os tratamentos experimentais e com suas dimensões.

As unidades experimentais compostas por vasos de Policloreto de Vinila (PVC) foram confeccionados com três anéis cilíndricos e simétricos sobrepostos, com 200 mm de diâmetro e 100 mm de altura cada, totalizando um volume de 9,4 dm³ (Figura 6).

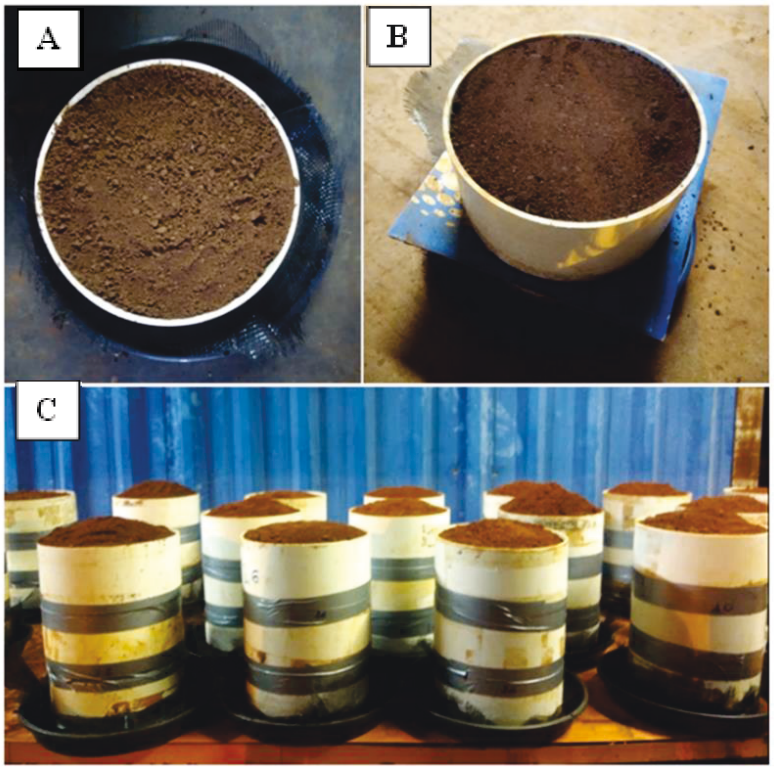

Figura 6. Camada inferior (A), Camada compactada (B) e Unidades experimentais referente ao tratamento de vaso de Policloreto de vinila.

Cada anel representa uma camada de solo de 10 cm, unidas por fita adesiva tipo ‘silver tape’ e na parte inferior do vaso, foi fixada uma tela com malha de 1 mm

recobrindo toda sua base com auxílio de uma borracha, oriunda da secção transversal da câmara de pneus usados, para drenar a água e apreender o conteúdo dentro do recipiente. Cada vaso foi colocado sobre pratos plásticos de 300 mm de diâmetro e 50 mm de altura.

As unidades experimentais compostas pelo vaso de Espuma de Poliuretano Expansível (PU) (Figura 7) foram confeccionadas através de um molde untado com vaselina em pasta disposto entorno de três camadas de solo sobrepostas, de acordo com o volume e camada compactada correspondente a cada tratamento.

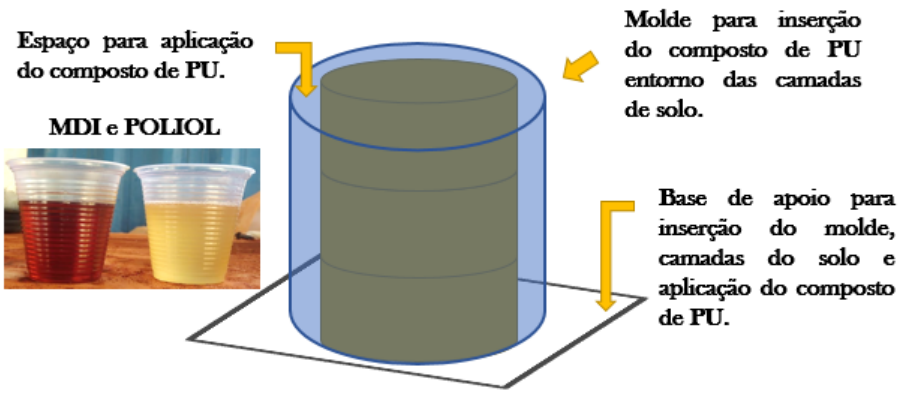

Figura 7. Ilustração dos materiais usados para construção dos vasos de Poliuretano Expansível (PU), sendo estes: molde e base de apoio.

Para composição dos vasos, de modo a permitir a alocação das colunas de solo no molde, as camadas de 0-10 cm e 20–30 cm foram levemente umedecidas e sujeitas a pequenas forças de compressão. A montagem das colunas foi realizada utilizando anéis de PVC que continham um corte lateral para possibilitar a retirada do material após prensa. Ao se inserir o solo nos mesmos, o fechamento do anel se dava com o auxílio de uma braçadeira metálica.

A espuma de PU foi proveniente da mistura de 140 mL dos compostos químicos MDI e POLIOL, agitada por 10 segundos, sendo após despejada no espaço existente entre o molde e o solo, aguardando-se o tempo de até 5 minutos para a remoção da unidade experimental da estrutura de moldagem.

Após, os vasos foram envoltos por uma lâmina de formica branca, preenchimento dos espaços vazios com o composto da Espuma de Poliuretano, visando obter a uniformidade dos recipientes (Figura 8).

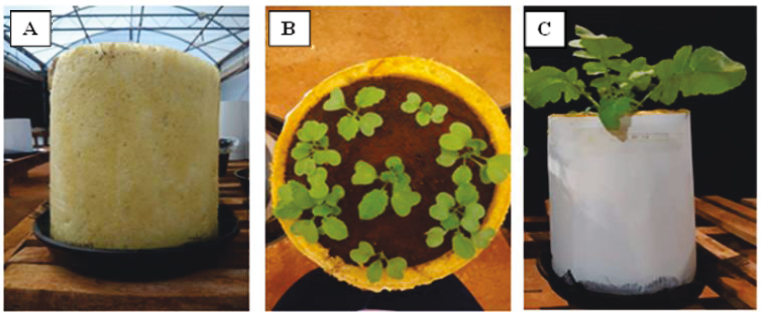

Figura 8. A. Recipiente de Poliuretano Expansível; B. Visão superior do vaso; C. Recipiente de Poliuretano Expansível envolto em fórmica.

3.2.6. Semeadura

Inicialmente foram semeadas oito sementes de nabo forrageiro a uma profundidade de dois centímetros em cada unidade experimental.

Aos sete dias após a emergência realizou-se o desbaste, deixando uma população de quatro plântulas por vaso e três dias depois, foram removidas outras duas plântulas, estabelecendo uma população final de duas plantas por vaso.

3.2.7. Manejo da irrigação

A irrigação foi realizada uma vez ao dia no período final da tarde, salvo os dias que se verificava visualmente uma maior demanda hídrica para a planta, por meio do murchamento das folhas.

Durante o desenvolvimento inicial do nabo forrageiro, a aplicação de água ocorreu pela parte superior dos vasos, visando garantir o estabelecimento da cultura, tendo em vista que o desenvolvimento das raízes em estádio inicial poderia ser comprometido devido às densidades do solo (tratamentos de compactação).

A partir dos 15 DAS, o manejo da irrigação passou também a ser realizado por capilaridade, sendo a água depositada nos pratos na parte inferior dos vasos, forçando as raízes a romperem a camada compactada no anel intermediário segundo metodologia de Silva et al (2006).

3.3. Variáveis analisadas

Foram avaliadas as seguintes variaveis:

- Número de folhas: Contagem do número de folhas fotossinteticamente ativas de cada unidade experimental e calculada a média por planta.
- Índice de Clorofila SPAD (Soil Plant Analysis Development): Determinação indireta do teor de clorofila de duas folhas do terço médio das plantas de cada unidade experimental, com o auxílio do aparelho Minolta SPAD-502 (Figura 9).

Figura 9. Leitura do Índice de Clorofila SPAD na planta de nabo forrageiro com o aparelho Minolta SPAD-502.

- Massa seca da parte aérea: Massa seca da parte aérea de caule e folhas, valores em g vaso^{-1}.
- Volume de raiz: Depois de lavadas, as raízes serão colocadas em uma proveta com volume conhecido e por diferença será determinado o volume de raízes obtidas em cm³ (Figura 10).

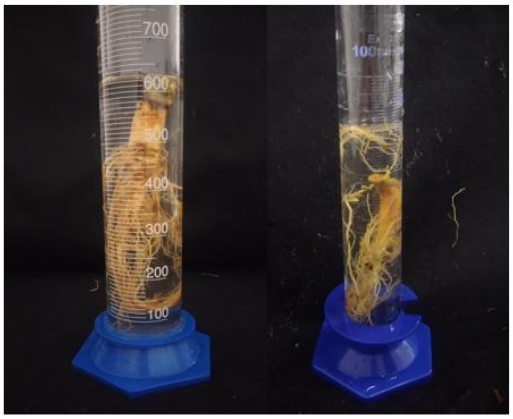

Figura 10. Mensuração do volume de raiz de nabo forrageiro utilizando proveta graduada de 1000 mL e 100 mL.

- Altura de planta: Medida em centímetros com o auxílio de régua graduada do colo ao ápice da planta em (cm) e calculada a média por planta.

- Diâmetro de Caule: Medida transversal do caule da planta a 2 cm do solo, aferido por meio de paquímetro digital em mm e calculada a média por planta.
- Diâmetro de raiz: Média dos diâmetros de raiz por vaso, medidos com paquímetro de digital (Figura 11).

Figura 11. Mensuração do diâmetro de raiz do nabo forrageiro com o auxílio de um paquímetro digital.

- Comprimento de raiz: Média dos comprimentos de raiz obtidos por vaso, medidos com régua graduada em cm (Figura 12).

Figura 12. Mensuração do Comprimento de raiz do nabo forrageiro utilizando uma régua graduada em cm.

- Massa seca da raiz: Somatório da massa seca de raiz na camada 0-0,1 m, camada 0,1-0,2 m e 0,2-0,3 m, obtidos em g vaso^{-1}

- Massa seca total da planta: Somatório massa seca total de raiz e massa seca total da parte aérea.
- Relação massa seca parte aérea/raiz: Razão da massa seca da parte aérea total, pela massa seca total de raiz.

Aos 15, 30, 45 e 60 DAE foram avaliadas as variáveis número de folhas, altura de planta, diâmetro de caule e índice de clorofila (SPAD). Ao fim do experimento avaliou-se a massa seca da parte aérea, volume de raiz, massa total de raiz, massa seca total da planta, relação massa seca parte aérea/raiz.

.

3.4. Análises estatísticas

Os dados experimentais foram analisados por meio da ANOVA, sendo posteriormente submetidos à análise de variância pelo teste de Fisher ($p>0,05$) e teste de regressão ao nível de significância de até 5% utilizando o Software SISVAR® (FERREIRA, 2019), exceto para a variável relação parte aérea/raiz e Índice de Clorofila SPAD - 30 DAE cuja significância ocorreu com 10% de probabilidade.

As equações com parâmetros significativos foram plotadas com uso da ferramenta computacional, SigmaPlot.

Para o tratamento qualitativo, submeteu-se os resultados a análise de variância e teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Número de Folhas

Observa-se no quadro resumo da análise de variância (Tabela 2), que para a variável número de folhas até os 30 DAE, o fator vaso não exerceu influência sob a variável, e consequentemente não houve interação sobre os fatores.

Tabela 2. Quadro resumo da análise de variância referente ao número de folhas aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios nº folhas vaso^{-1}	
		15 DAE	**30 DAE**
Vaso	1	5.7800^{ns}	36.1250^{ns}
Densidade do solo	4	34.0000**	383.1050**
Vs * Ds	4	10.4800^{ns}	84.1250^{ns}
Resíduo	36	8.3722	73.1702
CV	-	33,33	20,87
Média	-	12,4000	40,9900

GL= Grau de liberdade; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

Por sua vez, o tratamento densidade do solo, apresentou efeito significativo com ajuste ao modelo linear de regressão decrescente (Figura 13 e 14).

Pode-se observar que com o aumento dos níveis de compactação houve redução de 28,01% e 22,29% no número de folhas aos 15 e 30 DAE, respectivamente. Esses resultados demonstram que esse fator exerce influência nessa propriedade na cultura do nabo forrageiro. De acordo com os resultados obtidos por Bonfim-Silva et al. (2011), compreende-se que as densidades do solo em Latossolo Vermelho, podem interferir negativamente na absorção de nutrientes pelas plantas refletindo na redução da produção de folhas.

Resultados semelhantes foram obtidos por Rosa et al. (2019), ao realizarem estudo sobre a influência da compactação na cultura da soja (*Glycine max*), onde os autores verificaram que conforme o aumento da resistência do solo, houve um

decréscimo do número de folhas.

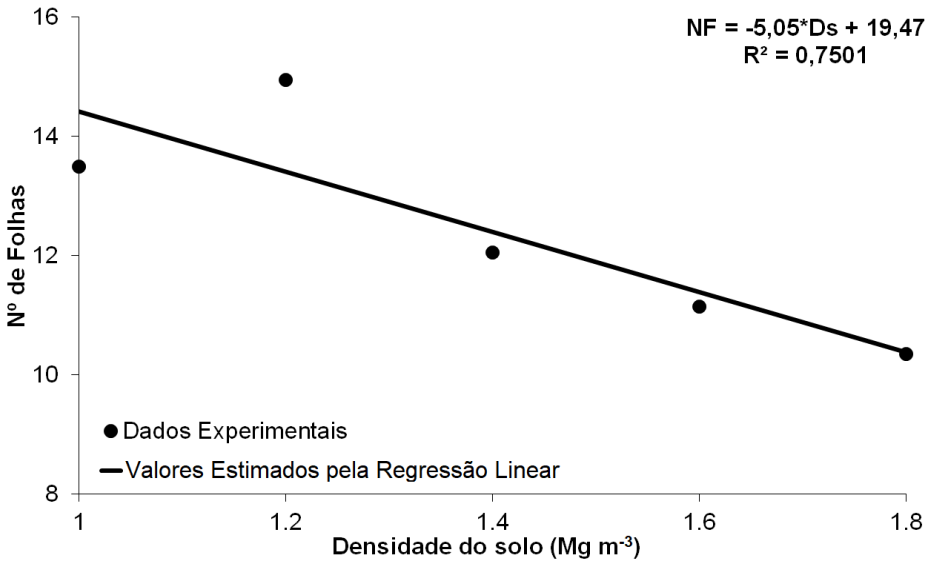

Figura 13. Número de Folhas do Nabo Forrageiro em função dos níveis de densidade do solo aos 15. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

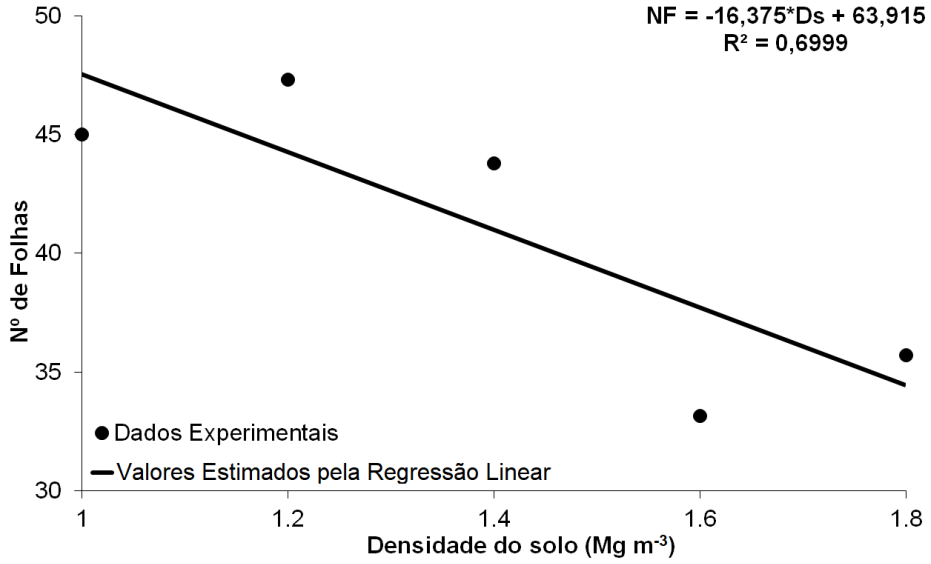

Figura 14. Número de Folhas do Nabo Forrageiro em função dos níveis de densidade do solo aos 15. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Aos 45 e 60 DAE devido às características fisiológicas do nabo forrageiro: estrutura ramificada e limbo recortado às quais podem chegar até a nervura (MOREIRA & BRAGANCIA, 2010), associada a pouca distância em que os vasos estavam dispostos, houve o entrelaço entre os ramos das plantas. Para evitar danos a cultura, não se procedeu com o quantitativo da variável (Figura 15).

Figura 15. Condução do experimento aos 35 dias após emergência das plantas.

Desse modo, verifica-se que há a necessidade do ajuste de espaçamento entre os vasos, como também da quantidade de plantas a ser mantida em cada unidade experimental.

4.2. Diâmetro de Caule

Abaixo contém o quadro resumo da análise de variância para a variável diâmetro de caule aos 45 e 60 DAE (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância referente ao diâmetro de caule aos 45 e 60 dias após a emergência das plantas.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios Diâmetro de Caule (cm)	
		45 DAE	60 DAE
Vaso	1	7.6792^{ns}	8.3232^{ns}
Densidade do solo	4	91.7022**	59.1835**
Vs * Ds	4	20.1287^{ns}	12.2691^{ns}
Resíduo	36	14.3891	8.9694
CV	-	21,11	17,88
Média	-	17,9681	16,7516

GL= Graus de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

Os recipientes de poliuretano expansível e policloreto de vinila apresentaram influência para o diâmetro de caule aos 45 e 60 DAE. Obteve-se significância isolada para densidade do solo com ajuste ao modelo linear de regressão. Pode-se observar que com aumento da densidade do solo, houve uma redução no diâmetro de caule de 34,66% aos 45 DAE e 27,38% aos 60 DAE, entre as densidades de 1,0 Mg m^{-3} a 1,8 Mg m^{-3} (Figura 16 e 17).

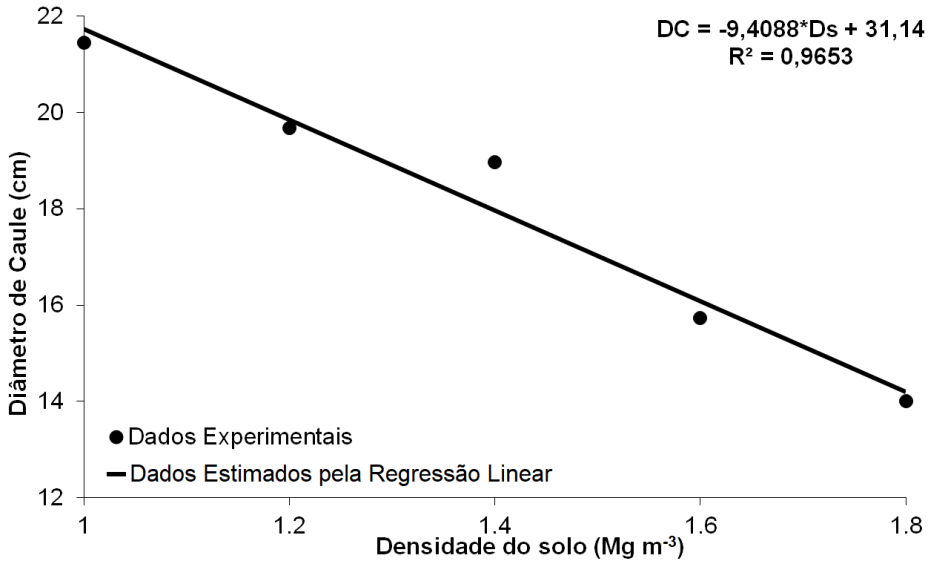

Figura 16. Diametro de caule em função dos níveis de densidade do solo aos 45 DAE. DC = Diametro de caule, Ds = Densidade do Solo. **Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste de F.

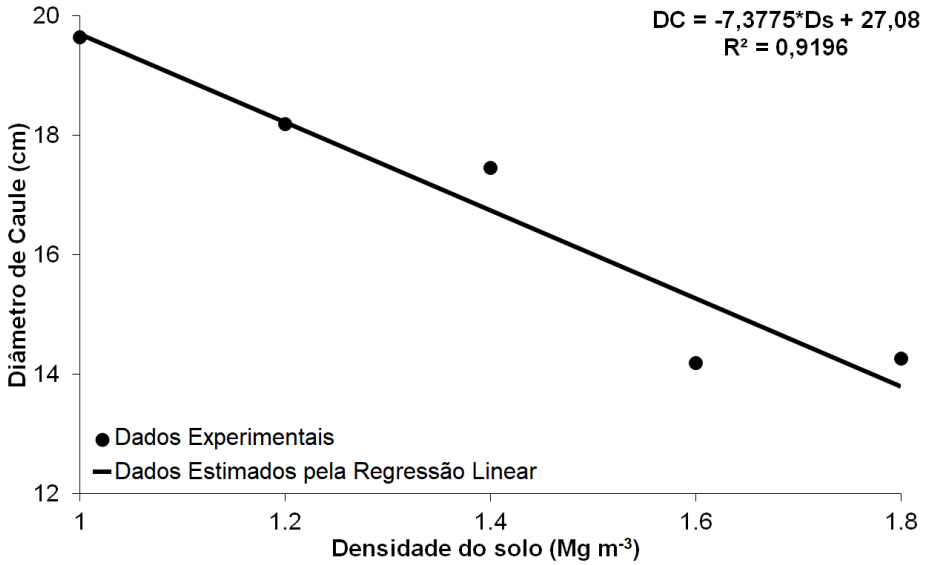

Figura 17. Diametro de caule em função dos níveis de densidade do solo aos 60 DAE. DC = Diametro de caule, Ds = Densidade do Solo. **Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste de F.

Resultado semelhante foi obtido por Paludo et al. (2018), que observou que

com o aumento da densidade do solo, houve decréscimo no diâmetro de caule de genótipos de cártamo entre o menor e maior nível de densidade, equivalente a uma redução de 51,73%.

Essa redução significativa no diâmetro de caule com o aumento da densidade do solo sugere que o desenvolvimento da cultura é modificado conforme o nível de compactação do solo. Situação essa notória também a Silva et al. (2012), que verificou que o impedimento físico ocasionou a diminuição dessa propriedade em plantas de crambe.

4.3. Altura de Planta

Quanto à variável altura de planta o quadro resumo da ANOVA, segue na Tabela 4.

Tabela 4. Resumo da análise de variância referente à Altura de Planta aos 15, 30, 45 e 60 DAE.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios Altura de plantas (cm)			
		15 DAE	30 DAE	45 DAE	60 DAE
Vs	1	24.7808^{ns}	120.1250^{ns}	1441.8450*	6017.0450**
Ds	4	255.3234*	1056.4218**	1739.2575**	2778.7075**
Vs * Ds	4	41.5951^{ns}	931.3468**	1024.6325*	1392.5575*
Resíduo	36	78.9109	214.5572	343.1741	448.4838
CV	-	22,13	13,23	13,55	13,95
Média	-	40,1340	110,7500	136,7300	151,8300

GL= Grau de liberdade; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo

O fator vaso não apresentou diferença estatística para a variável altura de planta aos 15 DAE, havendo efeito significativo isolado para densidade do solo. Aos 30, 45 e 60 DAE constatou-se significância para interação entre os tratamentos, refletindo que o tipo de vaso e o nível de compactação influenciam no crescimento do nabo forrageiro.

Nos 15 DAE, o tratamento densidade do solo ajustou-se ao modelo linear de regressão, com uma redução na altura das plantas equivalente a 18,47%, entre o

menor e maior nível de densidade (Figura 18 e 19).

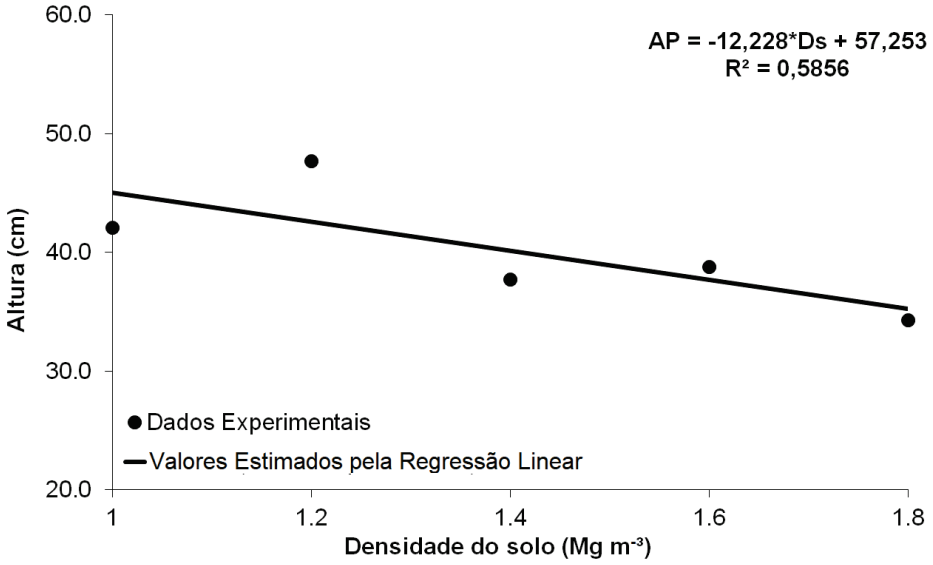

Figura 18. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 15 DAE. AP = Altura de Planta, Ds = Densidade do Solo. * Significativos a 5% de probabilidade pelo teste de F.

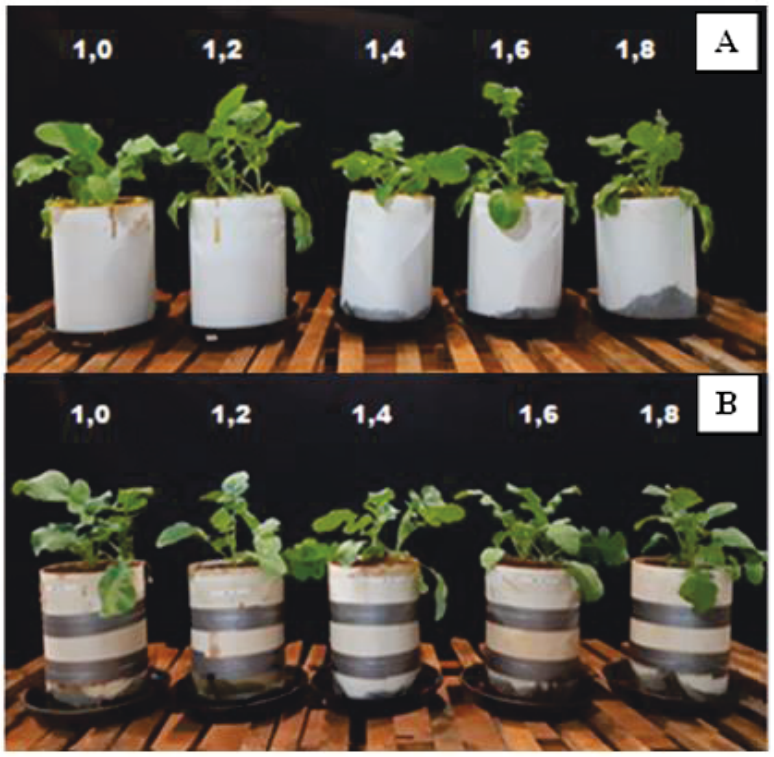

Figura 19. Altura de plantas do nabo forrageiro em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de vinila (B) aos 15 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a DS em Mg m^{-3}.

Aos 30 dias, os dados se ajustaram ao modelo linear de regressão decrescente para interação, no desdobramento da compactação dentro do vaso de

poliuretano expansível (Figura 20 e 21).

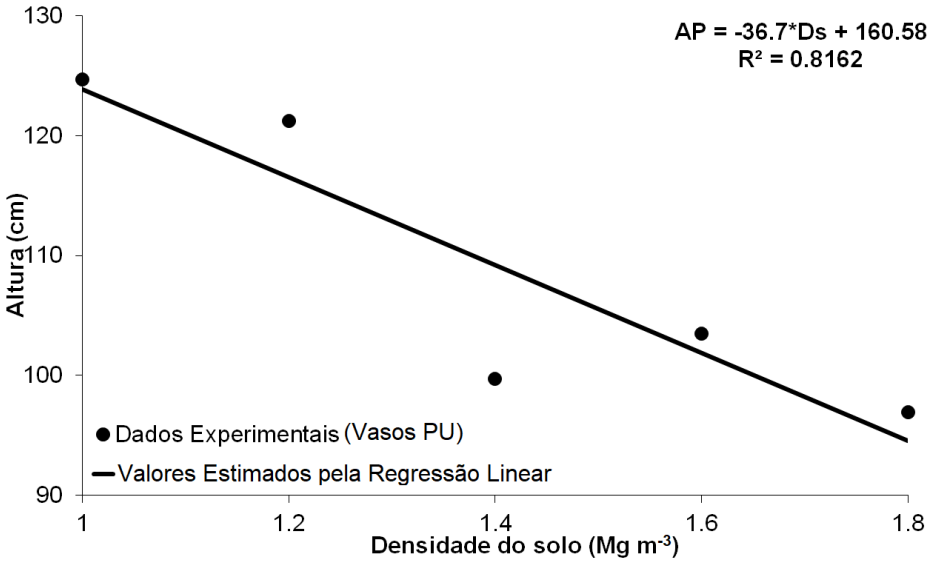

Figura 20. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 30 DAE. AP = Altura de Planta, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste de F.

Figura 21. Altura de plantas do nabo forrageiro cultivados em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de vinila (B) aos 30 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8: densidade do solo em Mg m^{-3}.

Com os dados obtidos aos 45 DAE verificou-se a diminuição de 22,23% da

altura do nabo forrageiro em função do aumento da compactação do solo, quando comparada à altura de maior e menor densidade (Figura 22).

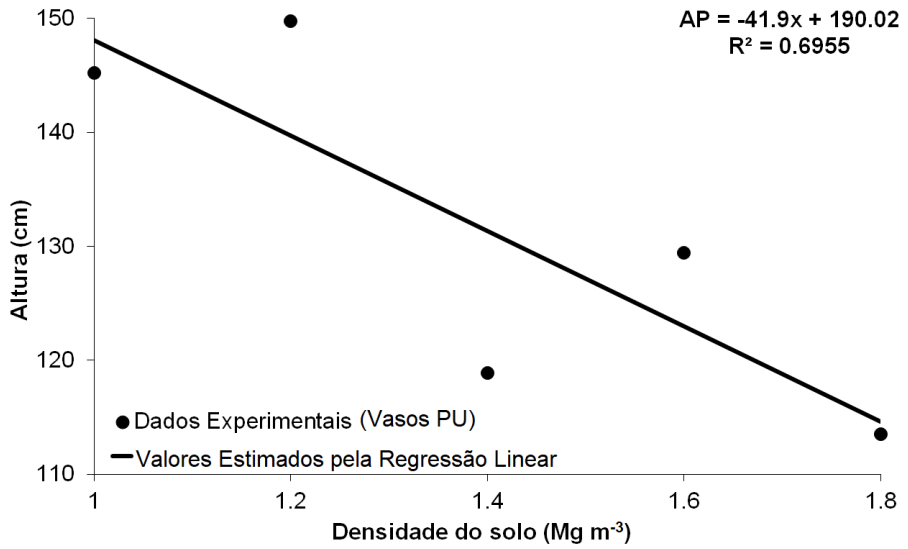

Figura 22. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 45 DAE. AP = Altura de Planta, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste de F.

Para os tipos de vasos, notou-se que às plantas semeadas no recipiente de PVC se sobressaiu em altura em comparação àquelas cultivadas em recipiente de PU, com diferença significativa obtida para a densidade de 1,4 Mg m^{-3} (Tabela 5).

Tabela 5. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos aos 45 dias após emergência para altura de planta.

Densidade do Solo	**Altura de plantas (cm) – 45 DAE**	
(Mg m^{-3})	**PVC**	**PU**
1,0	150,7 a	145,2 a
1,2	150,4 a	149,8 a
1,4	160,6 a	118,9 b
1,6	117,7 a	129,4 a
1,8	131,1 a	113,5 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Paludo et al. (2018), também verificou a influência dos níveis de densidade do solo de forma isolada para altura de plantas em diferentes genótipos de cártamo. Para as avaliações feitas em seu estudo aos 15, 30, 45 DAE, essa variável apresentou uma

redução equivalente a 31,65%, 45,44% e 51,55%, respectivamente, entre o menor e maior nível de densidade.

Esta observação também refletiu aos 60 DAE (Figura 23), notando-se uma estimativa superior de altura para as plantas cultivadas em recipiente de PVC em comparação aquelas semeadas em vaso de poliuretano expansível.

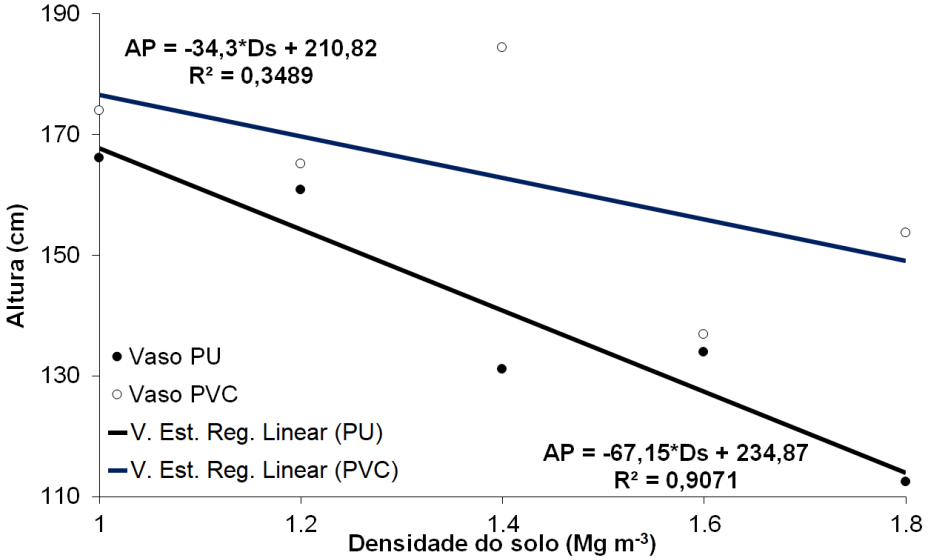

Figura 23. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 60 DAE. AP = Altura de Planta, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade de erro pelo teste de F

A menor altura de plantas, cultivadas no vaso de PU, pode ser justificada pelo maior desenvolvimento de suas raízes, conforme também foi verificado por Oliveira et al. (2019), que em seu estudo sobre o crescimento e partição de massa seca em plantas jovens de amburana (*Amburana cearensis* (Fr. All.) AC Smith) e de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam), concluiu que a formação das raízes tuberosas ocasionou interferência no crescimento inicial das espécies.

Verificou-se após o corte que para o vaso de poliuretano expansível houve um maior crescimento nas plantas cultivadas em densidade de 1,2 Mg m^{-3} (Figura 24), porém em virtude da ocorrência de entrenós entre os ramos com plantas de outros vasos, dificultando a mensuração da variável, pode ter ocorrido a diminuição na estimativa dos valores.

Esse pressuposto, corrobora com Pacheco et al. (2015), que sugeriram que a existência de um leve adensamento do solo propicia um melhor desenvolvimento da parte vegetativa para espécies de Crotalária.

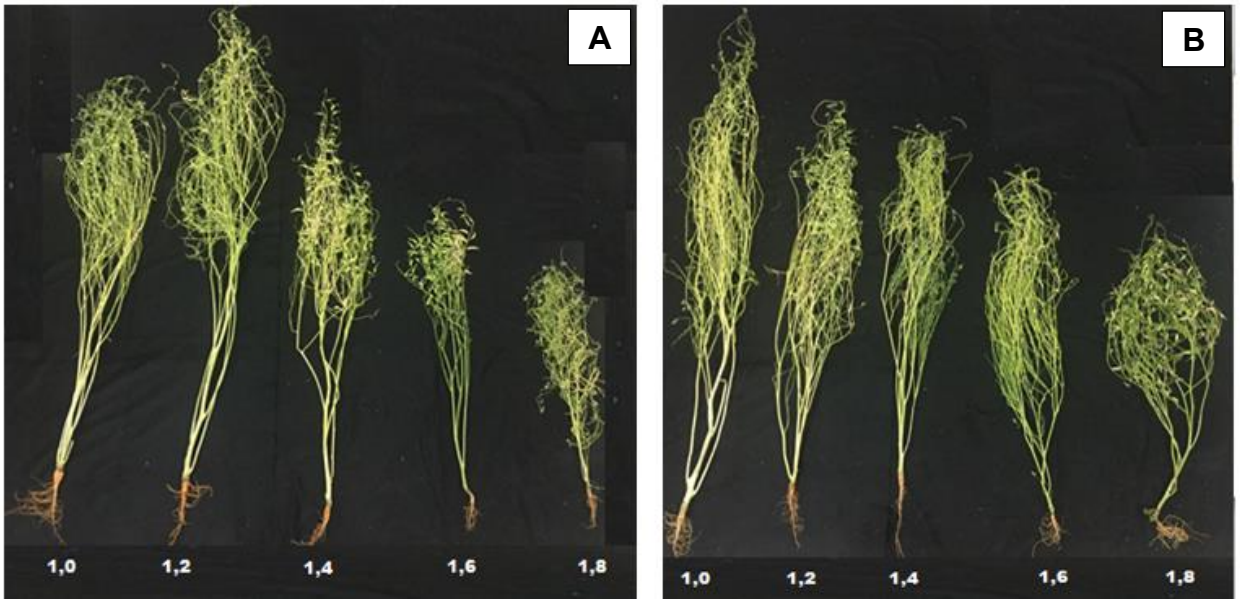

Figura 24. Altura de plantas do nabo forrageiro cultivado em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de vinila (B) aos 60 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a densidade do solo em Mg m^{-3}.

Ainda, Silva (2018), ao estudar as respostas fisiológicas da soja submetida ao estresse hídrico e compactação do solo, concluiu que até os níveis intermediários de densidade, não ocorre prejuízo no desenvolvimento da parte área da cultura.

4.4. Índice de Clorofila SPAD

Com os dados dessa variável, obteve-se o seguinte quadro de análise de variância (Tabela 6):

Tabela 6. Quadro resumo de análise de variância referente ao Índice de Clorofila - SPAD aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios Índice de Clorofila - SPAD $vaso^{-1}$	
		15 DAE	30 DAE
Vaso	1	3.7264^{ns}	10.1250^{ns}
Densidade do solo	4	86.8963**	$76.9445^{10\%}$
Vs * Ds	4	19.4353^{ns}	16.2902^{ns}
Resíduo	36	14.1781	33.8961
CV	-	7,86	13,22
Média	-	47,9070	44,0360

GL= Grau de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

Os tipos de vasos não foram significativos para a leitura SPAD aos 15 e 30 DAE. Houve significância isolada para o tratamento densidade do solo, com ajuste ao modelo linear de regressão crescente (Figura 25 e 26).

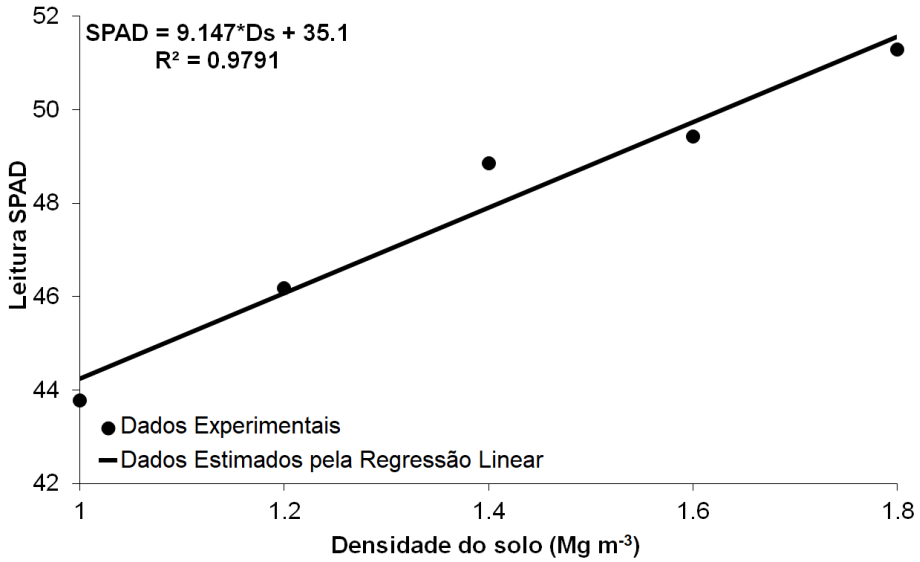

Figura 25. Índice de Clorofila - SPAD em função dos níveis de densidade do solo aos 15 DAE. SPAD = Índice de Clorofila – Leitura SPAD, DS = Densidade do Solo. ** Significativos a 1% e 10% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

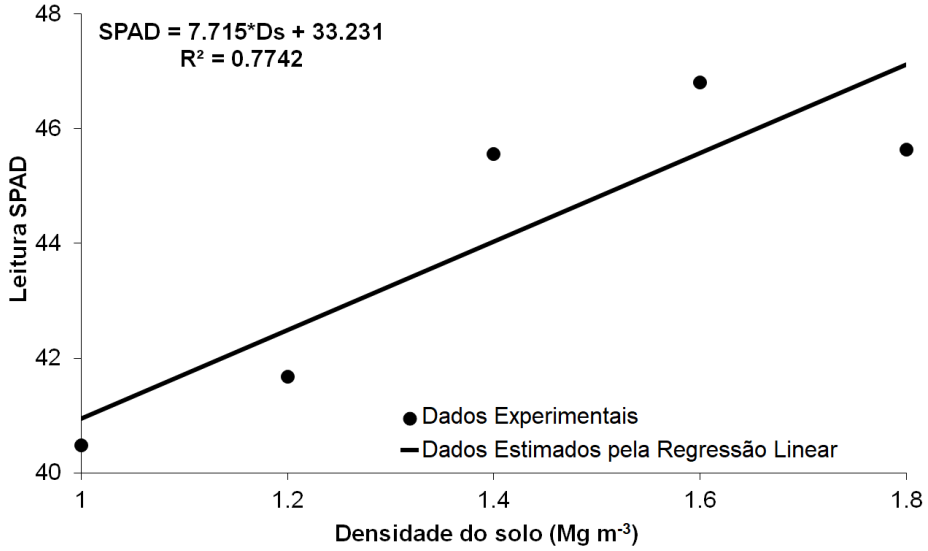

Figura 26. Índice de Clorofila - SPAD em função dos níveis de densidade do solo aos 15 DAE. SPAD = Índice de Clorofila – Leitura SPAD, DS = Densidade do Solo. ** Significativos a 1% e 10% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas verificou-se um aumento de 14,66% e 13,11% do índice de clorofila SPAD entre o menor e maior nível de densidade do solo, respectivamente.

Os melhores valores para índices de clorofila foram encontrados nas maiores densidade do solo. O que se justifica, devido a redução do crescimento das plantas de nabo forrageiro em função da compactação do solo, ocasionando um aumento na concentração de nitrogênio nas folhas.

A elevação do índice SPAD em maiores níveis de compactação pode ser relacionada principalmente a diminuição do tamanho das folhas das plantas, que resulta em uma maior concentração de clorofila em uma menor área foliar, gerando aumento no índice (SANTOS, 2018). Ainda, essa propriedade pode ser influenciada pela disponibilidade de potássio, de acordo com o estudo de Anicésio et al. (2015), que observou que a dose desse nutriente promoveu um acúmulo de nitrogênio nos tecidos vegetais avaliados, concluindo que deve-se haver o equilíbrio na quantidade a ser absorvida pela planta entre os mesmos.

De acordo com Paludo et al. (2018), essa análise tem sido empregada como um indicador da demanda das culturas agrícolas por adubos nitrogenados, devido esse nutriente ser o fator predominante que afeta o teor de clorofila na planta. Quanto maior o índice, mais fotossinteticamente ativa a planta é, possibilitando um melhor desenvolvimento vegetativo (TAIZ & ZIEGER, 2013), validando a importância do estudo dessa propriedade.

4.5. Massa seca da parte aérea

Quanto à variável massa seca da parte aérea o quadro resumo da ANOVA, segue abaixo na Tabela 7.

Tabela 7. Quadro resumo de análise de variância referente a variável Massa Seca da Parte Aérea.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios
		MS da Parte Aérea
Vaso	1	364.5000**
Densidade do solo	4	492.8125*
Vs * Ds	4	100.4375^{ns}
Resíduo	36	57.0138
CV	-	20,41
Média	-	37,00

GL= Grau de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

A avaliação da massa seca da parte aérea demonstrou efeito significativo de maneira isolada para os tipos de vasos e níveis de densidade do solo. Desse modo, sugere-se que essa variável é influenciada por ambos os tratamentos.

Para a Ds houve ajuste ao modelo linear de regressão decrescente, obtendo-se uma diminuição da massa seca conforme aumento da densidade do solo. Quando comparada o nível de maior Ds a menor, constatou-se uma redução de 37,36% do peso máximo obtido (Figura 27).

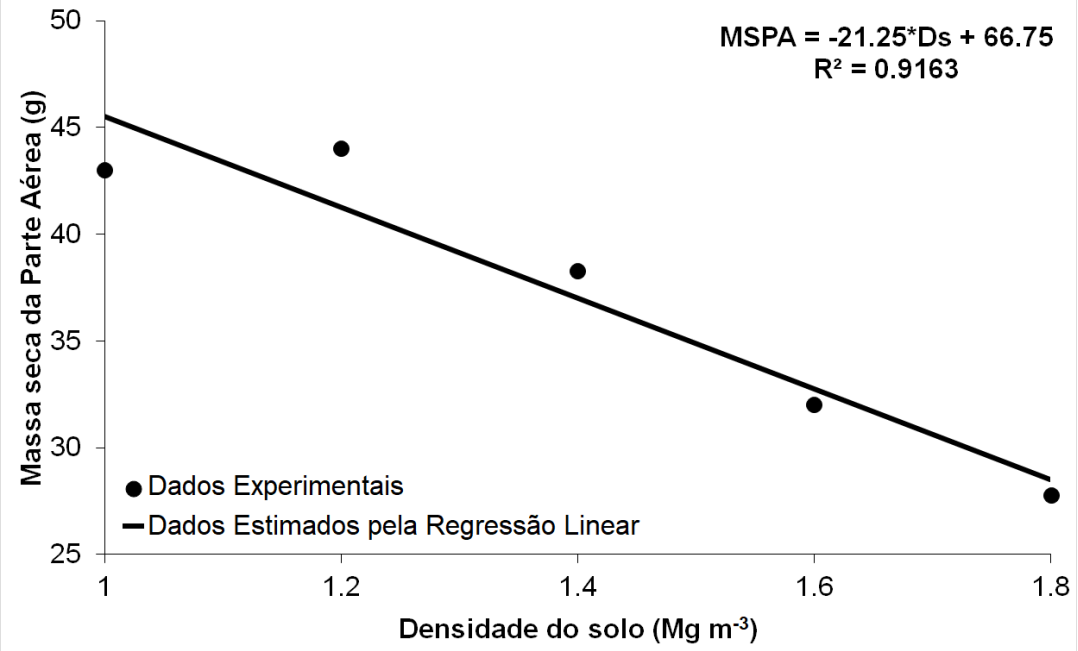

Figura 27. Massa Seca da Pate Aérea em função dos níveis de densidade do solo. MSPA = Massa Seca da Parte Aérea, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a, 1% e 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Quanto aos tipos de vasos, verifica-se que o recipiente de Policloreto de vinila apresentou uma maior média de Massa Seca da Parte Aérea, com uma diferença de 5,4 g do valor obtido para o vaso de PU (Tabela 8). Tal resultado relaciona-se com o obtido para a variável altura de planta.

Tabela 8. Quadro análise qualitativa para tipo de vaso para a variável Massa seca da parte aérea.

Tipo de Vaso	Médias
	Massa Seca da Parte Aérea (g)
PVC	39,70 a
PU	34,3 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Estudos semelhantes (PALUDO et al., 2018), também apresentaram reduções significativos no peso de massa seca obtido para a parte aérea das culturas em função do aumento dos níveis de compactação em Latossolo Vermelho.

Esse resultado, conforme Nunes et al. (2016), ocorrem devido ao aumento da densidade do solo implicar na diminuição direta da porosidade, comprometendo o desenvolvimento das raízes e consequentemente, interferindo diretamente na parte área das plantas, devido à dificuldade ocasionada para absorção de nutrientes e água.

Constatação também exposta por Santos (2018), que diz que o menor desenvolvimento vegetativo para cultivos com níveis elevados de compactação, se deve principalmente pela barreira física na camada subsuperficial, que restringem o crescimento radicular, a disponibilidade de nutrientes e água, resultando na redução do crescimento da planta.

Outro critério a ser considerado, é que desenvolvimento da parte aérea das espécies *Raphanus Sativus* L. pode ser influenciado pela disposição de nutrientes, como o nitrogênio. De acordo com Meding (2019), a aplicação de N promoveu um aumento no desempenho da cultura do rabanete, com desempenho vegetativo máximo na dose de 160 kg ha^{-1}.

4.6. Comprimento de Raiz

A tabela 9 apresenta o resumo da ANOVA para o comprimento de raiz.

Tabela 9. Quadro resumo da análise de variância referente ao comprimento de raiz

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios
		Comprimento de raiz (cm)
Vaso	1	5.1200*
Densidade do solo	4	4.1925**
Vs * Ds	4	2.1325*
Resíduo	36	0.7869
CV	-	39,25
Média	-	2,26

GL= Grau de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

A avaliação do comprimento de raiz demonstrou efeito significativo para interação entre os tipos de vasos e níveis de densidade do solo, sendo representada significativamente pelo modelo de regressão quadrático para PVC e regressão linear decrescente para Poliuretano Expansível (Figura 28).

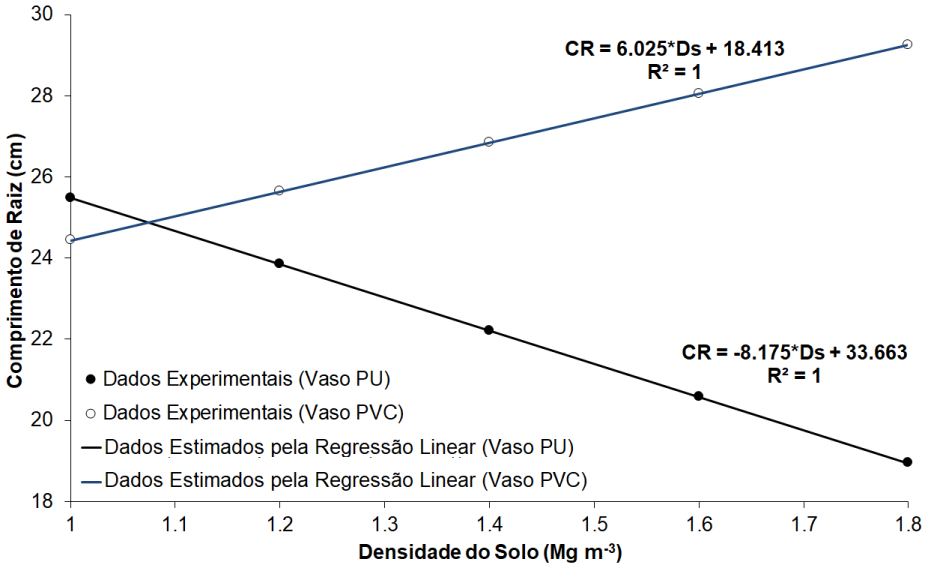

Figura 28. Comprimento de Raiz em função dos níveis de densidade do solo e tipos de vasos. CR = Comprimento de raiz, DS = Densidade do Solo. Significativos a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

Para os tipos de vasos, notou-se que às plantas semeadas no recipiente de PVC em média, se sobressaiu em comprimento em comparação àquelas cultivadas em recipiente de PU, com diferença significativa obtida para a densidade de 1,8 Mg m^{-3} (Tabela 10).

Tabela 10. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos para comprimento de raiz.

Densidade do Solo	Comprimento de Raiz (cm)	
(Mg m^{-3})	PVC	PU
1,0	28,00 a	24,50 a
1,2	23,15 a	24,80 a
1,4	23,20 a	21,10 a
1,6	28,60 a	23,95 a
1,8	31,30 a	16,75 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Ao se analisar a estrutura das raízes do nabo forrageiro cultivados em PVC e

PU, notou-se que às pertencentes ao primeiro tratamento tratam-se de raízes mais finas e presentes envolta a coluna do solo (Figura 29 e 30).

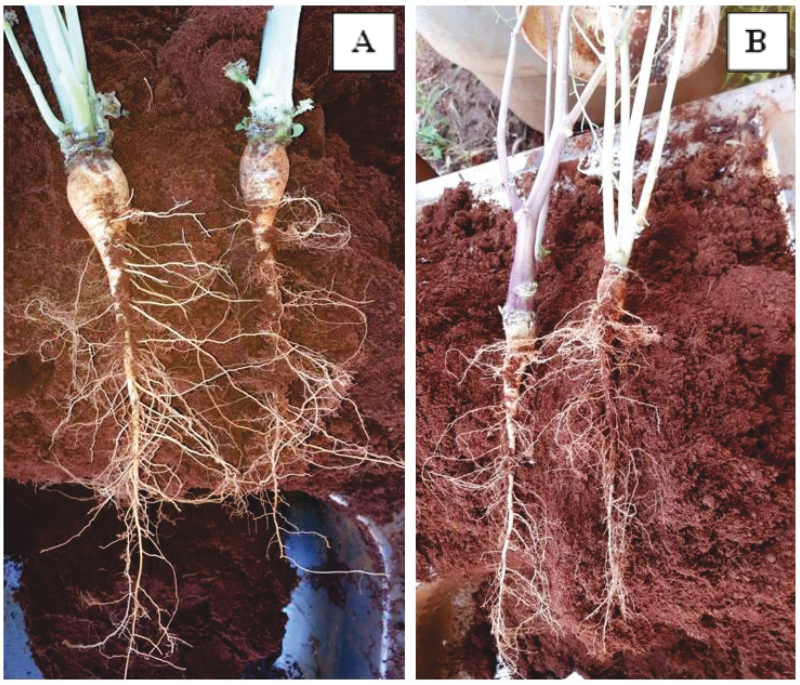

Figura 29. Desenvolvimento de raiz de nabo forrageiro nas camadas de solo no recipente de PU (A) e PVC (B).

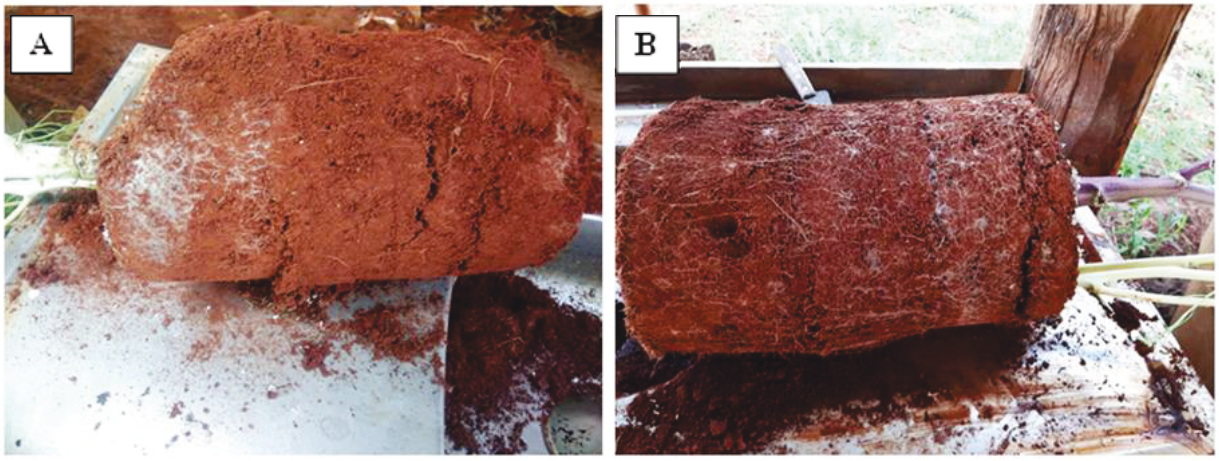

Figura 30. Desenvolvimento de Raiz de nabo forrageiro nas camadas de solo no recipente de PU (A) e PVC (B).

Isso sugere que no recipiente desse material teve a ocorrência de caminhos preferenciais. No vaso de poliuretano expansível, não se constata tal situação devido o molde da espuma assumir a forma exata do solo.

Colombi et. al (2017), ao avaliarem as culturas de Soja, trigo (*Triticum*

aestivum L.) e milho (*Zea mays L.*) observaram que suas raízes percebem seu ambiente físico, permitindo o crescimento em direção a locais com condições favoráveis do solo.

Nesse sentido, diversos autores como, BERTOL et al., 2005, relatam que se o isolamento entre a parede interna do recipiente e o solo não forem feitos adequadamente, pode ocorrer o aparecimento de caminhos preferenciais, e estes, por sua vez, influenciam no resultado a ser obtido em estudo.

Venzon (2018), junto a realização de testes para as modificações mecânicas do amostrador de colunas de solo e utilização do poliuretano expansível para acondicionamento da amostra, observou que o molde formado por esse material pode reduzir ou até mesmo extinguir a formação de caminhos preferenciais, uma vez que por se moldarem perfeitamente ao solo, eliminam esses espaços em suas laterais, diferentemente dos vasos plásticos. O que, pode ser verificado junto às análises desse experimento, aumentando a confiabilidade dessa aplicabilidade para o PU.

4.7. Diâmetro de raiz

Quanto à variável diâmetro de raiz o quadro resumo da análise de variância, segue abaixo na Tabela 11.

Tabela 11. Quadro resumo da Análise de variância referente ao diâmetro de raiz.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios
		Diametro de raiz (cm)
Vaso	1	$0,1346^{ns}$
Densidade do solo	4	67,9517**
Vs * Ds	4	35,3112*
Resíduo	36	12,8770
CV	-	27,78
Média	-	12,91

GL= Grau de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

A avaliação do diâmetro de raiz demonstrou efeito significativo para interação entre os níveis de densidade do solo e tipos de vasos, sendo representada pelo modelo de regressão quadrático para interação entre Ds e PVC e linear para Ds e PU (Figura 31).

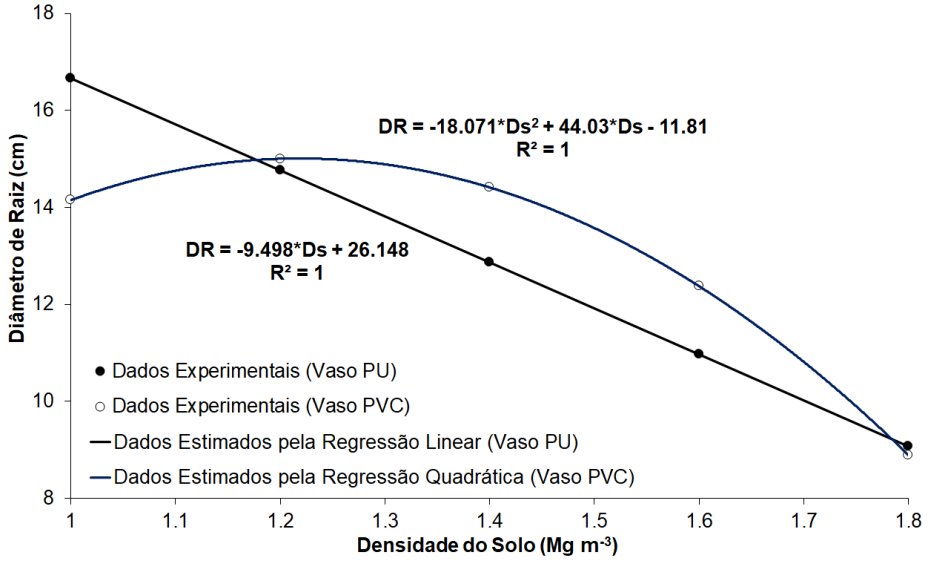

Figura 31. Diâmetro em função dos níveis de densidade do solo e tipos de vasos. DR = Volume de Raiz, DS = Densidade do Solo. Significativos a 1% de probabilidade, pelo teste de F.

Para o vaso de Poliuretano Expansível em função do aumento da compactação foi verificada uma redução do diâmetro de raiz de 45,55%, em comparação ao solo de maior e menor densidade. Enquanto para a curva obtida para a relação densidade do solo e recipiente de Policloreto de vinila, se constata que o maior diâmetro foi obtido quando o solo se encontra no nível de aproximadamente 1,22 Mg m^{-3} (Figura 32).

Figura 32. Diâmetro de raiz do recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de vinila (B) aos 60 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a densidade do solo em Mg m^{-3}.

Quanto ao desdobramento dos tipos dos vasos para cada nível de compactação, nota-se que às plantas semeadas no recipiente de PVC apresentaram em média valores inferiores para essa propriedade em comparação as raízes daquelas cultivadas em recipiente de poliuretano expansível, com diferença significativa obtida para a densidade de 1,4 e 1,6 Mg m^{-3} (Tabela 12).

Tabela 12. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos para comprimento de raiz.

Densidade do Solo	**Diametro de Raiz (cm)**	
(Mg m^{-3})	**PVC**	**PU**
1,0	14,32 a	17,09 a
1,2	14,34 a	16,56 a
1,4	15,93 a	9,46 b
1,6	11,02 a	10,70 a
1,8	9,31 a	10,52 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Beutler e Centurion (2004), ao estudarem a influência da densidade do solo no desenvolvimento radicular, observaram que os anéis com maior nível de compactação apresentaram em sua maioria raízes finas, com o crescimento de poucas raízes espessas em profundidade.

Ainda, para o estudo em questão pode-se relacionar que em experimentos de descompactação biológica, o recipiente é fator influenciável no desenvolvimento do sistema radicular da espécie. O vaso de Poliuretano Expansível isolou a coluna de solo, impedindo a formação de poros favoráveis para penetração das raízes, forçando o crescimento de sua estrutura para rompimento a camada compactada.

De acordo com Paez-Garcia et al. (2015), o diâmetro da raiz está diretamente relacionado com a sua rigidez e consequentemente, com sua penetração em solos duros. Nesse sentido, Bertollo (2018) relata que embora a estrutura do solo influencie no desenvolvimento dessa propriedade, o sistema radicular das plantas é capaz de alterar o arranjo das partículas para acomodar seu crescimento.

As raízes conseguem modificar o solo ao se desenvolverem nos espaços porosos ou através da matriz do solo. Ainda, através da pressão radial exercida que exercem em seu crescimento comprimem o solo em sua vizinhança e reduzem a

porosidade ao redor. Como também, os pelos radiculares contribuem em sua penetração, ancorando a superfície radicular para as paredes dos poros (BENGOUGH et al., 2016; POPOVA et al., 2016; BERTOLLO, 2018).

Suspeita-se que no tratamento de Policloreto de Vinila ocorreu a existência de caminhos preferenciais, devido a verificação de raízes mais deformadas e finas, podendo isto ter interfiro nos resultados alcançados. Conclusões semelhantes são expostas por Bertol et al. (2005) e Venzon (2018).

Eguchi & Hasegwa (2008) e Beven & Germann (1982), mencionam que o caminho preferencial, remete-se ao processo no qual a água percola ao longo do perfil do solo, se desviando de uma grande parte de sua matriz. Esse pode ocorrer em variadas velocidades e formas utilizando-se dos maiores espaços existentes entre as colunas de solo e a lateral dos vasos na condução de experimentos.

Uma vez que há uma diferença de material, é possível que haja uma melhor acomodação do solo nos vasos de PVC, o que pode interferir no caminho preferencial das raízes. Se faz necessário um estudo das propriedades físicas do solo, por camadas, em ambos os materiais (PVC e PU), a fim de se verificar essas prováveis alterações.

4.8. Volume de Raiz

Realizada a aferição do volume das raízes, obteve-se o seguinte quadro de ANOVA (Tabela 13):

Tabela 13. Quadro resumo de análise de variância referente a variável Volume de Raiz.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios
		Volume de Raiz
Vaso	1	39.6050^{ns}
Densidade do solo	4	188.1268**
Vs * Ds	4	58.1081^{ns}
Resíduo	36	29.7633
CV	-	37,99
Média	-	14,36

GL= Grau de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

O volume de raiz apresentou efeito significativo isolado para densidade do solo, o que indica que o tipo de vaso não exerceu influência para o desenvolvimento dessa variável.

Os dados se ajustaram ao modelo linear de regressão decrescente, onde com a elevação da densidade houve um decréscimo do volume, chegando a uma redução de 52,60% quando comparada o valor obtido em maior e menor nível de compactação (Figura 33).

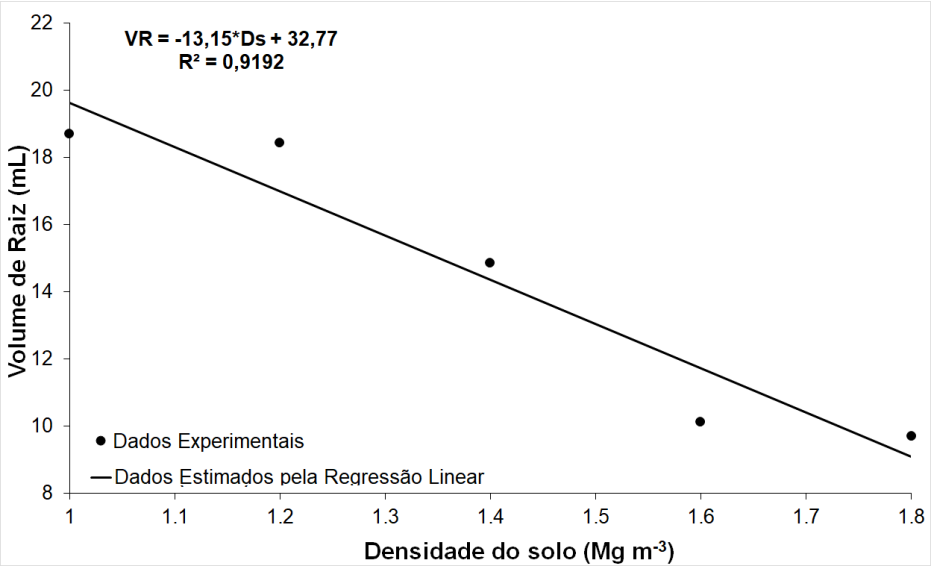

Figura 33. Volume de Raiz em função dos níveis de densidade do solo. VR = Volume de Raiz, DS = Densidade do Solo. ** Significativo a 5% de probabilidade pelo teste de F.

Resultados semelhantes foram obtidos por Silva (2019) ao avaliar o desenvolvimento do sistema radicular do Feijão-Caupi em níveis de compactação, onde o autor observou que o melhor comportamento ocorreu na menor densidade, em camada compactada de 10-15 cm.

Quanto maior o volume ocupado pela raiz sugere-se que maior será a disponibilidade de poros e consequentemente, uma melhor eficiência da descompactação biológica realizada pela planta.

Em estudo sobre a qualidade física de Latossolo Vermelho em função de plantas e cargas em sistema de plantio direto com ou sem escarificação, Bertollo (2018), notou que o cultivo de milho proporcionou um ambiente com maior presença e conexão de poros. O autor ainda ressalta que o uso de espécie vegetal é capaz de mitigar a compactação gerada pelo tráfego, sendo esta, uma das principais causas de compactação nas áreas agrícolas.

4.9. Massa seca da raiz

Para a variável massa seca da raiz o quadro resumo da ANOVA, segue na Tabela 14. A variável massa seca total de raiz apresentou interação significativa entre o tipo de vaso e nível de densidade do solo, demonstrando a influência dos dois fatores em seu quantitativo.

Tabela 14. Quadro resumo da Análise de variância referente ao diâmetro de raiz

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios
		Massa Seca da Raiz
Vaso	1	5.1200*
Densidade do solo	4	4.1925**
Vs * Ds	4	2.1325*
Resíduo	36	0.7869
CV	-	39,25
Média	-	2,26

GL= Grau de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

Para a análise da densidade do solo dentro do fator qualitativo, obteve-se significância isolada para o vaso de Poliuretano Expansível com ajuste ao modelo quadrático de regressão, com ponto de mínimo ocorrendo na densidade de 1,68 Mg m^{-3} (Figura 34).

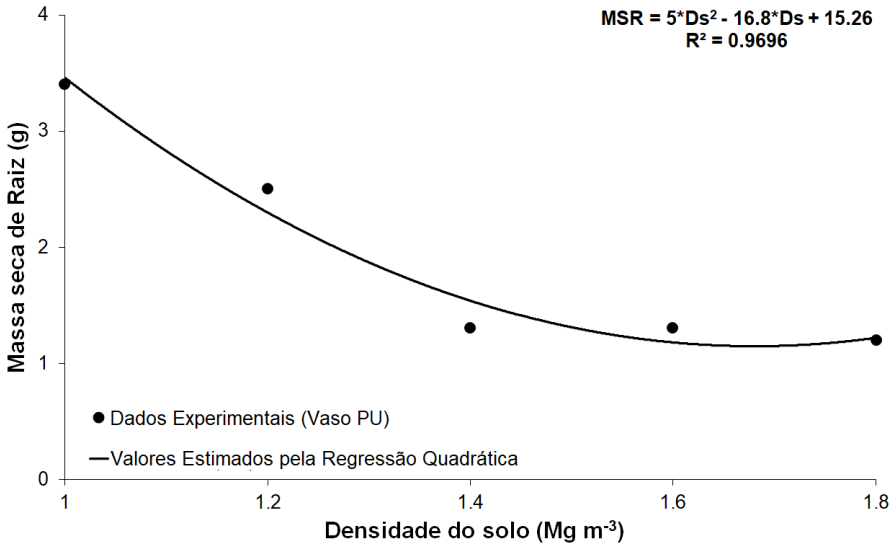

Figura 34. Massa seca da raiz dos níveis de densidade do solo. MSR = Massa Seca Raiz, DS = Densidade do Solo. *Significativo a 1% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

No entanto, verifica-se que conforme houve o aumento do nível de densidade do solo ocorreu a redução da massa seca da raiz, corroborando com os resultados obtidos para as variáveis diâmetro e comprimento para a mesma estrutura, que apresentaram tendência a uma linearidade decrescente. Essas propriedades exercem influência no quantitativo da massa seca. Desse modo, para a confirmação da continuidade da curva, sugere-se o incremento de novos níveis de densidade.

Paludo et al. (2018) constatou em seu estudo, relacionando genótipos de cártamo e niveis de compactação, que o aumento da densidade do solo proporcionou uma redução de 71,11% na produção da massa seca total de raiz.

Quanto a análise dos vasos para cada nível de compactação, notou-se que às plantas semeadas no recipiente de PVC apresentaram em média valores inferiores para essa propriedade em comparação as raízes daquelas cultivadas em recipiente de poliuretano expansível, com diferença significativa obtida para a densidade de 1,4 e 1,6 Mg m^{-3} (Tabela 15).

Tabela 15. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos para massa seca de raiz

Densidade do Solo	**Massa Seca de Raiz (g $vaso^{-1}$)**	
(Mg m^{-3})	**PVC**	**PU**
1,0	16,04 a	13,16 a
1,2	16,57 a	19,90 a
1,4	15,79 a	35,60 b
1,6	14,46 a	34,00 b
1,8	25,00 a	26,83 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para os resultados expostos, pressupõe-se que houve influência da quantidade de plantas mantidas por vaso, estando essa inadequada, pois havendo o sobressair de uma delas, em média, o quantitativo das avaliações foi reduzido em função da outra, podendo este não ser representativo.

Desse modo, propõe-se que em novos estudos cada recipiente permanece com apenas uma planta da cultura, de modo a permiti-la explorar todo seu potencial.

4.10. Massa seca total (Parte aérea e Raiz)

Quanto à variável massa seca total o quadro resumo da ANOVA, segue abaixo na Tabela 16.

Tabela 16. Quadro resumo da Análise de variância referente a massa seca total

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios
		Massa Seca Total
Vaso	1	456.0200*
Densidade do solo	4	581.4425**
Vs * Ds	4	125.7825^{ns}
Resíduo	36	65.9397
CV	-	20,68
Média	-	39,26

GL= Grau de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, * Significativos a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

Para os dados de MST analisados, representados pela soma da massa seca da parte aérea com a massa seca de raízes, não houve interação significativa entre os fatores avaliados, obtendo-se efeito isolado para vaso e densidade do solo.

A produção de massa seca total teve ajuste ao modelo linear de regressão decrescente para o fator referente aos níveis de compactação, resultando em um decréscimo de 31,79% à medida que se elevou o número de massa para um mesmo volume, com redução dos espaços porosos (Figura 35).

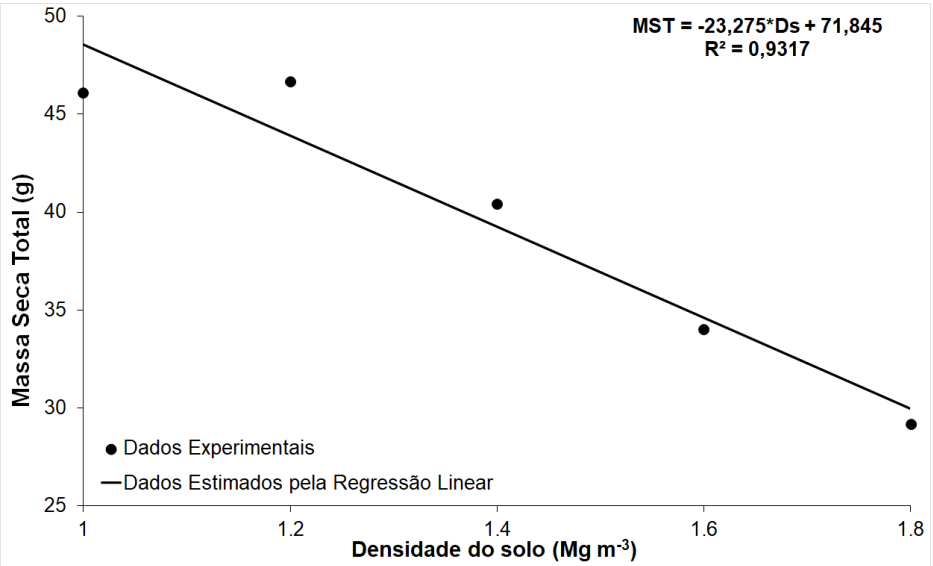

Figura 35. Massa seca total (parte aérea e raiz) dos níveis de densidade do solo. MST = Massa Seca Raiz, DS = Densidade do Solo. ** Significativo a 5% de probabilidade de erro, pelo teste de F.

Esse resultado corrobora com o obtido por Ohland et al. (2014), que obtiveram o maior quantitativo massa seca para a cultura de pinhão manso em Latossolo Vermelho próximo a densidade do solo de 1,00 Mg m^{-3}.

Para os tipos de vasos, notou-se que às plantas semeadas no recipiente de PVC se sobressaiu em comparação àquelas cultivadas em recipiente de PU, com diferença significativa de 6,04 g $vaso^{-1}$ (Tabela 17).

Tabela 17. Quadro de análise qualitativa para tipo de vaso para a variável Massa seca da parte aérea.

Tipo de Vaso	Médias
	MST (Parte Aérea + Raiz) (g $vaso^{-1}$)
PVC	42,28 a
PU	36,24 b

Médias seguidas por letras iguais na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Conforme análises das variáveis anteriores quanto a parte aérea e raiz, acredita-se que a superioridade no quantitativo total para os vasos de PVC em comparação ao de PU, deve-se a influência exercida pelos caminhos preferenciais ocorridos no primeiro recipiente. Por esses propiciarem o alcance das raízes finas em profundidade, as plantas conseguiram manter a absorção da água e seu desenvolvimento vegetativo.

Porém, para o vaso de PU, não havendo a existência desses espaços entorno da coluna de solo devido o ajuste adequado da espuma, as plantas investiram no crescimento da estrutura radicular, o que gerou um diferencial em seu crescimento na parte superior.

4.11. Relação parte aérea/raiz

A relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca das raízes, é uma importante variável visto que, indica possível equilíbrio entre o desenvolvimento da parte aérea das plantas e o quantitativo de raízes.

Realizada todas as aferições influenciáveis a esta propriedade, obteve-se o seguinte quadro resumo de ANOVA (Tabela 18):

Tabela 18. Quadro resumo da Análise de variância referente a relação parte aérea/raiz

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios
		Relação parte aérea/raiz
Vaso	1	456.0200*
Densidade do solo	4	581.4425**
Vs * Ds	4	125.7825$^{\theta}$
Resíduo	36	65.9397
CV	-	20,68
Média	-	39,26

GL= Grau de liberdade; QM = Quadrado Médio; CV= Coeficiente de Variação; DAE = Dias Após Emergência das plantas; Vs = Vaso; Ds = Densidade do solo; ***, **, *,$^{\theta}$ Significativos a 0,1%, 1%, 5% e 10% de probabilidade de erro, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

Houve interação significativa entre ambos os fatores ao nível de 10% de probabilidade. Desse modo, supõe-se que a proporcionalidade da produção de massa seca da parte aérea e massa seca de raízes foram influenciadas pelo nível de densidade do solo e o tipo de recipiente em que a cultura foi semeada.

Quanto analisado o fator Ds em função do tratamento vasos, obteve-se significância isolada para aquele correspondente à espuma de poliuretano expansível, com ajuste ao modelo de regressão quadrático, com um aumento da propriedade até a densidade de 1,53 Mg m^{-3} (Figura 36, 37 e 38).

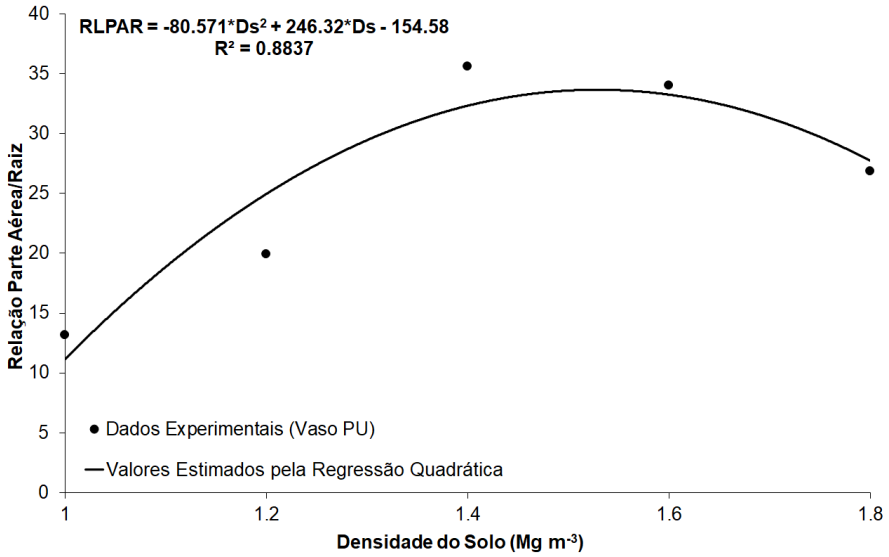

Figura 36. Relação parte aérea/raiz dos níveis de densidade do solo. RPAR = Relação Parte Aérea/Raiz, DS = Densidade do Solo. Significativo a 10% de probabilidade de erro pelo teste F.

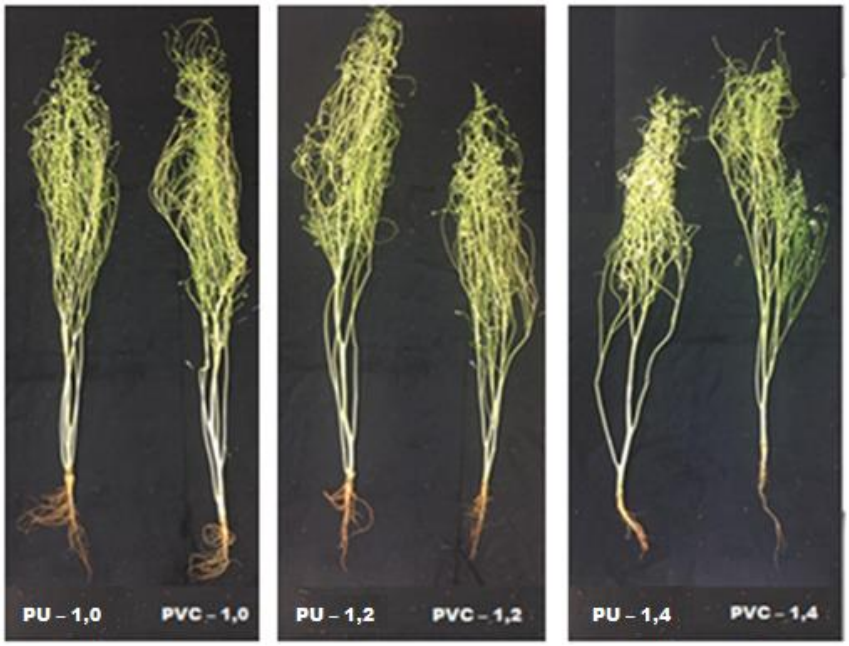

Figura 37. Comparativo do desenvolvimento Parte Aérea/Raiz em função do nível de densidade do solo e tipo de vaso.

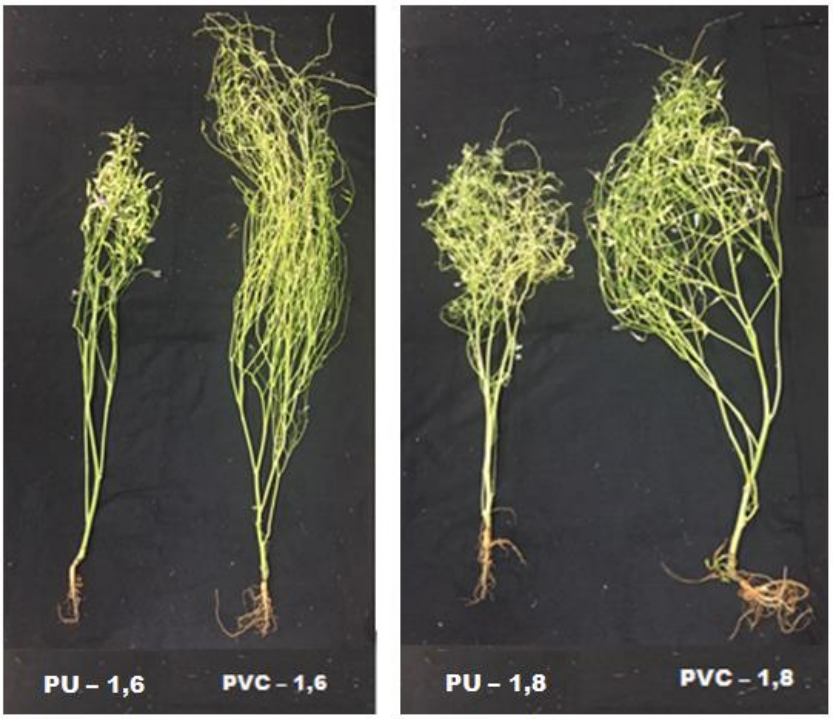

Figura 38. Comparativo do desenvolvimento Parte Aérea/Raiz em função do nível de densidade do solo e tipo de vaso.

Labegalini et al. (2016), ao estudarem o desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos de diferentes profundidades de compactação do solo, obtiveram em seus resultados que tanto o crescimento da parte aérea como o crescimento das raízes da cultura são prejudicados pela compactação do solo.

Ainda, resultado semelhante foi obtido por Paludo et al. (2018) que observou para essa variável em genótipos de cártamo um aumento na relação até a densidade do solo 1,37 Mg m^{-3}. O autor relacionou o resultado obtido às condições do ambiente, onde quanto menor a relação, mais resistente as plantas serão a elas, em decorrência do maior equilíbrio entre as massas seca da parte aérea e a massa seca de raiz.

Quanto ao desdobramento do fator Ds em função dos diferentes recipientes, constata-se diferença significativa nas densidades de 1,4 e 1,6 Mg m^{-3} (Tabela 19). Todavia, em média, o vaso de Policloreto de Vinila foi o que apresentou melhor relação parte aérea/raiz.

Conforme relatos anteriores e em concordância com o exposto por Paulo (2018), o resultado dessa propriedade sofreu influência das condições estruturais propricidadas por cada recipiente.

Tabela 19. Desdobramento da densidade do solo em função dos tipos de vasos para relação parte aérea/raiz.

Densidade do Solo	**Relação Parte Aérea/Raiz (g $vaso^{-1}$)**	
(Mg m^{-3})	**PVC**	**PU**
1,0	16,04 a	13.16 a
1,2	16,57 a	19,90 a
1,4	15.79 a	36,60 b
1,6	14,46 a	34,00 b
1,8	25,00 a	26,83 a

Médias seguidas por letras iguais na coluna pertencem ao mesmo grupo de acordo com o teste de tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

5. CONCLUSÃO

O aumento da densidade do solo influencia no desenvolvimento do nabo forrageiro em Latossolo Vermelho do Cerrado.

O recipiente utilizado para condução do experimento interfere no desenvolvimento do sistema radicular da cultura.

O poliuretano expansível mostrou-se como um recipiente mais adequado para estudo de descompactação biológica em comparação ao vaso de ploricloreto de vinila, por possibilitar a eliminação dos caminhos preferenciais existentes entre as colunas de solo e as paredes internas dos vasos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANICÉSIO, E. C. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; KOETZ, M. Dry mass, nutrient concentration and accumulation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) influenced by nitrogen and potassium fertilizations. **Australian Journal of Crop Science**, v.9, n.6, p.552-560, 2015.

AYDMH, G.; MENNAN, S. Biofumigation Studies by Using *Raphanus Sativus* and *Eruca sativa* as a Winter Cycle Cropts to Control Root-Knot Nematodes. **Brazilian Archives of Biology Technology**, v.61, e18180249, 2018.

BAI, Z.; CASPARI, T.; GONZALEZ, M. R.; BATJES, N. H.; MADER, P.; BUNEMAN, E. K.; GOEDE, R.; BRUSSAARD, L.; XU, M.; FERREIRA, C. S. S.; REINTAM, E.; FAN, H.; MIHELIC, R.; GLAVAN, M.; TÓTH, Z.. Effects of agricultural management practices on soil quality: A review of long-term experiments for Europe and China**. Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.265, p.1-7, 2018.

BARLEY, K.P. Effect of root growth and decay on the permeability of a synthetic sandy loam. **Soil Science**, v.78, n.2, p.205-10, 1954.

BELTRÃO, N. E. M.; FILHO, J. F.; FIGUEIRÊDO, I. C. M. Uso adequado de casa-de-vegetação e de telados na experimentação agrícola. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p.547-552, 2002.

BENGOUGH, A. G.; LOADES, K.; MCKENZIE, B. M. Root hairs aid soil penetration by anchoring the root surface to pore walls. **Journal of Experimental Botany**, v.67, p.1071-1078, 2016.

BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O.J. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta. **Floresta**, v.35, n.3, p.429-442, 2005.

BERTOLLO, A. M. **Qualidade física de Latossolo Vermelho em função de plantas e cargas em sistema plantio direto com e sem escarificação.** Porto Alegre, 117 f.

Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2018.

BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Matéria seca e altura das plantas de soja e arroz em função do grau de compactação e do teor de água de dois latossolos. **Engenharia Agrícola**, v.24, n.1, p.142-149, 2004.

BEVEN, K.; GERMANN, P. Macropores and water flow in soils. **Water Resources Research**, v.18, n.5, p.1311-1325, 1982.

BEVILAQUA, G. A. P.; ANTUNES, I. F.; ZUCHI, J.; MARQUES, R. L. L. **Indicações técnicas para produção de sementes de plantas recuperadoras de solo para a agricultura familiar**. Pelotas: EMBRAPA, 2008. 43p.

BONFIM-SILVA, E. M; FREITAS, D. C.; BATISTA, E. R.; LIMA, M. A. Wood ash as corrective of soil pH and as fertilizer in ornamental sunflower cultivation. **African Journal of Agricultural Research**, v.10, n.33, 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 398p.

BUENO, J. B.; RODRIGUES, G. A. Palha sobre o solo no crescimento da cultura do nabo forrageiro em área degradada. **Interface Tecnológica**, v.16, n.1, p.370-377, 2019.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDNER, I. P.; COSTA, M. B. B.; ALCANTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, J. T. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (coord.). **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2ed, 1993. 346 p.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; LÚCIO, A. D. Ajustes de quadrado médio do erro em ensaios de competição de cultivares de milho pelo método de Papadakis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.4, p.467-473, 2003.

CHAVES, J. C. D. **Nutrição, adubação e calagem do cafeeiro.** Londrina: IAPAR, 1986, 24 p. (Circular, 48).

CHEN, G.; WEIL, R. R. Penetration of cover crop roots through compacted soils. **Plant and Soil**, v.331, p.31-43, 2010.

COLOMBI, T.; BRAUN, S.; KELLER, T.; WALTER, A. Artificial macropores attract crop roots and enhance plant productivity on compacted soils. **Science of The Total Environment**, v.574, p.1283-1293, 2017.

EGODAWATTA, W. C. P.; SANGAKKARA.; WIJESINGHE D. B.; STAMP, P. Impacto of Green Manure on Productivity Patterns of Homegardens and Fields in a Tropical Dry Climate. **Tropical Agricultural Research**, v.22, n.2, p.172-182, 2011.

EGUCHI, S.; HASEGWA, S. Determination and characterization of preferential water flow in unsaturated subsoil of andisol**. Soil Science Society of America Journal**, v.72, n.2, p.320-330, 2008.

FAGUNDES, E. A. A.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M. Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo submetidas a níveis de compactação do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** v.18, n.2, p.188-193, 2014.

FAO. **The state of Food and Agriculture**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. 129p.

FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; PIETRO-SOUZA W.; VILARINHO, M. K. C.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão-guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.497-503, 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer snalysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v.37, n.4, p.529-535, 2019.

GHOULEM, M.; MOUEDDEB, K. E.; NEHDI, E.; BOUKHANOUF, R.; CALAUTIT, J. K. Greenhouse design and cooling technologies for sustainable food cultivation in hot climates: Review of current practice and future status. **Biosystems Engineering**, v.183, p.121-150, 2019.

LABEGALINI, N. S.; BUCHELT, A. C.; ANDRADE, L.; OLIVEIRA, S. C.; CAMPOS, L. M. Desenvolvimento da cultura do milho sob efeitos de diferentes profundidades de compactação do solo. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.3, n.4, p.7-11, 2016.

LAMANDÉ, M.; GREVE, M. H.; SCHJONNING, P. Risk assessment of soil compaction in Europe – Rubber tracks or wheels on machinery**. Catena**, v.167, p.353-362, 2018.

LUCKMANN, L. **Reciclagem de resíduo de espuma rígida de poliuretano através da incorporação de polímeros termoplásticos, ABS, PSAI e OS**. Joinville, 152 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville-SC, 2005.

MAITRA, S.; ZAMAN A.; MANDAL, T. K.; PALAI, J. B. Green manures in agriculture: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v.7, n.5, p.1319-1327, 2018.

MCBRAYER, R. L.; WYSOCKI, D. C. **Polyurethane Foams Formulation and Manufacture**. Lancaster: Technomic Publishing Company, 1998. 347p.

MEDING, R. F. **Diferentes doses de nitrogênio no desempenho do rabanete**. Vilhena, 32 f. Monografia (Graduação em Agronomia). Faculdade da Amazônia, Vilhena-RO, 2019.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; MASTROBERTI, A. A.; LEVIEN, R.; LEITNER, D.; SCHNEPF, A. Soil compaction impacts soybean root growth in an Oxisol from subtropical Brazil. **Soil and Tillage Reserach**, v.200, 104611, 2020.

MOREIRA, H. J. C.; BRAGANÇA H. B. N. **Manual de identificação de plantas infestantes – Cultivos de verão**. Campinas: EMBRAPA, 2010. 642p.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em superfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.531-538, 2001.

NICOLOSO, R. S.; AMADO, T. J. C.; SCHNEIDER, S.; LANZANOVA, M. E.; GIRARDELLO, V. C.; BRAGAGNOLO, J. Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um latossolo muito argiloso no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1723-1734, 2008.

NUNES J. A.; BONFIM-SILVA E. M.; SILVA T. J. Bulk density and water tensions in the soil on corn root production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.34, p.357-363. 2016.

OERTEL, G. **Polyurethane Handbook:** Chemistry, Raw Materials, Processing application, Properties. Hanser Publishers, 2ed, 1993. 688p.

OHLAND, T.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F.; RAMPIN, L.; BERGMANN, J. R.; CABREIRA, D. T. Influência da densidade do solo no desenvolvimento inicial do pinhão-manso cultivado em Latossolo Vermelho eutroférrico. **Revista Ceres**, v.61, n.5, p.622-630, 2014.

OLIVEIRA, K. J. B., LIMA, J. S. S., AMBRÓSIO, M. M. Q.; NETO, F. B.; CHAVES, A. P. Propriedades nutricionais e microbiológicas do solo influenciadas pela adubação verde. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.1, p.23-33, 2017.

OLIVEIRA, M. M.; GALVÃO, E. K. S.; SOUZA, C. L. M.; BOAVENTURA, V. J.; OLIVEIRA, L. M.; NETO, M. T. C.; PELACANI, C. R. Crescimento e partição de massa seca em plantas jovens de amburana (*Amburana cearensis* (Fr. All.) AC Smith) e de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.). **Ciência Florestal**, v.29, n.3, p.1142-1153, 2019.

ORZECH, K. & ZALUSKI, D. Effect of soil compaction and different soil tillage systems on chemical properties of soil and presence of earthworms in winter oilseed rape fields. **Journal of Elementology**, v.25, n.2, p.413-429, 2020.

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; BONFIM-SILVA E. M.; SOUZA, E. D.; SILVA, F. D. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, n.4, p.464-472, 2015.

PAEZ-GARCIA, A.; MOTES, C. M.; SCHEIBLE, W. R.; CHEN, R.; BLANCAFLOR, E. B.; MONTEROS, M. J. Root traits and phenotyping strategies for plant improvement. **Plants**, v.4, n.2, p.334-355, 2015.

PALUDO, J., BONFIM-SILVA, E., DA SILVA, T.; SOUSA, H. H. F; ZANOTTO, M. D.; FENNER, W. Agronomic performance of Safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.) under different soil bulk density levels in the Oxisol of the Cerrado. **Australian Journal of Crop Science**, v.12, n.3, 2018.

PEREIRA, M. T. J.; SILVA, T. J. A.; BONFIM-SILVA, E. M. Soil water content and wood ash fertilization on the cultivation of gladiolus. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.4, p. 50-56, 2016.

PIRES, A. A.; BORTOLOTTO, R. P.; SALAZAR, R. F. S.; ZAMBERLAN, J. F.; SOUTO, K. M. Qualidade Fisiológica de sementes de nabo forrageiro (*Raphanus Sativus L.*) e o Crescimento de Plântulas. **Ciência & Tecnologia**, v.3, n.2, 2019.

POPOVA, L.; DUSSCHOTEN, D. V.; NAGEL, K. A.; FIORANI, F.; MAZZOLAI, B. Plant root tortuosity: an indicator of root path formation in soil with different composition and density. **Annals of Botany**, v.118, n.4, p.685-698, 2016.

PULIDO-MONCADA, M.; SCHJONNING, P.; LABOURIAU, R.; MUNKHOLM, L. J. Residual effects of compaction on the subsoil pore system - A functional perspective. **Soil Physics & Hydrology**, v.84, n.3, p.717-730, 2020.

ROSA, H. A.; JUNIOR, G. G.; RESENDE, J. D. Influência da compactação do solo em parâmetros produtivos da cultura da soja. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, Ed. Especial, p.1-7, 2019.

ROSELEM, C. A.; SCHIOCHET, M. A.; SOUZA, L. S.; WHITACKER, J. P. T. Root growth and cotton nutrition as affected by liming and soil compaction. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.29, p.169-177, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAUJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa Solos, 5ed, 2018. 356p.

SAUSEN, D.; FERREIRA, C. R. L.; LOPES, S. C. D.; MARQUES, L. P.; SOUZA, A. J. M.; ALVES, E. C. G. A.; PATROCÍNIO, E. S. A.; CORDEIRO, K. A. S. Cultivo fora do solo: uma alternativa para áreas marginais. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.3, p.14888-14903, 2020.

SERVE, V. **Espumas flexíveis de poliuretana à base de poliois de óleo de mamona etoxilado**. Campinas, 120f. Dissertação (Mestrado em Físico-Química). Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2007.

SILVA, A. M. V. da. **Avaliação do comportamento térmico de compósitos poliméricos produzidos com resíduos de açaí em edificações na Amazônia**. Manaus, 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM, 2019.

SILVA, A. S.; OLIVEIRA, M.; MOURA, M. F.; SILVA, S. P. Efeito da Adubação Verde na Qualidade Nutricional do Milho (*Zea mays* L.). **Revista Geama**, v.6, n.1, p.31-37, 2020.

SILVA, G. J.; MAIA, J. C. S.; BIANCHINI, A. Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e diferentes graus de

compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.30, n.1, p.31-40, 2006.

SILVA, J. A. **Respostas fisiológicas da soja submetida ao estresse hídrico e compactação do solo**. Lavras, 84 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Sistemas Agrícolas). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG, 2018.

SILVA, J. E. O. A.; LUIZ M. R.; AMORIM, F. V.; NASCIMENTO, A. P. S.; SILVA, A. L. O; RAMOS, M. S.; SOUZA, N. C.; RAMOS, E. F. Avaliação da capacidade adsortiva da espuma de poliuretano vegetal incorporado de bagaço de cevada na remoção de contaminantes orgânicos. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.1, p.4450-4456, 2020.

SILVA, N. G. da. **Níveis de compactação do solo e produção de feijão-caupi**. Mossoró, 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia). Universidade Federal Rural do Semi-árido. Mossoró-RN, 2019.

SILVA, S. D.; ALVES, J. M.; MESQUITA, G. M.; LEANDRO, W. M. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular do pinhão manso (*Jatropha curcas L.)* e crambe (*Crambe abyssinica Hochst*). **Global Science and Technology**, v.5, n.2, p.87-97, 2012.

SPLIETHOFF, J.; POTT, C. A.; RAMPIM, L.; WATZLAWICK, L. F.; JADOSKI, S. O. Limites de compactação do solo para *Ilex paraguariensis*. **Research, Society and Development,** v.9, n.5, e23953101, 2020.

STERNBERG, E. D.; THOMAS, M. B. Insights from agriculture for the management of insecticide resistance in disease vectors. **Evolutionary applications**, v.11, n.4, p.404-414, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 5ed, 2013. 954 p.

VENZON, M. **Modificações Mecânicas do Amostrador de Colunas de Solo e Utilização do Poliuretano Expansível para Acondicionamento da Amostra**.

Cuiabá, 100 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2018.