



## Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho<sup>1</sup>

Rodrigo L. Jimenez<sup>2</sup>, Wainer G. Gonçalves<sup>2</sup>, Jerônimo V. de Araújo Filho<sup>2</sup>, Renato L. de Assis<sup>3</sup>, Fábio R. Pires<sup>4</sup> & Gilson P. Silva<sup>3</sup>

### RESUMO

Com o objetivo de avaliar o crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação do solo, instalou-se um experimento em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos constaram de um fatorial com quatro espécies de cobertura do solo: guandu (*Cajanus cajan*), gergelim (*Sesamum indicum* L.), milheto ADR 300 (*Pennisetum glaucum* L.) e quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), em quatro níveis de compactação em subsuperfície (densidade do solo: 1,18; 1,34; 1,51 e 1,60 Mg m<sup>-3</sup>) em um Latossolo Vermelho Distroférico. A compactação do solo em subsuperfície foi restritiva ao crescimento de raízes das espécies estudadas, concentrando-as na camada superior. O milheto ADR 300 destacou-se na produção de massa de matéria seca da parte aérea e conseguiu desenvolver-se nas camadas compactadas e abaixo delas. O aumento da densidade do solo na camada compactada não influenciou na densidade de comprimento radicular das espécies *Cajanus cajan*, *Sesamum indicum* e *Chenopodium quinoa*; todavia, essas espécies apresentaram desempenho inferior, quando comparadas com o *Pennisetum glaucum* var. ADR 300, que mostrou maior densidade de comprimento radicular em todas as camadas e densidades.

**Palavras-chave:** densidade do solo, densidade de comprimento radicular, raiz

## Growth of cover crops under different levels of soil compaction of a Typic Red Latosol

### ABSTRACT

With the objective of evaluating the growth of cover crops under different levels of soil compaction an experiment was installed under greenhouse conditions. A completely randomized block design was used with four replications, in which the treatments consisted of a factorial with four vegetal species of cover crops: *Cajanus cajan*, *Sesamum indicum* L., *Pennisetum glaucum* L. cultivar ADR 300 and *Chenopodium quinoa* Willd., in four levels of subsurface compaction (soil bulk density: 1.18; 1.34; 1.51 and 1.60 Mg m<sup>-3</sup>) in a Typic dystrophic Red Latosol. The compaction of the subsurface soil was restrictive to the root growth of the studied species, concentrating them in the upper layer. The *Pennisetum glaucum* cultivar ADR 300 excelled in the production of dry matter and was able to develop in the compacted layers and below them. The increase of soil density in the compacted layer did not influence the root length density of the *Cajanus cajan*, *Sesamum indicum* and *Chenopodium quinoa*, however these species had inferior performance when compared with the *Pennisetum glaucum* (L.) cultivar ADR 300, which presented greater root length density in all layers and densities.

**Key words:** soil density, root length density, root

<sup>1</sup> Monografia de graduação apresentada pelo primeiro autor à Faculdade de Agronomia da Universidade de Rio Verde (FESURV)

<sup>2</sup> Graduando da Faculdade de Agronomia/FESURV, CP 104, CEP 75901-970, Rio Verde, GO. Fone: (64) 3620-2213. E-mail: rodrigo@dondiego.com.br

<sup>3</sup> Faculdade de Agronomia/FESURV. Fone: (64) 3620-2291. E-mail: assis@fesurv.br; gilson@fesurv.br

<sup>4</sup> CEUNES/UFES, CEP 29933-415, São Mateus, ES. Fone: (27) 3763-8650. E-mail: fabiopires@ceunes.ufes.br

## INTRODUÇÃO

A agricultura intensiva é inviável sem o uso de máquinas e implementos agrícolas; contudo, tem-se observado, nos últimos anos, grande incremento de peso e potência nas máquinas a fim de se aumentar a eficiência nas operações, embora este fato venha agravando os problemas em relação à compactação do solo.

A formação de camadas adensadas e/ou compactadas superficial ou subsuperficialmente, no perfil de alguns solos dos cerrados, sobretudo naqueles intensivamente cultivados, tem sido responsabilizada pela restrição ao aprofundamento radicular e considerada causa primária da erosão (Kemper & Derpsch, 1981). Em geral, as camadas compactadas apresentam pouca quantidade de raízes no seu interior, baixa atividade biológica e redução da macroporosidade (Cardoso et al., 2003).

A porosidade e a aeração do solo desempenham importante papel no crescimento das raízes (Alvarenga et al., 1996). De acordo com Shierlaw & Alston (1984), a compactação do solo diminui o número de poros grandes, similares, em tamanho e diâmetro, às raízes das plantas e, deste modo, as raízes não podem penetrar em poros de diâmetros menores que os seus. Assim, as raízes finas podem penetrar em solos compactados mais facilmente que as grossas, o que também foi verificado por Whiteley & Dexter (1982).

Em solo compactado o número de macroporos é reduzido e a densidade é maior, o que, em solo seco, resulta em maior resistência física ao crescimento das raízes e decréscimo no potencial de água, enquanto em solo úmido gera falta de oxigênio e, principalmente, elevadas concentrações de etileno na zona radicular, devidas à menor aeração (Marschner, 1995). O resultado de todas essas alterações no solo compactado é que as raízes sofrem modificações morfológicas e fisiológicas, por vezes específicas a cada espécie ou cultivar, a fim de se adaptarem (Müller et al., 2001).

A diminuição das operações agrícolas não é condição suficiente para evitar a compactação, a menos que seja suplementada com rotação de culturas e com uso de plantas que produzam grande quantidade de massa para promover a cobertura do solo e que possuam sistema radicular profundo, capazes de diminuir a compactação (Cardoso et al., 2003).

Para Alvarenga et al. (1995) as raízes podem estar envolvidas, direta ou indiretamente, na estabilização do solo, pois o emaranhado que elas formam aproxima e protege os agregados do solo, em especial os macroagregados e, indiretamente, devido à exudação e decomposição das mesmas, fornecendo materiais orgânicos estabilizantes e deposições de carbono abaixo da superfície do solo. Algumas espécies produzem enorme quantidade de raízes, como as gramíneas que possuem sistema radicular abundante e, embora não possuam raízes muito desenvolvidas, estas ocorrem em grande quantidade (Los, 1995).

Além do processo mecânico de descompactação do solo, com escarificadores e subsoladores, a utilização de espécies de plantas de cobertura, sobretudo com a utilização da rotação de culturas em espécies com sistema radicular bastante agressivo, faz-se necessário, pois além da proteção da superfície do solo com a presença de resíduos vegetais, as raízes dessas espécies se vão decompor, deixando canais que pro-

porcionarão o aumento do movimento de água e a difusão de gases (Müller et al., 2001). Silva (1986) também relata que os resíduos de culturas proporcionam um aumento na taxa de infiltração de água. Esta cobertura reduz a temperatura máxima do solo e as perdas de água por evaporação (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990).

As plantas descompactadoras, ao contrário do que ocorre com o uso de subsoladores, podem proporcionar um rompimento mais uniforme da camada compactada, além de contribuir para a melhoria do estado de agregação do solo (Camargo & Alleoni, 1997). Essas espécies promovem, ainda, a retirada de nutrientes das camadas subsuperficiais, liberando-os gradualmente nas camadas superficiais durante o processo de decomposição (Fiorin, 1999). Este efeito foi observado também por Calegari et al. (1993) que relatam, ainda, aumento no teor de matéria orgânica do solo e, conseqüentemente, maior capacidade de troca de cátions, o que favorece a produção de ácidos orgânicos, de fundamental importância para a solubilização de minerais e a diminuição de alumínio trocável, através de sua complexação.

Espécies como o guandu exibem reconhecida habilidade de enraizamento a maiores profundidades e não mostra apenas seu maior potencial na absorção de água mas, também, a possibilidade de reciclagem de nutrientes das camadas mais profundas. As raízes do guandu possuem grande capacidade de se desenvolverem em profundidade, mesmo quando existe, no solo, uma camada de maior resistência à penetração (Alvarenga et al., 1995).

Em estudo envolvendo plantas de cobertura (amaranto, milheto ADR 500, capim pé-de-galinha e kenaf) com presença de camada compactada em subsuperfície, Gonçalves (2005) constatou que o milheto ADR 500 apresentou maior quantidade de raízes desenvolvendo-se nas camadas compactadas e abaixo delas, sendo que o amaranto mostrou comportamento intermediário e o capim pé-de-galinha e o kenaf tiveram desempenho inferior.

A utilização de plantas de cobertura do solo se faz oportuna em razão da necessidade da produção de palha em áreas sob plantio direto; entretanto, pouco se conhece sobre o crescimento e desenvolvimento dessas espécies em solos com presença de camadas compactadas e, em assim sendo, o presente estudo objetivou avaliar o crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Faculdade de Agronomia da Universidade de Rio Verde, em Rio Verde, GO, no período de dezembro de 2003 a janeiro de 2004. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com quatro repetições, em esquema fatorial 4 x 4 (quatro espécies de cobertura e quatro níveis de densidade do solo em subsuperfície). As densidades do solo utilizadas, foram: 1,18; 1,34; 1,51 e 1,60 Mg m<sup>-3</sup>, correspondendo ao grau de compactação (GC) de 70, 80, 90 e 95%, respectivamente. O GC representa a relação entre a densidade do solo atual e a densidade do solo máxima (Lindstrom & Voorhees, 1994), obtida do ensaio de Proctor Normal (Vargas, 1977).

Tabela 1. Caracterização química e análise textural do Latossolo Vermelho Distroférico

pH CaCl <sub>2</sub>	P mg dm <sup>-3</sup>	H + Al	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CTC	V %	M.O. g dm <sup>-3</sup>	Areia	Silte g kg <sup>-1</sup>	Argila	C.C.* g kg <sup>-1</sup>
				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>									
4,2	1,2	3,5	0,2	0,02	0,20	0,10	3,83	8,56	18,0	190	180	630	290

\* Teor de água na capacidade de campo a -0,01 MPa

As espécies de plantas de cobertura utilizadas, foram: guandu (*Cajanus cajan*), gergelim (*Sesamum indicum* L.), milheto (*Pennisetum glaucum* L.) cultivar ADR 300 e quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).

O solo coletado na camada de 0-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico, textura muito argilosa e, após secagem ao ar, passado em peneira com 2 mm de malha foi submetido a análise química e textural (Tabela 1), segundo EMBRAPA (1997).

A correção do solo com calcário seguiu o método apresentado em van Raij & Quaggio (1983), com o objetivo de se elevar a saturação por bases a 50%. A umidade do solo na capacidade de campo foi determinada conforme EMBRAPA (1997).

Durante o período de incubação úmida por 15 dias, o solo foi mantido com a umidade a 80% da capacidade de campo e acondicionado em sacos plásticos.

A montagem das camadas de solo consistiu na sobreposição de três anéis de PVC de 0,10 m de diâmetro interno; os anéis superior e inferior, com 0,15 m de altura, receberam o solo com densidade de 1,1 Mg m<sup>-3</sup> (Figura 1), enquanto o anel intermediário (camada compactada), com altura de 0,035 m, recebeu os tratamentos com densidades do solo entre 1,18 e 1,60 Mg m<sup>-3</sup>.

O processo de compactação do solo na camada compactada, ocorreu com a aplicação de golpes sucessivos de uma massa de ferro, até completar a espessura de 3,5 cm, com a respectiva quantidade de solo para obtenção das densidades

desejadas: 1,18; 1,34; 1,51 e 1,60 Mg m<sup>-3</sup>, mantendo-se o solo com o teor de água em 75% da capacidade de campo.

Para evitar o crescimento de raízes na interface solo – PVC, na camada compactada, utilizou-se caulim umedecido, formando uma pasta com espessura de aproximadamente 1 cm próximo à parede interna do tubo de PVC. Para a montagem da coluna de solo (camadas) usou-se fita adesiva para união dos anéis.

O plantio, com oito sementes por coluna de solo para cada espécie, ocorreu em 19 de dezembro; após desbaste, conduziram-se apenas duas plantas por coluna. A adubação consistiu na aplicação de 150 mg dm<sup>-3</sup> de N (uréia), 150 mg dm<sup>-3</sup> de P (superfosfato simples) e 150 mg dm<sup>-3</sup> de K (cloreto de potássio).

Após a condução do experimento por 30 dias, realizou-se o corte da parte aérea das plantas, rente ao solo; posteriormente, o material vegetal foi secado em estufa com circulação forçada de ar (65 °C por 72 h) e, em seguida, pesada e quantificada a massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA).

As colunas foram separadas em três partes (camada superior, camada compactada e camada inferior) e as raízes separadas do solo, através de lavagem; em seguida, o material vegetal foi secado em estufa a 65 °C e determinados a massa de matéria seca das raízes (MMSR) e o comprimento radicular, este com a utilização do programa Quant Root v. 1.0 (Amaral, 2002).

O parâmetro densidade de comprimento radicular (DCR) foi obtido pela divisão do comprimento radicular encontrado em cada camada, pelo volume da respectiva camada de PVC, ou seja, 1.178 cm<sup>3</sup> para as camadas superior e inferior e 275 cm<sup>3</sup> para a camada compactada.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e os níveis de compactação submetidos a análise de regressão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observaram-se interações significativas para todos os parâmetros avaliados (Tabela 2), com exceção da massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) e massa de matéria seca de raízes (MMSR) na camada compactada.

O milheto ADR 300 foi a espécie que apresentou maior produção de MMSPA (Tabela 3), independente da densidade do solo na camada compactada. O gergelim e a quinoa apresentaram valores intermediários de produção de MMSPA e o guandu mostrou valores menores para todas as densidades do solo, em relação às outras espécies.

Não se constatou, em nenhuma das espécies, redução da MMSPA, em função do aumento da compactação, fato este observado também por Silva & Rosolem (2002) e Fernandes et al. (1995), indicando tratar-se de um resultado comum em experimentos de curta duração.

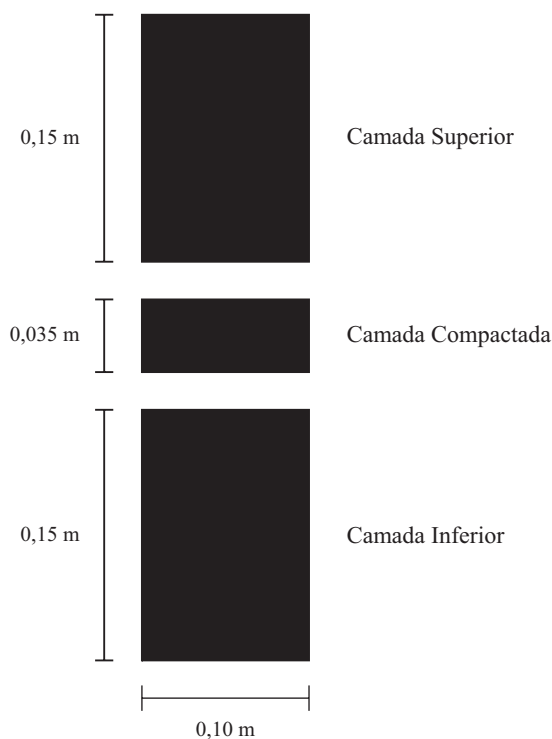


Figura 1. Ilustração representativa da montagem dos anéis com as camadas superior, compactada e inferior

**Tabela 2.** Significância da análise de variância para massa de matéria seca da parte aérea, massa de matéria seca de raízes e densidade de comprimento radicular

Camadas	Fonte de Variação			CV (%)
	Espécie (E)	Densidade (D)	E x D	
Massa de matéria seca da parte aérea	**	ns	ns	17,7
Massa de matéria seca de raízes				
Camada superior	**	*	**	21,5
Camada compactada	**	*	ns	49,4
Camada inferior	**	**	**	24,5
Densidade de comprimento radicular				
Camada superior	**	**	**	17,5
Camada compactada	**	**	**	26,5
Camada inferior	**	**	**	21,9

ns Não significativo. \* e \*\* Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F

**Tabela 3.** Massa de matéria seca da parte aérea (MMSPA) e de raízes das plantas de cobertura na camada superior (MMSRS), na camada compactada (MMSRC) e na camada inferior (MMSRI), considerando-se as densidades do solo na camada compactada<sup>(1)</sup>

Espécie	Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )			
	1,18	1,34	1,51	1,60
MMSPA (g)				
ADR 300	14,08 a	12,35 a	12,38 a	13,18 a
Gergelim	4,25 b	4,98 b	4,05 b	4,38 b
Guandu	1,20 c	1,75 c	1,78 c	1,08 c
Quinoa	3,80 b	4,80 b	4,30 b	4,13 b
MMSRS (g)				
ADR 300	1,73 a	1,12 a	1,53 a	1,37 a
Gergelim	0,60 b	0,71 b	0,76 b	1,04 b
Guandu	0,23 c	0,26 c	0,35 c	0,28 c
Quinoa	0,50 bc	0,73 b	0,74 b	0,76 b
MMSRC (g)				
ADR 300	0,16 a	0,14 a	0,23 a	0,12 a
Gergelim	0,10 ab	0,06 ab	0,14 b	0,06 ab
Guandu	0,03 b	0,05 b	0,04 c	0,03 b
Quinoa	0,07 b	0,05 b	0,03 c	0,06 ab
MMSRI (g)				
ADR 300	1,24 a	1,10 a	1,02 a	0,82 a
Gergelim	0,25 b	0,28 b	0,12 b	0,24 b
Guandu	0,11 b	0,11 b	0,09 b	0,10 b
Quinoa	0,17 b	0,20 b	0,12 b	0,12 b

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Os dados obtidos evidenciam um aumento da massa de matéria seca de raízes das plantas na camada superior (MMSRS) com o aumento da densidade do solo para o gergelim, mas, para as demais espécies, não ocorreu diferença significativa (Tabela 3). Nota-se maior concentração de raízes no anel superior, isto para todas as espécies estudadas em todas as densidades; resultados que corroboram com o presente trabalho foram obtidos por Müller et al. (2001), em estudo utilizando adubos verdes de inverno.

Este comportamento diferencial entre as espécies evidencia as características particulares de cada uma delas para concentrar seu crescimento radicular na camada superficial, quando existem restrições ao crescimento radicular em

subsuperfície. Diversos trabalhos relataram o acúmulo de raízes acima da camada compactada, entre eles os de: Alvarenga et al. (1996), Müller et al. (2001), Silva & Rosolem (2002) e Gonçalves (2005). Mudanças nas condições físicas do solo são limitantes à penetração de raízes, ocorrendo crescimento diferencial entre elas, conforme a habilidade de cada espécie.

O milho ADR 300 foi a espécie que apresentou maior acúmulo de massa de matéria seca de raízes (MMSR) em todas as camadas, com diminuição da MMSRI e com aumento da densidade do solo; entretanto, a espécie demonstrou elevada capacidade para utilização como planta descompactadora de solo. A diferença da MMSR entre as espécies e entre as camadas, para cada densidade do solo, pode ser atribuída às características do sistema radicular de cada espécie.

O gergelim e a quinoa apresentaram comportamento inferior ao milho ADR 300 em relação à MMSRS, para todas as densidades, e superior ao guandu.

Para as condições do presente estudo e embora não se tenha apresentado redução da MMSR em todas as camadas, em função do aumento da compactação, o guandu mostrou restrição ao crescimento em solos compactados, contrariando resultados obtidos por Silva (1998) em que o guandu foi superior ao milho.

O guandu é tido como planta descompactadora de solo (Camargo & Alleoni, 1997) mas no presente estudo este comportamento não foi verificado, devido, provavelmente, ao pouco tempo de condução do experimento (30 dias). Miranda et al. (1991) em estudo com cilindros de solo com camada compactada, observaram que o guandu-anão se mostrou sensível à presença de camadas compactadas. Em outro estudo de compactação em vasos com leguminosas, Alvarenga et al. (1996) constataram que o guandu teve crescimento radicular limitado com o aumento da densidade do solo na camada compactada além de comportamento intermediário entre as espécies estudadas. No presente trabalho, o guandu, o gergelim e a quinoa não indicaram redução significativa no acúmulo de MMSRC, conforme o aumento de densidade do solo (Tabela 3).

A densidade de comprimento radicular na camada superior (DCRS) (Tabela 4) seguiu o mesmo comportamento da MMSRS, para o milho ADR 300, para o qual o aumento de densidade do solo provocou aumento no comprimento radicular.

O milho ADR 300, assim como na MMSR, apresentou maiores valores de DCR, independente do valor de densidade do solo na camada compactada. Dados semelhantes foram obtidos por Silva & Rosolem (2001) e Gonçalves (2005), em que o milho demonstrou maior comprimento radicular em relação a outras espécies estudadas.

O milho ADR 300 apresentou, no nível intermediário de compactação ( $D_s = 1,34 \text{ Mg m}^{-3}$ ), o maior valor de DCRC que nas demais densidades. Este resultado permite inferir que o ADR 300 deverá deixar no solo maiores extensões de poros biológicos, após o processo de decomposição das raízes. Esses poros assumem importância para as trocas gasosas, infiltração de água e para a melhoria das condições físicas do solo, criando um ambiente mais favorável ao crescimento de raízes. Nas demais espécies estudadas, os valores de DCRC e DCRI não sofreram influência significativa do aumento da densidade.

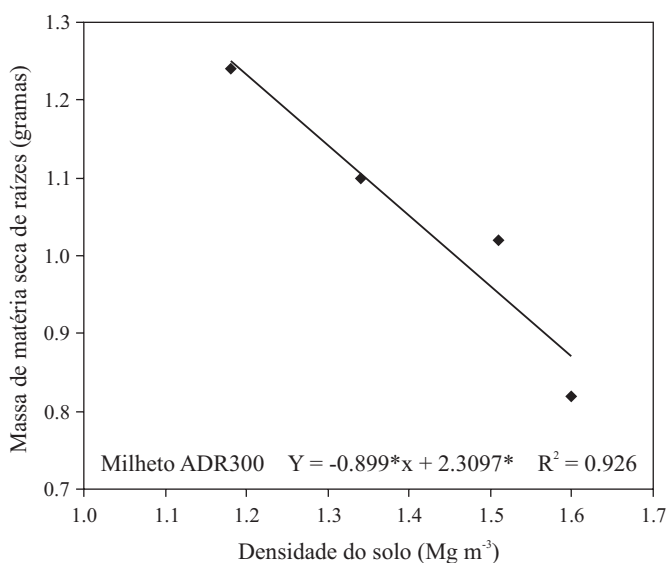
**Tabela 4.** Densidade de comprimento radicular das plantas de cobertura na camada superior (DCRS), na camada compactada (DCRC) e na camada inferior (DCRI), considerando-se as densidades do solo na camada compactada<sup>(1)</sup>

Espécie	Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )			
	1,18	1,34	1,51	1,60
	DCRS – cm cm <sup>-3</sup>			
ADR 300	1,45 a	1,45 a	1,64 a	2,30 a
Gergelim	0,34 b	0,43 b	0,66 b	0,59 b
Guandu	0,46 b	0,56 b	0,73 b	0,63 b
Quinoa	0,53 b	0,65 b	0,74 b	0,69 b
	DCRC – cm cm <sup>-3</sup>			
ADR 300	3,15 a	5,40 a	3,91 a	3,12 a
Gergelim	0,39 b	0,28 b	0,56 b	0,28 b
Guandu	0,52 b	0,91 b	0,61 b	0,41 b
Quinoa	0,59 b	0,47 b	0,31 b	0,54 b
	DCRI – cm cm <sup>-3</sup>			
ADR 300	3,13 a	2,47 a	2,26 a	2,11 a
Gergelim	0,22 b	0,25 b	0,10 b	0,32 b
Guandu	0,55 b	0,40 b	0,39 b	0,37 b
Quinoa	0,23 b	0,15 b	0,18 b	0,17 b

<sup>(1)</sup> Médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Os diferentes níveis de compactação do solo proporcionaram reduções significativas na DCRI para o milheto ADR 300, fato não observado nas demais espécies. Gonçalves (2005) constatou, em estudo de compactação em subsuperfície, que o milheto ADR 500 apresentou diminuições no DCRI no maior nível de compactação do solo, dados que corroboram com o presente estudo.

Observou-se diminuição da MMSRI do milheto ADR 300 (Figura 2) com o aumento da densidade do solo, demonstrando que houve restrição ao crescimento de raízes com o aumento da densidade do solo, abaixo da camada compactada. Apesar de penetrar no anel compactado, a limitação do cres-



\* Significativo a 5%

**Figura 2.** Massa de matéria seca de raízes na camada inferior (MMSRI) para o milheto ADR 300, em função da densidade do solo (DS) na camada compactada

cimento de sistema radicular do milheto ADR 300 abaixo dessa camada, pode prejudicar seu desenvolvimento em condições de déficit hídrico, em virtude de apresentar crescimento limitado com o aprofundamento do perfil em solos compactados.

## CONCLUSÕES

1. A compactação do solo em subsuperfície influenciou o crescimento de raízes das espécies estudadas, concentrando-as na camada superior.
2. O milheto ADR 300 apresentou maior produção de massa de matéria seca da parte aérea e maior produção de massa de matéria seca de raízes, em todas as densidades estudadas, em relação às demais espécies.
3. O milheto ADR 300 apresentou maior densidade de comprimento radicular em todas as camadas e densidades, em relação às outras espécies
4. O aumento da densidade do solo na camada compactada não influenciou na densidade de comprimento radicular do gergelim, do guandu nem da quinoa.
5. O milheto ADR 300 pode ser recomendado como planta descompactadora de solo.

## LITERATURA CITADA

- Alvarenga, R. C.; Costa, L. M.; Moura Filho, W.; Regazzi, A. J. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.30, n.2, p.175-185, 1995.
- Alvarenga, R. C.; Costa, L. M.; Moura Filho, W.; Regazzi, A. J. Crescimento de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.20, n.2, p.319-326, 1996.
- Amaral, J. F. T. Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica. Viçosa: UFV, 2002. 97p. Tese Doutorado
- Bragagnolo, N.; Mielniczuk, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.14, n.1, p.91-98, 1990.
- Calegari, A.; Mondardo, A.; Bulizani, E. A.; Costa, M. B. B da; Miyasaka, S.; Amado, J. T. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: Costa, M. B. B. da. (coord.). Adubação verde no sul do Brasil. 2.ed. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p.1-55.
- Camargo, O. A.; Alleoni, L. R. F. Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132p.
- Cardoso, E. G.; Zotarelli, L.; Piccinin, J.; Torres, J. Distribuição do sistema radicular da cultura da soja em função do manejo do solo. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 29, 2003, Ribeirão Preto. Anais... SBCS, 2003. CD Rom
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

- Fiorin, J. E. Plantas recuperadoras da fertilidade do solo. In: Curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo em plantio direto. Resumos... Passo Fundo: Aldeia Norte, 1999. p.39-55.
- Fernandes, E. M.; Crusciol, C. A. C.; Thimotheo, C. M. S.; Rosolem, C. A. Matéria seca e nutrição da soja em razão da compactação do solo e adubação fosfatada. Científica, v.23, p.117-132, 1995.
- Gonçalves, W. G. Sistema radicular de plantas de cobertura sob efeito de compactação do solo. Rio Verde: FESURV, 2005. 31p. Monografia Graduação
- Kemper, B.; Derpsch, R. Soil compaction and root growth in Paraná. In: Russel, R. S. (ed.). The soil/root system in relation to Brazilian agriculture. Londrina: Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1981. p.81-101.
- Lindstrom, M. J.; Voorhees, W. B. Response of temperate crops in North America to soil compaction. In: Soane, B. D. Ouwkerk, C. van (eds.). Soil Compaction in Crop Production. London: Elsevier, 1994. cap.12, p.265-286.
- Los, C. J. Princípios básicos para iniciar o plantio direto. In: Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto, 1, 1995, Castro. Anais... Castro: ABC, 1995. p.291-301.
- Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. London: Academic Press, 1995, p.508-536.
- Miranda, J.; Fortes, J. L. O.; Ruiz, H. A.; Fontes, L. E. F. Crescimento de leguminosas em cilindros de solo com camada compactada. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 23, 1991, Porto Alegre. Programa e Resumos... Campinas: SBCS, 1991. p.172.
- 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, v.25, n.3, p.531-538, 2001.
- Shierlaw, J.; Alston, A. M. Effects of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. Plant Soil, The Hague, v.77, p.15-28, 1984.
- Silva, H. P. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro fisicamente degradado em processo de recuperação. Porto Alegre: UFRGS, 1986. 105p. Dissertação Mestrado
- Silva, R. H. Crescimento radicular e nutrição da soja (*Glycine Max* L.) em função da cultura anterior e da compactação em Latossolo Vermelho-Escuro. Botucatu: UNESP, 1998, 80p. Dissertação Mestrado
- Silva, R. H.; Rosolem, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.2, p.253-260, 2001.
- Silva, R. H.; Rosolem, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, n.6, p.855-860, 2002.
- van Raij, B.; Quaggio, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Boletim Técnico Instituto Agrônômico, v.81, p.1-31, 1983.
- Vargas, M. Introdução à mecânica dos solos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 509p.
- Whiteley, G. M.; Dexter, A. R. Root development and growth of oilseed, wheat and pea crops on tilled and nontilled soil. Soil and Tillage Research, v.2, p.379-393, 1982.