Diversitas Journal
ISSN 2525-5215
Volume 10, Número 2 (Abr./Jun. 2025) p. 0659 – 0676
https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal

Effect of soil compaction on aerial and root development of *Crotalaria juncea* L.

Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular da *Crotalaria juncea* L.

SANTOS, Ilâine Benício dos[1]; CAVALCANTE, Julio Cesar Silva[2]; SILVA, Jorge Oliveira da[3]; SILVA, Simão Gaspareto da[4]; CALIXTO COSTA, Julio César[5]; SANTOS, Cícero Gomes dos[6]

[1] 0009-0004-4797-3296; Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca. Arapiraca, AL, Brasil. ilainebenicio@gmail.com
[2] 0009-0001-7825-4882; Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca. Arapiraca, AL, Brasil. juliocesar.cavalcante2011@hotmail.com
[3] 0009-0002-1933-6885; Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca. Arapiraca, AL, Brasil. jorge.zootc@gmail.com
[4] 0009-0002-6695-9209; Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca. Arapiraca, AL, Brasil. biologiamcz@gmail.com
[5] 0009-0001-7220-1798; Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, PE, Brasil. julio.calixto@ufrpe.br
[6] 0000-0002-2264-6772; Universidade Federal de Alagoas – Campus Arapiraca. Arapiraca, AL, Brasil. cgomes@arapiraca.ufal.br

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

ABSTRACT

Soil quality is important for the sustainability of terrestrial ecosystems. Soil compaction represents a threat to agricultural systems, reducing permeability, hindering water infiltration and root development, in addition to impairing the movement of gases in the soil profile. To restore and preserve the physical properties of the soil, it is essential to promote vigorous biological activity, ensuring a continuous supply of organic compounds. Therefore, this study aimed to evaluate the development of the aerial and root parts of Crotalaria juncea L., in response to increased levels of soil compaction in a protected environment at the Federal University of Alagoas, Campus Arapiraca. The treatments consisted of five soil density levels, corresponding to compaction densities of 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 and 1.7 Mg m^{-3}. The variables evaluated included plant height, stem diameter, number of leaves, fresh and dry mass of the root, stem and number of leaves and leaf area. The growth of the root system and shoots of Crotalaria juncea L., was hampered by increased soil compaction, especially evident from a soil density of 1.6 Mg m-3. Both the fresh mass and the dry mass of shoots and roots were reduced with increasing compaction levels, especially above the density of 1.5 Mg m^{-3}.

INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Histórico do Artigo:
Submetido: 24/03/2025
Aprovado: 12/05/2025
Publicação: 07/06/2025

CC BY

Keywords:
Compression levels, Root growth, Cover crops.

RESUMO

A qualidade do solo é importante para a sustentabilidade dos ecossistemas terrestres. A compactação do solo representa uma ameaça aos sistemas agrícolas, reduzindo a permeabilidade, dificultando a infiltração de água e o desenvolvimento radicular, além de prejudicar a movimentação de gases no perfil do solo. Para restaurar e preservar as propriedades físicas do solo, é essencial promover uma atividade biológica vigorosa, garantindo um suprimento contínuo de compostos orgânicos. Com isso, este estudo teve como objetivo avaliar o desenvolvimento da parte aérea e radicular da *Crotalaria juncea* L., em resposta ao aumento dos níveis de compactação do solo em ambiente protegido na Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca. Os tratamentos consistiram em cinco níveis de densidade do solo, correspondendo a densidades de compactação de 1.3, 1.4, 1.5, 1.6 e 1.7 Mg m^{-3}. As variáveis avaliadas incluíram altura da planta, diâmetro caulinar, número de folhas, massa fresca e seca da raiz, do caule e do número de folhas e área foliar. O crescimento do sistema radicular e da parte aérea da *Crotalaria juncea* L., foi prejudicado pelo aumento da compactação do solo, especialmente evidente a partir de uma densidade do solo de 1,6 Mg m^{-3}. Tanto a massa fresca quanto a massa seca de parte aérea e radicular foram reduzidas com o aumento dos níveis de compactação, principalmente acima da densidade de 1,5 Mg m^{-3}.

***Palavras-Chave*:**
Níveis de compactação, crescimento radicular, plantas de cobertura.

DOI: 10.48017/dj.v10i2.3383

Introdução

Como um recurso natural vital, o solo oferece suporte físico, água e nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Dessa forma, várias técnicas são empregadas no manejo e conservação do solo, sendo o preparo do solo uma prática que exerce grande influência nos atributos que indicam uma boa qualidade física do solo, uma vez que impacta diretamente em sua estrutura (Hamza; Anderson, 2015).

O espaço poroso do solo pode ser dividido em duas classes, tanto em macroporos como em microporos. Solos arenosos são conhecidos por terem uma alta macroporosidade e uma baixa microporosidade, resultando em uma redução da retenção de água (Barros, 2020). Com isso, a densidade do solo se torna uma das medidas mais importantes para se avaliar a qualidade física do solo, uma vez que fornece uma indicação do volume total do solo, composto pela soma do volume de sólidos e do volume de poros (Rabot et al., 2018).

O uso excessivo de máquinas e implementos agrícolas pesados acaba aumentando a densidade do solo, favorecendo a microporosidade e alterando a disponibilidade de água para as plantas, afetando a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (Ortiz, 2019). A compactação do solo reduz o número de macroporos, dificultando o crescimento das raízes em solos secos devido ao aumento da resistência física e, em solos úmidos, limitando a oxigenação, o que prejudica a respiração radicular. Além disso, a redução dos microporos prejudica o armazenamento de água e a circulação de gases, intensificando o escorrimento superficial e aumentando a perda de solo e água. Esse processo empobrece a fertilidade da camada arável, impacta diretamente o desenvolvimento das plantas e reduz o potencial produtivo das culturas (Santos et al., 2018; Silva, 2021).

Essa preocupação é intensificada durante o preparo do solo em sistemas convencionais, onde o revolvimento de forma excessiva pode levar à compactação subsuperficial, também conhecida como "pé-de-grade" ou "pé-de-arado". Essa compactação impede o desenvolvimento das raízes em profundidade, tornando as plantas mais frágeis em períodos de estiagem prolongada e também pode causar deficiência de oxigênio em condições de chuvas em excesso (Embrapa, 2006). Esses efeitos da compactação podem comprometer a absorção de nutrientes, a capacidade de suporte das plantas e, consequentemente, reduzir a produtividade das culturas (Araújo, 2015).

A recuperação das propriedades físicas do solo pode ser favorecida pela atividade biológica, sendo que a utilização de plantas de cobertura protege o solo contra erosão e lixiviação de nutrientes, além de serem usadas para pastoreio, produção de grãos, sementes e palha para plantio direto (Oliveira, 2014; Silva et al., 2021). As leguminosas são essenciais na adubação verde, enriquecendo o solo com sua biomassa, pois melhoram suas propriedades e auxiliam no controle de plantas aparentes pelo efeito alelopático, liberando substâncias que inibem sua germinação e crescimento (Bertoncelli, 2015; Bianchini, 2017).

A utilização de espécies como a leguminosa *Crotalaria juncea* L., destaca-se por serem plantas capazes de romper camadas compactadas, principalmente por meio de suas raízes vigorosas e de sistema radicular extenso, que permitem a penetração profunda no solo para alcançar essas camadas (Santos et al., 2018). Além disso, consegue adaptar-se bem a diferentes tipos de solos, até mesmo aqueles com baixa fertilidade, contribuindo para a conservação do nitrogênio no solo e promovendo uma boa fertilidade. Suas raízes também aumentam a matéria orgânica do solo à medida que se decompõem, fornecendo nutrientes essenciais para as culturas subsequentes (Cieslik, 2014).

Diante disso, objetivou-se com este estudo avaliar o desenvolvimento da parte aérea e radicular da *Crotalaria juncea* L., em resposta ao aumento dos níveis de compactação do solo em ambiente protegido na Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca.

Metodologia

Localização do experimento

O experimento foi realizado em ambiente protegido, iniciando do dia 05 de julho até o período de 02 de setembro de 2023, localizada na Universidade Federal de Alagoas - *Campus* Arapiraca, na região Agreste de Alagoas. A área está situada entre as coordenadas geográficas 09° 41' 55" S e 36° 41' 08" W, com altitude de 321 m em relação ao nível do mar. O município está inserido na região Agreste, que representa uma transição entre a Zona da Mata e o Sertão Alagoano.

Quanto ao clima, a região é classificada como tropical tipo 'As', caracterizado por chuvas de inverno (abril - setembro) e estações secas no verão (outubro - março), segundo o critério de classificação de Köppen (1948).

Material do solo

O material de solo utilizado para o preenchimento dos vasos foi obtido de uma área experimental localizada no *Campus* Arapiraca, proveniente de um solo Franco Argilo Arenoso coletado na profundidade de 0-20 cm. Após a coleta, o solo foi submetido ao processo de secagem ao ar e destorroamento. Em seguida, passou por uma peneira de malha de 2 mm para separar torrões, raízes e palha e, posteriormente, uma amostra de 0,7 kg foi retirada para realização de análise física, cujos resultados estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1.
Resultado da análise física do solo da camada de 0 – 20 cm utilizado no experimento.

Resultados Análise Física					
Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Silte	Argila	Classe Textural
g/kg					
366	202	568	145	287	F. Arg. Ar

Método Embrapa Extração: Água (pH); Mehlich (P, K, Na, Fe, Cu, Zn, Mn); KCl 1N (Ca, Mg e Al); Acetato de Cálcio pH 7,0 (H + Al); Água quente (Boro). F.Arg.Ar. = Franco Argilo Arenoso.

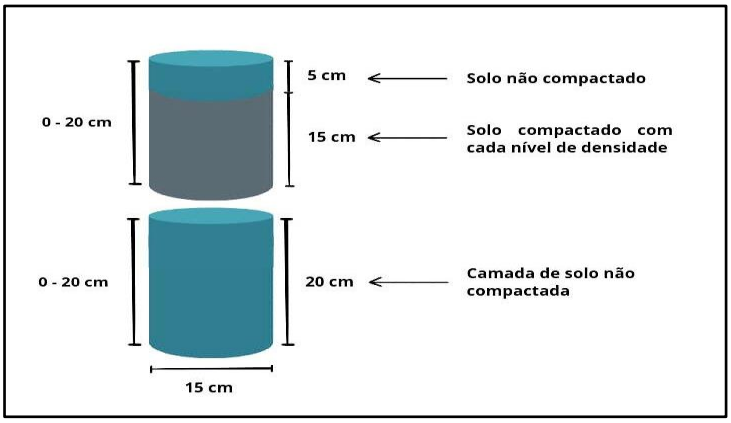
Nota: Central Analítica (2023).

Tratamentos e material vegetal utilizado

Os tratamentos utilizados foram compostos por cinco níveis de densidade do solo, denominados T1, T2, T3, T4 e T5, correspondendo às densidades de compactação de 1,3, 1,4, 1,5, 1,6 e 1,7 Mg m^{-3}, respectivamente. Esses níveis foram combinados com uma espécie de Fabaceae, *Crotalaria juncea* L., utilizando duas plantas por unidade experimental. O delineamento experimental adotado foi em blocos inteiramente casualizados, com quatro repetições, somando 20 parcelas ao total.

As parcelas experimentais consistiram de dois anéis de PVC rígidos, um em sobreposição ao outro, cada um com 20 cm de altura e 15 cm de diâmetro, onde foram unidos com fita adesiva do tipo "Silver Tape". Para isso, a montagem dos vasos foi realizada com os anéis inferiores preenchidos com solo coletado da profundidade 0-20 cm, apresentando densidade natural de 1,6 Mg m^{-3}. Os superiores foram preenchidos com solo da mesma camada de 0-20 cm de profundidade, cuja massa foi determinada e compactada de acordo com os tratamentos de densidade do solo para cada unidade experimental (Figura 1).

Figura 1.
Esquema representativo da montagem dos vasos utilizados no experimento com o solo da respectiva profundidade (0-20 cm) e sua distribuição nos anéis superior e inferior.



Nota: Adaptado de Santos (2016).

Para as densidades de compactação, utilizou-se as seguintes massas de solo: 3,8; 4,2; 4,5; 4,8 e 5,2 kg equivalente aos respectivos tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5. Cada massa de solo foi compactada até atingir os 15 cm de preenchimento do vaso superior do experimento.

Para subscrever os níveis de densidade, foi considerado 15 cm dos anéis superiores, reservando 5 cm da superfície com solo não compactado para permitir o desenvolvimento inicial das plantas de forma adequada. Na parte inferior das parcelas, uma tela antiafídeos com malha de 1mm foi colocada e fixada com abraçadeira de nylon. Com relação a compactação do solo, o mesmo foi realizado utilizando uma prensa hidráulica, isso de acordo com cada nível de densidade e massa para cada tratamento. Não houve correção do solo, optando-se por manter suas características originais quando em condições ambientais.

A semeadura foi feita de forma direta nos vasos, com a distribuição de quatro sementes por tratamento. Após a germinação da cultura, duas plântulas foram selecionadas com base em seu vigor e melhor desenvolvimento.

Variáveis analisadas

As variáveis relacionadas ao desenvolvimento das plantas, como altura da planta (AP), diâmetro caulinar (DC) e número de folhas (NF) foram avaliadas aos 20, 30, 40, 50 e 60 dias após a semeadura (DAS). A altura da planta foi medida em centímetros, utilizando uma trena desde a superfície do solo até o meristema apical do ramo principal. O diâmetro caulinar das plantas foi determinado com o auxílio de um paquímetro graduado em milímetros, e na contagem das folhas, foram consideradas aquelas que apresentavam comprimento da folha central de no mínimo 3 cm.

As variáveis avaliadas, como peso de massa fresca das folhas (MFF), massa fresca do caule (MFC), massa fresca da raiz (MFR), massa seca das folhas (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da raiz (MSR) nas profundidades de 0 - 20 cm (anel superior) e 20 - 40 cm (anel inferior) foram analisadas ao final do ciclo da cultura, após 60 dias de plantio. Para MFF, todas as folhas de cada tratamento foram removidas manualmente, enquanto para MFC, o caule foi cortado com auxílio de facas na altura do colo. Para a MFR, tanto nas profundidades de 0 - 20 cm quanto 20 - 40 cm, realizou-se a lavagem do material para preservar toda a sua estrutura e evitar perdas das amostras. Posteriormente, todas as variáveis foram levadas ao laboratório para pesagem em balança de precisão.

Para a variável de área foliar (AF), ao final do experimento, um total de 200 folhas foram coletadas das plantas em um método destrutivo, consistindo em 10 folhas por repetição e 40 folhas por tratamento. Nesse estágio, o comprimento (C) e a largura (L) do limbo de cada folha foram mensuradas com uma régua milimetrada. Posteriormente, o produto do comprimento multiplicado pela largura de cada folha foi calculado.

Após conclusão dessas etapas, as folhas foram submetidas a um escaneamento de alta resolução utilizando uma máquina de impressão HP modelo 2360. Para facilitar a calibração pelo software, uma linha vermelha de 10 cm foi incorporada nas imagens. Em seguida, essas imagens foram processadas e analisadas quanto à área foliar utilizando o software ImageJ, amplamente disponível gratuitamente na internet (http://rsbweb.nih.gov/ij/). Utilizando os dados das 200 folhas, foi desenvolvido um modelo que relaciona a área foliar determinada pelo integrador (variável dependente) com o produto do comprimento (C) pela largura (L) (variável independente).

Análise estatística

Os dados obtidos foram analisados por meio da análise de variância no software estatístico SISVAR, e a significância foi avaliada por meio do teste F. As variáveis que demonstraram significância foram comparadas quanto às suas médias através do teste de Tukey, utilizando um nível de significância de 5%, e o fator quantitativo foi submetido a uma análise de regressão.

Resultados e discussão

Índices de crescimento: altura de planta, diâmetro caulinar e número de folhas

Os resultados obtidos indicam que a compactação do solo influenciou praticamente todas as variáveis analisadas em quase todas as épocas de plantio. No entanto, não foram observadas diferenças significativas no diâmetro caulinar entre os 30 dias após a semeadura e na altura da planta aos 30 e 40 dias após a semeadura. Da mesma forma, o número de folhas não apresentou diferença significativa entre os 20 e os 60 dias após a semeadura (Tabela 2).

Os diferentes níveis de densidade do solo exerceram influência significativa no diâmetro caulinar. Aos 20 dias após a semeadura, observou-se que a densidade do solo teve um efeito significativo no diâmetro do caule das plantas, onde sugere que a compactação do solo afetou o crescimento inicial em diâmetro. A regressão apresentada comportou-se de maneira quadrática, indicando uma variação moderada entre as amostras.

Tabela 2.

Análise de variância das variáveis de crescimento da *Crotalaria juncea* L., em função de diferentes densidades de compactação do solo.

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS		
		20 dias após o plantio		
		Diâmetro	**Altura**	**N° Folhas**
Densidade de Solo	4	0,324*	5,075*	$0,250^{NS}$
Resíduo	5	0,019	0,774	0,300
C.V. (%)		8,35	7,81	7,30
		30 dias após o plantio		
		Diâmetro	**Altura**	**N° Folhas**
Densidade de Solo	4	$0,075^{NS}$	$66,28^{NS}$	13,35*
Resíduo	5	0,033	22,86	1,10
C.V. (%)		10,66	29,33	9,45
		40 dias após o plantio		
		Diâmetro	**Altura**	**N° Folhas**
Densidade de Solo	4	1,66*	$232,74^{NS}$	63,35*
Resíduo	5	0,057	52,89	7,10
C.V. (%)		8,81	21,36	12,06
		50 dias após o plantio		
		Diâmetro	**Altura**	**N° Folhas**
Densidade de Solo	4	1,95*	516,66*	183,10*
Resíduo	5	0,132	81,27	11,60
C.V. (%)		12,27	13,94	11,13
		60 dias após o plantio		
		Diâmetro	**Altura**	**N° Folhas**
Densidade de Solo	4	2,70*	1429,81*	$411,75^{NS}$
Resíduo	5	0,261	120,75	83,50
C.V. (%)		15,30	13,08	25,74

G.L. – Graus de liberdade, C.V. – Coeficiente de variação, NS – Não significativo, * – Significativo pelo teste F ($p < 0,05$). Diâmetro – Diâmetro do caule, Altura – Altura da planta, N° de Folhas – Número de folhas por planta.

Nota: Autores, (2024).

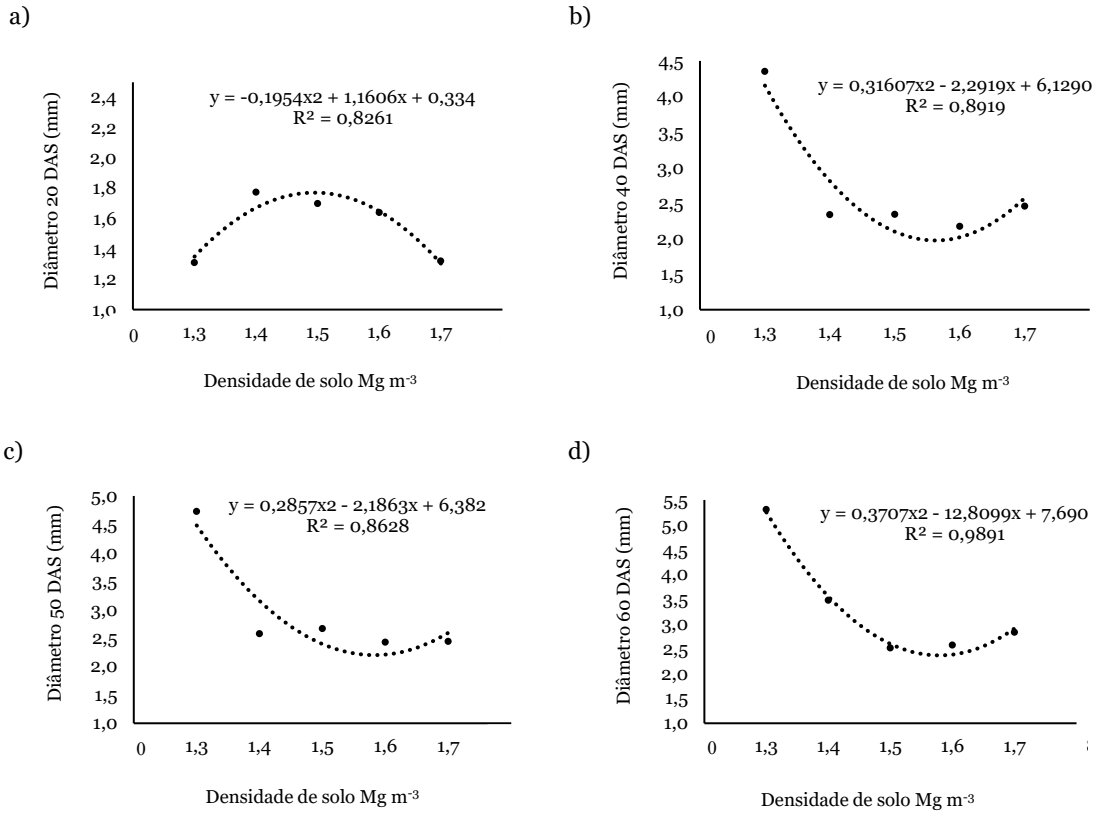
Ao atingir 40 dias após a semeadura, a densidade do solo voltou a apresentar um efeito significativo no diâmetro do caule, com um decréscimo apresentado na regressão. Isso indica que, com o passar do tempo, a densidade do solo começou a impactar o diâmetro das plantas. Aos 50 dias após a semeadura, o diâmetro caulinar continuou a ser significativamente influenciado pela densidade do solo, com o gráfico de regressão mantendo o padrão

decrescente, o que refletiu uma maior variabilidade entre as amostras. Na fase final do experimento, aos 60 dias após a semeadura, a densidade do solo teve um efeito também significativo sobre o diâmetro do caule, sendo que o maior valor para essa variável foi obtido na densidade de 1,3 Mg m-3, com 5,30 mm, enquanto nas compactações 1,4, 1,5, 1,6 e 1,7 Mg m^{-3}, os valores foram 3,47 mm, 2,51 mm, 2,57 mm e 2,83 mm, respectivamente.

A variável diâmetro caulinar (DC) apresentou um comportamento quadrático em resposta aos tratamentos de densidade do solo. Observou-se que os tratamentos com maiores densidades do solo (1,6 e 1,7 Mg m^{-3}) obtiveram os menores resultados em diferentes épocas de plantio, indicando que a compactação do solo afetou negativamente essa variável. Especificamente, o diâmetro caulinar mostrou-se mais sensível às altas densidades de solo, refletindo uma redução significativa no seu crescimento com o aumento da compactação (Figura 2). No estudo de Santos et al., (2018), realizado com *Crotalaria juncea* e *Crotalaria spectabilis*, foi observada uma redução significativa no diâmetro caulinar em resposta aos diferentes níveis de compactação do solo, especialmente em casos de alta densidade de compactação.

Figura 1.

Comparação dos valores significativos do variável diâmetro caulinar da *Crotalaria juncea* L., em função da compactação do solo: a) diâmetro aos 20 DAS; b) diâmetro aos 40 DAS; c) diâmetro aos 50 DAS; d) diâmetro aos 60 DAS.

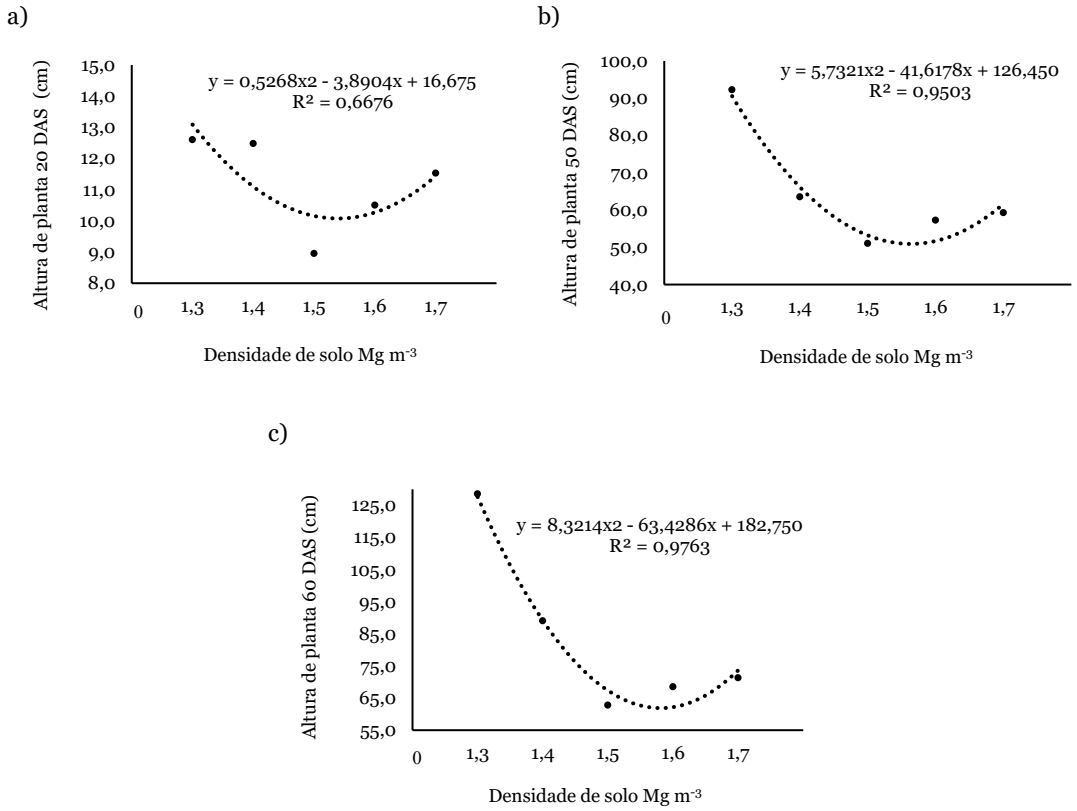


Nota: Autores, (2024).

Para o crescimento das plantas, observa-se que a compactação do solo influenciou essa variável ao longo do experimento. Aos 20 dias após a semeadura, foi observado que as plantas em solos menos compactados (1,3 Mg m^{-3}) apresentaram maior altura, atingindo cerca de 13 cm, enquanto em solos mais compactados (1,7 Mg m^{-3}) as plantas alcançaram apenas 8,5 cm. Aos 40 dias, as plantas em solo de menor densidade atingiram 92 cm, enquanto em solos de densidades (1,5 e 1,6 Mg m^{-3}) cresceram apenas cerca de 51 cm e 40 cm, respectivamente. Já na fase final, aos 60 dias, o efeito da compactação foi ainda maior, sendo que nas plantas de solo menos compacto alcançaram aproximadamente 125 cm, enquanto em solos mais compactados, as alturas foram limitadas a 65 cm e 55 cm (Figura 3). Esses resultados demonstram que a compactação do solo prejudica o crescimento das plantas, devido à restrição no desenvolvimento das raízes e no acesso a recursos essenciais, como água e nutrientes.

Figura 2.

Comparação dos valores significativos da variável altura da planta da *Crotalaria juncea* L., em função da compactação do solo: a) Altura da planta aos 20 DAS; b) Altura da planta aos 50 DAS; c) Altura da planta aos 60 DAS.



Nota: Autores, (2024).

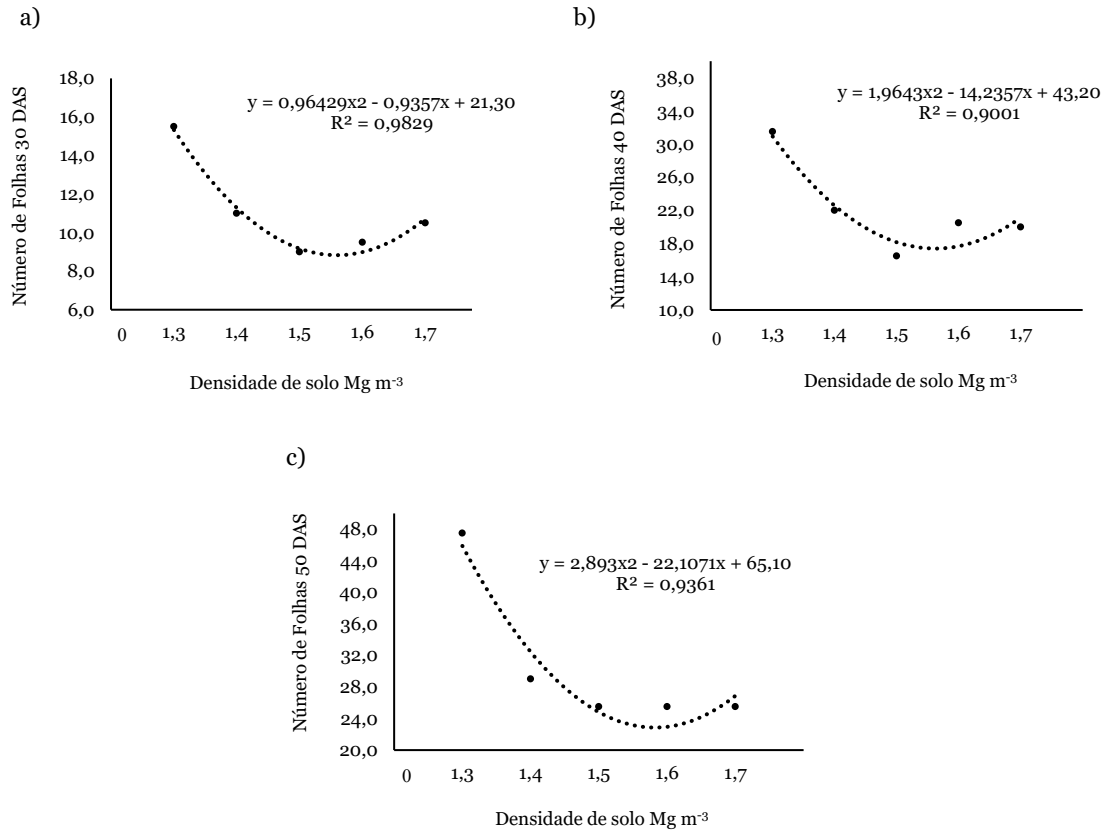
Pacheco et al., (2015) destacam que a Crotalária é reconhecida como uma das espécies de leguminosas de mais rápido crescimento inicial. Devido a essa característica, a Crotalária

apresentou um bom desempenho até os 40 dias após a semeadura, ao qual a espécie demonstrou um porte elevado, com caules mais longos e pesados, apresentando também um alto potencial de ramificação. Os resultados sugerem que a Crotalária pode desenvolver-se de forma mais robusta tanto na parte vegetativa quanto na radicular quando exposta a uma leve compactação do solo, como observado por Silva et al., (2006).

O número de folhas apresentou uma tendência similar às demais variáveis, com uma diminuição observada em função do aumento dos níveis de compactação, principalmente a partir da densidade de 1,5 Mg m^{-3}. No período de 30 dias após a semeadura, a densidade do solo teve um efeito significativo sobre essa variável, comportando-se de forma quadrática e obtendo valores de 15,5 folhas na menor compactação (1,3 Mg m^{-3}), 11 folhas na compactação (1,4 Mg m^{-3}), 9 folhas na compactação (1,5 Mg m^{-3}), 9,5 folhas na compactação (1,6 Mg m^{-3}) e 10,5 folhas na maior compactação (1,7 Mg m^{-3}).

Figura 3.

Comparação dos valores significativos do variável número de folhas da *Crotalaria juncea* L., em função da compactação do solo: a) número de folhas aos 30 DAS; b) número de folhas aos 40 DAS; c) número de folhas aos 50 DAS.



Nota: Autores, (2024).

Aos 40 dias após a semeadura, o número de folhas foi significativamente afetado pela densidade do solo, com regressão decrescente em seus resultados e obtendo redução

significativa nos tratamentos de densidade de 1,5 e 1,7 Mg m^{-3}, indicando um aumento na variabilidade. Aos 50 dias após a semeadura, a densidade do solo teve um efeito significativo, apresentando regressão quadrática em seus resultados, e o número de folhas foi maior na menor compactação com 47,5 folhas. Nas compactações subsequentes, os valores observados foram 29 folhas para 1,4 Mg m^{-3}, 25,5 folhas tanto para 1,5, também para 1,6 Mg m^{-3} e para 1,7 Mg m^{-3} (Figura 4).

Esses resultados confirmam as descobertas de Bonelli et al., (2011) que observaram uma redução na produção de folhas em gramíneas quando expostas a maiores densidades de solo. Além disso, Santos et al., (2012), em seu estudo com pinhão-manso, também identificaram uma influência negativa no número de folhas à medida que a densidade do solo aumentava.

Massa fresca e massa seca

De acordo com os resultados da análise de variância, as variáveis demonstraram significância e com interação entre os resultados. Para ambas as variáveis, nota-se que o aumento das densidades de compactação do solo afetou os resultados (Tabela 3).

Tabela 3.
Resultado da análise de variância das variáveis: Massa fresca da raiz (0 – 20 cm) (MFR), massa fresca da raiz (20 – 40 cm) (MFR), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca do caule (MFC), massa seca da raiz (0 – 20 cm) (MSR), massa seca da raiz (20 – 40 cm) (MSR), massa seca das folhas (MSF) e massa seca do caule (MSC) em função do aumento da compactação do solo.

FONTE DE VARIAÇÃO	**G.L.**	**QUADRADOS MÉDIOS**			
		MFC	***MSC***	***MFF***	***MSF***
Densidade de Solo	4	450,32*	35,71*	161,77*	7,27*
Resíduo	5	4,37	0,80	0,74	0,22
C.V. (%)		8,28	12,87	4,77	14,44
		MFR 0-20	***MFR 20-40***	***MSR 0-20***	***MSR 20-40***
Densidade de Solo	4	930,57*	1100,82*	29,94*	30,47*
Resíduo	15	12,75	9,41	2,15	1,17
C.V. (%)		11,96	13,38	21,22	20,22

G.L. – Graus de liberdade, C.V. – Coeficiente de variação, NS – Não significativo, * – Significativo pelo teste F ($p < 0,05$). MFC – Massa Fresca do Caule, MSC – Massa Seca de Caule, MFF – Massa Fresca da Folha, MSF – Massa Seca da Folha, MFR (0-20) – Massa Fresca da Raiz de 0 a 20 cm de profundidade, MFR (20-40) – Massa Fresca da Raiz de 20 a 40 cm de profundidade, MSR (0-20) – Massa Seca da Raiz de 0 a 20 cm de profundidade, MSR (20-40) – Massa Seca da Raiz de 20 a 40 cm de profundidade.

Nota: Autores, (2024).

O desenvolvimento do sistema radicular da cultura apresentou diferenças significativas entre as camadas do solo e os tratamentos de densidade. Na camada superior do vaso (0 - 20 cm), observou-se maior acúmulo de matéria fresca das raízes nos tratamentos de densidade de solo de 1,3, 1,4 e 1,5 Mg m^3, com valores de 67,71, 26,10 e 22,66 gramas, respectivamente. Já

na camada inferior (20 - 40 cm), os resultados seguiram um padrão semelhante ao da camada superior, exceto no tratamento de densidade de 1,6 Mg m³, que registrou o menor valor, com apenas 3,0 gramas de matéria fresca. Esses dados indicam que densidades mais elevadas restringem o desenvolvimento das raízes, especialmente nas camadas mais profundas, limitando a capacidade de cultura de exploração dos recursos disponíveis.

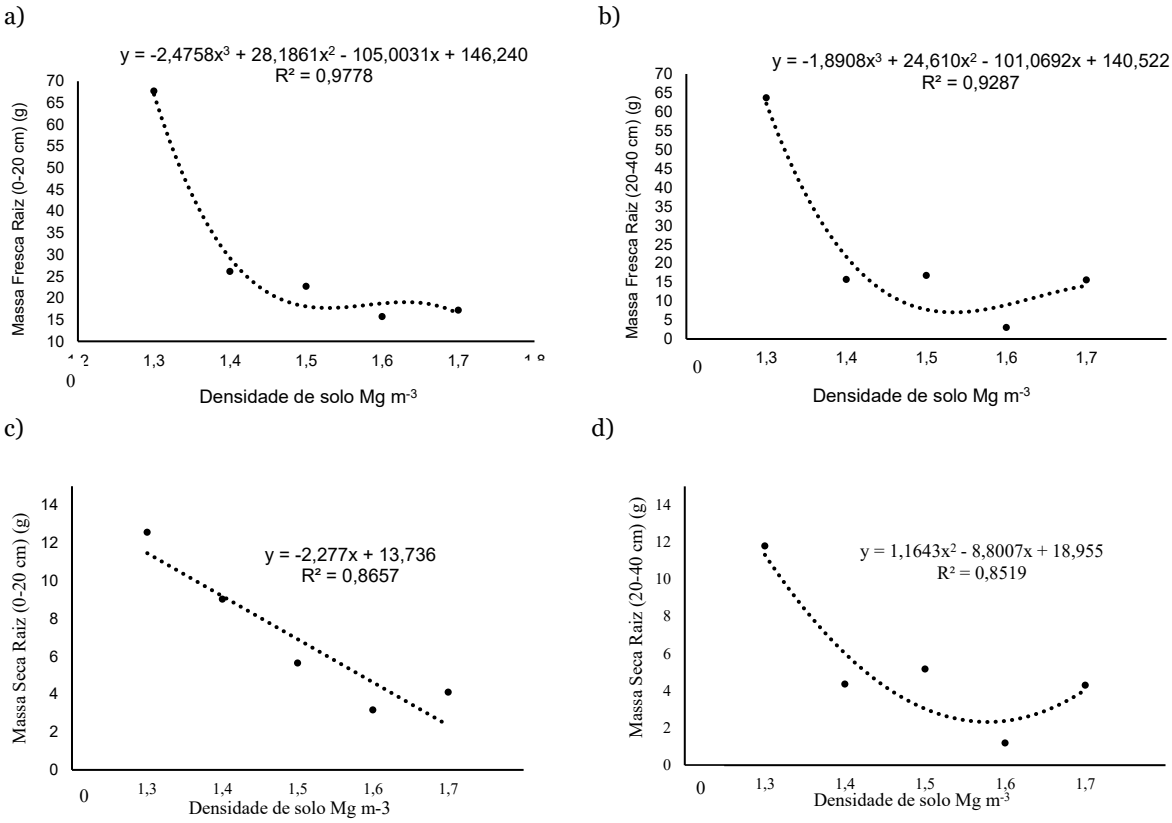
Clark et al., (2003) afirmam que o aumento na compactação reduz o crescimento das raízes devido ao aumento da resistência do solo à penetração, o que pode resultar em perdas de produtividade nas lavouras, ao restringir o acesso da raiz ao reservatório de água e nutrientes.

Para a massa seca da raiz (0 - 20 cm), notou-se que a *C. juncea* registrou os valores mais elevados nas densidades de 1,3, 1,4 e 1,5 Mg m^{-3}, com quantidades de 12,56, 9,03 e 5,65 gramas, respectivamente. Esses resultados demonstram que a compactação do solo impactou negativamente o desenvolvimento do sistema radicular da planta. Essas descobertas corroboram com os resultados apresentados por Dezordi et al., (2013), que comprovaram que o aumento da densidade do solo teve um efeito adverso no desempenho das espécies de milheto (*Pennisetum glaucum*), *U. brizantha* e *C. spectabilis*. Esses pesquisadores também evidenciaram que densidades superiores a 1,5 Mg m^{-3} representam uma limitação para o crescimento das raízes dessas espécies.

Quanto ao acúmulo de massa seca da raiz na parte inferior do vaso (20 - 40 cm), os resultados assemelham-se aos da parte superior, na qual o tratamento de densidade de 1,6 Mg m^{-3} registrou o menor valor de 1,18 gramas, indicando uma quantidade mínima de raízes da cultura (Figura 5). Resultados semelhantes foram observados por Ferraz et al., (2017), que identificaram uma redução de 32% no acúmulo de massa seca das raízes do feijoeiro sob maiores níveis de compactação, em relação ao tratamento controle.

Para o acúmulo de massa fresca das folhas (MFF), os resultados revelaram uma resposta significativa, com valores elevados nos tratamentos iniciais de compactação do solo. No tratamento de densidade 1,3 Mg m^{-3}, observou-se um valor de 32,78 gramas. Por outro lado, nos tratamentos com densidades de compactação mais altas, houve uma diminuição, sendo particularmente menor na densidade de 1,6 Mg m^{-3} em comparação com as demais, registrando um valor de 8,37 gramas.

Figura 4.
Comparação da massa fresca e massa seca do sistema radicular da *Crotalaria juncea* L., em resposta as diferentes densidades de compactação do solo: a) massa fresca da raiz (0 – 20 cm); b) massa fresca da raiz (20 – 40 cm); c) massa seca da raiz (0 – 20).



Nota: Autores, (2024).

A massa fresca do caule (MFC) apresentou valores comparáveis aos das outras medidas de massa fresca, com maiores valores nos tratamentos iniciais de densidades do solo, especialmente em 1,3, 1,4 e 1,5 Mg m^{-3}, onde foram registrados 50,15, 22,75 e 23,70 gramas, respectivamente. No entanto, nas densidades de solo mais compactadas, os valores diminuíram, atingindo 9,65 e 19,90 gramas para os tratamentos 1,6 e 1,7 Mg m^{-3}, respectivamente.

Silveira et al., (2022), ao estudar a cultura do Cártamo em relação à densidade do solo, encontraram valores significativos de massa fresca da parte aérea. Da mesma forma, Fagundes et al., (2014) avaliaram o desenvolvimento de três variedades de cana-de-açúcar em cinco níveis de densidade do solo e encontraram efeitos significativos em seus resultados. Esses achados corroboram com os resultados de Guimarães et al., (2013), onde os níveis de compactação do solo foram observados como alteradores significativos da massa fresca da parte aérea do milheto.

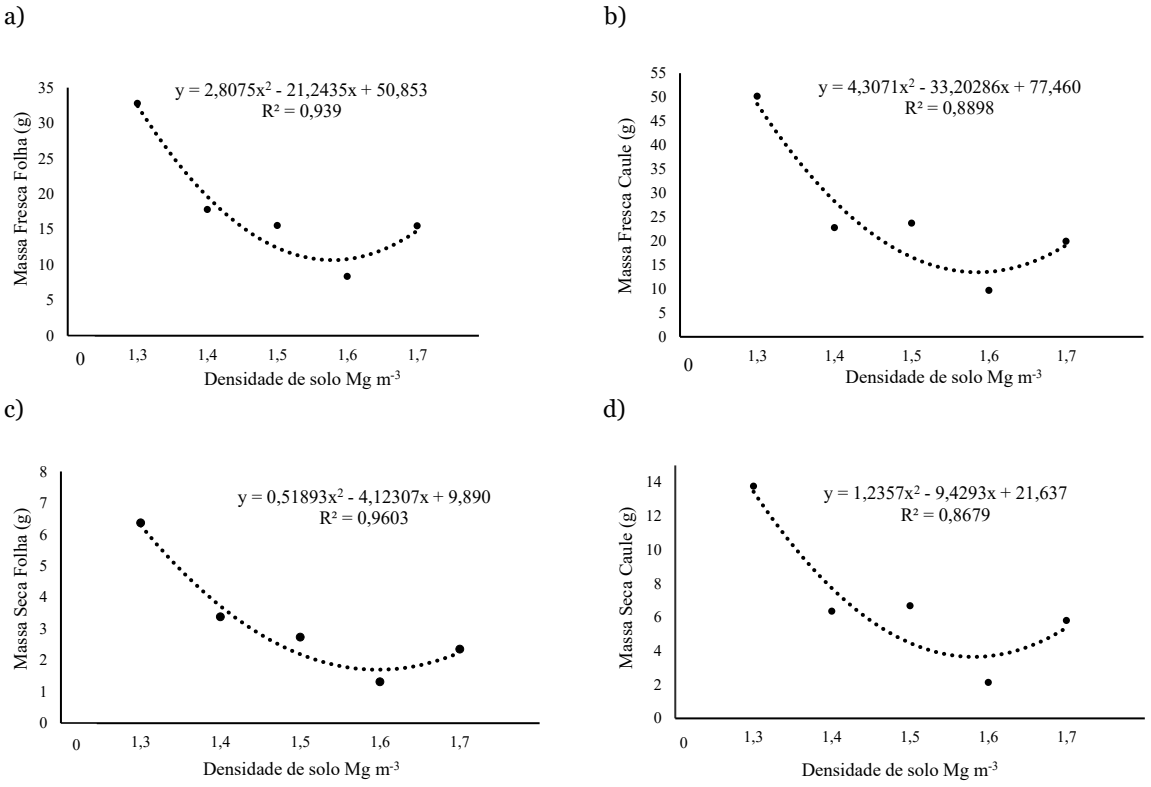
Para o acúmulo de massa seca das folhas (MSF), os resultados revelaram uma resposta significativa, com valores mais elevados nos tratamentos iniciais de compactação do solo. Nos

tratamentos com densidades de compactação mais altas, houve uma diminuição, sendo particularmente menor na densidade de 1,6 Mg m^{-3} em comparação com as demais, registrando um valor de 1,31 gramas. Silva et al. (2011) destacam que, em solos altamente compactados, a disponibilidade de água e nutrientes para o sistema radicular pode ser rapidamente reduzida, limitando sua área de exploração e resultando em menor produção da parte aérea, incluindo as folhas das culturas. No entanto, em solos menos densos, o maior espaço poroso favorece o desenvolvimento radicular e a absorção de água, podendo levar a planta a direcionar mais fotoassimilados para as raízes, o que pode comprometer o crescimento da parte aérea.

A massa seca do caule (MSC) apresentou valores comparáveis aos das outras medidas de massa seca, com um efeito maior observado nos tratamentos iniciais de densidades do solo, especialmente em 1,3, 1,4 e 1,5 Mg m^{-3}, onde foram registrados 13,76, 6,67 e 6,35 gramas, respectivamente. No entanto, nas densidades de solo mais compactadas, os valores diminuíram, atingindo 2,12 e 5,80 gramas para os tratamentos 1,6 e 1,7 Mg m^{-3}, respectivamente (Figura 6).

Figura 5.

Comparação da massa fresca e massa seca da parte aérea da *Crotalaria juncea* L., em resposta as diferentes densidades de compactação do solo: a) massa fresca das folhas; b) massa fresca do caule; c) massa seca das folhas; d) massa seca do caule.



Nota: Autores, (2024).

Área foliar

Os resultados indicaram que houve diferença significativa no resultado final de área foliar (AF) dos tratamentos de densidades de solo. Os quadrados médios das repetições dos tratamentos T1 a T5 foram calculados e analisados para determinar a significância das variações observadas.

A análise estatística evidenciou que a densidade do solo influenciou significativamente a maioria das variáveis avaliadas, incluindo T1, T2, T3 e T5. Essas variáveis apresentaram respostas consistentes ao aumento da compactação, indicando que mudanças nas condições físicas do solo impactaram diretamente o desempenho dessas características.

No entanto, a variável T4 não apresentou significância estatística, que indica que a compactação reduziu a variabilidade no crescimento das plantas, tornando os resultados mais homogêneos. Esse efeito sugere uma limitação uniforme no desenvolvimento radicular e na absorção de recursos (Tabela 4).

Resultados semelhantes foram encontrados por Zobiole et al., (2007), que utilizando a cultura da soja em diferentes densidades de compactação do solo, verificou que a área foliar foi afetada pela interação entre os níveis de compactação do solo. Em seu trabalho, nas densidades de 1,0 e 1,2 g cm^{-3}, os resultados foram notavelmente maiores em comparação com as densidades de 1,4 ou 1,5 g cm^{-3}.

Tabela 4.
Análise de variância da variável área foliar da *Crotalaria juncea* (CJ) em função das densidades 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, e 1,7 Mg m-3 cultivadas em casa de vegetação no Campus Arapiraca.

FONTE DE VARIAÇÃO	G.L.	QUADRADOS MÉDIOS				
		T1	T2	T3	T4	T5
Repetições	3	59,45*	216,20*	160,02*	$0,66^{NS}$	66,67*
Resíduo	24	16,44	5,58	8,35	1,60	3,62
C.V. (%)		23,44	22,34	22,70	19,12	24,20

G.L. – Graus de liberdade, C.V. – Coeficiente de variação, NS – Não significativo, * – Significativo pelo teste F ($p < 0,05$). T – Tratamento, T1 – Tratamento de densidade 1,3 Mg m^{-3}, T2 – Tratamento de densidade 1,4 Mg m^{-3}, T3 – Tratamento de densidade 1,5 Mg m^{-3}, T4 – Tratamento de densidade 1,6 Mg m^{-3}, T5 – Tratamento de densidade 1,7 Mg m^{-3}.

Nota: Autores, (2024).

Conclusões

O crescimento do sistema radicular e da parte aérea da *Crotalaria juncea* L., foi prejudicado pelo aumento da compactação do solo, especialmente evidente a partir de uma densidade do solo de 1,5 Mg m^{-3}.

O aumento da compactação do solo resulta na diminuição do diâmetro do caule, da altura de planta, na redução do número de folhas e na área foliar da *Crotalaria juncea* L.

Tanto a massa fresca quanto a massa seca de parte aérea e radicular foram reduzidas com o aumento dos níveis de compactação, afetando negativamente o crescimento geral da planta, comprometendo sua capacidade de absorver nutrientes e água do solo e, consequentemente, prejudicando seu desempenho e produtividade.

A camada superior compactada dos tratamentos atua como uma barreira que impede o sistema radicular da cultura de penetrar e se desenvolver na parte inferior do solo.

REFERÊNCIAS

Araújo, L. H. B. (2015). *Avaliação da Compactação do Solo no Crescimento Inicial de Espécies Florestais da Caatinga* [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/20743/1/AvaliacaoCompactacaoSolo_Araujo_2015.pdf

Barros, J. C. (2020). *Qualidade física do solo sob diferentes usos* [Dissertação de Mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Rio Verde – GO]. https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_7/2021-08-19-02-11-13Disserta%C3%A7%C3%A30%20-%20Juliana%20Cunha%20Barros.pdf

Bertoncelli, D. J. (2015). *Atividade alelopática de espécies de trevo sobre sementes de milho, milhã e picão preto* [Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco – PR]. http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1128

Bianchini, A. (2017). *Efeito alelopático de plantas de cobertura na inibição de plantas daninhas ocorrentes em soja* [Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos – PR]. http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4342

Bonelli, E. A.; Silva, E. M. B.; Cabral, C. E. A.; Campos, J. J.; Scaramuzza, W. L. P.; Polizel, A. C. (2011). Compactação do solo: Efeitos nas características produtivas e morfológicas dos capins piatã e mombaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, 264-269. https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000300007

Cieslik, L. F. (2014). *Leguminosas de Verão como Cobertura do Solo para Produção de Milho em Sistema de Plantio Direto* [Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal Do Paraná]. http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/871/1/PB_PPGAG_M_Cieslik%2c%20Laur%c3%aas%20Francisco_2014.pdf

Clark, L. J.; Whalley, W. R.; Barraclough, P. B. (2003). How do roots penetrate strong soil. *Plant and Soil,* Dordrecht, 255(1), 93-104. https://repository.rothamsted.ac.uk/item/89097/how-do-roots-penetrate-strong-soil

Dezordi, G. B.; Mendes, K. F.; Macedo, F. G.; Camacho, M. A.; Coletti, A. J.; Gouveia, R. G. L. (2013). Desenvolvimento aéreo e radicular de espécies vegetais em Latossolo Vermelho distroférrico sob compactação induzida. *Revista Scientia Plena*, Aracaju, 9(5), 1-6. https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/827

Embrapa. (2006). Serviço Nacional de Pesquisa do Solo. *Manual de métodos de análises de solo*. Rio

de Janeiro. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330804/1/Manualdemetodosdeanalisedesolo2ed1997.pdf

Fagundes, E. A. A.; Silva, T. J. A. D.; Bonfim Silva, E. M. (2014). Desenvolvimento inicial de variedades de cana-de-açúcar em Latossolo submetidas a níveis de compactação do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,* 18(2), 188-193. https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000200009

Ferraz, L. L.; Silva, A. C.; Rocha, L. V. F.; Oliveira, T. M. S.; Silva, J. O. (2017). Influência da compactação do solo no desenvolvimento do sistema radicular do feijão (Phaseolus vulgaris L.). *Agrarian Academy, Centro Científico Conhecer* - Goiânia, 4(8), 166-174. http://doi.org/10.18677/Agrarian_Academy_2017b17

Guimarães, C. V.; Assis, R. L.; Simon, G. A.; Pires, F. R.; Ferreira, R. L.; Santos, D. C. (2013). Desempenho de cultivares e híbridos de milheto em solo submetido a compactação. *Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental-Agriambi*, 17(11), 1188-1194. https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100009

Hamza, M. A.; Anderson, W.K. *(2015).* Soil compaction in cropping system: A rewieu of the nature, causes and possible solutions, *Soil Tillage Reasearch*. https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.009

Oliveira, L. E. Z. (2014). *Plantas de cobertura: características, benefícios e utilização* [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de Brasília, Brasília – DF]. https://bdm.unb.br/bitstream/10483/10471/1/2014_LuizEduardoZancanarodeOliveira.pdf

Ortiz, J. A. M. (2019). *Propriedades físicas do solo em sistema plantio direto: associação com a produtividade da soja e variações em relação à mata nativa* [Dissertação de Mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages – SC]. https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/1470/Disserta__o_Juan_Alberto_15784898246109_1470.pdf

Pacheco, L. P.; São Miguel, A. S. D. C.; Silva, E.M. B.; Souza, E. D.; Silva, F. D. (2015). Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de Crotalária. *Pesquisa Agropecuária Tropical,* Goiânia, 45(4), 464-472. https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4538107

Rabot, E.; Wiesmeier, M.; Schluter, S.; Vogel, H. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314, 122–137. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009

Santos, D. N.; Silva, T. S. S.; Santos, C. G.; Santos, W. M.; Santos, M. A. L.; Santos, V. R. (2018). Efeito da Compactação do Solo nas Características Morfológicas das Espécies de Fabáceas *Crotalaria juncea* L. e *Crotalaria spectabilis* Roth. *Atena Editora*, Agronomia – Elo da Cadeia produtiva, (1), 266-274. https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/agronomia-elo-da-cadeia-produtiva

Santos, R. F.; Borsoi, A.; Viana, O. H.; Valente, V. C. (2012). Densidades do solo no desenvolvimento de pinhão-manso. *Revista Varia Scientia Agrárias,* Cascavel - PR, 2(2), 21-34. https://e-revista.unioeste.br/index.php/variascientiaagraria/article/view/5011/5042

Santos, T. R.; Leandro, W. M.; Miranda, R. F.; Júnior, E. J. A.; Cardoso, R. M. (2018). Impacto da

densidade do solo sobre o crescimento de variedades de milheto. *Muiti Science Journal*, 1(13), 1-4. https://ifgoiano.emnuvens.com.br/multiscience/article/view/626/479

Silva, E. M. B.; Anicésio, E. C. A.; Silva, F. C. M.; Dourado, L. G. A.; Aguero, N. F. (2011). Compactação do solo na cultura do trigo em Latossolo do Cerrado. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer* - Goiânia, 7(12), 1-8. http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/compactacao.pdf

Silva, G. J.; Maia, J. C. S.; Bianchini, A. (2006). Crescimento da parte aérea de plantas cultivadas em vaso, submetidas à irrigação subsuperficial e a diferentes graus de compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo,* 30(1), 31-40. https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100004

Silva, M. A.; Nascente, A. S.; Frasca, L. L. M.; Resende, C. C.; Ferreira, E. A. S.; Filippi, M. C. C.; Lanna, A. C.; Ferreira, E. P. B.; Lacerda, M. C. (2021). Plantas de cobertura isoladas e em mix para a melhoria da qualidade do solo e das culturas comerciais no Cerrado. *Research, Society and Development*, 10(12), 1-11. http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20008.

Silva, P. L. F. (2021). Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. *Meio Ambiente (Brasil)*, 3(2), 24-33. https://doi.org/10.5281/zenodo.5118287

Silveira, V. F.; Siqueira, J. A. C.; Santos, R. F.; Villa, B.; Tokura, L. K.; Chang, P. (2022). Desenvolvimento de plantas de cártamo sob diferentes níveis de compactação do solo. *Almanaque Multidisciplinar de Pesquisa,* 9(2), 130-142. https://publicacoes.unigranrio.edu.br/amp/article/view/6779/3780

Zobiole, L. H. S.; Oliveira JR, R. S.; Tormena, C. A.; Constantin, J.; Cavalieri, S. D.; Alonso, D. G.; Brighenti, A. M.; Castro, C. (2007). Efeito da compactação do solo e do sulfentrazone sobre a cultura da soja em duas condições de água no solo. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, 25(3), 537-545.