

**Desenvolvimento do girassol em solo compactado com aplicação de substâncias húmicas**

**Sunflower development in compacted soil with application of humic substance**

DOI:10.34117/bjdv6n12-002

Recebimento dos originais: 01/11/2020

Aceitação para publicação: 01 /12/2020

**Franciele Caroline de Assis Valadão**

Formação: Doutora em Agricultura Tropical

Instituição: Professora do Instituto Federal de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis

Endereço: Rodovia MT-235, Km 12, Zona Rural, Campo Novo do Parecis-MT.

E-mail: franciele.valadao@cnp.ifmt.edu.br

**Daniel Dias Valadão Júnior**

Formação: Doutor em Agricultura Tropical

Instituição: Professor do Instituto Federal de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis

Endereço: Rodovia MT-235, Km 12, Zona Rural, Campo Novo do Parecis-MT.

E-mail: daniel.valadao@cnp.ifmt.edu.br

**Mayra Fernanda Martins Santin**

Formação: Engenheira Agrônoma

Instituição: Engenheira Agrônoma-Ex-Aluna do Instituto Federal de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis

Endereço: Rodovia MT-235, Km 12, Zona Rural, Campo Novo do Parecis-MT.

E-mail: mayara nanda\_donkas@hotmail.com

**Alex Scapinelli**

Formação: Engenheiro Agrônomo

Instituição: Ex-Aluno do Instituto Federal de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis

Endereço: Rodovia MT-235, Km 12, Zona Rural, Campo Novo do Parecis-MT.

E-mail: alex.scapinelli@hotmail.com

**Leonardo Durval Duarte Guimarães**

Formação: Doutor em Ciência do Solo

Instituição: Professor do Instituto Federal de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis

Endereço: Rodovia MT-235, Km 12, Zona Rural, Campo Novo do Parecis-MT.

E-mail: leonardo.guimaraes@cnp.ifmt.edu.br

**José Luiz da Silva**

Formação: Doutor em Agricultura Tropical

Instituição: Professor do Instituto Federal de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis

Endereço: Rodovia MT-235, Km 12, Zona Rural, Campo Novo do Parecis-MT.

E-mail: jose.silva@cnp.ifmt.edu.br

**Vinicius Rossi Ribeiro de Paula**

Formação: Engenheiro Agrônomo

Instituição: Ex-Aluno do Instituto Federal de Mato Grosso-Campus Campo Novo do Parecis

Endereço: Rodovia MT-235, Km 12, Zona Rural, Campo Novo do Parecis-MT.

E-mail: [vinicius\\_rrp@hotmail.com](mailto:vinicius_rrp@hotmail.com)**RESUMO**

O girassol é caracterizado por ter sistema radicular profundo, porém sensível à compactação e ao adensamento do solo o que pode provocar inibição do crescimento das raízes e redução do volume do solo explorado. Assim, práticas que amenizem os efeitos causados pelos impedimentos físicos podem ser importantes para manter elevado os índices produtivos da cultura. Diante disso, o objetivo neste trabalho foi avaliar a eficiência do extrato húmico contendo ácidos húmicos e fúlvicos, em minimizar os problemas causados pela compactação dos solos sobre o crescimento radicular e aéreo do girassol. Para isso, foi instalado experimento em vaso com Latossolo Vermelho, em delineamento inteiramente casualizado e esquema fatorial 2 x 5 e quatro repetições, sendo duas densidades de solo (1,0 e 1,6 Mg m<sup>-3</sup>) e cinco doses de extrato húmico composto por 53,37% ácidos húmicos + 46,30% ácidos fúlvicos (0,0; 0,3; 0,6; 1,2 e 1,8 g kg<sup>-1</sup>). A compactação restringe o crescimento aéreo e radicular do girassol, porém na densidade de 1,6 Mg m<sup>-3</sup> as substâncias húmicas na dose de 1,8 g kg<sup>-1</sup> (0,96 g kg<sup>-1</sup> de ácidos húmicos + 0,84 g kg<sup>-1</sup> de ácidos fúlvicos) reduz seus efeitos negativos sobre o crescimento do girassol.

**Palavras-chave:** Ácidos fúlvicos; Ácidos húmicos; Extrato húmico; *Helianthus annuus*; Massa seca de raiz.

**ABSTRACT**

The sunflower is characterized by having a deep root system, but sensitive to soil compaction and densification, which can inhibit root growth and reduce the volume of explored soil. Thus, practices that mitigate the effects caused by physical impediments can be important to keep the productive indexes of the culture high. Therefore, the objective of this work was to evaluate the efficiency of the humic extract containing humic and fulvic acids, in minimizing the problems caused by soil compaction on sunflower root and aerial growth. For this, an experiment was installed in a pot with Latossolo Vermelho, in a completely randomized design and factorial scheme 2 x 5 and four replications, with two soil densities (1.0 and 1.6 Mg m<sup>-3</sup>) and five doses of humic extract. composed of 53.37% humic acids + 46.30% fulvic acids (0.0; 0.3; 0.6; 1.2 and 1.8 g kg<sup>-1</sup>). The compaction restricts the aerial and root growth of the sunflower, however at a density of 1.6 Mg m<sup>-3</sup> humic substances at a dose of 1.8 g kg<sup>-1</sup> (0.96 g kg<sup>-1</sup> of humic acids + 0.84 g kg<sup>-1</sup> of fulvic acids) reduces its negative effects on sunflower growth.

**Keywords:** Fulvic acids; Humic acid; Humic extract; *Helianthus annuus*; Root dry weight.

**1 INTRODUÇÃO**

A cultura do girassol pelas suas possibilidades de uso na indústria, sendo para a produção de óleo comestível ou para biodiesel, ou ainda na alimentação animal e humana, somada as suas características de ampla adaptação edafoclimática, passou a ser uma opção de cultura em de segunda safra na região do Cerrado, fazendo com que a região seja a maior produtora do Brasil.

Entre os fatores que podem alterar a produtividade do girassol tem-se a compactação do solo, provocada pelo manejo físico inadequado. Com a compactação, há alteração na estruturação do solo pela reorganização dos agregados com consequente aumento da densidade e resistência do solo a penetração e redução da macroporosidade e porosidade total (Bergamin et al., 2010). O efeito da compactação pode ser visualizado na planta por redução do crescimento de raízes, diminuindo o volume de solo explorado para absorção de água e nutriente, principalmente nas camadas mais profundas do perfil do solo (Valadão et al., 2015).

Na região a época de semeadura do girassol ocorre a partir de fevereiro, por conta disto, a cultura está mais suscetível à deficiência hídrica em alguns estágios do seu ciclo, principalmente na fase de enchimento de aquênio. Assim, qualquer condição que restrinja o crescimento radicular pode provocar alterações no crescimento aéreo e consequentemente na produtividade da cultura. Portanto, quando ocorre camadas compactadas no perfil do solo, intervenções devem ser feitas para restaurar os atributos físicos sem comprometer a produtividade da cultura. Na prática, o que se observa, é a adoção de revolvimento do solo com grade aradora ou subsoladores para descompactação do solo, porém, quando feito de forma inadequado pode agravar os problemas físicos com aumento dos custos de produção, além de comprometer o sistema de plantio direto. Assim, alternativas de manejo que amenizem o efeito da compactação sem o revolvimento do solo são práticas importantes para sustentabilidade da produção.

Neste sentido, o uso de produtos à base de substâncias húmicas pode influenciar nas propriedades físico-químicas do solo e na fisiologia das plantas, podendo ser alternativa para solos com compactação. As substâncias húmicas são compostas por ácidos húmicos, fúlvicos e humina e podem atuar na fisiologia da planta estimulando o crescimento radicular (principalmente das raízes laterais) e a absorção de nutrientes (Atiyeh et al., 2002; Façanha et al., 2002; Canellas et al., 2002; Braz et al., 2010).

O crescimento ocorre pelas substâncias húmicas aumentar a permeabilidade da membrana plasmática e a ativar a H<sup>+</sup>-ATPase (bombas de H<sup>+</sup>) (Façanha et al., 2002; Canellas et al., 2002; Canellas e Façanhas, 2004). Quando ativadas essas enzimas são capazes de hidrolisar ATP, gerando energia e gradiente eletroquímico para o transporte de íons na membrana plasmática e aumento da plasticidade da parede celular para possibilitar o processo de crescimento e divisão da célula vegetal (Façanha et al., 2002; Canellas et al. 2002; Canellas e Façanhas, 2004).

Os estudos envolvendo substâncias húmicas no desenvolvimento e produtividade das culturas são relativamente recentes, principalmente em relação à cultura do girassol cujo interesse comercial

em larga escala por produtores e pesquisadores tem se configurado a partir da última década. Diante disso, o objetivo neste trabalho foi avaliar a eficiência do extrato húmico contendo ácidos húmicos e fúlvicos, em minimizar os problemas causados pela compactação dos solos sobre o crescimento radicular e aéreo do girassol.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido no Instituto Federal de Mato Grosso em Campo Novo do Parecis-MT. Foi adotado o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 5 e quatro repetições. O primeiro fator foi composto por duas densidades de solo sendo 1,0 Mg m<sup>-3</sup> e 1,6 Mg m<sup>-3</sup> e o segundo fator cinco doses de extrato húmico sendo 0,0; 0,3; 0,6; 1,2 e 1,8 g kg<sup>-1</sup>.

Foi utilizado como fonte das substâncias húmicas um condicionador orgânico comercial líquido, obtido por meio de extração de turfas estabilizadas, cuja caracterização química segundo Instrução Normativa n. 28 de 27/07/2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é: 1,7% de nitrogênio total; 1,53% de potássio total; 0,02% de fósforo total; 3,5% de carbono orgânico; 10,8% de extrato húmico total; pH 7,0. O extrato húmico foi obtido por extração com NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> (relação 1:10) conforme metodologia descrita em Rosa et al. (2009).

O produto final do extrato húmico após extração do produto comercial resultou em 53,37% de ácidos húmicos e 46,30% de ácidos fúlvicos. Dessa forma nas doses de 0,0; 0,3; 0,6; 1,2 e 1,8 g kg<sup>-1</sup> de extrato húmico foi aplicado 0,0; 0,16; 0,32; 0,64 e 0,96 g kg<sup>-1</sup> de ácidos húmicos e 0,0; 0,14; 0,28; 0,56 e 0,84 g kg<sup>-1</sup> de ácidos fúlvicos, respectivamente.

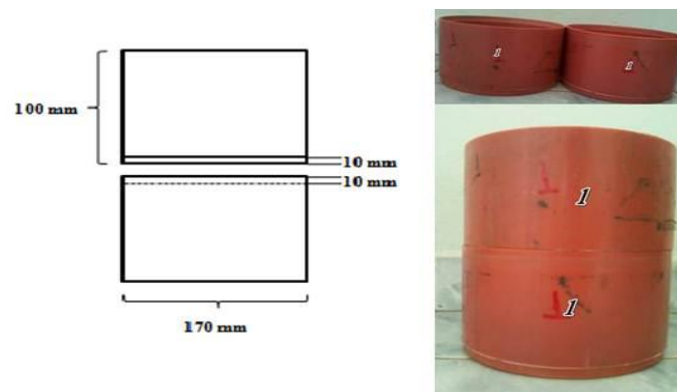
Foi utilizado um solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico (EMBRAPA, 2018) coletado na camada de 0 a 0,20 m de uma área agrícola cultivada com a sucessão de soja e milho em semeadura direta por 11 anos. Nesta área a adubação de base para a cultura da soja consistia anualmente na aplicação no sulco de semeadura de 300 kg ha<sup>-1</sup> do formulado comercial 00-20-20, sendo as sementes inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* sendo que nas safras 2009/2010 e 2010/2011 foram utilizadas as estirpes SEMIA 5079 e 5080 (5 x 10<sup>9</sup> bactérias por mL do produto). No cultivo do milho como adubação de base consistia na aplicação no sulco de semeadura de 200 kg ha<sup>-1</sup> do formulado comercial 04-14-08, sendo feita adubação de cobertura com nitrogênio na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> na forma de ureia (45% de N). Na safra 2009/2010 foi aplicado 2,0 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário aplicado em superfície sem incorporação.

A análise do solo, antes da instalação do experimento, apresentou as seguintes características conforme EMBRAPA (2017): pH (em  $\text{CaCl}_2$ ) = 5,2; Al trocável ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) = 0,0; Ca+Mg ( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ) = 3,2; P- Mehlich 1 ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 4,0; K ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) = 88; Matéria orgânica =  $27,1 \text{ g kg}^{-1}$ ; Saturação V(%) = 47,9; Soma de bases =  $3,4 \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3})$ ; CTC =  $7,2 \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3})$ ; argila =  $588 \text{ g kg}^{-1}$ , silte =  $156 \text{ g kg}^{-1}$  e areia =  $256 \text{ g kg}^{-1}$ .

O solo foi coletado, destorroado, seco ao ar, peneirado em malha com abertura de 2,0 mm e usado na montagem dos vasos. Com base nos resultados da análise de solo foi feita adubação utilizando o formulado comercial 10-30-20 a  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  correspondendo a aplicação de 5, 10 e 15 mg de N, P e K por quilograma de solo, respectivamente.

A unidade experimental foi constituída por um vaso com 0,2 m de altura formado pela sobreposição e encaixe de dois anéis de PVC rígido, com alturas de 0,1 m e diâmetro interno de 0,17 m cada (Figura 1).

Figura 1. Esquema representativo da unidade experimental utilizada.



Todo o volume do anel inferior foi preenchido com massa de solo pré-determinada, para que apresentasse densidade do solo de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ , enquanto os 0,005 m inferiores do anel superior acomodaram as amostras de massas respectivas às densidades do solo de  $1,0$  e  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ . Os 0,005 m superiores do anel superior foram preenchidos com massa de solo pré-determinada, para que apresentasse densidade do solo de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Na simulação da compactação a massa de solo destinada ao anel superior foi parcialmente adicionada a este e através de uma prensa adaptada com êmbolo de aço, foi compactada ocupando a metade inferior deste anel, obtendo-se a densidade do solo de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ . Para eliminar o espelhamento provocado pela prensa, foi escarificado levemente a superfície das amostras. Após isso o anel foi preenchido com solo de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ . Os vasos foram montados, sobrepondo a parte superior a inferior. Para evitar o crescimento de raízes na região da interface solo/vaso, foi revestido nas paredes internas

dos anéis (superior e inferior) com uma camada de 0,002 m de espessura de caulim umedecido com água e aplicado com pincel.

A semeadura foi feita manualmente, utilizando em média 8 sementes por vaso da cultivar Charrua, variedade precoce, com ciclo em torno de 105 dias, à uma profundidade de 0,01 a 0,02 m. As substâncias húmicas foram aplicadas no momento da semeadura do girassol, realizada em superfície e incorporada até 0,005 m de profundidade.

Aos 14 dias após a semeadura (DAS) foi realizado o raleio das plântulas, deixando apenas uma plântula por vaso. Até os 18 DAS a irrigação dos vasos foi feita de modo a manter a saturação do solo em 100%, a partir deste período as irrigações foram regulares, com aplicações de 0,180 L de água por vaso dia<sup>-1</sup> mantendo a saturação do solo em 60%.

Quando a cultura atingiu o estágio de florescimento (50 DAS) foram avaliadas as seguintes características: diâmetro da haste (DH-mm) medido com paquímetro digital com aproximação de 0,01 mm a 50 mm da base do solo; altura de planta (H-cm) medida com uma régua da base do solo até o meristema apical da parte aérea; número de folhas obtido por contagem de todas as folhas fixas na haste da planta (NF). Na sequência, as plantas foram cortadas rente ao solo e os vasos imersos em recipiente contendo água retirando-se todo solo aderido nas raízes, a parte aérea e raízes foram lavadas com detergente neutro e enxaguadas com água destilada e secas em estufa de ventilação forçada regulada a 65 °C até atingir massa constante obtendo-se massa seca da folha (MSF-g planta<sup>-1</sup>), massa seca do caule (MSC-g planta<sup>-1</sup>), massa seca da raiz (MSR-g planta<sup>-1</sup>), massa seca total (MST-g planta<sup>-1</sup>); relação entre altura e massa seca da parte aérea (H/MSPA); e relação entre massa seca da parte aérea e massa seca de raiz (MSPA/MSR).

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ) respeitando os fatores e as interações. Quando significativo foi aplicado análise de regressão para o fator dose e teste Tukey ( $p < 0,05$ ) para o fator densidade. Na regressão, foi escolhido o modelo com base na significância dos parâmetros ( $p < 0,05$ ), distribuição normal dos resíduos ( $p > 0,10$ ) e coeficiente de determinação, respectivamente.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O efeito isolado da densidade do solo foi observado para número de folhas, massa seca de folhas, massa seca de caule e relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (Tabela 1). O extrato húmico influenciou isoladamente a massa seca do caule (Tabela 1). Foi observado efeito significativo da interação entre densidade do solo e doses de extrato húmico para altura de plantas, diâmetro da haste, massa seca da raiz, massa seca total e relação entre altura e massa seca da parte aérea (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de F da análise de variância para as variáveis analisadas no girassol em função da densidade do solo e doses de extrato húmico (53.37% ácidos húmicos + 46.30% ácidos fúlvicos)

| FV    | H                  | DH       | NF                 | MSF                | MSC                | MSR      | MST      | MSPA/MSR           | H/MSPA   |
|-------|--------------------|----------|--------------------|--------------------|--------------------|----------|----------|--------------------|----------|
| D     | 75.05**            | 357.34** | 11.57**            | 219.6**            | 204.53**           | 132.66** | 402.93** | 30.92**            | 371.84** |
| EH    | 2.14 <sup>ns</sup> | 7.35**   | 1.26 <sup>ns</sup> | 0.73 <sup>ns</sup> | 3.63*              | 3.09*    | 5.06*    | 1.79 <sup>ns</sup> | 4.75**   |
| D*EH  | 3.30*              | 3.56*    | 1.38 <sup>ns</sup> | 1.59 <sup>ns</sup> | 1.94 <sup>ns</sup> | 3.03*    | 3.73*    | 0.84 <sup>ns</sup> | 3.69*    |
| CV(%) | 9.05               | 4.55     | 30.91              | 17.40              | 18.98              | 28.66    | 14.32    | 15.76              | 10.44    |

FV: fonte de variação; D: Densidade; EH: Extrato húmico; D\*EH: Interação entre densidade e extrato húmico; CV(%): coeficiente de variação; H: altura de planta; DH: diâmetro da haste; NF: número de folhas; MSF: massa seca da folha; MSC: massa seca do caule; MSR: massa seca da raiz; MST: massa seca total; MSPA/MSR: relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz; H/MSPA: relação entre altura e massa seca da parte aérea. \*valores significativos a P<0.05; \*\*valores significativos a P<0.01; <sup>ns</sup>valores não significativos.

Na Tabela 2 é possível observar que a compactação, independente da aplicação das substâncias húmicas, reduziu 31,37 % o número de folhas, 62,74% a massa seca de folhas e 64,82% a massa seca do caule e aumentou em 63,07% a relação entre massa seca da parte aérea e massa seca de raiz evidenciando nítida redução do crescimento aéreo e radicular do girassol em condições de restrições físicas do solo. Ressalta-se que pelos resultados para a relação massa seca da parte aérea e massa seca de raiz os efeitos foram maiores no sistema radicular da cultura.

Tabela 2. Número de folhas (NF), massa seca de folha (MSF), massa seca de caule (MSC) e relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz (MSPA/MSR) do girassol em função da densidade do solo

| Densidade (g cm <sup>-3</sup> )* | NF      | MSF (g planta <sup>-1</sup> ) | MSC (g planta <sup>-1</sup> ) | MSPA/MSR |
|----------------------------------|---------|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.0                              | 20.94 a | 3.06 a                        | 7.96 a                        | 3.06 b   |
| 1.6                              | 14.37 b | 1.14 b                        | 2.8 b                         | 4.99 a   |
| DMS                              | 3.98    | 0.27                          | 0.74                          | 1.86     |

\*Médias seguidas por mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a P<0.05

A compactação altera o volume de poros e aumenta a resistência do solo à penetração (Bergamin et al., 2010; Valadão et al., 2015), assim, tende a restringir a absorção de nutrientes (Medeiros et al., 2005; Cabral et al. 2012) com conseqüente redução do crescimento aéreo e radicular. Segundo Guimarães et al. (2013) a compactação impede o desenvolvimento de raízes novas, que é onde ocorre a maior taxa de absorção de água e nutrientes, o que resulta, portanto, em menor taxa de crescimento de plantas.

Ao avaliarem características morfológicas do feijão guandu cultivado em solo compactado, Farias et al. (2013), observaram que houve redução do crescimento e acúmulo de massa seca das plantas com o aumento dos níveis de compactação do solo. Em condições de estresse proporcionado pela



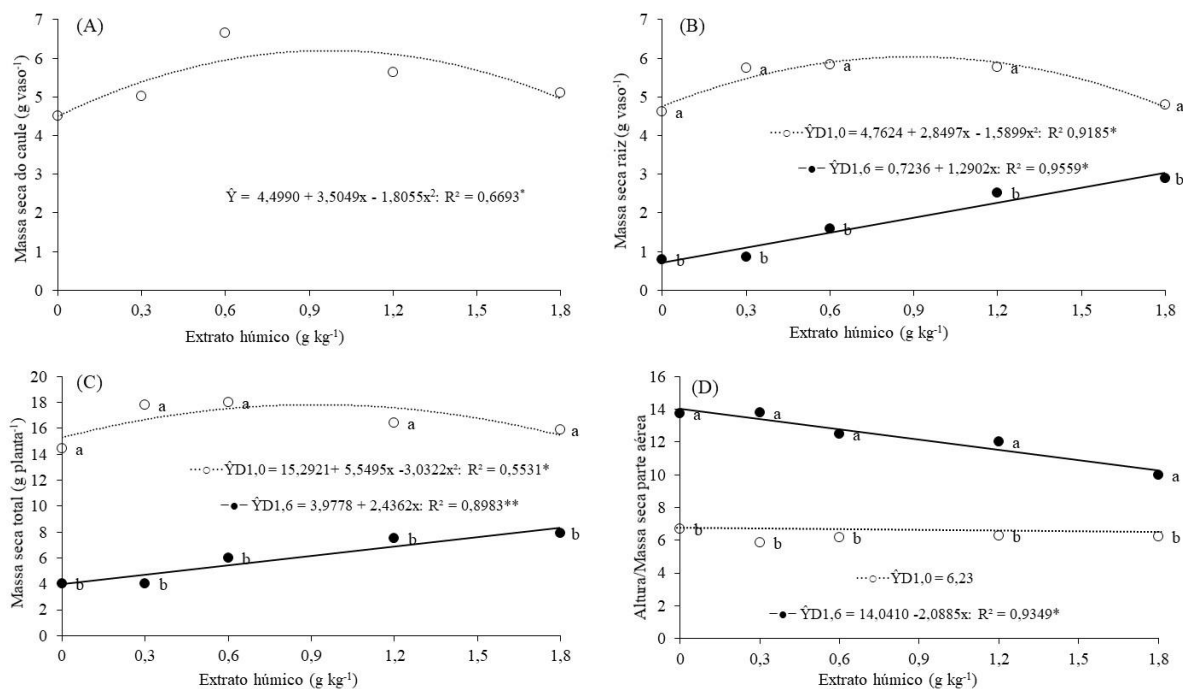
restrição física do solo, as raízes enviam sinais à parte aérea informando que seu desenvolvimento está passando por restrições; assim, a produção de fotoassimilados é direcionada para o sistema radicular reduzindo a taxa de crescimento e, conseqüentemente, a produção (Rosolem et al., 2002).

Ao analisar a massa seca do caule (Figura 2A), observa-se que independente da densidade do solo, as substâncias húmicas proporcionaram aumento quadrático nesta variável, sendo a dose de 1,03 g kg<sup>-1</sup> aquela que proporcionou maior massa de caule, correspondendo a aplicação de 0,55 g kg<sup>-1</sup> de ácidos húmicos + 0,48 g kg<sup>-1</sup> de ácidos fúlvicos. A maior massa de caule aliado ao maior diâmetro são características que podem contribuir para maior sustentação da planta e capacidade de suporte do capítulo reduzindo o acamamento durante o estágio de produção o que facilita o manejo, tratos culturais e colheita (Biscaro et al., 2008).

No desdobramento da interação entre densidade e doses de extrato húmico para massa seca da raiz (Figura 2B) e massa seca total (Figura 2C) observa-se contribuição das substâncias húmicas de forma quadrática e linear na densidade de 1,0 e 1,6 Mg m<sup>-3</sup>, respectivamente, para ambas variáveis. Na densidade 1,0 Mg m<sup>-3</sup>, as doses que proporcionaram o máximo acúmulo de massa seca de raiz e massa seca total foram 1,12 e 1,09 g kg<sup>-1</sup> de extrato húmico, respectivamente, correspondendo a 0,60 g kg<sup>-1</sup> de ácidos húmicos + 0,52 g kg<sup>-1</sup> de ácidos fúlvicos para massa seca de raiz e 0,58 g kg<sup>-1</sup> de ácidos húmicos + 0,51 g kg<sup>-1</sup> de ácidos fúlvicos para massa seca total. Na densidade de 1,6 Mg m<sup>-3</sup>, como a resposta foi linear positiva, infere-se que a dose de 1,8 g kg<sup>-1</sup> de extrato húmico (0,96 g kg<sup>-1</sup> de ácidos húmicos + 0,84 g kg<sup>-1</sup> de ácidos fúlvicos) foi a que proporcionou maior acúmulo de massa seca de raízes e massa seca total pelas plantas de girassol.



Figura 2. Massa seca do caule (A), Massa seca da raiz (B), Massa seca total (C) e relação Altura/Massa seca da parte aérea do girassol (D) em função da densidade do solo e doses de extrato húmico (53.37% ácidos húmicos + 46.30% ácidos fúlvicos). \*\* e \*: equações significativas pelo teste F a  $P < 0.01$  e  $0.05$ , respectivamente. As letras minúsculas compararam as densidades em cada dose de extrato húmico e quando iguais não diferem entre si pelo teste Tukey a  $P < 0.05$ .  $DMS_{massarraiz} = 1.44 \text{ g planta}^{-1}$ ;  $DMS_{massatotal} = 2.28 \text{ g planta}^{-1}$ ;  $DM_{altura/massa \text{ seca parte aérea}} = 1.47$ .



Rosa et al. (2009) verificaram aumento em até 30% na produção de massa da parte aérea de feijão na adição de substâncias húmicas, e observaram que a massa seca da raiz aumentou linearmente até a maior dose de substâncias húmicas testada, sendo 41% maior que no tratamento sem substâncias húmicas. Esses resultados podem estar relacionados com a bioatividade das substâncias húmicas, que podem ter efeito auxínico sobre as plantas e com a ativação da  $H^+$ -ATPase de membrana plasmática. A ativação da  $H^+$ -ATPase promove aumento do gradiente eletroquímico de  $H^+$ , provocando a acidificação do apoplasto que leva ao rompimento de ligações da parede celular, promovendo sua elasticidade, o que favorece o crescimento celular (Façanha et al., 2002; Canellas et al., 2002; Canellas e Façanhas, 2004).

A compactação reduziu a massa seca das raízes e massa seca total do girassol em todas as doses de extrato húmico (Figura 2B e 2C), porém, quando não se utilizou as substâncias húmicas a densidade de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  reduziu 82,65% a massa seca de raízes e 72,26% a massa seca total de girassol. Na maior dose de extrato húmico,  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ , a redução na massa seca de raízes foi de 39,46% e na massa seca total foi de 49,82%, evidenciando que essas substâncias amenizaram o efeito da compactação sobre o acúmulo de massa seca das plantas de girassol.

A compactação provoca ambiente anaeróbico no solo (Bergamin et al., 2010; Valadão et al., 2015) o que pode resultar na redução da elongação das raízes com impacto na massa seca (Iijima e

Kato, 2007). Por outro lado, as substâncias húmicas por atuar no processo de divisão celular podem atuar no transporte celular de nutrientes e como promotoras do crescimento radicular (Façanha et al., 2002).

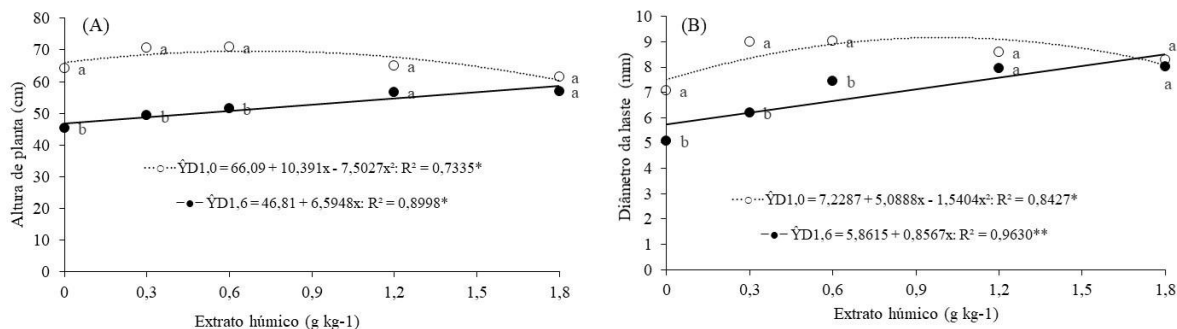
Para relação entre altura e massa seca da parte aérea do girassol (Figura 2D) verifica-se que não houve efeito das substâncias húmicas quando o solo não estava compactado, porém na densidade de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ , observou-se que com o aumento das doses houve redução nos valores desta relação, ou seja, houve maior incremento de massa do que na altura de plantas.

Ao desdobrar a interação entre densidade do solo e doses do extrato húmico para altura de plantas (Figura 3A) e diâmetro da haste (Figura 3B), verifica-se para ambas variáveis que as substâncias húmicas contribuíram diretamente no crescimento das plantas de girassol independente da densidade, porém, houve efeito quadrático das doses na densidade  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$  e linear na densidade  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ , resposta semelhante àquela observada para massa seca de raiz e massa seca total. O maior diâmetro do caule deve ter contribuído para o maior acúmulo de massa do caule observado no solo não compactado (Tabela 2) e com o aumento das doses de extrato húmico (Figura 2A).

Utilizando os modelos estatísticos, na menor densidade a dose estimada que proporcionou maior altura e diâmetro da haste foi  $1,44$  e  $1,00 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente, que correspondeu a aplicação de  $0,75 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos húmicos +  $0,65 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos fúlvicos para proporcionar a maior altura de girassol e  $0,53 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos húmicos +  $0,46 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos fúlvicos para maior diâmetro da haste. Como o modelo foi linear na maior densidade, a dose estimada que proporcionou maior altura e diâmetro da haste foi a de  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$  de extrato húmico, correspondendo a aplicação de  $0,96 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos húmicos +  $0,84 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos fúlvicos para ambas variáveis.

Verifica-se ainda que a compactação reduziu o crescimento das plantas de girassol, porém, a aplicação das substâncias húmicas reduziu a diferença entre as duas densidades do solo, evidenciando novamente que essas substâncias foram capazes de amenizar o efeito da compactação sobre o crescimento aéreo das plantas (Figura 3). A partir de  $0,6 \text{ g kg}^{-1}$  de extrato húmico ( $0,32 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos húmicos +  $0,28 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos fúlvicos) não houve diferença na altura e diâmetro da haste quando comparada a densidade de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$  com a densidade de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ .

Figura 3. Altura de planta (A) e Diâmetro da haste (B) do girassol em função da densidade do solo e doses de extrato húmico (53.37% ácidos húmicos + 46.30% ácidos fúlvicos). \*equações significativas pelo teste F a  $P < 0.05$ . As letras minúsculas comparam as densidades em cada dose de extrato húmico e quando iguais não diferem entre si pelo teste Tukey  $P < 0.05$ .  $DMS_{\text{altura}} = 7.77 \text{ cm}$ ;  $DMS_{\text{diâmetro}} = 0.49 \text{ mm}$ .



De forma geral, as plantas de girassol foram sensíveis a compactação do solo e a densidade de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  restringiu o seu crescimento aéreo e radicular, bem como evidenciado por Santos et al. (2008) que ao avaliarem a competição entre soja resistente ao glyphosate e plantas daninhas em solo compactado, também verificaram redução nos parâmetros vegetativos da soja ao utilizarem a densidade de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ , quando comparado com a densidade de  $1,0 \text{ Mg m}^{-3}$ . Esta informação torna-se importante ao analisar a época de cultivo do girassol, pois trata-se de espécie especialmente cultivada a partir de fevereiro, no período com menor volume de chuva na região, estando suscetível a deficiência hídrica durante a época de enchimento de aquênios. Por outro lado, as substâncias húmicas agiram como condicionadoras da fertilidade física do solo sendo promotoras de plantas mais vigorosas. De acordo com Rosa et al. (2009) substâncias húmicas alteram diretamente o metabolismo bioquímico das plantas e, por consequência, podem influir no seu crescimento e desenvolvimento. Esses resultados estão de acordo com Silva et al. (2000) que verificaram o efeito benéfico das substâncias húmicas no crescimento de azevém, corroborando outros resultados que evidenciam os resultados positivos dessas substâncias sobre o crescimento de plantas (Atiyeh et al., 2002; Façanha et al., 2002; Canellas et al., 2002; Braz et al., 2010).

#### 4 CONCLUSÕES

A compactação restringe o crescimento aéreo e radicular do girassol, porém na densidade de  $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$  as substâncias húmicas na dose de  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$  ( $0,96 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos húmicos +  $0,84 \text{ g kg}^{-1}$  de ácidos fúlvicos) reduz seus efeitos negativos sobre o crescimento do girassol.

**AGRADECIMENTOS**

À FAPEMAT pelo financiamento da pesquisa.

**REFERÊNCIAS**

- ATIYEH, R.M.; LEE, S.; EDWARDS, C.A.; ARANCON, N.Q.; METZGER, J.D. (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresour. Technol.* 84(1): 7-14.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J.C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. (2010) Compactação de um Latossolo Vermelho Distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. *R. Bras. Ci. Solo* 34(4): 681-691.
- BISCARO, G.A.; MACHADO, J.R.; TOSTA, M.S.; MENDONÇA, V.; SORATTO, R.P.; CARVALHO, L.A. (2008). Adubação nitrogenada em cobertura no girassol irrigado nas condições de Cassilândia – MS. *Ci. Agrotec.* 32(5): 1366-1373.
- BRAZ, T.G.S.; CANELLAS, L.P.; MEDICI, L.O.M. (2010). Bioatividade de ácidos húmicos em *Arabidopsis thaliana*. *Encic. Biosfera* 6(11): 1-9.
- CABRAL, C.E.A.; BONFIM-SILVA, E.M.; BONELLI, E.A.; SILVA, T.J.A.; CABRAL, C.H.A.; SCARAMUZZA, W.L.M.P. (2012). Compactação do solo e macronutrientes primários na *Brachiaria brizantha* cv. piatã e *Panicum maximum* cv. mombaça. *R. Bras. Eng. Agrí. Amb.* 16(2): 362-367.
- CANELLAS, L.P.; FAÇANHA, A.R. (2004). Relationship between natures of soil humified fractions and their bioactivity. *Pesq. Agropec. Bras.* 39(2): 233-240.
- CANELLAS, L.P.; OLIVARES, F.L.; OKOROKOVA-FAÇANHA, A.L.; FAÇANHA, A.R. (2002). Humic Acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma membrane H-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology* 130: 1951–1957.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos. 356p. Rio de Janeiro, Brasil: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. (2017). Manual de Métodos de Análise de Solo. 676p. Brasília, Brasil: Embrapa Informação Tecnológica.
- FAÇANHA, A.R.; OKOROKOVA, A.L.; OLIVARES, F.L.; GURIDI, F.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M.A.; e CANELLAS, L.P. (2002). Bioatividade de ácidos húmicos: efeitos sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. *Pesq. Agropec. Bras.* 37(9): 1301-1310.
- FARIAS, L.N.; SILVA, E.M.B.; SOUZA, W.P.; VILARINHO, M.K.C.; SILVA, T.J.A. (2013). Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. *R. Bras. Eng. Agrí. Amb.* 17(5): 497-503.
- GUIMARAES, C.V.; ASSIS, R.L.; SIMON, G.A.; PIRES, F.R.; FERREIRA, R.L.; SANTOS, D.C. (2013). Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação. *R. Bras. Eng. Agrí. Amb.* 17(11): 1188-1194.

IIJIMA, M.; KATO, J. (2007). Combined soil physical stress of soil drying, anaerobiosis and mechanical impedance to seedling root growth of four crop species. *Plant Produc. Sci.* 10(4): 451-459.

MEDEIROS, R.D.; SOARES, A.A.; GUIMARÃES, R.M. (2005). Compactação do solo e manejo da água. I: efeito sobre a absorção de N, P, K, massa seca de raízes e parte aérea de plantas de arroz. *Ci. Agrotéc.* 29(5): 40-97.

ROSA, C.M.; CASTILHOS, R.M.V.; VAHL, L.C.; CASTILHOS, D.D.; SPINELLI, L.F.; OLIVEIRA, E.S.; LEAL, O.A. (2009). Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L.. *R. Bras. Ci. Solo.* 33(4): 959-967.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; TIRITAN, C.S. (2002). Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. *Soil Till. Res.* 65(1): 109-115.

SANTOS, J.B.; LÁZARI, T.M.; CAMELO, G.N.; OLIVEIRA, T.A.; FIGUEIREDO, J.L.A. (2008). Competição entre soja resistente ao glyphosate e plantas Daninhas em solo compactado. *Planta Daninha* 26(1): 123-130.

SILVA, R.M.; JABLONSKI, A.; SIEWERDT, L.; SILVEIRA JÚNIOR, P. (2000). Desenvolvimento das raízes de azevém cultivado em solução nutritiva completa, adicionada de substâncias húmicas, sob condições de casa de vegetação. *R. Bras. Zootec.*, 29(1):101-110.

VALADÃO, F.C.A.; WEBER, O.L.S.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; SCAPINELLI, A.; DEINA, F.R.; BIANCHINI, A. (2015). Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. *R. Bras. Ci. Solo* 39(1): 243-255.