



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbcs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Brasil

BORGES, E. V. S.; LOMBARDI NETO, F.; LOMBARDI, M. L. C. O.; BORGES, E. N.
CRESCIMENTO AÉREO E RADICULAR DA SOJA EM SOLOS COMPACTADOS E INOCULADOS
COM ESTIRPES DE *Bradyrhizobium japonicum*
Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 24, núm. 1, 2000, pp. 1-9
Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218272002>

- Como citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

CRESCIMENTO AÉREO E RADICULAR DA SOJA EM SOLOS COMPACTADOS E INOCULADOS COM ESTIRPES DE *Bradyrhizobium japonicum*⁽¹⁾

E. V. S. BORGES⁽²⁾, F. LOMBARDI NETO⁽³⁾,
M. L. C. O. LOMBARDI⁽⁴⁾ & E. N. BORGES⁽⁵⁾

RESUMO

Um experimento com soja, utilizando amostras de um Latossolo Vermelho-Escuro álico textura média foi realizado em casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia (MG), de julho/96 a fevereiro/97, visando avaliar o comportamento de estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* inoculadas e nativas do solo e efeitos de níveis de compactação subsuperficial na produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA), de raízes no anel superior da coluna e na absorção e concentração de nitrogênio na parte aérea da soja. Os tratamentos dispostos em fatorial 2 x 3 x 4 corresponderam à brometização e não-brometização do solo, presença de três estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (nativa do solo, SEMIA 5079 e SEMIA 5080 inoculadas na semente) e de quatro níveis de compactação (densidades de: 1,15; 1,30; 1,45 e 1,60 kg dm⁻³), aplicados com prensa hidráulica no solo do anel central de uma coluna formada pela sobreposição de três anéis de PVC de 15 cm de diâmetro. Quarenta e sete dias após a emergência, as plantas foram cortadas, secas e pesadas, e as raízes do anel superior coletadas e quantificadas. A PMSPA foi crescente com a brometização do solo e inoculação com a estirpe SEMIA 5080, dentro das densidades de até 1,30 kg dm⁻³. Para valores maiores do que este, as estirpes estudadas não diferiram entre si. A compactação promoveu reduções lineares na produção de matéria seca da parte aérea no solo não-brometizado e parabólico, e maior produção na densidade de 1,35 kg dm⁻³ no solo brometizado. A concentração de nitrogênio na parte aérea foi significativamente menor com a inoculação da estirpe SEMIA 5079 no solo brometizado e não diferiu entre si no solo não brometizado. Maior produção de raízes na camada superficial ocorreu na ausência de brometização do solo e de inoculação com *Bradyrhizobium japonicum*. Com a brometização, a maior produção ocorreu com a inoculação da estirpe SEMIA 5079. A compactação produziu efeito linear crescente na produção de raízes no solo não brometizado e parabólico, com maior produção na densidade de 1,43 kg dm⁻³ no solo brometizado.

Termos de indexação: compactação do solo, inoculação, bradyrizóbio, fixação de nitrogênio, sistema radicular.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas. Recebido para publicação em maio de 1997 e aprovado em dezembro de 1999.

⁽²⁾ Professora do Departamento de Agronomia, Universidade do Estado de Minas Gerais - UFMG, Campus de Ituiutaba. CEP 38700-000 Ituiutaba (MG).

⁽³⁾ Pesquisador Científico do Centro de Solos e Recursos Agroambientais, Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, Caixa Postal 28, CEP 13001-970 Campinas (SP). Bolsista do CNPq.

⁽⁴⁾ Pesquisadora Científica, Centro de Solos e Recursos Agroambientais - IAC.

⁽⁵⁾ Professor-Doutor do Departamento de Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, CEP 38400-902 Uberlândia (MG).

SUMMARY: SOYBEAN SHOOT AND ROOT GROWTH IN COMPACTED SOIL AND INOCULATED WITH BRADYRHIZOBIUM JAPONICUM

A soybean crop experiment using samples from a sandy Dark Red Latosol was conducted in a greenhouse at the Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brazil from July/1996 to February/1997, to evaluate the effects of inoculation and subsoil compaction on the shoot dry matter production (ADMP), root dry matter production in the superior ring of the column, and nitrogen absorption and concentration in soybean shoots. The treatments were set in a 2 x 3 x 4 factorial design and corresponded to sterilized and non sterilized soil (using 250 cm³ m⁻³ methyl bromide), three strains of Bradyrhizobium japonicum: soil native, SEMIA 5079 and SEMIA 5080 inoculated in seed soybean and four levels of compaction (bulk densities of 1.15, 1.30, 1.45 and 1.60 kg dm⁻³) applied with a hydraulic press on the soil placed in a central ring of a column made by three 15 cm diameter PVC rings. Forty-seven days after germination, the plants were harvested, dried and weighed. The roots of the superior ring were harvested and measured. The ADMP of soybean increased in the sterilized soil and inoculation with strain SEMIA 5080 at densities 1.15 and 1.30 kg dm⁻³. For higher densities, the strains studied did not have any effect. The compaction caused linear reductions either in nitrogen concentration and in shoot dry matter production of the non sterilized soil, - and parabolic reduction, with the highest production at 1.35 kg dm⁻³ density in the sterilized soil. Nitrogen concentration in the shoots was lower with inoculation of the strain SEMIA 5079 in sterilized soil, with no difference among treatments in non-sterilized soil. A greater root production in the surface layer (ring) occurred in non-sterilized soil with seeds inoculated with Bradyrhizobium japonicum. In sterilized soil, the greatest production occurred due to inoculation of the strain SEMIA 5079. Compaction caused an increasing linear effect in root growth in non-sterilized soil and parabolic, with greatest growth at 1.45 kg dm⁻³ density in sterilized soil.

Index terms: compaction, bradyrhizobia, nitrogen fixation, roots system.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem aumentado sua produção agrícola, nas últimas décadas, basicamente pela expansão da área cultivada, utilizando para isto os solos de cerrado. A escolha dessa fronteira agrícola deveu-se às condições físicas favoráveis dos solos, topografia plana, novas tecnologias geradas pela pesquisa e programas de créditos governamentais. Essas condições fizeram com que aqueles solos deixassem de ser utilizados com pecuária extensiva e agricultura de subsistência para uma exploração agrícola moderna, tecnificada e empresarial, principalmente com culturas de exportação.

Segundo Macedo (1996), os solos sob vegetação de cerrado, em uso e potencialmente agricultáveis, compreendem uma área estimada em 207 milhões de hectares, incluindo diferentes classes de solos. Segundo Lopes (1984), estes solos apresentam, como características químicas, baixos valores de pH, Ca, Mg e P e altos teores de alumínio e, ou, manganês e, como características físicas, alta porosidade e baixa densidade do solo.

O uso intensivo atual de grande parte desses solos, continua sendo feito de forma inadequada, conforme observa Freitas (1994). A degradação do solo, ou o melhoramento de seu potencial produtivo, depende do manejo a que é submetido.

Práticas de manejo, tais como: preparo do solo, adubações e calagens intensivas, algumas vezes executadas de modo incorreto, ocasionam alterações físicas do solo, com reflexos nas propriedades físicas, químicas, físico-químicas e atividades biológicas (Carvalho Jr., 1995). Aumentos na disponibilidade de nutrientes, provocados pela calagem e adubações químicas pesadas, segundo Sumner (1992), têm contribuído para a dispersão de argila, com conseqüente movimento vertical e deposição desta na profundidade de 20-30 cm, propiciando a formação de uma camada adensada.

Segundo Vomocil & Flocker (1961), esta camada, além de restringir a infiltração de água e o crescimento de raízes, provoca a formação de um ambiente redutor com produção de elementos tóxicos. Tais condições atuam sobre a população microbiana do solo, especialmente sobre os fixadores de nitrogênio,

seja por proporcionar menor desenvolvimento radicular da planta, portanto com menor substrato para a atividade biológica, seja indiretamente por meio de estímulos seletivos negativos (Nuiernberg, 1983). Segundo Triplett & Sadowsky (1992), muitos casos de insucessos na nodulação são atribuídos à baixa competitividade das estirpes de bactérias inoculadas, que não são capazes de prevalecer nos nódulos do hospedeiro, sobretudo quando o solo apresenta condições físicas e químicas desfavoráveis.

A exploração agrícola de solos com leguminosas fixadoras de nitrogênio, prática comum no cerrado, principalmente com a cultura da soja, irá demandar estudos mais detalhados sobre quais atributos físicos e químicos do solo irão afetar o processo e a eficácia da simbiose.

Dentro desse contexto, a seleção e a recomendação de estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, adaptadas, com boa capacidade de fixação de nitrogênio em condições de solos compactados, onde ocorre excesso de CO_2 , deficiência de O_2 e presença de elementos tóxicos produzidos pelo ambiente redutor, devem ser pesquisadas, principalmente para as culturas de expressão econômica como as produtoras de grãos.

Diante do exposto, esta pesquisa teve por objetivos: (a) estudar o efeito de camadas subsuperficiais compactadas no desenvolvimento da parte aérea e de raízes de soja, com sementes previamente inoculadas com as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, (b) estimar a capacidade de absorção e concentração de nitrogênio em plantas de soja noduladas, cultivadas em solo compactado.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia (MG), utilizando amostra de solo dessa região, coletada na camada de 0-30 cm de profundidade, em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média (EMBRAPA, 1982). A amostra de solo foi homogeneizada, passada em peneira de 2 mm e analisada conforme orientações da EMBRAPA (1979), apresentando as seguintes características químicas: pH = 5,4; P = 3,9 mg kg^{-1} ; K = 0,72 mmol_c kg^{-1} ; Al = 5 mmol_c kg^{-1} ; Ca = 2,0 mmol_c kg^{-1} ; Mg = 1,0 mmol_c kg^{-1} ; H + Al = 36,0 mmol_c kg^{-1} ; M.O. = 20 g kg^{-1} , e físicas: areia grossa = 130 g kg^{-1} ; areia fina = 630 g kg^{-1} ; silte = 50 g kg^{-1} e argila = 190 g kg^{-1} ; densidade de partícula = 2,77 kg dm^{-3} e densidade do solo = 1,15 kg dm^{-3} . Caracterizada analiticamente a amostra, procedeu-se à calagem, conforme Raij et al. (1985), com o equivalente de 3,0 t ha^{-1} de calcário dolomítico. Decorridos 50 dias de incubação, com umidade mantida em 80% da capacidade de campo determinada conforme Costa (1983), o solo foi submetido a uma adubação, com os seguintes

nutrientes, fontes e doses: P, KH_2PO_4 = 0,45 g kg^{-1} e NaH_2PO_4 = 0,15 g kg^{-1} ; K, KH_2PO_4 = 0,45 g kg^{-1} ; S, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ = 0,003 g kg^{-1} e $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ = 0,0018 g kg^{-1} ; Fe, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ = 0,00075 g kg^{-1} ; Mn, $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ = 0,013 g kg^{-1} ; Cu, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ = 0,003 g kg^{-1} ; Zn, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ = 0,0018 g kg^{-1} de solo.

Metade da amostra de solo, destinada ao enchimento de 50% das colunas, foi previamente esterilizada, com 250 $\text{cm}^3 \text{ m}^{-3}$ de brometo de metila.

Os vasos eram constituídos de colunas de PVC de 22,5 cm altura, formadas pela sobreposição de três anéis com 15 cm de diâmetro, unidos por fitas adesivas (Figura 1). O anel inferior, com 5 cm de altura, volume de 884 cm^3 , recebeu o material de solo previamente corrigido e adubado. O anel central, também com 5 cm de altura e volume de 884 cm^3 , recebeu diferentes quantidades de material de solo que foi compactado por uma prensa hidráulica, para obter as densidades de 1,15 (normal); 1,30; 1,45 e 1,60 kg dm^{-3} . O anel superior, com 12,5 cm de altura, recebeu 1.770 cm^3 de material de solo com densidade de 1,15 kg dm^{-3} . Formada a coluna, foi plantada soja, cultivar IAC-8.

As sementes, destinadas ao plantio dos vasos, cujo solo foi submetido à brometização, foram previamente esterilizadas com água sanitária diluída com água destilada na proporção de 1:2. Previamente ao plantio, todas as sementes utilizadas foram inoculadas com as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* SEMIA 5079 e SEMIA 5080.

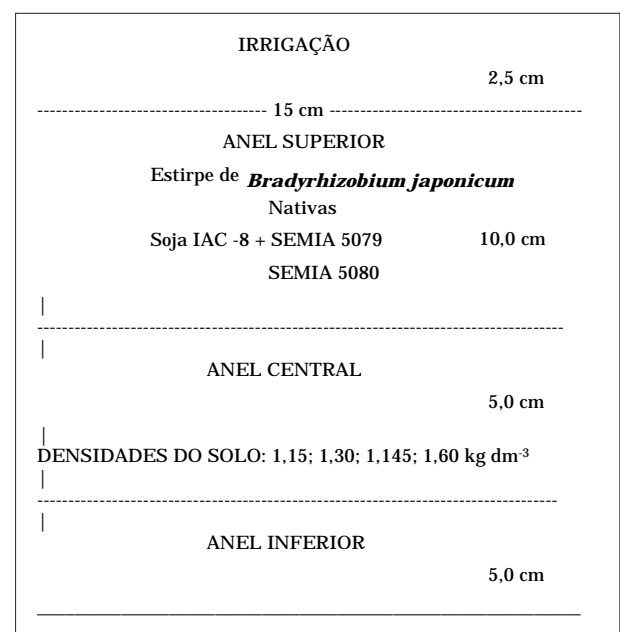


Figura 1. Esquema do vaso formado pela sobreposição de três anéis de PVC.

Quarenta e sete dias após a emergência, as plantas de soja foram cortadas rente ao solo, secas em estufa de ventilação forçada com temperatura constante de 60°C, pesadas e submetidas à digestão sulfúrica para determinação do nitrogênio. As colunas de PVC foram desmontadas para coleta e quantificação de raízes.

A análise estatística dos dados, processada pelo Programa SANEST (Zonta et al., 1984), constou da análise de variância, teste de Tukey e regressão, adotando 5% como nível de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção de matéria seca da parte aérea da planta

A produção de matéria seca da parte aérea da soja, considerando os tratamentos de brometização do solo, estirpes de *Bradyrhizobium* e níveis de compactação (Quadro 1) submetidos à análise de variância, teste de Tukey (Quadro 1) e análise de regressão (Quadro 2), foi significativamente afetada pelos tratamentos principais (tratamento químico do solo, estirpes de *Bradyrhizobium* e níveis de compactação), bem como pelas interações: tratamento químico do solo x níveis de compactação e estirpes de *Bradyrhizobium* x níveis de compactação.

Considerando o efeito dos tratamentos químicos do solo dentro de cada nível de compactação (Quadro 1), observa-se que a brometização possibilitou maior produção de matéria seca da parte aérea em todos os níveis de compactação no anel central da coluna, conforme mostra o teste Tukey. Possivelmente, a brometização do solo tenha proporcionado maior persistência e melhores condições para competição saprofítica no solo, tanto das estirpes nativas como das inoculadas, mesmo naqueles ambientes sujeitos a estresse, produzidos pelos níveis mais elevados de compactação.

Triplett & Sadowsky (1992) acreditam que muitos dos casos de insucesso da inoculação podem ser atribuídos à baixa competitividade das estirpes inoculadas, motivada pela presença de outras com maior capacidade competitiva.

Dentro deste contexto, em EMBRAPA (1982), afirma-se que a capacidade de competição saprofítica, bem como a persistência no solo de estirpes usadas nos inoculantes, é também importante quando se considera a possibilidade de introduzi-la no ano anterior ao plantio, via inoculação de sementes de cereais. Essa prática tem sido proposta como alternativa para melhorar o estabelecimento de determinadas estirpes mais eficientes na fixação de nitrogênio em condições desfavoráveis à colonização imediata pelos *Bradyrhizobia*.

Analisando o comportamento de cada estirpe de *Bradyrhizobium japonicum* dentro de cada nível de

Quadro 1. Produção de matéria seca da parte aérea da soja, submetida ao tratamento químico de solo (TQsolo), estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e diferentes níveis de compactação do solo do anel central

Nível de compactação (Densidade do solo)	TQsolo	Estirpe de <i>Bradyrhizobium japonicum</i>			Média
		Nativa	SEMIA 5079	SEMIA 5080	
kg dm ⁻¹		g vaso ⁻¹			
1,15	Brometizado	12,30	10,98	13,24	12,17 a
	Não Brometizado	7,43	7,07	10,35	8,28 b
	Média	9,86 B	9,02 B	11,79 A	
1,30	Brometizado	10,84	11,00	12,56	11,47 a
	Não Brometizado	8,92	8,44	9,30	8,89 b
	Média	9,88 B	9,72 B	10,93 A	
1,45	Brometizado	9,94	9,59	10,42	9,98 a
	Não Brometizado	8,94	8,74	8,81	8,83 b
	Média	9,44 A	9,16 A	9,61 A	
1,60	Brometizado	10,20	9,46	9,68	9,78 a
	Não Brometizado	7,40	8,08	8,32	7,93 b
	Média	8,80 A	8,77 A	9,00 A	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na coluna, e maiúsculas distintas, na linha, diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

compactação, verifica-se (Quadro 1) que, nas densidades do solo de $1,15 \text{ kg dm}^{-3}$ (sem compactação) e densidade de $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ (leve compactação), a estirpe SEMIA 5080 possibilitou produção de matéria seca da parte aérea significativamente maior do que as estirpes nativas e a SEMIA 5079, as quais não diferiram entre si.

Níveis de compactação efetuados para obter densidades maiores do que $1,30 \text{ kg dm}^{-3}$ não promoveram diferenças significativas entre as estirpes de rizóbios (Quadro 1). Segundo Johnson et al. (1965), o êxito das estirpes de rizóbios introduzidas como inoculantes vai depender de sua capacidade de competir por sítios de infecção nodular, de efetivar a nodulação em relação as estirpes nativas e das características físicas do solo.

Por outro lado, Bohlool & Schmidt (1973) demonstraram que estirpes menos eficientes na fixação de nitrogênio e menos competitivas podem predominar em anos subseqüentes à inoculação, demonstrando claramente que outros fatores do solo estão envolvidos no desempenho de determinadas estirpes como inóculo.

Os modelos de regressão ajustados (Quadro 2) possibilitaram verificar que a produção de matéria seca da parte aérea foi linearmente decrescente com os níveis de compactação aplicados no anel central da coluna, quando o solo foi submetido à brometização. Esta constatação permite inferir que, na presença de camada compactada, a existência de microrganismos poderia atenuar os efeitos negativos da compactação.

Quando o solo não foi brometizado, a produção de matéria seca da parte aérea, considerando os níveis de compactação apresentou uma relação quadrática, com ponto de maior produção de raízes na densidade do solo de $1,35 \text{ kg dm}^{-3}$. A produção

crescente da parte aérea com aumento da densidade do solo até $1,35 \text{ kg dm}^{-3}$ no solo não brometizado mostra a importância tanto dos atributos físicos desejáveis do solo como da atividade microbiana na melhoria do ambiente radicular.

O efeito da compactação na produção vegetal tem sido relatado por diversos pesquisadores, mas ainda existem muitas divergências. Alguns têm observado que uma leve compactação pode provocar aumento de crescimento na parte aérea. Outros, no entanto, têm encontrado que o efeito da compactação na parte aérea é depressivo em todos os seus níveis, a partir da condição natural. Borges et al. (1986, 1987), trabalhando com cinco variedades de soja e três espécies de eucalipto, encontraram que o efeito da compactação na produção de matéria seca da parte aérea podia variar com a espécie vegetal. Esses autores verificaram que as variedades de soja IAC-8, Bossier e Cristalina apresentavam comportamento quadrático para a produção de matéria seca da parte aérea conforme a compactação. Entretanto, as variedades Tropical e Doko tiveram produção decrescente a partir do nível zero de compactação.

Conclusões semelhantes foram observadas por Rosemberg (1964), após estudar o efeito da compactação no rendimento das culturas de milho, tomate, batata, beterraba e algodão. Esse autor observou que, enquanto a beterraba e algumas variedades de batata apresentavam redução linear na produção, o milho, o tomate e o algodão apresentavam comportamento quadrático com pontos de máximo para uma leve compactação. Tal comportamento foi atribuído ao tipo de sistema radicular. Quando a planta possui um sistema radicular pivotante, o crescimento das raízes em solo compactado torna-se mais difícil, pois essas possuem diâmetro quase sempre maior do que os poros do solo. O mesmo não acontece com as raízes fasciculadas,

Quadro 2. Equações de regressão ajustadas dentro de tratamento químico de solo (TQsolo) e de inoculação de estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*, para produção de matéria seca, em g, e do teor de nitrogênio na parte aérea da soja (Y), considerando a densidade do solo do anel central da coluna (X), em kg dm^{-3} , dentro de tratamento químico do solo e estirpe de *Bradyrhizobium*

TQsolo	Estirpe	Equação	R ²	Ponto de máximo
Matéria seca da parte aérea				
Brometizado	Média	$\hat{Y} = 18,78 - 5,77 X$	0,922*	
Não Brometizado	Média	$\hat{Y} = -21,60 + 45,17 X - 16,70 X^2$	0,980*	$1,35 \text{ kg dm}^{-3}$
Média	Nativa	$\hat{Y} = 12,82 - 2,42 X$	0,865*	
	SEMIA 5079	$\hat{Y} = -12,20 + 32,46 X - 12,12 X^2$	0,792*	$1,34 \text{ kg dm}^{-3}$
	SEMIA 5080	$\hat{Y} = 19,22 - 6,46 X$	0,980*	
Nitrogênio da parte aérea				
Média	Média	$\hat{Y} = 3,91 - 1,17 X$	0,941*	

* Significativo a 5%.

que são, geralmente, mais finas. Como a raiz da soja é pivotante, é possível que as densidades 1,45 e 1,60 kg dm⁻³ tenham reduzido o diâmetro dos poros para um tamanho menor do que o das raízes.

Analisando a produção de matéria seca da parte aérea, considerando os níveis de compactação aplicados dentro de cada estirpe de *Bradyrhizobium japonicum* estudada, observa-se (Quadro 2), comportamento linearmente decrescente e altamente significativo dentro das estirpes nativas e SEMIA 5080. Com a inoculação da SEMIA 5079, a produção de matéria seca seguiu comportamento quadrático, com ponto de maior produção de matéria seca na densidade do solo de 1,34 kg dm⁻³.

Nitrogênio da parte aérea da planta

Os dados de concentração de nitrogênio na parte aérea da planta (Quadro 3) evidenciam que, não obstante ter sido observada ausência de significância para o tratamento químico de solo e estirpe de *Bradyrhizobium japonicum*, constatou-se que os níveis de compactação aplicados, bem como a interação tratamento químico de solo x estirpes de rizóbio, foram significativos a 5%.

A aplicação do teste de Tukey a 5%, para comparar o efeito da brometização para cada estirpe de *Bradyrhizobium japonicum*, revelou que não há efeito desta, tanto para as estirpes nativas do solo como para a SEMIA 5080. Contudo, a concentração do nitrogênio na parte aérea foi significativamente menor no solo brometizado quando a estirpe de

rizóbio inoculada foi a SEMIA 5079 (Quadro 3). É possível que a SEMIA 5079 seja mais sensível que a SEMIA 5080 à brometização do solo.

Analisando a concentração de nitrogênio na parte aérea para as estirpes estudadas e brometização, verifica-se, pelo teste de Tukey a 5% (Quadro 3), que tanto as duas estirpes inoculadas como as nativas do solo tiveram o mesmo comportamento no solo não brometizado.

O modelo de regressão estabelecido para avaliar o efeito dos níveis de compactação possibilitou visualizar que a quantidade de nitrogênio absorvido apresentou redução linear de acordo com os níveis de compactação, como mostra a equação $Y = 3,9 - 1,17X$ ($R^2 = 0,884^*$), em que Y = nitrogênio absorvido e acumulado na parte aérea e X = compactação aplicada no anel central do vaso.

Produção de raízes no anel superior da coluna

Os dados obtidos na coleta e quantificação das raízes presentes no anel superior da coluna (Quadro 4), submetidos à análise de variância, mostraram efeito significativo, tanto para os tratamentos principais como para algumas interações, evidenciando, assim, que a produção de raízes no anel superior da coluna de cada tratamento aplicado depende dos níveis em que cada um ocorre.

Observa-se, pelo quadro 4, que, no solo brometizado, a produção de raízes no anel superior da coluna, dentro de todos os níveis de compactação do solo, o tratamento sem inoculação (estirpes

Quadro 3. Concentração de nitrogênio na parte aérea da soja, submetida ao tratamento químico de solo (TQsolo), estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e diferentes níveis de compactação do solo

TQsolo	Densidade do solo	Estirpe de <i>Bradyrhizobium japonicum</i>			Média
		Nativa	SEMIA 5079	SEMIA 5080	
	kg dm ⁻³	dag kg ⁻¹			
Brometizado	1,15	2,45	2,38	2,59	
	1,30	2,29	2,22	2,56	
	1,45	2,36	2,04	2,23	
	1,60	1,99	2,24	2,07	
	Média	2,28 a	2,23b	2,37a	2,29 A
Não Brometizado	1,15	2,64	2,59	2,65	
	1,30	2,25	2,61	2,27	
	1,45	2,14	2,11	2,09	
	1,60	2,33	2,33	1,91	
	Média	2,35 a	2,39 a	2,23 a	2,32 A
Média geral		2,32 A	2,31 A	2,30 A	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na linha, maiúsculas distintas, na linha, e maiúsculas sublinhadas e distintas, na coluna, diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

nativas) foi maior do que quando efetuada a inoculação com as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, as quais não diferiram entre si. Na ausência da brometização do solo e para todos os níveis de compactação, observa-se (Quadro 4) que ocorreu o inverso, ou seja, a inoculação das sementes com SEMIA 5079 e SEMIA 5080 possibilitou produção significativamente maior de raízes na camada superficial.

O teste de Tukey a 5%, aplicado às médias das estirpes de *Bradyrhizobium* dentro dos tratamentos solo brometizado e não brometizado, mostra que a brometização possibilitou maior produção de raízes quando a camada subsuperficial não era compactada, não ocorrendo, no entanto, diferenças para o tratamento químico do solo nas densidades de 1,30 e 1,45 kg dm⁻³.

Observa-se (Quadro 4), que a produção de raízes no anel superior, na ausência de inoculação (estirpe nativa), apresentou, de maneira geral, o mesmo comportamento dentro de cada nível de compactação a que foi submetido o solo do anel central, ou seja, esta produção foi significativamente superior, quando o solo era submetido ao tratamento da brometização, sendo exceção a densidade de 1,60 kg dm⁻³, quando a não-brometização do solo proporcionou maior produção de raízes.

Com a inoculação das estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, a produção de raízes não foi influenciada pela brometização dentro das densidades de 1,15, 1,30 e 1,45 kg dm⁻³ (Quadro 4). Na densidade de 1,60 kg dm⁻³, a inoculação com a SEMIA 5079 proporcionou produção de raízes significativamente maior em relação ao solo não brometizado.

Considerando o comportamento médio das estirpes dentro de cada densidade, observa-se (Quadro 4) que a produção de raízes não foi influenciada pelas estirpes estudadas, quando o solo não foi submetido à compactação (densidade de 1,15 kg dm⁻³). Com a compactação, a produção das raízes no tratamento sem inoculação (estirpes nativas) foi superior, quando as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 foram inoculadas, dentro das densidades 1,45 e 1,60 kg dm⁻³.

Analisando a produção de raízes no anel superior com o solo brometizado, observa-se que, onde não foi feita a inoculação, a produção foi significativamente superior aos tratamentos inoculados nas densidades de 1,15; 1,45 e 1,60 kg dm⁻³, enquanto, para o solo não brometizado, as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 não diferiram entre si e foram significativamente superiores ao tratamento sem inoculação, dentro das densidades de 1,15 e

Quadro 4. Produção de raízes de soja no anel superior da coluna, submetidas ao tratamento químico de solo (TQsolo), inoculação de sementes com estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* e diferentes níveis de compactação do solo do anel central

Nível de compactação (Densidade do solo)	TQsolo	Estirpe de <i>Bradyrhizobium japonicum</i>			Média
		Nativa	SEMIA 5079	SEMIA 5080	
kg dm ⁻³		dag kg ⁻¹			
1,15	Brometizado	2,94 aA	2,19 bA	2,41 bA	2,51 A
	Não Brometizado	1,54 bB	2,13 aA	2,29 aA	1,99 B
	Média	2,24 a	2,16 a	2,35 a	
1,30	Brometizado	2,26 bA	2,80 aA	2,49 abA	2,52 A
	Não Brometizado	2,09 bB	2,63 aA	2,73 aA	2,48 A
	Média	2,17 b	2,71 a	2,61 a	
1,45	Brometizado	3,21 aA	2,80 bA	2,60 bA	2,87 A
	Não Brometizado	2,82 aB	3,10 aA	2,75 aA	2,89 A
	Média	3,02 a	2,95 ab	2,68 b	
1,60	Brometizado	3,33 aB	2,12 bB	2,31 bA	2,59 B
	Não Brometizado	3,66 aA	2,61 bA	2,62 bA	2,96 A
	Média	3,50 a	2,36 b	2,46 b	
Média solo brometizado D/compactação		2,94 A	2,48 A	2,45 A	
Média solo não brometizado D/compactação		2,53 B	2,62 A	2,60 A	

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na linha, letras minúsculas sublinhadas e distintas, na linha, letras maiúsculas sublinhadas e distintas, na coluna e letras maiúsculas, na coluna, distintas diferem entre si a 5% pelo teste de Tukey.

Quadro 5. Equações de regressão ajustadas dentro de tratamento químico de solo (TQsolo) e de inoculação de estirpes de rizóbios, para produção de raízes no anel superior da coluna, em g, em função da densidade do solo do anel central da coluna (X), em kg dm⁻³ dentro de tratamento de solos e de estirpes de rizóbios inoculados

TQsolo	Estirpe	Equação	R ²	Ponto de máximo
Brometizado	Média	$\hat{Y} = -3,82 + 9,12X - 3,18X^2$	0,436*	1,43 kg dm ⁻³
Não Brometizado	Média	$\hat{Y} = -9,29 + 15,24X - 4,73X^2$	0,980*	1,61 kg dm ⁻³
Média	Nativa	$\hat{Y} = -1,50 + 3,08X$	0,865*	-
	SEMIA 5079	$\hat{Y} = -21,84 + 35,43X - 12,68X^2$	0,960*	1,39 kg dm ⁻³ ⁽¹⁾
	SEMIA 5080	$\hat{Y} = -7,62 + 14,70X - 5,25X^2$	0,980*	1,40 kg dm ⁻³
Brometizado	Nativa	$\hat{Y} = 17,64 - 23,17X + 8,94X^2$	0,563*	1,30 kg dm ⁻³
	SEMIA 5079	$\hat{Y} = 24,05 + 39,32X - 14,35X^2$	0,980*	1,37 kg dm ⁻³
	SEMIA 5080	$\hat{Y} = -5,04 + 11,20X - 4,12X^2$	0,774*	1,36 kg dm ⁻³
Não Brometizado	Nativa	$\hat{Y} = -3,99 + 4,74X$	0,980*	-
	SEMIA 5079	$\hat{Y} = -19,62 + 31,53X - 11,00X^2$	0,909*	1,43 kg dm ⁻³
	SEMIA 5080	$\hat{Y} = -10,19 + 18,20X - 6,37X^2$	0,960*	1,43 kg dm ⁻³

⁽¹⁾ Ponto de mínimo. * Significativo a 5%.

1,30 kg dm⁻³. Na densidade de 1,45 kg dm⁻³, não foi observado efeito significativo entre as estirpes estudadas. Na densidade de 1,60 kg dm⁻³, as estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080 não diferiram entre si e foram significativamente inferiores às nativas do solo (Quadro 4).

Os dados de produção de raízes no anel superior, considerando os níveis de compactação para cada tipo de tratamento de solo e estirpes de *Bradyrhizobium*, foram submetidos à análise de regressão (Quadro 5). Observa-se que o ajuste da equação quadrática, tendo como variável dependente a produção de raízes no anel superior (Y) e independente a densidade do solo (X), possui ponto de máximo em 1,43 kg dm⁻³, para o solo brometizado, e em 1,61 kg dm⁻³, para o solo não brometizado. O estabelecimento de equações quadráticas no solo brometizado (Quadro 5), com pontos de máximos de 1,37 kg dm⁻³, para SEMIA 5079, e de 1,36 kg dm⁻³, para SEMIA 5080, evidencia que uma leve compactação do solo pode ser benéfica, possivelmente por aumentar o contato tanto dos rizóbios como das raízes com as partículas de solo e com a água disponível. Estes pontos mostram, ainda, que cada estirpe se comporta de uma maneira, dependendo do nível de compactação.

Para o solo não brometizado, observa-se que, quando não houve inoculação, a produção de raízes no anel superior foi linearmente crescente com a compactação, enquanto, quando ocorreu a inoculação das estirpes SEMIA 5079 e SEMIA 5080, a produção de raízes seguiu comportamento quadrático com

pontos de máximos nas densidades de 1,43 kg dm⁻³ para ambas as estirpes (Quadro 5).

CONCLUSÕES

1. A produção de matéria seca da parte aérea da soja foi crescente com a brometização do solo e inoculação com a estirpe SEMIA 5080, dentro das densidades 1,15 e 1,30 kg dm⁻³. Para valores maiores do que estes, as estirpes estudadas não diferiram entre si.

2. A compactação promoveu reduções lineares tanto na concentração de nitrogênio como na produção de matéria seca da parte aérea no solo não brometizado e quadrático, com maior produção na densidade de 1,35 kg dm⁻³ no solo brometizado.

3. A concentração de nitrogênio na parte aérea foi menor com a inoculação da estirpe SEMIA 5079 no solo brometizado e não diferiu entre tratamentos no solo não brometizado.

4. A maior produção de raízes na camada superficial ocorreu na ausência de brometização do solo e de inoculação da semente com rizóbios. Com a brometização, a maior produção ocorreu com a inoculação da estirpe SEMIA 5079.

5. A compactação produziu efeito linear crescente na produção de raízes no solo não brometizado e quadrático, com maior produção na densidade de 1,43 kg dm⁻³ no solo brometizado.

LITERATURA CITADA

- BOHLOOL, B.B. & SCHMIDT, E.L. Persistence and competition aspects of *R. japonicum* observed in soil by immunofluorescence microscopy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:561-564, 1973.
- 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. *R. Árvore*, 10:181-195, 1986.
- BORGES, E.N.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; REGAZZI, A.J. & FERNANDES, B. Respostas de variedades de soja à compactação de camada de solo. *R. Ceres*, 35:553-68, 1987.
- CARVALHO Jr., I.A. Estimativas de parâmetros sedimentológicos para estudo de camadas compactadas e/ou adensadas em Latossolo de textura média, sob diferentes aspectos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1995. 83p. (Tese de Mestrado)
- COSTA, M.P. Efeito da matéria orgânica em alguns atributos do solo. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1983. 137p. (Tese de Mestrado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Relatório Técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1976 - 1978. Brasília, 1979. 183p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento de Ciência do Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979. não paginado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Relatórios Técnicos Anual 1980-1981. Brasília, 1982. não paginado.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento de Ciência do Solo. Levantamento de reconhecimento de média intensidade e aptidão agrícola dos solos do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, 1982. não paginado.
- FREITAS, P.L. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J.N., ed. Fascículo de experiências de plantio direto no cerrado. Goiânia, Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1994. p.199-213.
- JOHNSON, H.W.; MEANS, V.M. & WEBER, C.R. Competition for nodule sites between strains of *Rhizobium japonicum* applied as inoculum and strains in the soil. *Agron. J.*, 57:179-85, 1965.
- LOPES, A.S. Solos sob "cerrado", Características, propriedades e manejo. Piracicaba, Instituto Internacional da Potassa, 1984. 162p.
- MACEDO, J. Os cerrados nos ambientes savânicos do Brasil. In: VENEGAS, V.H.A.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. p.135-155.
- NUIERNBERG, N.J. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação no rendimento e características de um solo na encosta basáltica sul-rio-grandense. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1983. 146p. (Tese de Mestrado)
- RAIJ, B. van; SILVA, N.M. & BATATAGLIA, O.C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1985. 107p.
- ROSEMBERG, N.J. Response of plants to physical effects of soil compaction. *Adv. Agron.*, 16:181-96, 1964.
- SUMNER, M.E. Uso atual do gesso no mundo em solo ácidos. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO GESSO NA AGRICULTURA, 2., Uberaba, 1992. Anais. Uberaba, Nagy, 1992. p.7-40.
- TRIPLETT, E.W. & SADOWSKY, M.J. Genetics of competition for nodulation of legumes. *Ann. Rev. Microbiol.*, 45:399-429, 1992.
- VOMOCIL, J.A. & FLOCKER, W.J. Effect of soil. compaction on storage and movement of soil air and water. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 4:242-246, 1961.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. & SILVEIRA Jr., P. Sistema de análise estatística para microcomputadores - SANEST. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1984. 80p.