

Poliuretano expansível como recipiente para estudos de solo compactado e cultivado com nabo forrageiro

Expandable polyurethane as a container for studies of compacted soil and cultivated with forage turnip

Aline de Souza Sabóia¹, Tonny José Araújo da Silva¹, Edna Maria Bonfim-Silva^{1*}, Luana Aparecida Menegaz Meneghetti¹

RESUMO

Objetivou-se por esta pesquisa avaliar o desempenho de um recipiente de poliuretano expansível para estudos sobre descompactação biológica de um Latossolo Vermelho utilizando nabo forrageiro como cultura resposta. O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Universidade Federal de Rondonópolis. O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho distrófico. 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 Vanila e Poliuretano expansível - PU). A avaliação do desempenho do recipiente foi realizada indiretamente por meio da cultura resposta, onde se avaliou as variáveis número de folhas, altura de planta, diâmetro de caule, índice de clorofila (índice SPAD), massa seca da parte aérea. 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 poliuretano expansível mostrou-se mais adequado para o estudo do desenvolvimento de nabo forrageiro em Latossolo compactado.

Palavras-chave: *Raphanus Sativus* L.; Compactação do solo; Densidade do solo.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the performance of an expandable polyurethane container for studies on biological decompression of an Oxisol using forage turnip as a crop answer. The experiment was carried out in a greenhouse, at the Federal University of Rondonópolis. The soil used was Oxisol. 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 (Polyvinyl Chloride and expandable Polyurethane - PU). The evaluation of the performance of the container was carried out indirectly through the response culture, where the variable number of leaves, plant height, stem diameter, chlorophyll index (SPAD index) and dry mass of the aerial part. The experimental data were subjected to analysis of variance. The increase in soil density influences the development of forage turnip and the container used interferes with the development of the root system of the crop. The expandable polyurethane proved to be more suitable for studying the development of forage turnips on compacted Oxisol.

Keywords: *Raphanus Sativus* L.; Soil compaction; Soil density.

¹Universidade Federal de Rondonópolis – UFR

*E-mail: embonfim@hotmail.com

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 rentabilidade 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 (BONFIM-SILVA et al., 2014; NUNES et al., 2016).

A rotação de culturas tem se tornado uma das principais estratégias para recuperação de área degradadas (RAMBO et al., 2021). É uma técnica de manejo, que além de realizar a ciclagem de nutrientes com o uso de plantas, 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 científicas 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 caráter edáfico (BONFIM-SILVA et al., 2022).

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 tipo de estudo (BELTRÃO et al., 2002).

Referente a análise de descompactação, é frequente a montagem dos experimentos em anéis de 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 (VENZON, 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 científicas têm nesses aperfeiçoamentos, objetivou-se avaliar o desempenho de recipientes de poliuretano expansível para estudos sobre descompactação biológica de um Latossolo Vermelho, utilizando nabo forrageiro (*Raphanus Sativus L.*) como cultura resposta.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado sob condições controladas, em casa de vegetação da Universidade Federal de Rondonópolis, no Instituto de Ciências Agrárias e Tecnológicas – ICAT, com as coordenadas geográficas: -16°28'15'' S e -50°38'08'' O e altitude de 284 m, no período de novembro de 2019 a janeiro de 2020.

Durante o período experimental a umidade relativa do ar e temperatura média foi de 60,86% e 28,42 °C, respectivamente. O delineamento experimental foi em blocos casualizados 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 Vanila (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.

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

(SANTOS, 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 (Tabela 1).

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 ₂mg dm ⁻³cmolc 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

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%. Posteriormente, 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.

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 CaCl₂ a 0,01 mol. Obteve-se uma média de pH de 6,16, estando esta, dentro da faixa ideal para o cultivo.

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 uréia. 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.

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

$$D_s = \frac{MSS}{V_a} \quad (1)$$

$$MSS = D_s * V_a \quad (2)$$

Onde:

D_s = Densidade do solo (kg dm^{-3})

MSS = Massa de solo seco (kg)

V_a = Volume do anel ($3,14 \text{ dm}^3$)

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

θ_m = Umidade a base de massa (16%)

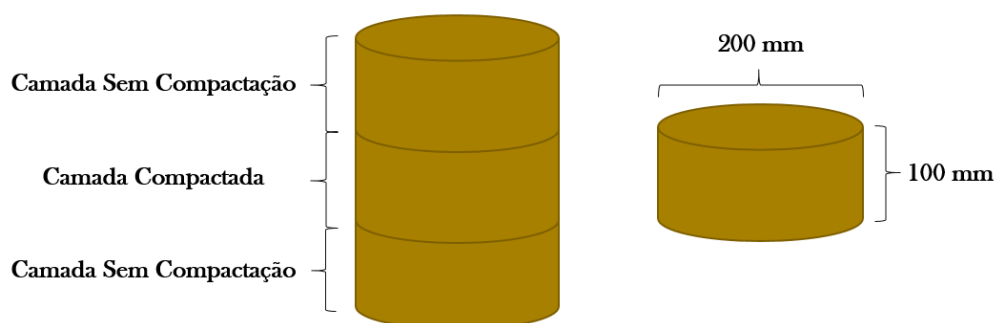
Assim, para os níveis de densidade de 1,0, 1,2, 1,4, 1,6 e 1,8 Mg m^{-3} , a camada compactada conteve 3,14 kg, 4,17 kg, 5,09 kg, 5,82 kg, 6,55 kg, de solo úmido respectivamente.

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 almeçadas. 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.

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 1).

Figura 1. Ilustração da disposição das camadas do solo que compõe os tratamentos experimentais e com suas dimensões.



Fonte: Autores.

As unidades experimentais compostas por vasos de Policloreto de Vanila (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.

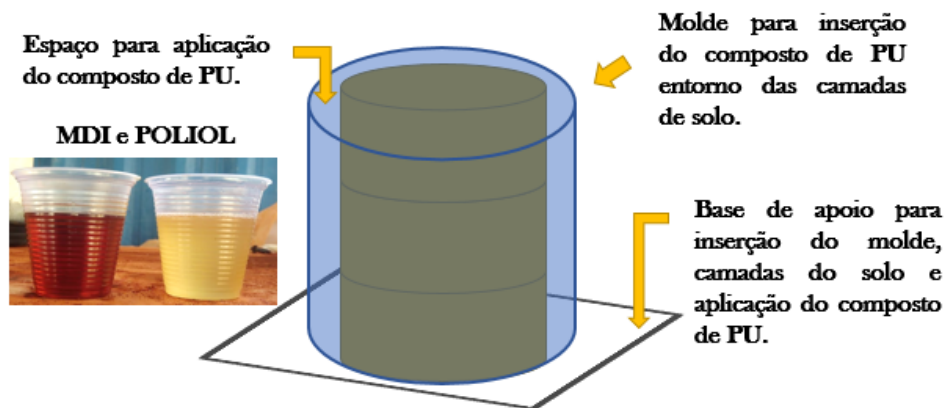
Cada anel representa uma camada de solo de 10 cm, unidas por fita adesiva tipo *silver tape* e na parte inferior do vaso, foi fixada uma tela com malha de 1 mm recobrimdo toda sua base com auxílio de uma borracha, oriunda da secção transversal da câmara de pneus usados, para drenar a água e apreender 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) 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.

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 (Figura 2).

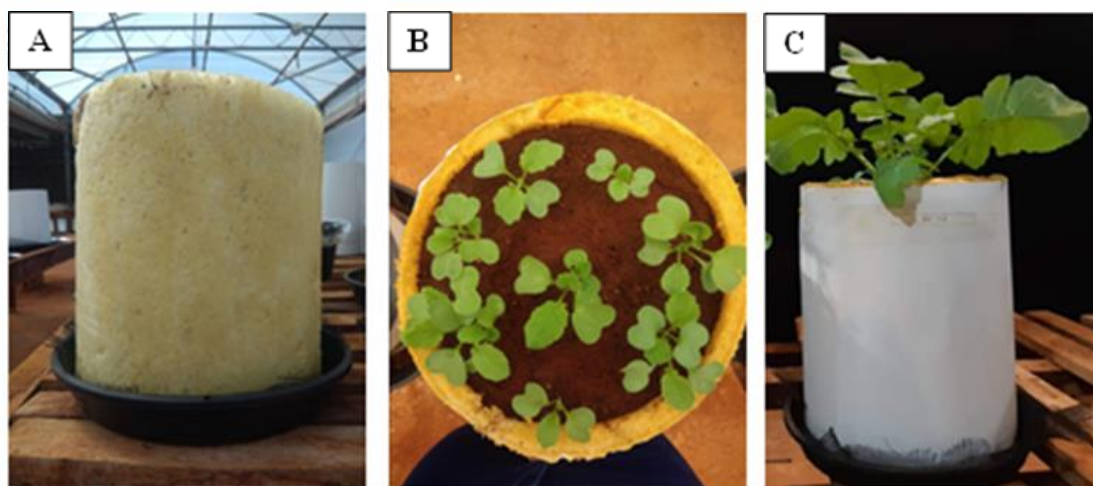
Figura 2. Ilustração dos materiais usados para construção dos vasos de Poliuretano Expansível (PU), sendo estes: molde e base de apoio.



Fonte: Autores.

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 3).

Figura 3. (A) Recipiente de Poliuretano Expansível; (B) Visão superior do vaso; (C) Recipiente de Poliuretano Expansível envolto em fórmica.



Fonte: Autores.

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.

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 estágio inicial poderia ser comprometido devido às densidades do solo (tratamentos de compactação).

A partir dos 15 dias após a semeadura, 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).

Foram avaliadas as seguintes variáveis: número de folhas: através da contagem do número de folhas fotossinteticamente ativas de cada unidade experimental e calculada a média por planta; 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. 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. Massa seca da parte aérea: Massa seca da parte aérea de caule e folhas, valores em g vaso⁻¹.

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.

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 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.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a variável número de folhas até os 30 DAE, o fator vaso não exerceu influência sob a variável, e conseqüentemente não houve interação sobre os fatores (Tabela 2).

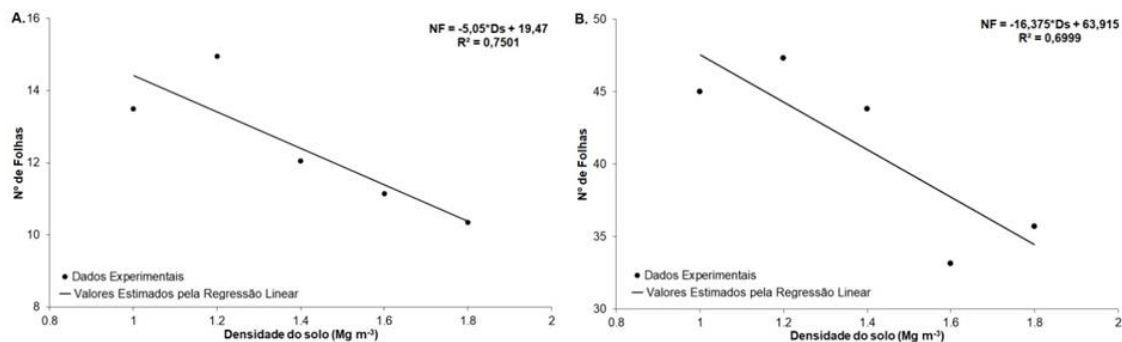
Tabela 2. Quadro resumo da análise de variância referente ao número de folhas aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas.

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, 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 4).

Figura 4. Número de Folhas do Nabo Forrageiro em função dos níveis de densidade do solo. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.



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 Bonfim-Silva et al. (2011) as densidades do solo em Latossolo Vermelho, podem interferir negativamente na absorção de nutrientes pela planta 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.

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 & BRAGANÇA, 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.

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.

Quanto à variável altura de planta, o fator vaso não apresentou diferença estatística para a variável altura de planta aos 15 DAE, havendo efeito significativo isolado para densidade do solo (Tabela 3). 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.

Tabela 3. Resumo da análise de variância referente a 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, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo

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 5 e 6). 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 7 e 8).

Figura 5. 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.

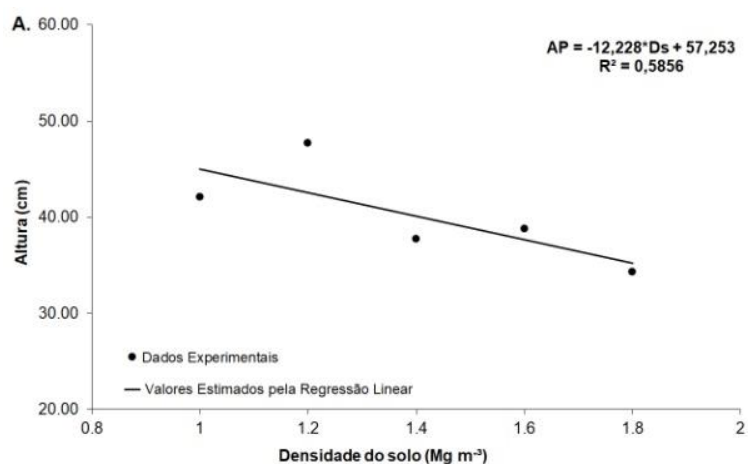


Figura 6. Altura de plantas do nabo forrageiro em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de Vanila (B) aos 15 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a DS em Mg m^{-3} .

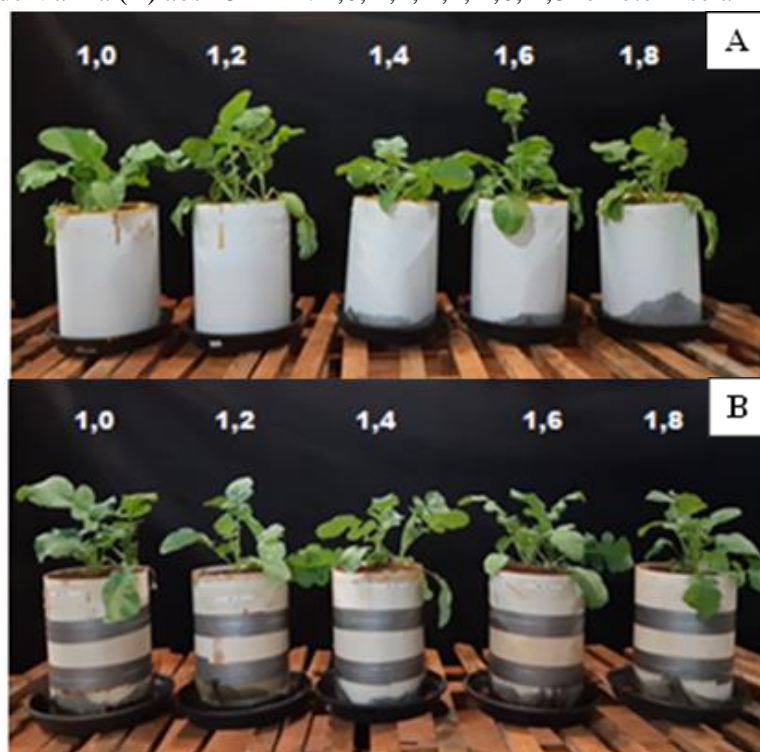


Figura 7. Altura de planta em função dos níveis de densidade do solo aos 15 DAE. AP = Altura de Planta, DS = Densidade do Solo. **, * Significativos a 1% e 5% de probabilidade pelo teste de F.

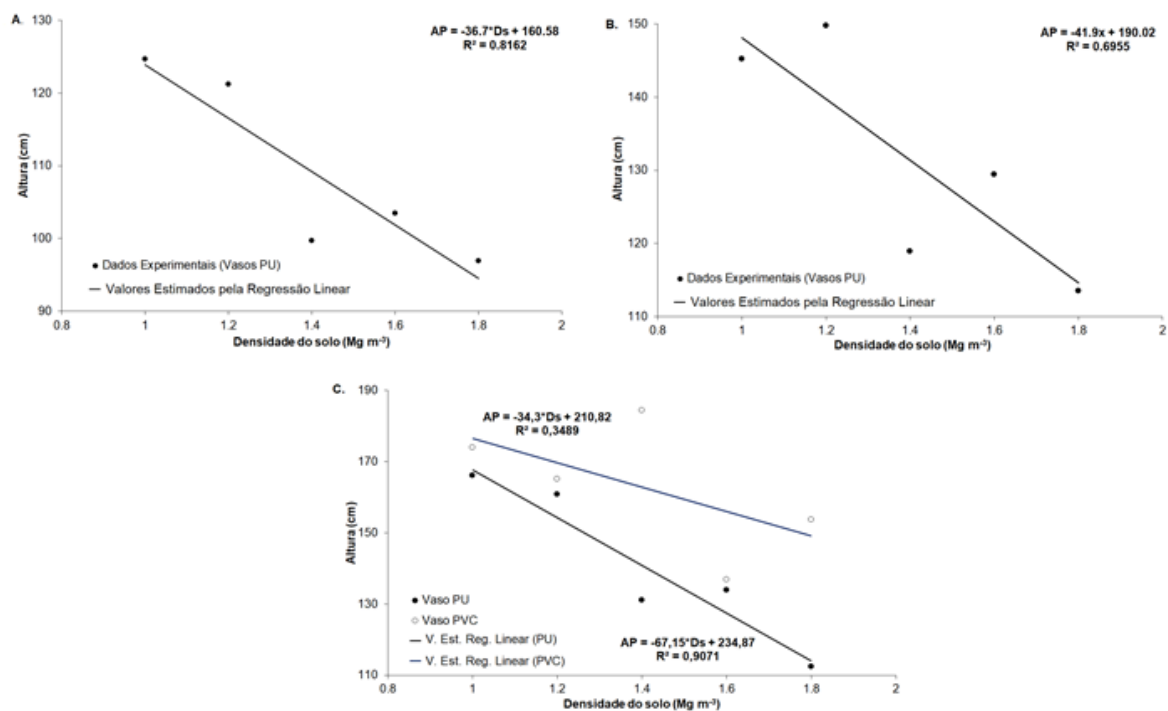


Figura 8. Altura de plantas do nabo forrageiro cultivado em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de Vanila (B) aos 30 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a densidade do solo em Mg m^{-3} .



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 a altura de maior e menor densidade (Figura 7). 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 4).

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

Densidade do Solo (Mg m ⁻³)	Altura de plantas (cm) – 45 DAE	
	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 (2018), também verificou a influência dos níveis de densidade do solo de forma isolada para altura de plantas em diferentes genótipos de cartamos. 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, notando-se uma estimativa superior de altura para as plantas cultivadas em recipiente de PVC em comparação aquelas semeadas em vaso de poliuretano expansível.

Tal fato pode ser justificado pelo maior desenvolvimento das raízes no tratamento de PU, 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.

Em oposição aos resultados estatísticos, 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 9), 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.

Figura 9. Altura de plantas do nabo forrageiro cultivado em recipiente de Poliuretano Expansível (A) e Policloreto de Vanila (B) aos 60 DAE. 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 remetem-se a densidade do solo em $Mg\ m^{-3}$.



Fonte: Autores.

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.

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 aérea da cultura.

Para a variável diâmetro de caule os recipientes de poliuretano expansível e policloreto de vanila apresentaram influência para o diâmetro de caule aos 45 e 60 DAE (Tabela 5).

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

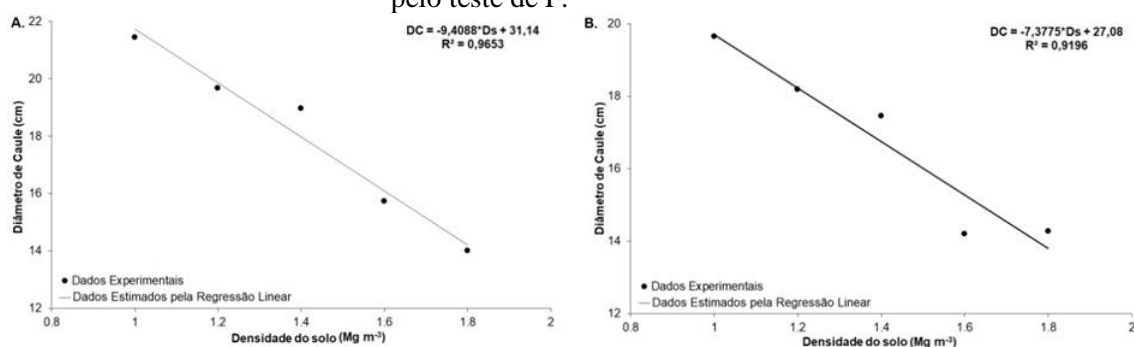
Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Diâmetro de Caule (cm)	
		45 DAE	60 DAE
Vaso	1	7.6792 ^{ns}	8.3232 ^{ns}
Densidade do solo	4	91.7022 ^{**}	59.1835 ^{**}
Vs * Ds	4	20.1287 ^{ns}	12.2691 ^{ns}
Resíduo	36	14.3891	8.9694
CV	-	21,11	17,88
Média	-	17,9681	16,7516

GL= 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.

Os recipientes de poliuretano expansível e policloreto de vanila apresentaram influencia 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 10).

Figura 10. Diâmetro de caule em função dos níveis de densidade do solo aos 45 e 60 DAE. DC = Diâmetro de caule, DS = Densidade do Solo. **Significativo a 1% de probabilidade pelo teste de F.



Resultado semelhante foi obtido por Paludo (2018), que observou que com o aumento da densidade do solo, houve decréscimo no diâmetro de caule 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.

O índice de clorofila SPAD indica a concentração de nitrogênio presente nas folhas das culturas. Com os dados dessa variável, obteve-se o seguinte quadro de análise de variância (Tabela 6):

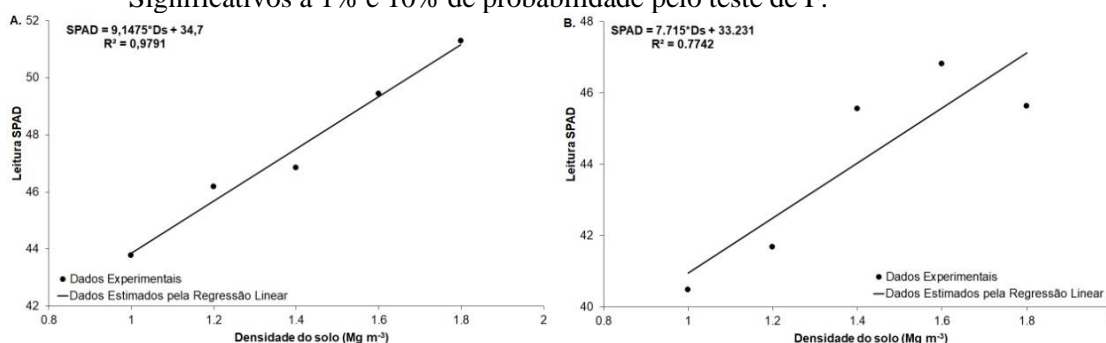
Tabela 6. Quadro resumo de análise de variância referente ao Índice de Clorofila - SPAD aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas

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, 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 11).

Figura 11. Índice de Clorofila - SPAD em função dos níveis de densidade do solo aos 15 e 30 DAE. SPAD = Índice de Clorofila – Leitura SPAD, DS = Densidade do Solo. ** Significativos a 1% e 10% de probabilidade 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 encontradas 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 (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.

Quanto à variável massa seca da parte aérea, observou efeito significativo de maneira isolada para os tipos de vasos e níveis de densidade do solo (Tabela 7). Desse modo, sugere-se que essa variável é influenciada por ambos os tratamentos.

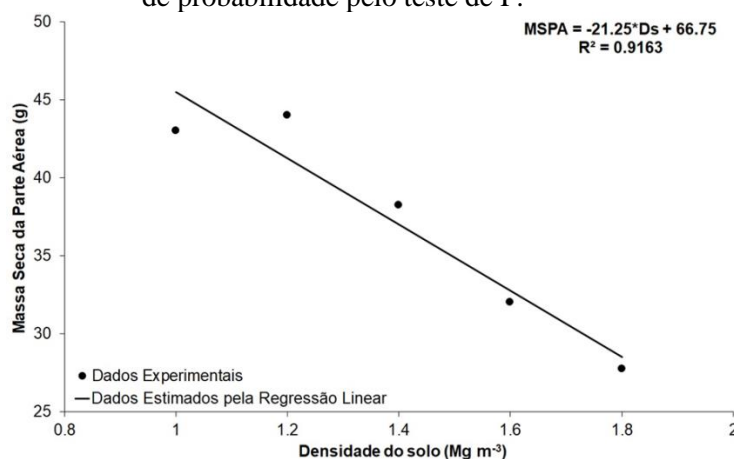
Tabela 7. Quadro resumo de análise de variância referente a variável Massa Seca da Parte Aérea.

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, respectivamente, pelo teste de F; ^{ns} Não significativo.

Para a Ds houve ajuste ao modelo linear de regressão decrescente, obtendo-se uma diminuição da massa seca conforme aumento da densidade do solo (Figura 12). Quando comparada o nível de maior Ds a menor, constatou-se uma redução de 37,36% do peso máximo obtido.

Figura 12. Massa Seca da Parte 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 pelo teste de F.



Quanto aos tipos de vasos, verifica-se que o recipiente de Policloreto de Vanila 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.

Estudos semelhantes (BONFIM-SILVA et al., 2011; PALUDO, 2018), também apresentaram reduções significativas 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 o aumento da densidade do solo implicar na diminuição direta da porosidade, comprometendo o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente, interferindo diretamente na parte área das plantas, devido à dificuldade ocasionada para absorção de nutrientes e água.

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.

CONCLUSÕES

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 da parte aérea da cultura;

O poliuretano expansível mostrou-se como um recipiente mais adequado para estudo de descompactação pelo nabo forrageiro em comparação ao vaso de Policloreto de Vanila.

REFERÊNCIAS

- ANICÉSIO, E. C. A. et al. Dry mass, nutrient concentration and accumulation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) influenced by nitrogen and potassium fertilizations. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 9, n. 6, p. 552-560, 2015.
- 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**, Campina Grande – PB, DEAg/UFCG, v. 6, n. 3, p. 547-552, 2002.
- BONFIM-SILVA, E. M. ANICÉSIO, E. C. A.; SILVA, T. J. A.; FILHO, O. G.; GUEDES, R. B. M.; OLIVEIRA, J. R. Wheat cultivars under bulk density levels in Cerrado Rhodic Hapludox, Central Brazil. **African Journal of Agricultural Research** 9(21):1641-1643, 2014.
- BONFIM-SILVA, E. M.; MARTINEZ-SANTOS, T.; SILVA, T. J. A.; ALVES, R. D. S.; PINHEIRO, E. A. R.; DUARTE, T. F. Wood ash as a vegetative-growth promoter in soils with subsurface compaction. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.** 26 (4) • Apr 2022.
- BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L.; POLIZEL, A. C. Desenvolvimento e produção de cortalária juncea, adubada com cinza vegetal. **Enciclopédia Biosfera**, v.7, n.13, 2011.
- BUENO, J. B.; RODRIGUES, G. A.. Palha sobre o solo no crescimento da cultura do nabo forrageiro em área degradada. **Interface Tecnológica**. Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga – FATEC – SP, 2019.
- 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, p. 188-193, 2014.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. The state of Food and Agriculture. Rome, october/2015.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**. v. 37, nº 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. **ELSEVIER – Biosystems Engineering**, vol. 183, p. 121-150, july, 2019.
- MAITRA, S.; ZAMAN A.; MANDAL, T. K.; PALAI, J. B.. Green manures in agriculture: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, 2018., 7(5): 1319-1327.

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

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.

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**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1142-1153, jul./set. 2019.

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. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 45, n. 4, p. 464-472, out/dez, 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.

RAMBO, K. L.; SHIMADA, B. S.; SIMON, M. V.; CUNHA, L. S.; FINKEN, P. H. A rotação de culturas na conservação do solo. **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**. v. 2 n. 3, 2021.

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** – ISSN 2358-5420 – Ed. Especial, p. 1-7, março/2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBREAS, 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**. Embrapa Solos - Livro Técnico. 5. ed. rev. e ampl., 2018.

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, p. 31-40, 2006.

SILVA, J. A.. Respostas fisiológicas da soja submetida ao estresse hídrico e compactação do solo. Tese (Doutorado em Engenharia e Manejo de Irrigação). Universidade Federal de Lavras – UFLA, Lavras – MG, 2018.

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**. Rio Verde, v.5, p. 87-97, 2012.

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**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

VENZON, M. Modificações Mecânicas do Amostrador de Colunas de Solo e Utilização do Poliuretano Expansível para Acondicionamento da Amostra. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical), Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, Cuiabá – MT, 2018.

Recebido em: 08/07/2022

Aprovado em: 12/08/2022

Publicado em: 19/08/2022