

DESENVOLVIMENTO RADICULAR DA SOJA (*Glycine max*, L.) EM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO À COMPACTAÇÃO¹

G. A. MEDEIROS²; M. PERINI³; J. R. F. LUCARELLI⁴; J. C. FERREIRA⁵ & L. A. DANIEL⁶

1. Trabalho desenvolvido junto à disciplina de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Agrícola, da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP: “Mecanização no Uso e Manejo do Solo”, sob responsabilidade do Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel.
2. Eng^o Agrícola, Doutor em Engenharia Agrícola, Professor do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal - CREUPI. E-mail: gerson_medeiros@creupi.br
3. Eng^o Agrônomo.
4. Eng^o Agrônomo, Mestre em Engenharia Agrícola, Profissional do Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. E-mail: luca@agr.unicamp.br
5. Licenciado em Física, Doutor em Engenharia Agrícola, Professor Pleno e Pesquisador do NEPA/FATEC/Sorocaba do Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. E-mail: ferraro1@terra.com.br.
6. Eng^o Agrônomo, Doutor em Agronomia, Professor e Pesquisador do NEPA/FATEC/Sorocaba do Centro Estadual de Educação Tecnológica “Paula Souza”. E-mail: daniel.fatec@terra.com.br.

Aceito para publicação em: 10/12/2003.

RESUMO

A compactação é um dos principais problemas agrícolas e ambientais gerados pelo manejo inadequado do solo, levando à queda da produção, ao impedimento do desenvolvimento radicular das culturas, ao aumento do escoamento superficial e à erosão. Realizou-se um experimento, em minilísimetros, em que se manteve uma camada compactada na profundidade de 0,10 a 0,20 m para se avaliar o impacto da compactação do solo sobre a distribuição e desenvolvimento radicular da soja (*Glycine max*, L.). Os tratamentos corresponderam a uma faixa de variação de 1,0 a 1,4 kg dm⁻³ na densidade do solo. A avaliação final foi baseada no peso da matéria seca das raízes e da parte aérea da planta, resistência do solo à penetração e interpretação visual. Os resultados mostraram que não houve crescimento radicular na camada do solo com densidade de 1,4 kg dm⁻³ e resistência do solo à penetração de 2,4 MPa, porém não se verificou diferenças significativas na produção de matéria seca total de raízes e da parte aérea.

Palavras-chave: Soja, compactação do solo, sistema radicular.

ABSTRACT

ROOT DEVELOPMENT OF SOYBEAN ON COMPACTED LATOSSOIL

Soil compaction is a major environmental and agricultural problem related to inadequate tillage causing loss yield, lower root growth, runoff and erosion increased. An experiment was carried out in mini lysimeter where a pan layer was set at the 0,10 to 0,20 m to evaluate the impact of soil compaction on root growth of soybean (*Glycine max*, L.). The treatment corresponded to soil density varying from 1,0 to 1,4 kg dm⁻³. Aboveground dry matter of plant and root growth, soil resistance and visual interpretation were evaluated. The results showed that there were no root growth in the 1,4 kg dm⁻³ deep soil, however no significant differences on plant and root dry matter was observed.

Key words: Soybean, soil compaction, root system.

INTRODUÇÃO

Um dos desafios para a agricultura contemporânea é a necessidade de aumentar a produção de alimentos a fim de

atender a uma demanda crescente, sob condições de escassez dos recursos naturais (DUMANSKI et al., 1997).

Para aumentar a produção agrícola, uma série de práticas foram desenvolvidas, destacando-se os sistemas de preparo do solo motomecanizados, que têm por objetivo criar condições favoráveis à germinação e ao crescimento radicular das culturas. (De MARIA et al., 1999).

Por outro lado, vários autores têm verificado uma série de alterações nas propriedades físicas do solo, submetido a uma diversidade de práticas de preparo e manejo, sob condições distintas de clima, solo e planta e que tem levado a uma queda de sua qualidade e sustentabilidade agrícola. (LUCARELLI, 1997; MEDEIROS, 2002; De MARIA et al., 1999; BERTOL et al., 2001; TORMENA et al., 2002; BEUTLER et al., 2001).

Um dos principais impactos registrados por esses autores refere-se à formação de uma camada compactada do solo em subsuperfície, devido ao uso inadequado e intensivo da mecanização agrícola.

Entende-se por camada de solo compactado a faixa de seu perfil que, em sua extensão subsuperficial, apresenta um valor de densidade do solo maior que em seu estado natural, devido a uma carga de compressão mecânica (DANIEL & MARETTI, 1990). Para a agricultura, a importância básica da avaliação destas camadas prende-se ao fato das mesmas oferecerem diferentes resistências aos esforços tratoriais, ao perfeito desenvolvimento do sistema radicular das plantas e à infiltração de água no perfil do solo.

A presença de camadas compactadas em subsuperfície, que dificultem o aprofundamento da raiz, pode levar à proliferação das raízes laterais, formando uma configuração de sistema radicular muito denso e raso. Essa configuração pode prejudicar fortemente o crescimento e produção das culturas que dependem exclusivamente da precipitação como fonte de abastecimento de água, especialmente em regiões sub úmidas e semi áridas (UNGER & KASPAR, 1994). Já a diminuição da taxa de infiltração aumenta o escoamento superficial e o risco da formação de processos erosivos, o que também é outro fator de redução da capacidade produtiva dos solos e de degradação ambiental.

Experimentos têm sido realizados por vários autores para aferir o impacto da compactação do solo sobre o

desenvolvimento radicular e produção de diversas culturas de interesse econômico, em especial a soja, por seu cultivo sob práticas agrícolas mecanizadas. Esses estudos são basicamente conduzidos sob condições de campo (De MARIA et al., 1999; JOHNSON et al., 1990) e casa de vegetação, com a cultura semeada em vasos (SILVA & ROSELEM, 2002; BORGES et al., 2000; FERNANDEZ et al., 1995; ROSELEM et al., 1994, BORGES et al., 1988) e buscaram avaliar o efeito de características físicas do solo, como a densidade e a sua resistência à penetração, sobre o crescimento radicular da soja.

Nessa abordagem, é possível qualificar o solo a partir de grandezas físicas mensuráveis quantitativamente e relacioná-las à sua capacidade para um determinado fim, seja agrícola ou ambiental.

Dentre os parâmetros físicos indicadores da qualidade do solo destacam-se a textura, a profundidade do solo e das raízes, densidade, capacidade de infiltração, capacidade e características de retenção de água, temperatura do solo etc. (DORAN & PARKIN, 1994). Segundo esses autores, é necessário que existam padrões de comparação com valores críticos bem definidos para as diferentes interações solo, clima, cultura e sistema de manejo, de preferência quantitativos.

Portanto, o objetivo do presente trabalho é o de avaliar o impacto provocado pela compactação do solo sobre o crescimento radicular e desenvolvimento da soja (*Glycine max*, L.), definindo valores críticos de densidade do solo para essa cultura, semeada em Latossolo vermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola, na Universidade Estadual de Campinas, em Campinas – SP, longitude 47° 05' W, latitude 22° 54' S e altitude média de 606 m.

O solo utilizado foi coletado na área do Campo Experimental da Feagri, sendo classificado como Latossolo roxo distrófico, textura argilosa, Unidade Barão Geraldo (OLIVEIRA & ROTTA, 1979). Na atual classificação brasileira de solos, corresponde ao Latossolo vermelho, segundo Embrapa (1999).

A textura e a densidade de partículas foram determinadas no Laboratório de Solos da FEAGRI. Quantificou-se o teor de argila pelo método da pipeta, separou-se a fração de areia por meio de tamisamento e, por diferença, o teor de silte, após a dispersão da terra fina seca ao ar, com NaOH a 0,1 N, e agitação mecânica (CAMARGO et al., 1986). O procedimento adotado para a determinação da densidade de partículas é descrito em Embrapa (1997). Os resultados obtidos de análise granulométrica são apresentados na Tabela 1.

A fertilidade do solo foi determinada antes do plantio, conforme metodologia descrita por Raij & Quaggio (1983), em laboratório particular certificado pelo Instituto Agrônomo, cujos resultados também são apresentados na Tabela 1.

Propriedade	Teor
Areia (%)	27
Silte (%)	20
Argila (%)	53
Densidade de partículas (kg dm ⁻³)	2,72
P (mg dm ⁻³)	24,0
M.O. (%)	5,1
pH (CaCl ₂)	5,7
K ⁺ (mmol _c dm ⁻³)	3,9
Ca ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	58
Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	25
H ⁺ + Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	28
S (mmol _c dm ⁻³)	86,9
CTC (mmol _c dm ⁻³)	114,9
V (%)	75,6

O solo coletado foi peneirado em peneira de 2 mm e submetido à compactação em minilísimetros de PVC com dimensões de 0,30 m de diâmetro interno e 0,30 m de altura (Figura 1).

Procedeu-se à compactação do solo, inserindo-se uma placa de madeira de mesmo diâmetro do lisímetro (0,30 m) em seu interior, ficando a uma altura de 0,10 m em relação à sua base.

A quantidade de solo seco necessária para formar uma camada compactada com 0,10 m de altura foi calculada para os tratamentos de densidade do solo inicialmente adotados e correspondendo a 1,1 kg dm⁻³, 1,2 kg dm⁻³, 1,4 kg dm⁻³, 1,6 kg dm⁻³ e 1,8 kg dm⁻³, com cinco repetições por tratamento, em um delineamento inteiramente casualizado em que foram aplicados testes de Duncan ao nível de 5% de significância.

O solo foi inserido em camadas de aproximadamente 0,01 m e compactado com outra placa de madeira de mesmo diâmetro do lisímetro, colocada sobre a camada e golpeada com uma marreta de borracha. Para os valores mais elevados de densidade, foi necessário umedecer o solo.

Após a compactação, retirou-se a placa de madeira da base da camada compactada e preencheu-se o espaço sob e sobre ela com o mesmo solo da área do teste.

Portanto, a camada compactada possuía 0,10 m de espessura, estando 0,10 m abaixo da superfície do solo (Figura 1).

Tabela 1. Resultados de análise física e química do Latossolo vermelho, em Campinas – SP, 1998.

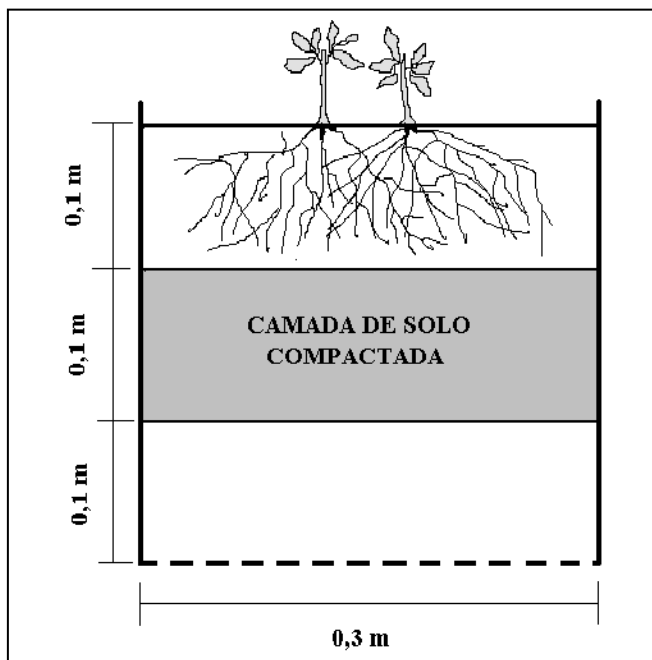


Figura 1. Esquema do minilímetro utilizado no ensaio de compactação com a cultura da soja, em Campinas – SP, no ano de 1998.

Irrigou-se a cultura, diariamente, com uma lâmina de água equivalente a 4 mm dia^{-1} , o que corresponde à evapotranspiração de referência média observada na Feagri durante a época do ensaio.

Semeou-se, em 17 de setembro de 1997, seis sementes de soja, cv IAS-5 de ciclo precoce, em cada minilímetro. Após a germinação, fez-se um desbaste, deixando-se três plantas por minilímetro para se obter uma densidade de $40 \text{ plantas m}^{-2}$, sendo a colheita realizada no início do mês de janeiro de 1998. Procedeu-se a uma adubação de manutenção durante o plantio equivalente à formulação $0:40:20 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, P_2O_5 e K_2O , de acordo com recomendação de Miranda & Mascarenhas (1990).

Os minilímetros, durante todo o período de desenvolvimento da cultura, ficaram expostos ao ar livre, submetendo a cultura às condições ambientais as mais próximas possíveis daquelas observadas no campo. Não houve problemas de doenças ao longo do ensaio e o controle de ervas daninhas e insetos foi realizado manualmente.

Na época da colheita, as plantas foram seccionadas rente à superfície do solo e procedeu-se à análise da matéria seca total e das partes das plantas.

Terminada a colheita, avaliou-se a resistência do solo à penetração por perfil penetrológico, utilizando-se de um penetrógrafo de molas marca Soil Control®, modelo SC-60, com haste de 0,6 m de comprimento e cone tipo B, segundo norma da ASAE-313. Concomitantemente, mediu-se o teor de água em cada minilímetro amostrado e a densidade do solo, com o objetivo de caracterizar o estado físico e hídrico nesse momento da amostragem do solo.

Tabela 2. Comparação de médias de resistência do solo à penetração e umidade pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade, em Campinas – SP, no ano de 1997¹.

Encerradas essas análises de solo, selecionou-se um minilímetro de cada tratamento para a avaliação do sistema radicular ao longo do perfil do solo, em seu interior. Nessa análise, foi necessário seccionar cada minilímetro longitudinalmente, tornando possível visualizar a distribuição das raízes.

A separação das raízes foi realizada no Laboratório de Solos da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, utilizando-se do método de Gottingen (Böhm, 1979), o qual consiste de lavagens sucessivas do material, com auxílio de uma peneira de malha de 0,1 mm de abertura. As impurezas do solo, a matéria orgânica e as raízes mortas foram retiradas manualmente, com auxílio de uma pinça. Posteriormente, as raízes foram colocadas para secagem em estufa a 70° C , até peso constante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de máxima resistência do solo à penetração (RSP) são apresentados na Tabela 2, junto com os resultados de densidade e umidade observadas na camada compactada. Os valores máximos ocorreram na profundidade de 0,15 m, a qual corresponde ao centro da camada compactada.

Observou-se, ao final do ensaio, que houve uma diminuição da densidade do solo em todos os tratamentos, passando de $1,1 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,6 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$ para $1,0 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,0 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$, respectivamente.

Essa variação deve-se, provavelmente, aos ciclos de molhamento e secamento do solo ao longo do ciclo da cultura, levando a períodos de expansão e contração do solo.

Houve uma diferença significativa entre o tratamento de maior nível de compactação (densidade do solo de $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$) e aqueles de menor densidade (densidade de $1,0 \text{ kg dm}^{-3}$) quanto ao parâmetro resistência do solo à penetração, pelo teste de Duncan, ao nível de 5% de probabilidade. Na comparação entre o tratamento de densidade do solo $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$ e aqueles correspondentes à densidade de $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$, não foram constatadas quaisquer diferença significativa, pelo mesmo teste. Esse resultado deve-se, provavelmente, à alta variabilidade dos resultados observados de resistência do solo à penetração.

A magnitude dos máximos valores de RSP nos tratamentos de densidade $1,0 \text{ kg dm}^{-3}$ e $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$ mostraram-se inferiores aos observados por Lucarelli (1997) no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Esse autor obteve, em média, aproximadamente 2,5 MPa de RSP na camada compactada do Latossolo vermelho submetido aos sistemas de preparo do solo grade aradora, enxada rotativa e arado de disco, em condições de campo, os quais são comparáveis àqueles determinados no tratamento de maior estado de compactação avaliado ($1,4 \text{ kg dm}^{-3}$). Deve-se ressaltar, todavia, que as condições de umidade do solo, em base peso, no ensaio realizado por Lucarelli (1997), eram por volta de 21%, inferior àquelas do presente experimento.

Tratamento	Densidade	Umidade	RSP
	Kg dm ⁻³	% base peso	MPa
1	1,0	32,3a	0,10b
2	1,0	32,7a	0,13b
3	1,2	32,7a	0,40ab
4	1,2	31,3a	0,67ab
5	1,4	28,7a	2,47a

¹Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

Tabela 3. Matéria seca de raízes da cultura da soja (MS raízes) submetida a diferentes estados de compactação de um Latossolo Vermelho, em Campinas – SP, no ano de 1997¹.

Tratamento	Densidade	MS raízes	n
	kg dm ⁻³	g dm ⁻³	
1	1,0	4,80a	8
2	1,0	5,73a	9
3	1,2	6,49a	6
4	1,2	4,12a	6
5	1,4	3,13a	9

¹Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan; n – número de plantas.

Os resultados de matéria seca de raízes, avaliadas em todo o volume dos minilímetros, são apresentados na Tabela 3, na qual pode-se observar que não houve qualquer diferença significativa entre os tratamentos.

Apesar de não ser observada qualquer diferença significativa, o tratamento que apresentou uma menor densidade radicular foi o de maior estado de compactação, levando à conclusão que o crescimento radicular da soja foi influenciado pelo impedimento mecânico do solo, concordando com os resultados de Borges et al. (1988), Johnson et al. (1990), Rosolem et al. (1994), Fernández et al. (1995), Silva & Rosolem (2002).

Realizou-se, ainda, uma avaliação visual do desenvolvimento radicular ao longo do perfil do solo por meio do seccionamento de dois minilímetros, um relativo ao tratamento de compactação 1,2 kg dm⁻³ (Figura 2), e o outro, referente ao tratamento 1,4 kg dm⁻³ (Figura 3).

A partir dessas Figuras, é possível constatar a distribuição radicular uniforme da cultura, ao longo de todo o volume do solo para o tratamento de compactação intermediária (Figura 2). Já para o tratamento mais adensado, pode-se observar um impedimento do crescimento radicular na camada compactada, referente à profundidade de 0,10 a 0,20m, e o surgimento de raízes abaixo dessa camada (Figura 3).

Esse fenômeno ocorreu devido ao crescimento das raízes da soja ao longo da interface da parede do minilímetro e do solo, permitindo ao sistema radicular da cultura atingir a camada sob a região de impedimento, como pode ser visto na Figura 3. Unger & Kaspar (1994) apontam para a capacidade das raízes de explorar partes desimpedidas do solo, levando somente a uma diferenciação na distribuição do sistema radicular e não ao comprimento total.

Fernandez et al. (1995) observaram que o crescimento radicular da soja foi completamente inibido, a partir de uma densidade do solo de 1,52 kg dm⁻³, correspondendo a uma RSP de 0,5 MPa. Já Rosolem et al. (1994) observou uma redução de 50% no crescimento radicular da soja, em solo de textura média, quando a camada compactada em subsuperfície atingiu uma resistência do solo à penetração de 0,69 MPa. O impedimento total à penetração radicular ocorreu a uma densidade de 1,72 kg dm⁻³, porém esses mesmos autores verificaram que a restrição ao crescimento radicular começou a uma densidade de 1,25 kg dm⁻³. Borges et al. (1988) constataram crescimento de raízes da soja até uma densidade de 1,25 kg dm⁻³, o que não aconteceu na densidade de 1,35 kg dm⁻³ para todas as variedades testadas.

Silva & Rosolem (2002) observaram crescimento radicular da soja em camadas de solo com densidade de até 1,6 kg dm⁻³, porém, ao contrário dos outros autores citados, a cultura da soja foi semeada após culturas precedentes, o que deve ter facilitado a penetração do sistema radicular.

O crescimento radicular da cultura da soja na interface minilímetro/solo e o suprimento contínuo de água durante todo o ensaio devem ter influenciado para que não houvesse diferenças significativas nas componentes de produção observadas para os tratamentos avaliados, como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4. Peso seco final da matéria seca da parte aérea (MS total) da cultura da soja e de seus componentes, submetida a diferentes estados de compactação de um Latossolo vermelho, em Campinas – SP, no ano de 1997¹.

Tratamento	Densidade	Folha	Caule	Vagem	Grão	MS total	IC
	kg dm ⁻³	----- g planta ⁻¹ -----					%
1	1,0	0,54a	2,82a	3,34a	5,10a	11,81a	43,5a
2	1,0	0,97a	3,78a	5,98a	7,72a	18,44a	42,5a
3	1,2	0,82a	2,14a	3,52a	6,49a	12,96a	44,6a
4	1,2	1,27a	3,15a	3,55a	3,68a	11,64a	27,3a
5	1,4	0,08a	2,61a	4,89a	3,13a	10,71a	27,1a

¹Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de Duncan.

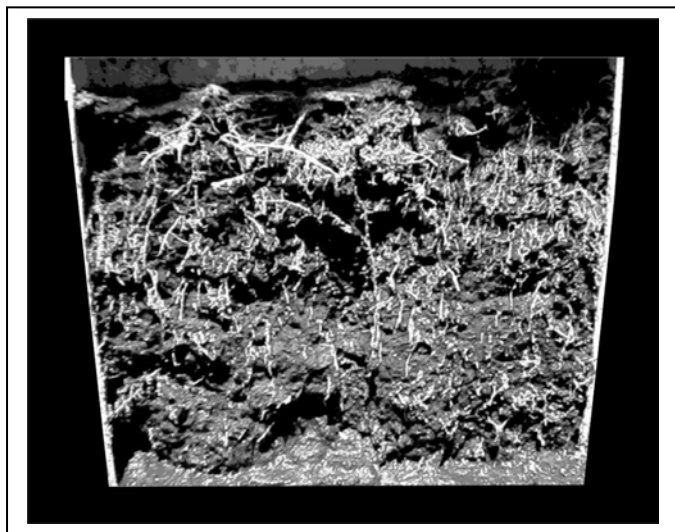


Figura 2. Distribuição de raízes da soja no tratamento de compactação referente à densidade de 1,2 kg dm⁻³, em Campinas – SP, no ano de 1997.



Figura 3. Distribuição de raízes da soja no tratamento de compactação referente à densidade de 1,4 kg dm⁻³, em Campinas – SP, no ano de 1997.

Seguindo a tendência observada na matéria seca de raízes, houve uma menor produção de matéria seca total da soja no tratamento com maior estado de compactação em relação aos demais, apesar dessa diferença não ter sido significativa.

A falta de efeito da densidade do solo na matéria seca total da parte aérea da soja também foi verificada por outros autores, como Rosolem et al. (1994), Fernandez et al. (1995), Silva & Rosolem (2002). Por outro lado, Borges (1988) observaram que a matéria seca da parte aérea de cinco variedades de soja estudadas foi significativamente alterada pela aplicação de níveis crescentes de compactação do solo na sua camada subsuperficial. Algumas variedades tiveram a produção de matéria seca aumentada por uma leve compactação do solo.

Outro fator observado na Tabela 4 é a quantidade relativamente mais baixa de matéria seca de folhas do tratamento mais adensado, indicando maior precocidade da cultura semeada sob estas condições. Borges et al. (1988) observaram uma floração prematura das plantas de soja nos níveis mais altos de compactação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se um impedimento ao desenvolvimento radicular da soja para uma camada de 1,4 kg dm⁻³ e resistência do solo à penetração de 2,4 MPa, para as condições do presente ensaio.

O estado de compactação do solo, em subsuperfície, influenciou a produção de matéria seca de raízes e da parte aérea da cultura, porém não significativamente.

A utilização de imagens digitalizadas no estudo do desenvolvimento radicular de plantas mostrou-se uma ferramenta simples e precisa, tornando, o seu uso, um recurso de grande auxílio para pesquisadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-560, jul./set. 2001.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência à penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, p.167-77, 2001.
- BÖHM, W. *Methods of studying root systems*. Berlin: Springer-Verlag, 1979. 189p.
- BORGES, E. N.; NOVAIS, R. F.; FERNANDEZ, B.; BARROS, N. F. Respostas de variedades de soja à

- compactação de camadas de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.35, p.553-568, 1988.
- 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**, Viçosa, v.24, p.1-9, 2000.
- CAMARGO, O. A. de; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 94 p. (Boletim, 106)
- DANIEL, L. A. & MARETTI, H. J. Avaliação de camada de solo compactado e análise de crescimento de plantas. In: SILVEIRA, G. M. (org.) **IV Ciclo de estudos sobre mecanização agrícola**. Jundiaí: Fundação Cargil, 1990. p.22-33.
- DE MARIA, I.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, p. 703-709, 1999.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (ed.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994, 244p.. (SSSA Special Publication, n.35)
- DUMANSKI, J.; ROLOFF, G.; GAMEDA, S.; de JONG, R. Application of information technology for the sustainable management of land resources. In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. **Anais...** Rio de Janeiro, 1997. 22p. CD ROM
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA – CNPS. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- FERNANDEZ, 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**, São Paulo, v.23, n.1, p.117-132, 1995.
- JOHNSON, J. F.; VOORHEES, W. B.; NELSON, W. W.; RANDALL, G. W. Soybean growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. **Agronomy Journal**, Madison, v.82, p.973-979, 1990.
- LUCARELLI, J. R. F. **Alterações em características de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. 1997. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia de Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MEDEIROS, G. A. **Influência do manejo de um Latossolo vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2002. 176 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- MIRANDA, M. A. C. & MASCARENHAS, H. A. A. Soja: *Glycine Max* (L.) Merrill. In: JORGE, J. A.; LOURENÇÃO, A. L.; ARANHA, C. (ed.) **Instruções agrícolas para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1990. p. 189-190.
- OLIVEIRA, J. B. & ROTTA, C. L. **Levantamento pedológico semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo. Quadrícula de Campinas**. Rio de Janeiro, IBGE, 1969p. 1979.
- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J. A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas, Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- 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. 2, p.259-266, 1994.
- SILVA, R. H. & ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de soja em razão da sucessão de cultivos e da compactação do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 6, p.855-860, 2002.
- TORMENA, C. A.; BARBOSA, M. C.; COSTA, A. C. S.; GONÇALVES, C. A. Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, p.795-801, 2002.
- UNGER, P. W.; KASPAR, T. C. Soil compaction and root growth: a review. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.759-766, 1994.