

EFEITO DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO AÉREO E RADICULAR DO PINHÃO MANSO (*Jatropha curcas* L.) E CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst)

Samuel de Deus da Silva^{1*}, José Milton Alves², Glauca Machado Mesquita¹, Wilson Mozena Leandro¹

RESUMO: O pinhão manso e o crambe são espécies com potencial de uso como matéria-prima na produção de biodiesel. A compactação ou aumento da densidade do solo pode limitar o crescimento e desenvolvimento da parte aérea e das raízes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento aéreo e radicular de duas espécies oleaginosas o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e crambe (*Crambe abyssinica*) submetidas a cinco níveis de compactação. O experimento foi instalado em cultivo protegido, em Latossolo Vermelho escuro de textura média. As colunas de PVC sobrepostos com três divisões (inferior, compactada e superior), onde apenas o solo da parte central foi compactado. Os níveis de compactação dos cilindros seguiram as seguintes densidades de 1,14, 1,25, 1,37, 1,47 e 1,58 Mg m⁻³. Aos 50 dias após a emergência das plantas, foram determinadas: a altura, massa seca da parte aérea, diâmetro do caule e peso seco de raiz nas três partes individualizadas do cilindro. O aumento da densidade do solo não afetou negativamente o crescimento e o desenvolvimento da parte aérea e radicular do pinhão manso. Entretanto, o crambe foi sensível à compactação em relação ao diâmetro do caule e massa seca de raiz na camada compactada e inferior do cilindro.

Palavras-chave: Sistema radicular, oleaginosa, densidade do solo.

EFFECT OF SOIL COMPACTION IN THE AIR AND ROOT DEVELOPMENT OF JATROPHA (*Jatropha curcas* L.) AND CRAMBE (*Crambe abyssinica* Hochst)

ABSTRACT: The *Jatropha curcas* and crambe are species with potential for using as raw material in biodiesel production. The compaction or increased density of the soil may limit the growth and development of shoot and roots. The objective of this study was to evaluate shoot and root development of two oilseed species *Jatropha* (*Jatropha curcas* L.) and crambe (*Crambe abyssinica*) subjected to five levels of compression. The experiment was conducted in greenhouse in Oxisol of medium texture. The columns of PVC overlaid with three divisions (lower and upper compressed), where only the central part of the soil was compacted. Levels of compression of the cylinders followed the following densities of 1.14, 1.25, 1.37, 1.47 and 1.58 Mg m⁻³. At 50 days after plant emergence, were determined: the height, shoot dry bulk, stem diameter and root dry bulk in the three individual parts of the cylinder. The increase in soil bulk density did not affect negatively the growth and development of root and shoot of *Jatropha curcas*. However, crambe was sensitive to soil compaction in relation to the diameter of the shoot and root dry bulk in the compacted layer and bottom of the cylinder.

Keywords: Root system, oilseed, soil density.

¹ Universidade Federal de Goiás – UFG – Câmpus Samambaia (Câmpus II), Cp. 131, Goiânia (GO). CEP: 74001-970. *E-mail: agrosamuel@gmail.com. Autor para correspondência.

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – IFGoiano – Câmpus Rio Verde. Rod. Sul Goiana, km 01, Cp. 66, Zona Rural, Rio Verde (GO). CEP: 75901-970.

Recebido em: 03/07/2011. Aprovado em: 08/08/2012.

INTRODUÇÃO

A matriz energética atual está passando por mudanças, onde, os países estão buscando formas para substituição do petróleo, e cada vez mais reduzir a dependência deste recurso natural não renovável, que contribui grandemente para emissão de poluentes no planeta ao longo dos anos. Essas formas ou estratégias de substituição são denominadas mecanismos de desenvolvimento limpo (MDL), onde, busca-se o desenvolvimento sustentável. Além do benefício ambiental, há ainda a possibilidade da valorização dos produtos relacionados à agroenergia, os créditos de carbono, conseguidos através do MDL, previsto no Protocolo de Quioto (KRAXNER et al., 2003).

O biodiesel puro é utilizado em outros países como, por exemplo, na Alemanha, entretanto, no caso do Brasil, está sendo introduzido no mercado de forma gradativa ao diesel comum. A queima desse combustível (biodiesel) promove menor emissão de gases de efeito estufa, quando comparado com a queima de combustíveis fósseis.

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e o crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) são plantas oleaginosas com grande potencial de uso na produção de biodiesel entre outras destinações na indústria. Alguns dos derivados do óleo extraído do crambe são utilizados na indústria química como inibidores de corrosão, lubrificantes, aditivos para a borracha, plásticos, nylon, base para tintas e revestimentos, líquidos hidráulicos sujeitos a altas temperaturas, indústria farmacêutica, de cosméticos e ceras (RURAL SEMENTES, 2012). Do pinhão manso basicamente se extrai o óleo (biocombustível). Seus grãos e derivados apresentam substâncias tóxicas, o que inviabiliza o uso da torta na alimentação animal (EMBRAPA, 2012). Contudo, precisam ser mais estudadas para buscar o pleno desenvolvimento e maximizar a produtividade. Um dos fatores que interferem

no desenvolvimento das culturas é o crescimento radicular, que pode ser influenciado por diversos fatores podendo ser divididos em fatores químicos, como nutrientes e elementos tóxicos, e fatores físicos, como resistência mecânica à penetração, disponibilidade hídrica e aeração (ROSOLEM, 1995).

Um dos fatores físicos que pode influenciar o desenvolvimento das plantas é a compactação do solo, que é um processo pelo qual as partículas do solo e agregados são rearranjadas, tendo estes últimos suas formas e tamanho alterados. Esse rearranjo resulta no decréscimo do espaço poroso e aumento da densidade do solo (HANZA & ANDERSON, 2005).

A compactação é causada pela ação do homem ao manejar o solo utilizando máquinas e implementos de maneira inadequada. Para avaliar a compactação do solo, sua densidade (D_s) tem sido um atributo indicado e muito utilizado, por ser uma medida quantitativa com razoável sensibilidade e de fácil determinação (CAMARGO & ALLEONI, 1997). A tolerância das plantas à compactação, em relação ao valor crítico à produção, diverge entre culturas (CINTRA & MIELNICZUK, 1983; MIELNICZUK et al., 1985; STIRZAKER et al., 1996; ROSOLEM et al., 2002; BEUTLER et al., 2004).

Estudos foram realizados avaliando o crescimento e desenvolvimento aéreo e radicular do pinhão manso. De acordo com Vale et al. (2006); Abreu et al. (2006) e Castro et al. (2011), verificaram que a espécie é sensível a compactação do solo (maior densidade). Todavia, em relação à cultura do crambe, há necessidade de informações sobre o comportamento dessa espécie frente à compactação. Para outras espécies, no geral, há efeito negativo significativo no crescimento e desenvolvimento aéreo e radicular das plantas (estudo com soja ROSOLEM et al., 1994a; milho ROSOLEM et al., 2002; ainda com milho FOLONI et al., 2003; nabo forrageiro REINERT et al. (2008) e soja e eucalipto RIBEIRO et al., 2010).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento aéreo e radicular de duas espécies oleaginosas o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e crambe (*Crambe abyssinica*) submetidas a cinco níveis de compactação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Universidade Federal de Goiás, UFG, em Goiânia, GO. Foram utilizadas amostras deformadas de solo coletado a profundidade de 0-20 cm, sendo peneirado e seco ao ar. Foi classificado como Latossolo Vermelho de textura média (EMBRAPA, 2006). As frações granulométricas do solo equivaleram a: 460 g kg⁻¹ argila, 190 g kg⁻¹ de silte e 350 g kg⁻¹ de areia (EMBRAPA, 1997). A análise química segundo metodologia da Embrapa (1997), indicou os seguintes valores: 11 g kg⁻¹ de MO; pH (CaCl₂) = 4,5; 1,4 mg dm⁻³ de P_{melich}; 45 mg dm⁻³ de K; 11,9 mg dm⁻³ de S; 1,3 cmol_c dm⁻³ de Ca; 0,3 cmol_c dm⁻³ de Mg; 0,1 cmol_c dm⁻³; 3,5 cmol_c dm⁻³ de H+Al; 5,2 cmol_c dm⁻³ de CTC; 5,5% de saturação por alumínio (M); 32,90% de saturação por bases (V%); 0,5 mg dm⁻³ de Cu; 30,30 mg dm⁻³ Fe; 9,8 mg dm⁻³ de Mn e 1,4 mg dm⁻³ de Zn.

De acordo com análise de solo, realizou-se adubação mineral nas proporções

de 80 kg ha⁻¹; 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅; 40 kg ha⁻¹ de K₂O; 44,4 kg de FTE BR12 fornecendo 4,0 kg ha⁻¹ de Zn; 0,8 kg ha⁻¹ de B; 0,35 kg ha⁻¹ de Cu; 1,33 kg ha⁻¹ de Fe; 0,88 kg ha⁻¹ de Mn e 0,04 kg ha⁻¹ de Mo. As fontes utilizadas de N, P e K foram: ureia (45% N), superfosfato simples (20% P₂O₅) e cloreto de potássio (60% K₂O) respectivamente. Também foi feita a correção da acidez do solo e elevação da saturação por bases a 70% com aplicação de calcário dolomítico (PRNT = 80%). O solo foi colocado sobre uma lona plástica, e posteriormente os adubos e o calcário foram distribuídos de forma uniforme sobre o solo sendo homogeneizados manualmente. O solo mais os fertilizantes não passaram por período de incubação, foram colocados nos cilindros após a mistura.

As colunas de PVC com três anéis sobrepostos (superior, central e inferior) (Figura 1). Apresentavam diâmetro interno de 9,7 cm e altura de 20 cm no anel superior e inferior e o intermediário cerca de 10 cm. A densidade foi corrigida para os anéis com variação de altura. Apenas o solo do anel central foi compactado, e em seguida os 3 anéis foram unidos com fita adesiva plástica, que evita a perda de água e saída das raízes entre as junções. Na coleta do experimento não foi verificada a passagem de raízes rentes à parede do tubo entre as camadas.

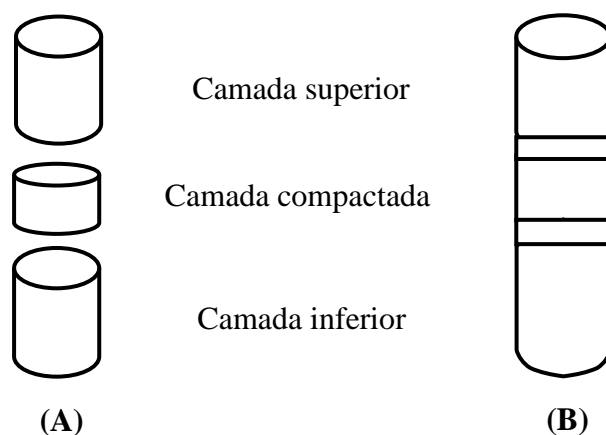


Figura 1 - Unidade experimental, subdivisões da coluna de PVC, camada superior, camada compactada e camada inferior (A) e os três cilindros unidos por fita adesiva (B).

Na montagem das colunas, o solo foi colocado nos cilindros prensado utilizando um penetrômetro sobre uma superfície de madeira circular por meio de golpes do embolo de metal, sendo prensada a massa de solo referente às diferentes densidades. Considerou-se a relação massa por volume para atingir os níveis finais de densidade. Os cinco níveis de compactação do solo testados foram de: 1,14; 1,25; 1,36; 1,47 e 1,59 Mg m⁻³. As densidades foram baseadas segundo Reinert et al. (2008) avaliando o crescimento radicular do nabo forrageiro consorciado com crotalária, mucuna, guandu, feijão-porco e em pousio. Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais: 1,30 a 1,40 Mg m⁻³ para solos argilosos, 1,40 a 1,50 Mg m⁻³ para os franco-argilosos e de 1,70 a 1,80 Mg m⁻³ para os franco-arenosos.

Cada tratamento constituiu-se de quatro repetições e duas espécies vegetais totalizando 40 unidades experimentais. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os experimentos foram analisados de forma individualizada por se tratar de espécies diferentes.

A irrigação foi realizada duas vezes ao dia, sendo aplicada a mesma quantidade de água em todas as colunas. Na rega foi considerado 80% da capacidade de campo do solo. A distribuição da água foi realizada de forma manual com proveta graduada e balde.

Foram cultivadas duas espécies vegetais, o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) e o cambe (*Crambe abyssinica*) durante os meses de setembro e outubro de 2010. Foram plantadas 3 sementes por coluna e desbastadas aos 15 dias após a germinação, e mantida apenas uma planta até a coleta. Aos 50 dias após a germinação foram avaliados: a altura das plantas, o diâmetro do caule, e, parte aérea das plantas cortadas rente ao solo. Posteriormente foram colocadas em sacos de papel, levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante.

Depois de secas as plantas foram pesadas para determinação da massa seca da parte aérea. Os cilindros de PVC foram separados nas três partes correspondentes,

contando solo e raízes longitudinalmente de acordo com as alturas dos anéis. Em seguida foram separadas as raízes do solo de cada camada, através da lavagem em água corrente e peneiramento. Após a separação as raízes foram acondicionados em sacos de papel, e levadas a estufa de circulação forçada de ar a 65 °C. Depois da secagem foi determinada a massa seca de raiz por pesagem.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e análise de regressão considerando a equação significativa a 5% de probabilidade pelo teste F. Nesta etapa utilizou-se o programa estatístico SISVAR[®] versão 5.1. (FERREIRA, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cultura do pinhão manso não sofreu redução significativa na massa seca da parte aérea (Figura 2A). A compactação do cilindro central das colunas de PVC, ou seja, para esses níveis de compactação testados não afetaram o crescimento das plantas. A massa seca da parte aérea apresentou comportamento linear decrescente em função do aumento das densidades da camada central. Em estudos realizados por Rosolem et al. (1994a) com soja, Müller et al. (2001) e Foloni et al. (2003) com plantas usadas em adubação verde de inverno e milho respectivamente. Estes autores também não observaram redução significativa da massa seca da parte aérea das plantas com o aumento da densidade do solo. Entretanto, Abreu et al. (2006) em estudo similar com pinhão manso sob diferentes níveis de compactação do solo, concluíram que a espécie é sensível à compactação, sendo, portanto, necessário o prévio preparo em áreas com tais condições. Segundo Castro et al. (2011), comprovaram a sensibilidade dessa espécie a compactação em condições de campo no cultivo integrado com pecuária de corte. Todavia, nas densidades testadas na camada central, observa-se que no geral a cultura não foi prejudicada no que tange ao seu crescimento e desenvolvimento para as variáveis testadas. Vale et al. (2006)

estudaram os efeitos da compactação do solo testando densidades de: 1,25; 1,38; 1,51; 1,65 e 1,78 Mg m⁻³ no cultivo do pinhão manso, e observaram que houve diminuição do peso seco da parte aérea.

Em relação à distribuição das raízes nas três partes do cilindro de PVC (Figura 2B). Observa-se que a camada superior apresenta maior quantidade de raízes em comparação com a camada compactada e inferior. Provavelmente esse comportamento de maior distribuição de raízes nesta camada, é justificado pela não compactação e que apresenta maior aeração e presença de água em relação à camada compactada. A boa aeração e a inexistência de camadas compactadas (impedimento físico) possibilitam o adequado crescimento do sistema radicular de forma que a planta possa absorver água em camadas profundas, e explorar maior volume de solo para acessar os nutrientes (VALE et al., 2006). Mesmo havendo essa diferença na distribuição das raízes as partes fenológicas das plantas não foram afetadas de forma negativa.

O pinhão manso apresenta raiz pivotante que é uma característica da planta que pode ter favorecido o rompimento da camada compactada, fazendo com estas se estabelecessem, crescendo e aparecendo também na parte inferior do cilindro. A massa de raiz na camada compactada e inferior é praticamente igual. Portanto, o ponto crítico que é a camada central, apresentando maior impedimento físico (densidade) não foi suficiente para barrar as raízes na vertical. Entretanto, Vale et al. (2006) em estudo similar, avaliando o crescimento do pinhão manso sob diferentes densidades, observaram diminuição do peso radicular e aéreo. Todavia, eles avaliaram densidades do solo de até 1,78 Mg m⁻³ contra 1,58 Mg m⁻³ no presente estudo. Cultivaram o pinhão manso em Latossolo Vermelho-amarelo com 770 g kg⁻¹ de areia; 14,0 g kg⁻¹ de silte e 9,0 g kg⁻¹ de argila (textura média) (Embrapa, 2006). A diferença é que mesmo de textura média, o solo estudado por eles apresenta mais que o dobro do que o solo do presente estudo. Estes autores verificaram

redução na massa seca de raiz com aumento da compactação. Ferreira (2010) destaca em relação à textura do solo, a tendência é que solos ou camadas mais arenosas apresentem valores mais elevados de densidade do solo.

No presente estudo apesar de se observar redução da massa seca das raízes na camada compactada e inferior, pouco afetou a parte aérea das plantas no período de cultivo. Segundo Collares et al. (2008), a resposta das principais culturas à compactação ainda não é completamente conhecida. Aumento na compactação reduz o crescimento de raízes devido ao aumento na resistência do solo à penetração, podendo ocasionar perdas de produtividade nos cultivos agrícolas, por restringir o reservatório de água e nutrientes às raízes (CLARK et al., 2003). Alguns estudos têm utilizado a resistência do solo à penetração e a densidade do solo para avaliar os efeitos dos sistemas de manejo do solo no sistema radicular (FREDDI et al., 2007; COLLARES et al., 2008).

O diâmetro do caule do pinhão manso não apresentou alterações significativas em decorrência do aumento da densidade do solo (Figura 2C). Apesar de não significativo o ajuste do modelo linear, observa-se uma tendência de aumento do diâmetro caulinar diretamente proporcional ao aumento da densidade. Resultados observados por Vale et al. (2006) não corroboram com os verificados neste estudo. Estes autores também avaliaram o diâmetro das plantas de pinhão e verificaram uma redução no crescimento à medida que aumentava a compactação do solo.

A altura das plantas de pinhão manso não apresentou diferenças significativas em função do aumento da densidade do solo (Figura 2D). A altura das plantas apresentou baixo coeficiente de determinação ($R^2 = 0,09$), indicando pouca associação entre a densidade do solo e crescimento da planta. Este efeito pode ser um indicativo que o pinhão manso é uma espécie rústica e adaptável aos níveis de densidades do solo testadas. Entretanto, os resultados observados por Vale et al. (2006) contrariam esse efeito. Verificaram diminuição na altura das plantas

de pinhão manso com aumento da densidade solo.

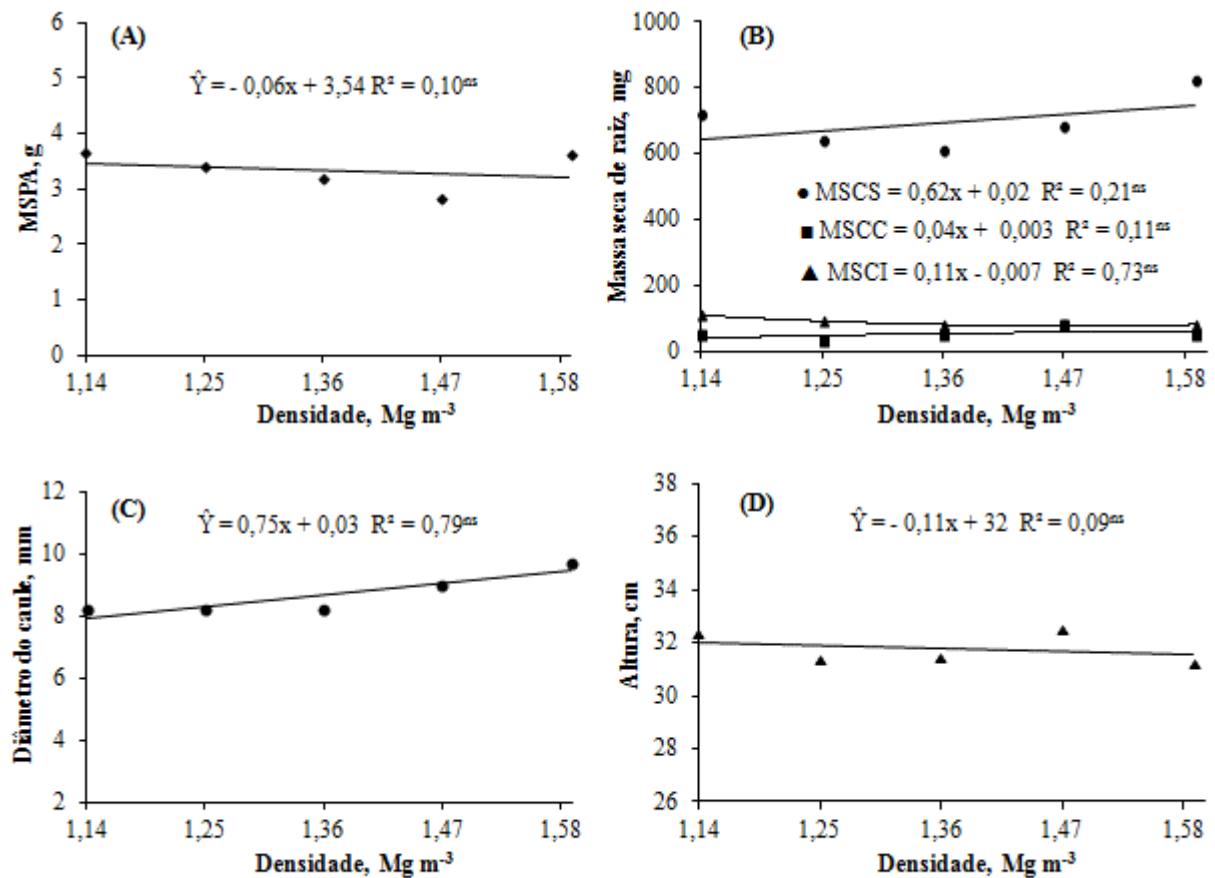


Figura 2 - MSPA - massa seca da parte aérea (A), massa seca de raiz (B), onde: MSCS - massa seca na camada superior do cilindro, MSCC - massa seca na camada central, MSCI - massa seca na camada inferior, diâmetro do caule (C) e altura (D) de plantas de pinhão manso cultivadas sob diferentes densidades da massa de solo na parte central do cilindro. ^{ns}Não significativo em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

De maneira geral, o aumento na densidade do solo no cilindro central, não afetaram de forma negativa o crescimento e desenvolvimento das plantas de pinhão manso. Esse comportamento é discutível e contraria os resultados observado por Vale et al. (2006), onde demonstram comportamento contrário, ou seja, redução do crescimento da parte aérea e de raiz com aumento da compactação do solo. Segundo Abreu et al. (2006), o Pinhão manso se mostra sensível na presença de compactação do solo. Com o aumento da densidade do solo as raízes ficam mais grossas nas camadas compactadas e

camada inferior, pois a pressão de crescimento das raízes depende da pressão de turgor das células do sistema radicular, em processo de alongamento, e da área de contato com a raiz.

Observa-se uma tendência de redução na massa seca da parte aérea das plantas de crambe, à medida que ocorre a compactação do solo na camada central da coluna de PVC (Figura 3A). Foloni et al. (2003) observaram redução de 20% em média no crescimento aéreo de plantas de milho. Na cultura do crambe essa redução foi em média de 50% comparando a maior compactação testada em

relação à testemunha. De acordo com Rosolem et al. (2002), verificaram que o crescimento aéreo do sorgo granífero foi reduzido em mais de 40% ao final de 38 dias de cultivo.

Em relação à distribuição das raízes nas camadas da coluna mensurada pela massa seca de raiz (Figura 3B). Observa-se redução significativa na camada compactada e na camada inferior ajustando-se ao modelo linear. Na camada superior não houve redução significativa da massa seca das raízes em decorrência do aumento da densidade. Nessa camada como esperado, apresenta maior massa de raízes por não ter limitação física, e por apresentar maior presença de nutrientes e água.

A compactação do solo na camada central influenciou diretamente na quantidade ou massa seca de raiz. Este efeito também promoveu redução na camada superior podendo ter prejudicado a penetração das raízes no crescimento (menor expansão), passagem de água (reduzindo a drenagem), aeração entre outros fatores.

Na camada inferior apesar de ter sido observado a presença das raízes, o aumento da densidade do solo influenciou de forma negativa na distribuição ou presença das raízes nessa camada, ou seja, uma barreira física que a espécie não teve grande capacidade em romper. Segundo Peres (1998) o crambe apresenta sistema radicular pivotante, profundo tendo como característica marcante a alta resistência aos períodos de estiagem.

Os resultados observados para cultura do crambe corroboram parcialmente com os resultados verificados por Rosolem et al. (1994b), onde a camada compactada reduziu o crescimento radicular do milho, porém, houve aumento na massa de raízes na camada superficial. No caso do crambe, ocorreu uma tendência de redução da massa seca de raiz na camada superior. Portanto, esse comportamento pode ser mais um indicativo que a cultura do crambe é sensível a camadas compactadas nos níveis testados de densidade do solo. Caso haja compactação do solo, poderá interferir no crescimento e

desenvolvimento normal das plantas, e por consequência reduzir a produtividade da cultura.

Segundo Tavares et al. (2001), a compactação reduz a porosidade do solo, a continuidade dos poros e a disponibilidade de água e nutrientes, reduzindo também o crescimento e o desenvolvimento radicular das culturas. Os efeitos da compactação do solo sobre o crescimento radicular de diversas culturas têm sido relatados devido às modificações morfológicas que ocorrem, como: decréscimo na divisão celular no meristema e aumento no diâmetro da raiz, resultante do aumento na espessura do córtex, reduzindo o volume de solo explorado pelas raízes e a absorção de água e nutrientes (BORGES et al., 1986; ROSOLEM et al., 1994b; FOLONI et al., 2003; FREDDI et al., 2007).

Verifica-se também que há menor crescimento no diâmetro do caule das plantas de crambe com aumento da compactação (Figura 3C). Esse comportamento se ajustou de forma significativa ao modelo linear. Esse efeito indica que a cultura tem crescimento do caule reduzido quando encontra impedimento físico do solo (compactação) nos níveis avaliados. Portanto, afetando o sistema radicular interfere diretamente na parte aérea da planta. Outras espécies também podem ter seu desenvolvimento fenológico prejudicado em função do aumento da compactação do solo. Vale et al. (2006) observaram redução do diâmetro do caule de plantas de pinhão manso de forma proporcional ao aumento da densidade do solo.

A compactação do solo não afetou o crescimento em altura das plantas de crambe (Figura 3D). Apesar de não haver ajuste significativo ao modelo, observa-se que há tendência de menor crescimento em altura em função da maior compactação do solo. Segundo Ribeiro et al. (2010), cultivando soja e eucalipto em Latossolo Vermelho (mais argiloso) e Latossolo Vermelho-Amarelo (textura média), observaram redução na altura das plantas com aumento da densidade do solo. Ainda, de acordo com

Centurion et al. (2006), comparando cultivares de soja em Latossolo Vermelho distrófico típico de textura média, verificaram comportamento semelhante, ou seja, à

medida que aumentou a densidade do solo houve menor crescimento em altura da parte aérea.

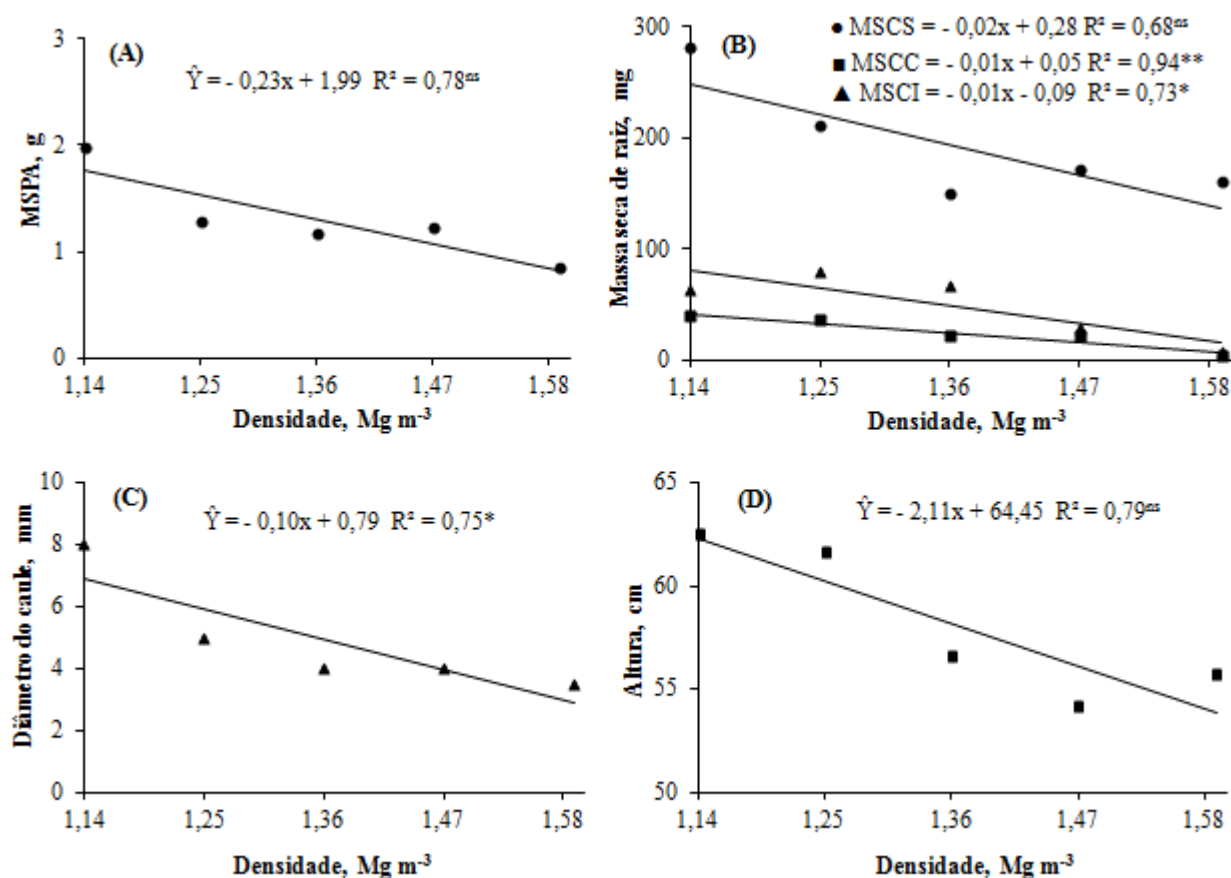


Figura 3 - MSPA - massa seca da parte aérea (A), massa seca de raiz (B), onde: MSCS - massa seca na camada superior do cilindro, MSCC - massa seca na camada compactada, MSCI - massa seca da camada inferior, diâmetro do caule (C) e altura (D) em plantas de crambe cultivadas sob diferentes densidades da massa de solo na parte central do cilindro. ^{ns}Não significativo; * e ** significativo a 5% e 1% de probabilidade respectivamente pelo teste F.

CONCLUSÕES

1. O aumento na densidade do solo nos níveis testados não afetou negativamente o desenvolvimento e o crescimento aéreo e radicular das plantas de pinhão manso.
2. A cultura do crambe é sensível ao aumento da compactação do solo nos níveis avaliados de densidade, e por consequência reduz o crescimento em diâmetro, a massa seca radicular e distribuição destas nas camadas compactada e inferior do cilindro.

REFERÊNCIAS

ABREU, H. A.; GUERRA, G. M.; NUNES, M. D.; PEREIRA, V. C.; ASSIS, R. L.; SILVA, O. A.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R.; IMOLES, A. S. Crescimento aéreo e radicular de pinhão-manso sob diferentes níveis de compactação do solo. In: **CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**, 1., 2006, Brasília. Anais... Brasília: MCT/ABIPTI, 2006. p. 144-149.

- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F. Soil compaction and fertilization in soybean productivity. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 61, n. 06, p. 626-631, 2004.
- BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; COSTA, L. M.; NEVES, J. C. L. Respostas de mudas de eucalipto a camadas compactadas de solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 10, n. 02, p. 181-195, 1986.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- CASTRO, C. M.; DEVIDE, A. C. P.; CAMARGO, C. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento do pinhão manso em sistema de integração com pecuária de corte. In: **CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**, 4, 2011, e **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**, 7, 2011, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: Pesquisa & Tecnologia, 2011. Disponível em:<<http://www.aptaregional.sp.gov.br>>. Acesso em: 02 de agosto de 2012.
- CENTURION; J. F.; CENTURION, M. A. P. C.; BEUTLER, A. N.; ROSSINI, L. A.; FREDDI, O. S.; SOUZA NETO, E. L. Compactação do solo no desenvolvimento e na produção de cultivares de soja. **Científica**, Jaboticabal, v. 34, n. 02, p. 203-209, 2006.
- CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 02, p. 197-201, 1983.
- COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Compactação de um Latossolo induzida pelo tráfego de máquinas e sua relação com o crescimento e produtividade de feijão e trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 03, p. 933-942, 2008.
- CLARK, L. J.; WHALLEY, W. R.; BARRACLOUGH, P. B. How do roots penetrate strong soil. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 255, n. 01, p. 93-104, 2003.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Agroenergia. **Avança o conhecimento sobre pinhão manso**. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.pdf>>. Acesso: 07 de julho de 2012.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. J. V. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.1-27.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: sistema de análise de variância para dados balanceados, versão 5.1**. Lavras: UFLA/DEX, 2003.
- FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C.; LIMA, S. L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 08, p. 947-953, 2003.
- FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho.

- Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 04, p. 627-636, 2007.
- HANZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compactation in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 82, n. 02, p. 121-145, 2005.
- KRAXNER, F.; NILSSON, S.; OBSTEINER, M.; Negative emissions from Bioenergy use, carbon capture and sequestration (BECS) – The case of biomass production by sustainable forest management form semi-natural temperate forests: **Biomass and Bioenergy**, Ohio, v. 24, n. 04, p. 285-296, 2003.
- MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. **Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v. 38, n. 357, p. 42-43, 1985.
- MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 03, p. 531-538, 2001.
- PEREZ, S. C. J. G. A. Limites de temperatura e estresse térmico na germinação de sementes de *Peltophorium dubium*. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 20, n. 1, p. 134-142, 1998.
- REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 05, p. 1805-1816, 2008.
- REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.
- ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v. 53, n. 02, p. 259-266, 1994a.
- ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 03, p. 491-497, 1994b.
- ROSOLEM, C. A. **Relações solo-planta na cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 1995. 53p.
- ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; TIRITAN, C. S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 65, n. 1, p. 109-115, 2002.
- RIBEIRO, M. A. V.; NOVAIS, R. F.; FAQUIN, V.; FERREIRA, M. M.; FURTINI NETO, A. E.; LIMA, J. M.; VILLANI, M. E. A. Resposta da soja e do eucalipto ao aumento da densidade do solo e a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 04, p. 1157-1164, 2010.
- RURAL SEMENTES. **Rural biodiesel - informações técnicas sobre a cultura do crambe**. Disponível em: <<http://www.ruralsementes.com.br/crambe.as>>. Acesso: 07 de julho de 2012.
- STIRZAKER, R. J.; PASSIOURA, J. B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 185, n. 1, p. 151-162, 1996.
- TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de**

- Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 03, p. 725-730, 2001.
- VALE, L. S.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento do pinhão manso em solo compactado. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL**, 1., 2006, Brasília. Anais... Brasília: MCT/ABIPTI, 2006. p. 78-91.